

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**

(CREADA POR LEY N° 25265)



## **FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAMELICA TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MÉTODO DE MADUREZ EN LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO PARA UN  $F'C=210\text{KG}/\text{CM}^2$   
EN LA CIUDAD DE HUANCAMELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES**

**DISCIPLINA:  
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

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

**PRESENTADO POR:  
Bach. BEDOYA ESPINOZA, JORGE LUIS**

**HUANCAMELICA - PERÚ  
2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 02 días del mes de agosto del año 2018, a horas 12:00 m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Ing. Hugo Rubén LUJAN JERI (PRESIDENTE)**, **Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA (SECRETARIO)**, **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (VOCAL)**, designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 279-2017-FCI-UNH, de fecha 06 de julio del 2017, y ratificados con Resolución de Decano N° 091-2018-FCI-UNH de fecha 31 de julio del 2018, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DEL MÉTODO DE MADUREZ EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PARA UN F'C=210KG/CM2 EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA", presentado por el Bachiller **Jorge Luis BEDOYA ESPINOZA**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **Ing. Carlos GASPAC PACO**, Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...1:00 pm, se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

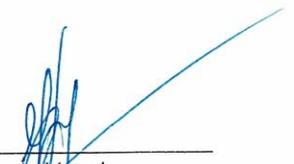
APROBADO  POR..... MAYORIA.....

DESAPROBADO

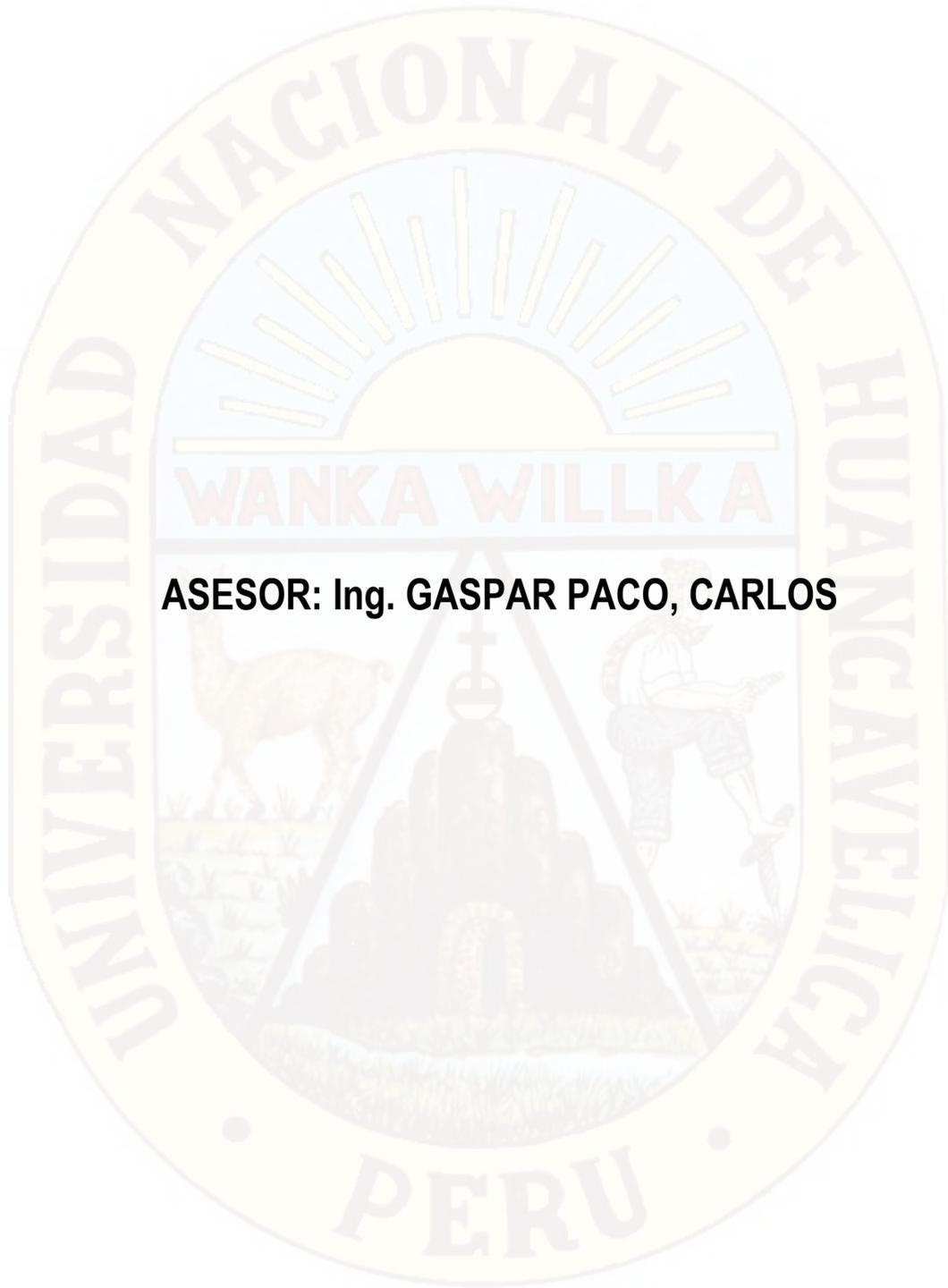
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

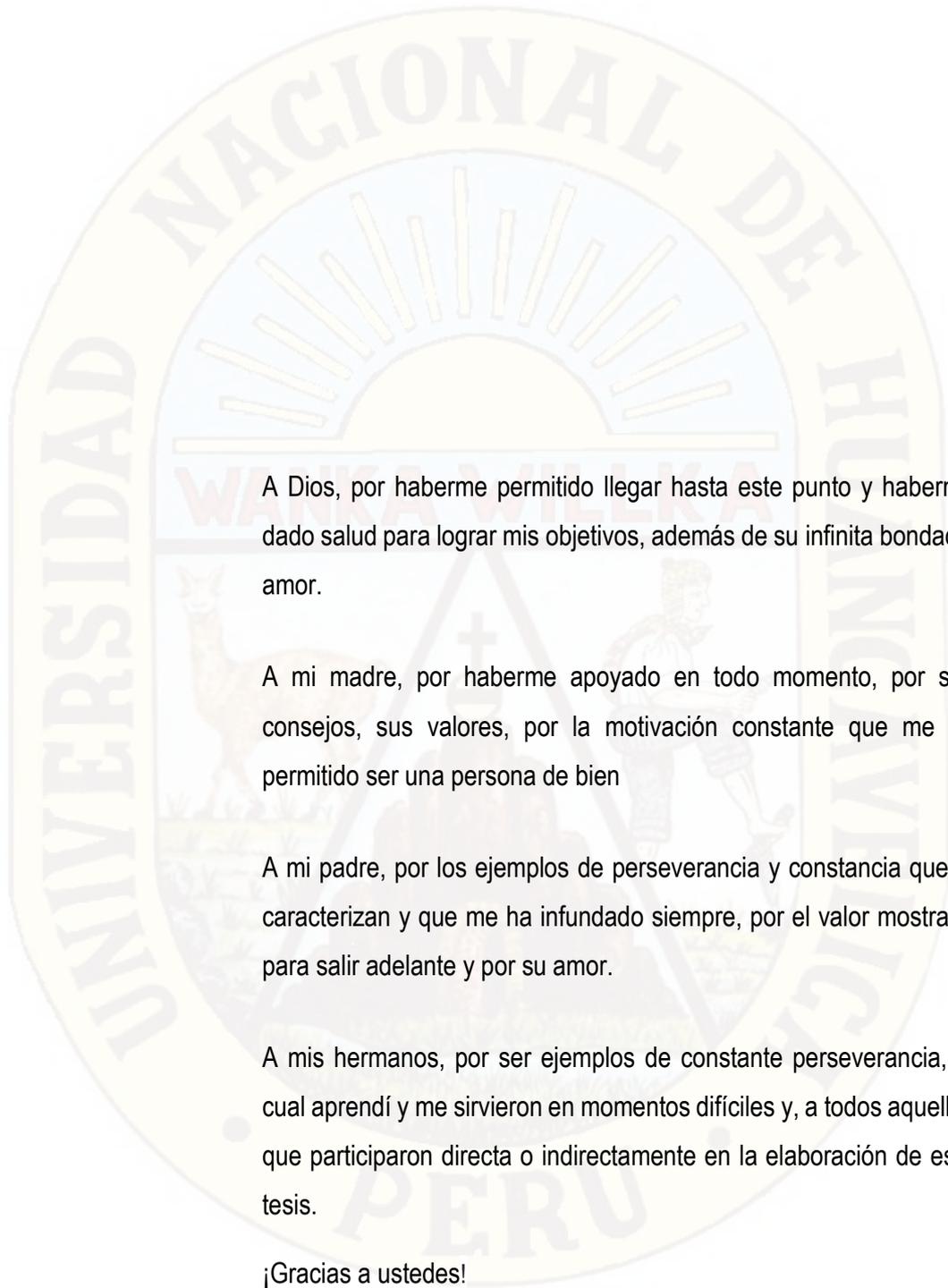
  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
V° B° Decano



**ASESOR: Ing. GASPAR PACO, CARLOS**



A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien

A mi padre, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanos, por ser ejemplos de constante perseverancia, lo cual aprendí y me sirvieron en momentos difíciles y, a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de investigación desarrollado en la provincia de Huancavelica se concretizó gracias al apoyo de diferentes personas, al esfuerzo ejecutado por el suscrito, a la “Universidad Nacional de Huancavelica”, Escuela Profesional Civil – Huancavelica. Asimismo, mi agradecimiento a todos los docentes quienes nos impartieron sus conocimientos durante 5 años y, de manera muy especial, a mis padres por su comprensión, cooperación, apoyo económico y emocional; del mismo modo al asesor Ing. Carlos Gaspar Paco.

A todas las personas e instituciones antes mencionadas mi especial agradecimiento y gratitud eterna, porque sin ellas no hubiera sido posible la ejecución y la conclusión del presente trabajo de investigación.

JORGE LUIS BEDOYA ESPINOZA

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVO.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.3. HIPÓTESIS.....	45
2.4. VARIABLES DE ESTUDIO.....	45
CAPÍTULO III.....	46
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	46
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.4. METODO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	47
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO.....	47
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.9. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	48
CAPÍTULO IV.....	49
MEMORIA DE CÁLCULO.....	49

4.1.	UBICACIÓN DE LAS CANTERAS .....	49
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	50
4.3.	DISEÑO DE MEZCLA .....	56
4.4.	REGISTRO DE TEMPERATURA.....	57
4.5.	RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE COMPRESIÓN (LABORATORIO) .....	59
4.6.	MADUREZ Y RESISTENCIA EN LABORATORIO .....	61
4.7.	RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ .....	63
4.8.	RESISTENCIA MEDIANTE EL METODO DE COMPRESION (OBRA).....	68
4.9.	COMPARACIÓN DE RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ .....	71
4.10.	COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	73
4.11.	COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ .....	74
4.12.	VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	76
CAPÍTULO V .....		79
RESULTADOS .....		79
8.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	79
8.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	119
CONCLUSIONES.....		126
RECOMENDACIONES .....		129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		130
ANEXOS .....		131

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1:</b> Resultado de la granulometría del agregado fino .....	50
<b>Tabla 4.2:</b> Resultado de la granulometría del agregado grueso .....	51
<b>Tabla 4.3:</b> Resultado de la granulometría del agregado global (agregado fino más canto rodado) 51	
<b>Tabla 4.4:</b> Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado grueso (piedra triturada) .....	53
<b>Tabla 4.5:</b> Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado fino .....	53
<b>Tabla 4.6:</b> Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado global (canto rodado) .54	
<b>Tabla 4.7:</b> Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado global (agregado fino) 54	
<b>Tabla 4.8:</b> Resultado del peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso (piedra triturada) .....	55
<b>Tabla 4.9:</b> Resultado del peso volumétrico suelto del agregado fino .....	55
<b>Tabla 4.10:</b> Resultado del peso volumétrico suelto y varillado del agregado global .....	56
<b>Tabla 4.11:</b> Proporción en % de la composición del agregado global .....	56
<b>Tabla 4.12:</b> Resultado de la proporción de cada diseño de mezcla.....	57
<b>Tabla 4.13:</b> Registro de temperatura (media diaria) para 28 días para cada tipo de agregado grueso y tipo de curado en obra y laboratorio.....	58
<b>Tabla 4.14:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en laboratorio.....	59
<b>Tabla 4.15:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en laboratorio.....	60
<b>Tabla 4.16:</b> Resultado de la madurez y resistencia a compresión de las probetas curadas en laboratorio (piedra triturada) como agregado grueso.....	61
<b>Tabla 4.17:</b> Resultado de la madurez y resistencia a compresión de las probetas curadas en laboratorio (canto rodado) como agregado grueso.....	62
<b>Tabla 4.18:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra y con agua .....	64
<b>Tabla 4.19:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra y con aditivo.....	64
<b>Tabla 4.20:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra y con agua .....	65
<b>Tabla 4.21:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra y con aditivo .....	65
<b>Tabla 4.22:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra .....	66
<b>Tabla 4.23:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra .....	66
<b>Tabla 4.24:</b> Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente e interna) de las probetas con agregado grueso (piedra triturada y canto rodado), tipo de curado (agua y aditivo) en obra para los 28 días.....	67
<b>Tabla 4.25:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en obra y con aditivo.....	68
<b>Tabla 4.26:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en obra y con agua .....	69

<b>Tabla 4.27:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en obra y con aditivo.....	70
<b>Tabla 4.28:</b> Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en obra y con agua.....	71
<b>Tabla 4.29:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con aditivo .....	72
<b>Tabla 4.30 :</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con agua.....	72
<b>Tabla 4.31:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso canto rodado, curados con aditivo y agua.....	72
<b>Tabla 4.32:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso piedra triturada, curados con aditivo y agua .....	73
<b>Tabla 4.33:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con aditivo .....	73
<b>Tabla 4.34:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con agua.....	73
<b>Tabla 4.35:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso canto rodado, curados con aditivo y agua.....	74
<b>Tabla 4.36:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso piedra triturada, curados con aditivo y agua .....	74
<b>Tabla 4.37:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso canto rodado, curado con aditivo.....	75
<b>Tabla 4.38:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso canto rodado, curado con agua .....	75
<b>Tabla 4.39:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso piedra triturada, curado con aditivo.....	75
<b>Tabla 4.40:</b> Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso Piedra triturada, curado con agua .....	76
<b>Tabla 4.41:</b> Resultado de los límites $\pm 10\%$ de la resistencia del método de madurez, para la validación de los resultados del agregado grueso (canto rodado).....	76
<b>Tabla 4.42:</b> Resultado de los límites $\pm 10\%$ de la resistencia del método de madurez, para la validación de los resultados del agregado grueso (piedra triturada).....	77
<b>Tabla 4.43:</b> Resultado de los límites $\pm 10\%$ de la resistencia del método de madurez (temperatura ambiente), para la validación de los resultados del agregado grueso (canto rodado).77	77
<b>Tabla 4.44:</b> Resultado de los límites $\pm 10\%$ de la resistencia del método de madurez (temperatura ambiente), para la validación de los resultados del agregado grueso (Piedra triturada) .....	78
<b>Tabla 5.1:</b> Resultados de la resistencia a compresión de las probetas de concretos curados en laboratorio de los tipos de agregado grueso.....	82
<b>Tabla 5.2:</b> Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con aditivo del agregado grueso (c. rodado).....	88
<b>Tabla 5.3:</b> Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con agua del agregado grueso (c. rodado).....	89

<b>Tabla 5.4:</b> Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con aditivo del agregado grueso (p. triturada) .....	91
<b>Tabla 5.5:</b> Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con agua del agregado grueso (p. triturada).....	92
<b>Tabla 5.6:</b> Resultados de la resistencia por el método de madurez en función a la temperatura ambiente en obra para el agregado grueso .....	94
<b>Tabla 5.1:</b> Probabilidad para el método de madurez y resistencia a compresión .....	124



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Cemento andino tipo I .....	9
<b>Figura 2.2:</b> Agua para el concreto .....	11
<b>Figura 2.3:</b> Piedra triturada de diferentes dimensiones .....	18
<b>Figura 2.4:</b> Agregado global o hormigón .....	19
<b>Figura 2.5:</b> Medición del slump .....	21
<b>Figura 2.6:</b> Probeta de concreto 15 cm de diámetro por 30 cm de altura .....	23
<b>Figura 2.7:</b> Colocación de la probeta de concreto en la máquina para su respectiva rotura a compresión .....	23
<b>Figura 2.8:</b> Imagen de la rotura a compresión de la probeta de concreto .....	24
<b>Figura 2.9:</b> Preparación del concreto para un $f'c = 210 \text{ kg /cm}^2$ .....	26
<b>Figura 2.10:</b> Probetas de concreto sumergido en agua para su curado .....	27
<b>Figura 2.11:</b> Curado de probetas de concreto con agua .....	28
<b>Figura 2.12:</b> Curado de las probetas de concreto con aditivo .....	30
<b>Figura 2.13:</b> Evaluación de la Madurez del concreto bajo dos distintas temperaturas de curado .....	32
<b>Figura 2.14:</b> Efecto crossover en dos mezclas de concreto a diferentes Temperaturas a edades tempranas, durante el desarrollo de la relación resistencia – madurez (Tomato de National Institute of Standards and Technology) .....	34
<b>Figura 2.15:</b> Colapso de una torre debido a la aplicación de cargas a edades tempranas, en la imagen (a) se observa una torre similar a la del colapso y en la (b) imagen del resultado del colapso (Tomado de IPRF-01-G-002-03-6) .....	34
<b>Figura 2.16:</b> Área bajo la curva, equivale a la madurez del concreto en un tiempo t, limitada por la temperatura del concreto y el datum de temperatura (Tomado de National Institute of Standards and technology) .....	37
<b>Figura 2.17:</b> Curva de calibración de la mezcla la cual se determina en la primera fase para la determinación de la resistencia por el método de la madurez .....	40
<b>Figura 2.18:</b> Para que un resultado de resistencia a la compresión sea válido este debe estar dentro del $\pm 10 \%$ de la resistencia obtenida por el método .....	40
<b>Tabla 2.1:</b> Componentes de un equipo de madurez .....	42
<b>Figura 2.19:</b> Equipo de primera generación .....	42
<b>Figura 2.20:</b> Equipos de segunda generación .....	43
<b>Figura 4.1:</b> Gráfico de la ubicación de las canteras de los agregados utilizados .....	49
<b>Figura 4.1:</b> Gráfico de la curva granulométrica del agregado fino .....	50
<b>Figura 4.2:</b> Gráfico de la curva granulométrica del agregado grueso (piedra triturada) .....	51
<b>Figura 4.3:</b> Gráfico de la curva granulométrica del agregado global (agregado fino más canto rodado) .....	52
<b>Figura 4.4:</b> Comparación de temperaturas entre el prototipo y PT 380 equipo para medir la temperatura del concreto en estado fresco .....	57
<b>Figura 4.5:</b> Curva de madurez de la variable agregado grueso (P. triturada) .....	62
<b>Figura 4.6:</b> Curva de madurez de la variable agregado grueso (C. rodado) .....	63
<b>Figura 5.1:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada) .....	79
<b>Figura 5.2:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (Canto rodado) .....	80
<b>Figura 5.3:</b> Gráfico de la comparación de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días de los dos tipos de agregado grueso .....	80

<b>Figura 5.4:</b> Gráfico de los valores en porcentaje de la resistencia a compresión curados en laboratorio para cada edad y el tipo de agregado grueso.....	82
<b>Figura 5.5:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada) curado con aditivo .....	83
<b>Figura 5.6:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (canto rodado) curado con aditivo.....	84
<b>Figura 5.7:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada) curado con agua.....	85
<b>Figura 5.8:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días para el agregado grueso (canto rodado) curado con agua.....	85
<b>Figura 5.9:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días de la temperatura ambiente.....	86
<b>Figura 5.10:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad para el tipo de agregado grueso, tipo de curado y ambiente en minutos durante los 28 días .....	87
<b>Figura 5.11:</b> Gráfico de la relación temperatura – edad para el tipo de agregado grueso, tipo de curado y ambiente en días durante los 28 días .....	87
<b>Figura 5.12:</b> Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (canto rodado) curado en obra con aditivo .....	88
<b>Figura 5.13:</b> Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (canto rodado) curado con agua en obra.....	90
<b>Figura 5.14:</b> Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (p. triturada) curado con aditivo en obra .....	91
<b>Figura 5.15:</b> Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (p. triturada) curado en obra con agua.....	93
<b>Figura 5.16:</b> Gráfico de la relación resistencia – edad por el método de madurez en función de la temperatura ambiente en obra para el agregado grueso.....	94
<b>Figura 5.17:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad.....	95
<b>Figura 5.18:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad.....	96
<b>Figura 5.19:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad.....	96
<b>Figura 5.20:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad.....	97
<b>Figura 5.21:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente.....	97
<b>Figura 5.22:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente.....	98

<b>Figura 5.23:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente .....	98
<b>Figura 5.24:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente .....	99
<b>Figura 5.25:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado curado en obra y con aditivo .....	100
<b>Figura 5.26:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado curado en obra y con agua .....	102
<b>Figura 5.27:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado grueso (canto rodado), tipo de curado en obra y laboratorio .....	105
<b>Figura 5.28:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado grueso (piedra triturada), tipo de curado en obra y laboratorio .....	107
<b>Figura 5.29:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 1 día, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio.....	110
<b>Figura 5.30:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 3 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio .....	111
<b>Figura 5.31:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 7 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio .....	112
<b>Figura 5.32:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 14 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio .....	113
<b>Figura 5.33:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 28 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio .....	114
<b>Figura 5.34:</b> Gráfico que representa la resistencia a compresión, en kg/cm <sup>2</sup> para el tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio a la edad de 28 días .....	116
<b>Figura 5.35:</b> Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado), tipo de curado (con aditivo y agua) en obra.....	117
<b>Figura 5.36:</b> Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (piedra triturada), tipo de curado (con aditivo y agua) en obra .....	117
<b>Figura 5.37:</b> Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), tipo de curado (agua) en obra.....	118
<b>Figura 5.38:</b> Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), tipo de curado (aditivo) en obra .....	118

## RESUMEN

El objetivo de investigación fue medir la influencia del Método de Madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica. Problema general formulado: ¿De qué manera el método de madurez influirá en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica? La población se conformó por 120 probetas de concreto. Se utilizó el método experimental, la técnica de observación y la ficha de observación. Como resultados se obtuvo que para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con agua una temperatura promedio de  $(9,95^\circ\text{C})$  y  $(10,63^\circ\text{C})$ , para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con aditivo una temperatura promedio de  $(11,73^\circ\text{C})$  y  $(11,17^\circ\text{C})$ , por otro la predominancia fue para el tipo de agregado grueso piedra triturada con una diferencia promedio de  $18,55 \text{ kg/cm}^2$  curados con aditivo y  $18 \text{ kg/cm}^2$  curados con agua. Se obtuvo mayor resistencia para el tipo de curado con aditivo, con una diferencia promedio de  $2,19 \text{ kg/cm}^2$  utilizando el agregado canto rodado y  $2,74 \text{ kg/cm}^2$  empleando el agregado piedra triturada. En conclusión, el método de madurez influye significativamente en la resistencia del concreto en la ciudad de Huancavelica.

**Palabras clave:** Método de madurez, tipo de curado, temperatura, tipo de agregado grueso, temperatura ambiental.

## ABSTRACT

The objective of the research was to measure the influence of the Maturity Method on the strength of concrete for a  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$  in the city of Huancavelica. General problem formulated: How will the maturity method influence the concrete strength for a  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$  in the city of Huancavelica? The population was formed by 120 specimens of concrete. The experimental method, the observation technique and the observation card were used. As a result, it was obtained that for the type of coarse aggregate crushed stone and boulder cured with water an average temperature of ( $9.95 \text{ }^\circ \text{C}$ ) and ( $10.63 \text{ }^\circ \text{C}$ ), for the type of aggregate coarse crushed stone and pebble cured with additive an average temperature of ( $11.73 \text{ }^\circ \text{C}$ ) and ( $11.17 \text{ }^\circ \text{C}$ ), on the other the predominance was for the type of aggregate coarse stone crushed with an average difference of  $18.55 \text{ kg / cm}^2$  cured with additive and  $18 \text{ kg / cm}^2$  cured with water. Greater resistance was obtained for the type of curing with additive, with an average difference of  $2.19 \text{ kg / cm}^2$  using the aggregate of the pebble and  $2.74 \text{ kg / cm}^2$  using the aggregate crushed stone. In conclusion, the maturity method significantly influences the strength of concrete in the city of Huancavelica.

**Key words:** Maturity method, type of curing, temperature, type of coarse aggregate, environmental temperature.

## INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se abordó sobre la influencia del *método de madurez* en la resistencia del concreto para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica. Se formuló la siguiente interrogante: ¿De qué manera el método de madurez influirá en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica? El objetivo general fue determinar la influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica, y como hipótesis: El método de madurez influye significativamente en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

Para el desarrollo del estudio se revisó distintos trabajos de investigación; dentro de los autores más vinculados con este trabajo fueron: Rodríguez y Sermeño (2009), Manobanda (2013), Medina y Garavito (2014), Corro y Ramos (2015), Céspedes (2003) y Aspilcueta (2015).

La norma ASTM C 1074 es para la estimación estándar de la resistencia del concreto mediante el método de madurez; según NBS, dicha norma se estandarizó en el año 1989, y de ahí para adelante se utilizó para hacer nuevas investigaciones como en las losas de concreto, pavimentos entre otras.

Para poder relacionar la evolución de la resistencia con la temperatura se suele utilizar el concepto de madurez: “Dos hormigones de igual dosificación, pero de distinta edad tienen la misma resistencia si tienen la misma madurez.”

Dicho método utiliza la temperatura del concreto con la finalidad de obtener la madurez y la resistencia de compresión de las probetas de concreto a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, con el objetivo de realizar la curva de madurez la cual es una relación de la resistencia a compresión del concreto y la madurez.

Esta tesis está organizada en cinco capítulos. El Capítulo I abordan el planteamiento del problema, formulación del problema general y específicos, los objetivos de estudio y la justificación del problema. El Capítulo II trata sobre los antecedentes, las bases teóricas, hipótesis, definición de términos, identificación de variables, definición

operativa de variables e indicadores. En el Capítulo III se tomó los ítems del ámbito de estudio, tipo de investigación, metodología de investigación, diseño de investigación, población, muestra, muestreo, técnicas e instrumentos de recolección de datos y por último procedimiento de recolección de datos. El Capítulo IV se ocupa de memoria de cálculo, donde se verá desde la ubicación de las canteras de donde se extrajo los agregados, pasando por las propiedades físicas de dichos agregados como (curvas granulométricas, contenido de humedad peso específico, etc.). También el diseño de mezcla para cada tipo de agregado grueso, los resultados como la temperatura, resistencia a compresión de las probetas para cada edad, desarrollo del método de madurez, etc.

Finalmente, el Capítulo V se centra en el análisis de datos de los resultados detallados en el capítulo anterior, mediante el programa office Excel 2016, con gráficos y tablas detalladas para su mayor comprensión.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, en las obras que se desarrollan en la ciudad de Huancavelica, no se controla la calidad del concreto in situ, dado que utilizan las curvas teóricas o especificaciones para el desencofrado de elementos colocados en obra, los cuales están dados por normativas ASTM y especificaciones ACI, o, en su defecto, por la experiencia adquirida, como por ejemplo, la prueba a compresión, a los siete días puede ayudar a detectar problemas potenciales con la calidad del concreto o con los procedimientos de las pruebas en el laboratorio.

Sin embargo, surge una interrogante: ¿Tendrá el concreto suficiente resistencia cuando se decide ejecutar el desencofrado sin que sufra algún tipo de daño sobre el comportamiento y evolución de dicho concreto? Si nos basáramos en los ensayos que en nuestra ciudad normalmente hacen al concreto, como es el ensayo de la resistencia a compresión para el control de calidad, sería un poco difícil de responder, pero con el método de madurez se puede obtener datos de la evolución de la resistencia del concreto a edades tempranas (horas).

Esta investigación determinó que el método de la madurez del concreto puede utilizarse como herramienta adicional a los métodos convencionales, para el aseguramiento de la calidad y poder cuantificar la evolución de la resistencia del concreto.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera el método de madurez influirá en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera los tipos de agregado grueso influirán en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica?
- b) ¿De qué manera los métodos de curado influirán en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica?
- c) ¿De qué manera la edad influirá en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica?
- d) ¿De qué manera la temperatura influirá en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica?

## **1.3. OBJETIVO**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar la influencia de los tipos de agregado grueso en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

- b) Determinar la influencia de los tipos de curado en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.
- c) Determinar la influencia de la edad en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.
- d) Determinar la influencia de la temperatura en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN

### 1.4.1. Justificación legal

Se considerará a las siguientes:

- NORMA E.060 CONCRETO ARMADO
- ASTM C 31/C 31M – 03A
- NORMAS TÉCNICAS PERUANAS
- ASTM C 1074
- REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA EPG-UNH.

### 1.4.2. Justificación teórica

Según Velez (2009: p. 3,4), determinar la resistencia del concreto basándose en ensayos sobre especímenes cilíndricos no es la mejor representación de la verdadera resistencia de la estructura debido a que:

- Los cilindros pueden ser preparados, transportados y probados inapropiadamente reflejando esto en bajas resistencias.

Y dado que no se conoce la resistencia en el lugar, es necesario esperar para asegurarse que el concreto haya alcanzado la resistencia antes de desencofrar. Es allí donde entra el método de madurez, ya que es una técnica sencilla y no destructiva, por lo que en otros países se está utilizando como herramienta adicional a los métodos de control de calidad.

Ya que dicho método se basa en el historial de las temperaturas de la estructura durante el tiempo de curado. Además, ofrece información sobre la resistencia del concreto en cualquier momento y en tiempo real, permitiendo en muchos casos acelerar el cronograma de construcción y hacer un mejor control de calidad del material.

Que mejor que complementar la investigación con el estudio de la influencia de los tipos de agregado grueso y los tipos de curado en la resistencia mediante el método de madurez, respaldando los resultados con el método destructivo de compresión para obtener la resistencia del concreto, generando así controles de resistencia más eficiente.

Así se da a conocer el método de madurez con sus ventajas y desventajas, ya que en la localidad de Huancavelica no es muy conocido el método, por no contar con antecedentes de aplicación en obras civiles y con el equipo necesario para dicho ensayo, por lo que se implementará un sensor de temperatura con las especificaciones de tiempo, según la norma ASTM C 1074.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes de la presente investigación se ubican en las siguientes esferas.

##### 2.1.1. A nivel internacional

Se tiene las siguientes investigaciones:

- a) Aguilar, Rodríguez y Sermeño (2009), en su trabajo: “Determinación de la Resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio”, de la Universidad de El Salvador, llegan a la siguiente conclusión:

La aplicación del método de madurez en el sistema de viviendas coladas en el sitio se vuelve idónea, ya que no existe otro tipo de ensayo que cuantifique el estado real de la estructura al momento del desmoldado

- b) Manobanda (2013), en su tesis: “El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales”, de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Concluyeron en:

Utilizando el curado por aspersión durante cuatro días obtuvo una resistencia del 98,20 % a los 28 días de edad.

Las probetas que no tuvieron ningún tipo de curado alcanzaron una resistencia del 63,49 % poniendo en evidencia las consecuencias de no curar el hormigón.

c) Medina y Garavito (2014), en “el curado del concreto en la construcción”, Universidad Santo Tomás de Colombia, concluyeron que:

Las diferencias que se presentan varían desde un 16,3 % hasta un máximo de 21,1% en la resistencia final a 28 días. Estos resultados muestran que la exposición a la intemperie sin aplicación de agua ni protección de estos, afecta directamente la resistencia

Las diferencias que se presentan varían desde un 11,61 % hasta un máximo de 22,11 % en la resistencia, entre los cilindros en condiciones de laboratorio sumergidos en piscina y los que no les fue aplicado ningún método de curado, ni tampoco aplicación de agua, más que la proveniente de las lluvias esporádicas

A pesar de que los concretos de 21 Mpa y 28 Mpa, presentan un desarrollo de la resistencia a 28 días cercanos al 100 % de la misma, estos no superan las resistencias inicialmente esperadas, lo cual en obra puede ser peligroso debido a que cualquier error en la dosificación o deficiencia en el curado del concreto, puede facilitar que esta diferencia se incremente y aleje el resultado final de la resistencia inicialmente esperada.

### **2.1.2. A nivel nacional**

A nivel nacional como antecedentes de la presente investigación se tiene:

a) Corro y Ramos (2015), en la investigación denominada “Correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión”, de la Universidad Privada Antenor Orrego, Perú, concluyeron en lo siguiente:

Se obtuvo la ecuación de la curva de calibración índice de madurez vs la resistencia a la compresión del concreto, considerando edades de rotura 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días, para el Cemento Portland tipo Ms:

Con relación a/c de 0,54:  $f'c = 49,885 \ln (IM) - 229,84 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0,61:  $f'c = 41,537 \ln (IM) - 188,57 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0,69:  $f'c = 32,558 \ln (IM) - 145,42 \text{ Kg/ Cm}^2$

Para el Cemento Portland tipo lco:

Con relación a/c de 0,54:  $f'c = 51.149 \ln (IM) - 234,60 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0,61:  $f'c = 43.745 \ln (IM) - 198,73 \text{ Kg/ Cm}^2$

Con relación a/c de 0,69:  $f'c = 34.628 \ln (IM) - 155,92 \text{ Kg/ Cm}^2$

Estas ecuaciones pueden ser utilizadas para determinar su resistencia a compresión del concreto en obra para cada diseño de mezclas planteado.

b) Céspedes (2003), en su trabajo: “Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido”, de la Universidad de Piura, Perú, Concluyó en lo siguiente:

...De igual manera se encuentran mayores o menores valores de resistencia a la compresión del concreto cuando la edad de ensayo de este es mayor o menor; o viceversa.

Los especímenes de concreto elaborados con Piedra triturada como agregado grueso, obtendrán mayores valores de velocidad de ultrasonido que los especímenes de concreto elaborados con Cantos rodados.

- c) Aspilcueta (2015), en “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto, estimada a partir de la utilización del método de madurez”, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú, concluyó lo siguiente:

La principal razón por la cual el método de madurez produce mejores estimaciones, es debido a que esta toma como fundamento que la resistencia a la compresión se debe principalmente al calor generado de las reacciones internas entre el cemento y el agua.

- d) Ruiz (2006), en el trabajo “Influencia de los métodos comunes de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño”, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, llega a la siguiente conclusión:

En el ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral, las mezclas con 0,8; 1,4; 2,0 % de aditivo que fueron curados con una capa de curador tuvieron 97 %, 96 % y 92 % de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), mientras que aquellas que no se realizó curado alguno presentaron 95 %, 93 % y 90 % de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo) hallándose que se obtuvieron resultados similares siendo la diferencia de resistencia de 2 % según el método curado utilizado.

Para el ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral, cuando se utiliza el curador químico la eficiencia de la resistencia disminuye de 3 % a 8 % con respecto a la probeta patrón (curado húmedo). conforme aumenta la dosificación del aditivo de 0,8% a 2 % respectivamente.

### **2.1.3. A nivel local**

Como informe de investigación, aquí en la región Huancavelica no se encontró antecedentes similares al que se desarrolló.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### Resistencia del concreto

Es una de las propiedades del concreto endurecido a una edad determinada donde podría ser a 1, 3, 7, 14 y 28 días de edad, donde los factores importantes que influyen son:

#### 2.2.1. Cemento

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, dichas propiedades son las causantes de la unión de los agregados entre si formando un todo compacto casi o más que la consistencia de una piedra al unirse el cemento, agregado grueso, agregado fino más agua.



**Figura 2.1:** cemento andino tipo I

Los componentes químicos de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento, es el óxido de calcio proveniente de la materia prima, cal, del dióxido de silicio, componente químico que se encuentra en la arcilla junto al óxido de aluminio y el óxido de hierro, y por último el trióxido de azufre químico que se encuentra en el yeso, cuyo aporte es el que regula el fraguado.

Por otro lado, el cemento se vende en bolsas de un pie cúbico que pesa un aproximado de 42,5 kg (ver figura 2,1). Se puede encontrar en sus diferentes presentaciones y marcas, dependiendo la ubicación geográfica en que se encuentre, ya que varía de acuerdo con la ubicación en donde se localice (costa,

sierra o selva) y a los químicos que estarán expuestos dichos concretos. Todas las características se encuentran impresas en sus respectivas bolsas.

Entre los más conocidos están:

- Cemento Tipo I: Es el cemento más conocido y utilizado en las construcciones de concreto y trabajos de albañilería donde no se requieren características especiales.
- Cemento Puzolánico IP: Este tipo de cemento es utilizado en obras que se requieren retención de agua, por lo que resulta una capacidad de adherencia mayor y por ende se añade hasta un 15 % de puzolana, dicho material da un tono rojizo al concreto ya que es obtenida de arcillas calcinadas, de cenizas volcánicas o de ladrillos pulverizados.
- Cemento Tipo II: Este tipo de cemento se utiliza cuando se necesite una moderada resistencia al ataque de los sulfatos, donde recomiendan utilizar en ambientes agresivos. La causa por el que se utiliza dicho cemento, es porque, cuando el concreto entra en contacto con los sulfatos que están presentes en las aguas subterráneas o en los suelos, lo deterioran.
- Cemento Tipo III: Cuando se necesita una rápida resistencia en obra, se recomienda utilizar dicho cemento con la finalidad de adelantar el desencofrado, por otro lado, produce alto calor al fraguar por lo que se aplica también en climas fríos.

- Cemento Tipo IV: Este tipo de cemento se utiliza en grandes obras de concreto, ya que su característica principal es que al fraguar produce bajo calor.
- Cemento Tipo V: Este tipo de cemento se utiliza, cuando el concreto está expuesto a sales, pudiendo ser ambientes con aguas o ambientes salinos.

Los cementos tipo III y IV son fabricados en nuestro país en muy pocas cantidades.

### 2.2.2. El agua



**Figura 2.2:** Agua para el concreto

El agua (ver figura 2,2) es un componente esencial en el concreto ya que permite desarrollar su capacidad ligante del cemento. Por otro lado, para cada cantidad de cemento existe una cantidad de agua que se requiere para la hidratación del concreto durante el tiempo que dure su curado.

El agua debe ser limpia, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. Por lo que se debe tener ciertas consideraciones, siendo estas:

#### Consideraciones

- No debe presentar espuma cuando se agita.

- No debe utilizarse en otra cosa antes de su empleo en la construcción.
- El agua de mar no es apropiada para la preparación del concreto, debido a que las sales que contiene pueden corroer el fierro.

En caso de que se tenga que utilizar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, se debe de hacer cubos de morteros para llevarlos a ensayar a compresión a los 7 y 28 días, donde debe dar como resultado un 90 % aproximadamente de la resistencia a compresión de los morteros que se hayan preparado con agua potable.

### **2.2.3. Los agregados**

Son derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras (minerales) naturales o artificiales, donde dichos fragmentos constituyen el 70 % o hasta el 85 % del peso de la mezcla o concreto, y pueden ser de tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra, la clasificación es la siguiente:

#### **a) Agregados finos**

##### **Las arenas**

La arena es el agregado fino que proviene mayormente de las canteras aluviales o de arenas producidas artificialmente, a causa de la desintegración de las rocas por medio natural y también se puede obtener de manera artificial, donde ésta debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ASTM C33, ya que según la norma debe de cumplir con la calidad, granulometría, módulo de fineza.

➤ **Su clasificación**

<b>ORIGEN</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>USOS</b>
Silíceas: Las que se descomponen de la sílice, muy recomendable para la construcción	Ríos: Originadas por el molido natural del agua generalmente son de grados redondeados	Arena fina: Están entre los 0.25mm y 1mm de diámetro	Arena fina: Enlucidos (tarrajeo)
Calizas: Las que derivan de las piedras calizas, son recomendables las más duras.	Canteras: Molidos por el paso del tiempo y el clima en un lugar específico, siendo necesario lavarlas por contenerlas arcillas	Arena media: Se encuentran entre 1mm y 2.5mm de diámetro	La arena media no se usa en las obras es por eso que no es comercial.
Graníticas: Las que provienen del granito, solo si son bastante cuarzosas se puede recomendar para las obras	Por contener sustancias alcalinas, deben de ser lavadas con agua dulce	Arena gruesa: Entre los tamaños de 2.5mm y 5mm de diámetro	Arena gruesa: Mortero, falso piso, contra piso, concreto armado (losas, vigas, columnas)
Arcillosas: Las que son partículas de arcillas, solo se puede usar si la cantidad de arcillas es inferior al 3 %.	Obtenidas a través de la intervención del hombre, de granos ángulos o rugosos		

**Es importante saber que:**

La forma y tamaño de las arenas influyen sobre la resistencia y calidad del concreto.

Los granos de superficie áspera y que forman ángulos se adhieren mejor y dan más resistencia que los de superficie lisa y formas redondeadas; pero las primeras necesitan más agua.

Para la selección de las arenas se usan distintos tamices:

## b) Agregados gruesos

### Las gravas

Son uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es muy importante para garantizar buenos resultados en las estructuras de concreto, esta normado según la ASTM C33 para su respectiva evaluación de la calidad, granulometría y tamaño.

Por otro lado, son aquellas piedras que por efecto natural han perdido su aspereza o ángulos. Aquellas que a través del tiempo y las condiciones climáticas se han ido desintegrando y perdiendo sus aristas vivas

#### ➤ Su clasificación

PROCEDENCIA	TAMAÑO	USOS
Ríos: Originadas por el movimiento del agua y por el roce de piedras, son en su mayoría redondeada	Gravilla: La más pequeña, se encuentra entre 5 mm y 10mm	Son usadas en las dosificaciones para las columnas, placas, vigas, aligerados

Canteras: Son de origen natural, en un terreno donde abundan en gran cantidad.	Grava fina: Su tamaño esta entre los 10mm y 20mm	Aplicadas de igual manera que las anteriores y también son usadas en veredas. (en algunos casos son usadas en sobre cimientos cuando son muy angostos y según el armado que proponga el ingeniero civil)
	Grava media: Esta entre los 20mm y los 40mm	Son trabajadas en columnas, placas, aligerados y vigas.
	Grava gruesa: Se encuentra entre los 40mm y los 75 mm de tamaño	Suelen usarse en sobre cimientos con armados menos robustos (nos son muy comerciales, pero se pueden hacer pedido a canteras)

**Es importante saber que:**

Las gravas son más económicas que las piedras chancadas, pero no son muy precisas en tamaño como estas.

En los armados conviene que sean más pequeñas para tener mayor consistencia y prevenir los vacíos, pero se necesitaría mayor cantidad elevándose los costos en la obra.

La aplicación de las gravas varía en tamaño según el tipo de concreto que se utilizara.

En las canteras se usan las zarandas fijas y las zarandas móviles para el proceso de selección de las gravas.

### **Las piedras**

Es una sustancia mineral dura y sólida. Son aquellas más grandes que las gravas, que dependiendo de su tamaño son usadas o molidas para obtener gravilla artificial.

La piedra constituye una forma del agregado grueso que interviene en la elaboración del concreto.

#### **➤ Su clasificación**

<b>Procedencia</b>	<b>Forma</b>	<b>usos</b>	<b>Obtención</b>
Ríos: son piedras grandes que no han sido muy trituradas por el agua mayormente están en las orillas de los ríos	Angulares: son mayormente las chancadas en máquinas, posee ángulos muy vivos y afilados, son más adherentes al concreto.	Son usadas en las dosificaciones para las columnas, placas, vigas, aligerados	Piedras grande o base: son las de mayor tamaño encontradas mayormente en las canteras de cielo libre. Mayores de 10"

<p>Canteras: es en la mayoría de los casos donde se extraen comúnmente las piedras.</p>	<p>Sub-angulares: sus caras poseen evidencias de estar ligeramente pulidas.</p>	<p>Aplicadas de igual manera que las anteriores y también son usadas en veredas. (en algunos casos son usadas en sobre cimientos cuando son muy angostos y según el armado que proponga el ingeniero civil)</p>	<p>Piedra media: al igual que las piedras grandes estas también se encuentran en cantera al aire libre. Entre 4" y 6" de diámetro</p>
<p>Artificiales: se logran a través de un proceso de trituración por medio de maquinarias, explosiones y acción del hombre.</p>	<p>Sub-redondeadas: se encuentra casi redondeadas y poseen ángulos pulidos.</p>	<p>Son trabajadas en columnas, placas, aligerados y vigas.</p>	<p>Piedra chancada: obtenido de la trituración artificial de la piedra grande, suele remplazar a la grava.</p>
	<p>Redondeada: se encuentran en mayor cantidad en los ríos, son aquellas que han perdido todos sus ángulos vivos, siendo menos.</p>	<p>Suelen usarse en sobre cimientos con armados menos robustos (nos son muy comerciales, pero se pueden hacer pedido a canteras)</p>	<p>Confitillo: es lo que sobra del proceso de trituración de la piedra chancada. De 1.5cm y 2.5cm</p>

		Se usa en acabados, aunque en la actualidad ya no se usa mucho, ya que son remplazados por cerámicos y porcelanatos.	
--	--	--	--

### Usos en la construcción

#### Piedra chancada o triturada

Es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas, cuyas dimensiones son:

$\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " , 1" , 1  $\frac{1}{4}$ " , 1  $\frac{1}{2}$ " , 2" , 2  $\frac{1}{2}$ " , 3" .



**Figura 2.3:** Piedra triturada de diferentes dimensiones

#### Usos

Se emplean en:

- Estructuras de concreto armado (piedras de  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " , 1" , 1  $\frac{1}{4}$ " , 1  $\frac{1}{2}$ " )
- Estructuras de concreto simple (piedras de 2" , 2  $\frac{1}{2}$ " y 3" ).

Dimensiones mayores las indicadas, se emplean en concreto ciclópeo.

### **Piedra grande o ciclópea**

Se denomina así, al agregado grueso que puede ser de río o de cantera, con un tamaño máximo hasta 10" (25 cm), que se emplea tanto en los cimientos corridos, como en los sobre cimientos, constituyendo el concreto ciclópeo. Estas piedras grandes no deberán usarse, en ningún caso en estructuras de concreto armado.

### **El hormigón**

Es la mezcla natural de la piedra en distintos tamaños, con un máximo de 3" a 6" y de arena gruesa. Contiene además de piedras, el agregado fino (arena gruesa) siendo compuesto por agregado fino y agregado grueso.



*Figura 2.4:* Agregado global o hormigón

### **Su uso**

Se usa para los falsos pisos, los cimientos corridos, sobre cimientos (como complemento de estos), etc.

Solo se usó en los concretos de baja calidad, también se usa para salvar la escases de materiales (arena gruesa y gravillas)

### **Es importante saber que:**

En algunos países, el término de hormigón se emplea para distinguir el material que nosotros conocemos como concreto, es así como en muchos libros, normas y reglamentos denominan al concreto simple como hormigón.

#### **2.2.4. El concreto**

Se denomina concreto a la mezcla de cemento, arena gruesa, piedra y agua, que se endurece conforme avanza la reacción química del agua con el cemento. La cantidad de cada uno de estos materiales dependerán de la resistencia a la que se quiere llegar lo cual se indica en los planos con el  $f'c$ .

Después del vaciado, es necesario garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle su resistencia. Esto sucede principalmente durante los 28 días de edad, por lo cual es muy importante mantenerlo húmedo en ese tiempo. A este proceso se le conoce como curado del concreto.

El concreto tiene dos etapas básicas: cuando está fresco y cuando ya se ha endurecido.

##### **a) Las propiedades principales del concreto en estado fresco**

**Trabajabilidad:** Es el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los procesos de mezclado, transporte, colocación y compactación. La forma más común para medir la "trabajabilidad" es mediante "la prueba del slump". Los instrumentos que se necesitan son una plancha base, un cono y una varilla de metal. Esta prueba consiste en medir la altura de una masa de concreto luego de ser extraída de un molde en forma de cono. Cuanto mayor sea la altura, el concreto será más trabajable. De la misma manera, cuanto menor sea la altura, el concreto estará muy seco y será poco trabajable.

El primer paso para hacer esta prueba consiste en sacar una muestra de concreto de una determinada tanda de la mezcladora. Con esta muestra se llena el cono mediante tres capas y se chucea con la varilla, 25 veces cada una. Inmediatamente después se nivela el cono, se levanta verticalmente y se le coloca al lado del concreto. Por último, se mide la altura entre el cono y el concreto, colocando la varilla horizontalmente sobre el cono.



*Figura 2.5:* Medición del slump

**Segregación:** Ocurre cuando los agregados gruesos, que son más pesados, como la piedra chancada se separan de los demás materiales del concreto. Es importante controlar el exceso de segregación para evitar mezclas de mala calidad. Esto se produce, por ejemplo, cuando se traslada el concreto en buggy por un camino accidentado y de largo recorrido, debido a eso la piedra se segrega, es decir, se asienta en el fondo del buggy.

**Exudación:** Se origina cuando una parte del agua sale a la superficie del concreto. Es importante controlar la exudación para evitar que la superficie se debilite por sobre-concentración de agua. Esto sucede, por ejemplo, cuando se excede el tiempo de vibrado haciendo que en la superficie se acumule una cantidad de agua mayor a la que normalmente debería exudar.

**Contracción:** Produce cambios de volumen en el concreto debido a la pérdida de agua por evaporación, causada por las variaciones de humedad y temperatura del medio ambiente. Es importante controlar la contracción porque puede producir problemas de fisuración. Una medida para reducir este problema es cumplir con el curado del concreto.

**b) Por otro lado, las propiedades del concreto en estado endurecido son**

**Elasticidad:** Es la capacidad de comportarse elásticamente dentro de ciertos límites. Es decir, que una vez deformado puede regresar a su forma original.

**Resistencia:** Es la capacidad del concreto para soportar las cargas que se le apliquen. Para que éste desarrolle la resistencia indicada en los planos, debe prepararse con cemento y agregados de calidad. Además, debe tener un transporte, colocado, vibrado y curado adecuado.

**Prueba de resistencia a la compresión:** Se mide sometiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión de acuerdo con la norma ASTM C39 "Método estándar de prueba de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto". En tanto la resistencia a compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega pascales (MPa) en unidades SI.



**Figura 2.6:** Probeta de concreto 15 cm de diámetro por 30 cm de altura

Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa para concretos residenciales hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 170 MPa a más.



**Figura 2.7:** Colocación de la probeta de concreto en la máquina para su respectiva rotura a compresión

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga generalmente los cilindros, se cabecean con mortero azufre según la norma ASTM C 617 o con almohadillas según la norma ASTM C 1231. El cabeceo de azufre se debe de aplicar como mínimo dos horas antes y preferiblemente un día antes de la prueba.



*Figura 2.8:* Imagen de la rotura a compresión de la probeta de concreto

Hay muchos tipos de concreto, generalmente se usan las siguientes:

#### **2.2.4.1. Concreto ciclópeo**

Es una forma de concreto masivo en donde se colocan piedras de entre 15 y 30 cm de diámetro, y encima de éstas se vierte concreto. Este tipo de concreto se usa en los cimientos y en los sobre cimientos.

#### **2.2.4.2. Concreto simple**

Es una mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua el cual no contiene ningún tipo de elemento de refuerzo cuyas características son una buena resistencia a compresión, durabilidad resistencia al fuego y moldeabilidad, y se utilizan en la construcción de aceras, autopistas, etc.

### **2.2.4.3. Concreto armado**

El concreto armado, es el concreto en el que el acero se incrusta de tal manera que los dos materiales actúan juntos en fuerzas de resistencia. Las varillas de refuerzo de acero, barras o malla, absorben la tracción, cizalladura, ya veces los esfuerzos de compresión en una estructura concreta. El concreto en masa no resiste fácilmente los esfuerzos de tracción o fuerzas causado por el viento, terremotos, vibraciones y otras fuerzas y es por lo tanto inadecuado en la mayoría de las aplicaciones estructurales. En cambio, el concreto armado, posee una increíble resistencia a del acero y la resistencia del hormigón trabajan en conjunto para permitir que el elemento tenga la resistencia necesaria para sostener estas fuerzas inusuales sobre períodos considerables.

#### **Consideraciones**

Es recomendable utilizar una mezcladora que garantice la completa unión de todos los componentes. El mezclado a mano con lampa no asegura una buena calidad.

Igualmente, es importante compactar el concreto fresco, con una vibradora. Si no se tiene este equipo, habrá que hacerlo mediante un vigoroso chuzado\*, utilizando una varilla de fierro y golpeando el encofrado con un martillo.

Finalmente, es importante recalcar, que para que el concreto desarrolle una resistencia adecuada, se requiere mojarlo constantemente por lo menos durante los 7 primeros días.



*Figura 2.9:* Preparación del concreto para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

### 2.2.5. Curado

Actualmente a nivel internacional y nacional se han aceptado distintos métodos para este curado (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC, 1994) (Asociación de Ingeniería Sísmica, 2010) (Sika Colombia S.A,2009), los cuales se incluyen en el título C del Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes o NSR10, dentro de dichas recomendaciones se aceptan dos métodos que buscan mantener la humedad en el concreto, estos son:

#### a) Curado con aplicación continua de agua

##### ➤ Inmersión del elemento de concreto en agua.

Este método consiste en la inmersión de elementos de concreto en agua, controlando la temperatura de la misma, para evitar daños en el material.



**Figura 2.10:** Probetas de concreto sumergido en agua para su curado

➤ **Aspersión o rociado de niebla**

Este método consiste en la aplicación de agua, mediante aspersión, utilizando boquillas especiales o rociadores de gota fina, o la utilización de rociado de niebla directamente al concreto. En este método se debe evitar la aplicación de agua mediante chorros, los cuales generan erosión en el material.

➤ **Costales, mantas de algodón y alfombras**

El uso de materiales de este tipo se complementa con la aplicación periódica de agua, estos absorben agua y la mantienen en la superficie de concreto, deben ser instalados tan pronto se tenga una dureza superficial aceptable, que evite daños en el acabado final del concreto, como precaución no se deben usar este tipo de materiales que contengan residuos con sustancias.

➤ **Curado con tierra**

En este método se utiliza tierra sobre las estructuras de concreto recién elaboradas, la cual se riega periódicamente con agua para retener la humedad, como precaución en este método es necesario revisar que la tierra usada no contenga partículas con tamaños mayores a 25 mm y que no contengan materias orgánicas que reaccionen con el concreto.

➤ **Arena o aserrín**

En este método se usa arena o aserrín, el cual se humedece constantemente para mantener condiciones de humedad óptimas sobre la superficie de concreto, se debe evitar el uso de estos materiales con cantidades excesivas de ácido tánico, el cual reacciona con el concreto afectando el acabado final.

➤ **Paja o heno**

Se usa de forma similar a los dos anteriores, con la diferencia que se aplican capas de un espesor mínimo de 150 mm y complementado con el uso de elementos protectores del viento o la acción del fuego, la desventaja es la posibilidad de decoloración en el concreto generando defectos en el acabado final de la superficie.



**Figura 2.11:** Curado de probetas de concreto con agua

b) Curado a través de la utilización de diferentes materiales selladores sobre la superficie de concreto como líquidos curadores o el uso de protección con materiales impermeables.

➤ **Películas plásticas**

Este método consiste en el uso de películas de polietileno de mínimo 0.10 mm de espesor, de peso ligero, en diferentes presentaciones comerciales como

láminas transparentes, blancas o negras, las cuales se instalan sobre el concreto recién elaborado sobre la superficie húmeda, tan pronto se tenga una dureza superficial adecuada que impida daños en la misma. Con este método se genera hermeticidad en el elemento, sin embargo, se pueden presentar diferentes coloraciones y texturas en diferentes zonas del elemento de concreto, los cuales son causados por acumulaciones de agua.

➤ **Papel impermeable**

La aplicación de este método es parecida al anteriormente mencionado, en este se usa un material que debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C171, consistente en dos hojas de papel kraft, unidas por medio de material bituminoso e impermeabilizado con fibras.

➤ **Compuestos líquidos para formar membranas de curado**

Este método requiere el cumplimiento de la norma ASTM C309, donde los líquidos de curado deben ser aplicados sobre el concreto en el momento que desaparezca el agua libre sobre la superficie y antes que el producto químico pueda ser absorbido por el concreto, lo cual hace que su aplicación sea exigente y cuidadosa, la aplicación de estos líquidos generan una película protectora en el concreto que ayuda en el curado del material (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC, 1994) (Asociación de Ingeniería Sísmica, 2010) (Sika Colombia S.A, 2009).



**Figura 2.12:** Curado de las probetas de concreto con aditivo

El aditivo utilizado fue **Sika® Cem Curador** es un compuesto de curado que al ser pulverizado sobre el concreto fresco se adhiere a la superficie de éste (concreto), formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de la mezcla y el secado prematuro del concreto por efectos del sol y/o viento.

#### **Modo de empleo**

Sika® Cem Curador se aplica sobre la superficie del concreto fresco, una vez que este haya adquirido una tonalidad opaca superficialmente, es decir, en cuanto haya evaporado el exceso de agua de mezcla, tiempo que puede estar entre media hora y tres horas después de finalizada su colocación, dependiendo del viento y la temperatura ambiente.

Se debe agitar el contenido de los envases antes de su aplicación. Es recomendable el uso de pulverizadores (fumigadores) para su uso y rendimiento óptimo, más Sika® Cem Curador puede ser aplicado con brocha o rodillo.

## USOS

Sika® Cem Curador es indicado para todo tipo de concreto expuesto a la intemperie, tales como:

- techos
- losas o pisos
- vigas y/o columnas
- veredas
- rampas de acceso
- canales de riego
- carreteras
- puentes
- construcciones en general de concreto.

### 2.2.6. Método de madurez

El método de la madurez es una técnica que considera los efectos combinados del tiempo y temperatura en el desarrollo de la resistencia, es posible estimar el desarrollo de resistencia midiendo la temperatura del concreto durante el periodo de curado a diferentes temperaturas, por medio del índice de madurez.

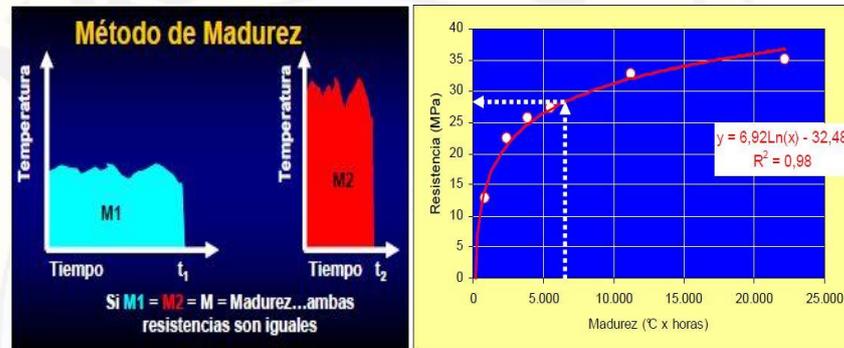
#### Figura 2.13.

La ganancia de resistencia del concreto es más rápida a temperaturas altas en edades tempranas, a temperaturas más bajas, la ganancia de resistencia es más lenta, en cambio una temperatura muy baja, generalmente en el rango de  $-12\text{ °C}$  a  $-10\text{ °C}$ , la hidratación del cemento cesa y por consiguiente la ganancia de resistencia también. La temperatura exacta a la cual la ganancia de resistencia cesa depende de cada mezcla, de su composición y de las propiedades químicas del material cementante.

#### 2.2.6.1. Definición de madurez

La definición de madurez del concreto es amplia y no se limita solo al desarrollo de resistencia, ya que dentro del concepto de madurez son varias las

propiedades de la mezcla que se pueden desarrollar y estudiar a través del tiempo, para este caso en particular la propiedad en estudio será el desarrollo de la resistencia mecánica.



**Figura 2.13:** Evaluación de la Madurez del concreto bajo dos distintas temperaturas de curado

### 2.2.6.2. Reseña histórica y antecedentes del método de madurez

Los orígenes del método se remontan a trabajos en concreto curado a vapor, en Inglaterra a finales de los años 40 y comienzos de los 50.

Como resultado de los esfuerzos para la transferencia de tecnologías por la administración federal de la carretera (FHA por sus siglas en inglés), existió en Estados Unidos un interés renovado por el método.

El 2 de marzo de 1973, el segmento de un edificio de varios pisos en construcción, en el condado de Fairfax, sufrió un derrumbamiento progresivo, por el percance murieron catorce obreros y 34 resultaron heridos. La oficina nacional de los estándares (NBS por sus siglas en inglés) fue pedida por la administración ocupacional de la seguridad y sanidad (OSHA por sus siglas en inglés) para determinar la causa técnica del derrumbamiento.

El informe de la NBS concluyó que la causa más probable del percance fue el retiro prematuro del encofrado, dando lugar a esfuerzos que excedieron la capacidad del concreto relativamente joven [Carino y otros 1983a].

A la hora del percance, el concreto de la losa del piso donde se cree que se inició la falla tenía solo cuatro días de edad. Durante ese período, la temperatura media registrada en un aeropuerto próximo era de alrededor de 7°C, los investigadores de NBS encontraron dificultad al usar datos publicados relativos al desarrollo de resistencia, obtenidos bajo condiciones de temperatura constante para realizar una estimación confiable de la resistencia del concreto en el sitio a la hora de la falla. Esto generó interés en un concepto, relativamente nuevo, conocido como el método de la madurez.

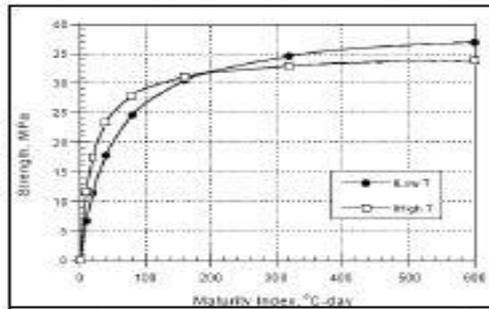
El historial de temperatura es utilizado para calcular un valor llamado índice de madurez, para cada mezcla de concreto la relación entre la resistencia y el índice de madurez se establece de antemano, y se utiliza en campo para estimar la resistencia en el sitio en base a la madurez que presenta.

En un estudio posterior bajo condiciones simuladas de campo la NBS, investigó la aplicabilidad del método de la madurez [Carino y otros 1983b], por medio de tres diversas mezclas de concreto, utilizadas para fabricar losas que contenían moldes cilíndricos push-out (ASTM C 873). Además de los cilindros del push-out fueron moldeados otros cilindros y almacenados en un cuarto de curado húmedo, y las losas fueron curadas al aire libre. El objetivo era determinar si la relación resistencia-madurez del concreto de los cilindros del push-out curados en campo era igual que para los cilindros compañeros curados en laboratorio.

Los resultados de este estudio fueron reveladores: En una mezcla había concordancia para la misma madurez entre las resistencias de especímenes curados en campo y los curados en laboratorio.

Para las otras dos mezclas había diferencias significativas, el análisis del historial de temperatura de todos los especímenes reveló que, para esas dos mezclas, los especímenes curados al aire libre experimentaron diversas temperaturas a edad temprana comparada con los especímenes curados en laboratorio.

Para valores iguales de índice de madurez los especímenes con temperaturas más altas a edad temprana dieron lugar a resistencias iniciales más altas y baja resistencia a largo plazo, Este comportamiento se le conoce como efecto –Crossoverll. Ilustrado en la **figura 2.17**.



**Figura 2.14:** Efecto crossover en dos mezclas de concreto a diferentes Temperaturas a edades tempranas, durante el desarrollo de la relación resistencia – madurez (Tomado de National Institute of Standards and Technology)

El 27 de abril de 1978, hubo un percance considerable en la construcción de una torre de enfriamiento en la isla del sauce, W.V (Figura 2.15a y 2.15b). El accidente produjo la muerte de 51 trabajadores que estaban en el sistema de andamio anclado al cascarón parcialmente terminado.



**Figura 2.15:** Colapso de una torre debido a la aplicación de cargas a edades tempranas, en la imagen (a) se observa una torre similar a la del colapso y en la (b) imagen del resultado del colapso (Tomado de IPRF-01-G-002-03-6).

La NBS fue pedido otra vez para asistir al OSHA en la determinación de la causa técnica de la falla. Los investigadores concluyeron que la causa más probable

del derrumbamiento era la poca resistencia del concreto para soportar las cargas aplicadas durante la construcción [Lew 1980]. En el momento del percance el concreto fundido en el interior del cascarón tenía un día de edad, y había sido expuesto a una temperatura ambiente de menos de 10 °C en promedio.

Este percance convenció a los investigadores de NBS que había una necesidad urgente de estándares para el cálculo de la resistencia del concreto en el sitio durante la construcción.

Por lo tanto, el personal de la NBS comenzó un estudio profundo del método de la madurez con el objetivo de obtener una profunda comprensión de las causas del efecto de —crossoverll y desarrollar procedimientos alternativos para eliminar el problema [Carino 1981; Carino y Lew 1983; Carino 1982; Carino 1984].

La investigación de NBS propuso las bases para el desarrollo del primer estándar en el mundo en el uso del método de la madurez (ASTM C 1074).

A mediados de finales de los años 90's, la administración federal de carreteras emprendió esfuerzos para publicar los resultados, frutos del programa de investigación estratégico en carreteras (SHRP por sus siglas en ingles). Y como no existían nuevas investigaciones del método de madurez, el proyecto C-204 de SHRP lo recomendó como tecnología existente para estimar la evolución de resistencia en estructuras de carreteras en el sitio.

### **2.2.6.3. Fundamentos teóricos del método de madurez**

El método de madurez se basa en el historial de temperatura del concreto para la estimación del desarrollo de resistencia, siempre y cuando exista humedad disponible para la hidratación del cemento durante el tiempo de curado, utilizando ese historial de temperatura se calcula el índice de madurez.

Es importante mencionar que para cada mezcla de concreto la relación entre la resistencia y el índice de madurez es establecida de antemano (calibración

de la mezcla). La relación y las mediciones del índice de madurez en campo son usadas para determinar la resistencia en el sitio.

#### a) Teoría de Nurse-Saúl

Los orígenes del método de la madurez se remontan a una serie de documentos en Inglaterra, donde se utilizaban métodos de curado acelerado [McIntosh, 1949; Nurse, 1949; Saúl, 1951].

Existiendo la necesidad de un procedimiento que explicara los efectos combinados del tiempo y temperatura sobre el desarrollo de resistencia bajo temperaturas de curado elevado.

Fue así que se propuso que el producto del tiempo y temperatura se podría utilizar para ese fin. Estas ideas condujeron a la famosa función de madurez de Nurse-Saúl.

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t$$

**Ecuación 2.1**

Donde:

M: Índice de madurez, en °C-horas ó °C-días

T: Temperatura promedio del concreto, en °C, durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

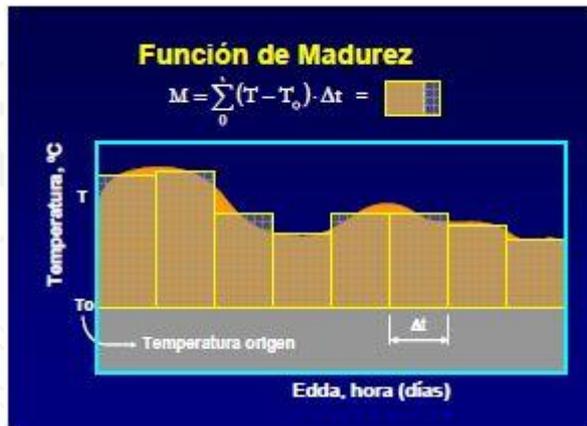
To: Datum de temperatura

t: Tiempo transcurrido

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo (días u horas)

El índice calculado por la **ecuación 2.1** fue llamado madurez, sin embargo, la terminología actual es el factor temperatura-tiempo según ASTM C 1074.

La figura 2.16 muestra un historial esquemático de la temperatura y del factor temperatura-tiempo según la **ecuación 2.3**.



**Figura. 2.16:** Área bajo la curva, equivale a la madurez del concreto en un tiempo t, limitada por la temperatura del concreto y el datum de temperatura (Tomado de National Institute of Standards and technology).

El factor temperatura-tiempo en una cierta edad iguala el área bajo la curva entre la temperatura y el datum, definiendo este último como la temperatura bajo la cual el concreto deja de ganar resistencia. Es por eso que en el gráfico de la figura 2.16 se toma el área bajo la curva limitada por la temperatura y el Datum ( $T_o$ ), que depende del tipo de cemento y de cómo es la ganancia de resistencia con respecto al tiempo.

Saúl en 1951 presentó el principio siguiente que se ha conocido como la regla de la madurez: “El concreto de la misma mezcla con la misma madurez (medido en temperatura-tiempo) tendrá aproximadamente la misma resistencia, y cualquier combinación de temperatura y tiempo dará como resultado esa madurez”.

La ecuación 2.1 se fundamenta en el principio de que el índice inicial de desarrollo de resistencia (durante el periodo acceleratory<sup>2</sup>) es una función lineal de temperatura [Carino 1984, 1991].

Tiempo después de la introducción de la ecuación 2.3 fue observado que esta aproximación lineal no pudo ser válida cuando las temperaturas de curado varían sobre una amplia gama. Consecuentemente, otros investigadores

propusieron una serie de alternativas a la función de Nurse -Saúl [Malhora, 1971; Carino, 1991].

Sin embargo, ninguna de las alternativas recibió aceptación, y la función de Nurse – Saúl fue utilizada por todo el mundo hasta que una función mejorada fue propuesta a finales de los 70.

### b) Teoría de Arrhenius

En 1977, Freiesleben Hansen y Pedersen propusieron una nueva función para calcular un índice de madurez a partir del historial de temperatura del concreto. Esta función fue basada en la ecuación de Arrhenius [Brown y LeMay, 1988] la cual se utiliza para describir el efecto de la temperatura en el índice de una reacción química. La nueva función permitió el cálculo de la edad equivalente del concreto como sigue:

$$t_e = \sum_0^t -\frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \Delta t$$

**Ecuación 2.2**

**Donde:**

te: Edad equivalente a la temperatura de referencia

E: Energía de activación equivalente, J/mol

R: Constante universal del gas, (8.314 J/mol-K)

T: Temperatura absoluta promedio del concreto durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$  en grados Kelvin

Tr: Temperatura absoluta de referencia

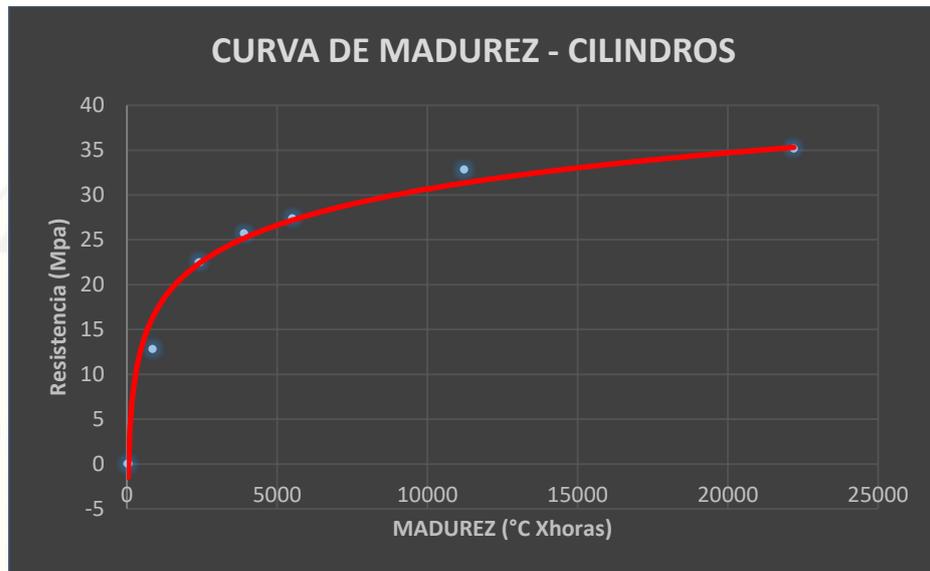
Usando la **ecuación 2.2**, la edad real del concreto se convierte en su edad equivalente, en términos de ganancia de resistencia a la temperatura de referencia. En Europa, la temperatura de referencia se toma generalmente a 20°C, mientras que en Estados Unidos se toma de 23 °C.

### 2.2.7. Normativa estándar para la determinación de la madurez

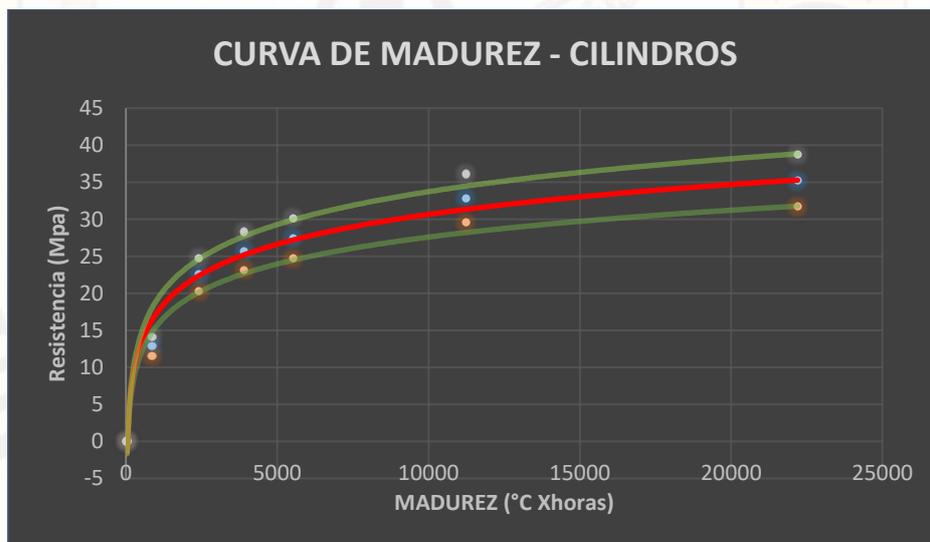
Como ya se mencionó anteriormente la relación de madurez ha sido conocida desde mediados de los años cincuenta, pero no se usó mucho fuera del laboratorio ya que no se contaba con un equipo de fácil manejo.

En 1987, gracias a los aportes de la NBS la Sociedad Americana para ensayos y materiales (ASTM por sus siglas en inglés), por primera vez aprobó la norma C 1074 que estandarizó el procedimiento para desarrollar relaciones de resistencia-madurez.

Los pasos más sobresalientes que plantea la normativa, consisten en desarrollar primero un diseño de mezcla que se planea utilizar en la estructura (pavimento o losa). Luego, colar y curar 17 cilindros en el laboratorio usando esta mezcla, con sensores empotrados en el centro de dos de estos cilindros. Cabe mencionar que varios proveedores fabrican sensores que proporcionan lecturas de temperaturas a través de tiempo, o proporcionan directamente el TTF o valores de edad equivalente. A varias edades (1, 3, 7, 14, y 28 días), se toma un valor de madurez de los cilindros con sensores, y dos cilindros se ensayan a compresión (más uno extra en caso de algún resultado dudoso), y así contar con valores de resistencia a compresión para la respectiva madurez. Llamándosele a este proceso calibración de la mezcla, **figura 2.17**. Ahora tenemos una relación entre índice de madurez - edad equivalente o el factor de temperatura-tiempo y la resistencia del concreto. Si se conoce el índice de madurez de este concreto en cualquier momento, entonces se sabrá su resistencia y así poder validar la curva obtenida, por medio de resultados de resistencia de cilindros curados en condiciones diferentes a las que estuvieron los cilindros ensayados para obtener la curva de calibración, **Figura 2.18**.



**Figura 2.17:** Curva de calibración de la mezcla la cual se determina en la primera fase para la determinación de la resistencia por el método de la madurez



**Figura 2.18:** Para que un resultado de resistencia a la compresión sea válido este debe estar dentro del  $\pm 10\%$  de la resistencia obtenida por el método

Además, se proporciona un procedimiento para obtener el datum de temperatura o la energía de activación, que según el método utilizado será requerido. El procedimiento para determinar el datum de temperatura o la energía de activación se basa en los fundamentos discutidos previamente en la sección 2.3.3 fundamentos teóricos del método de la madurez; procedimientos alternativos

se pueden desarrollar para obtener valores de razón constante para la determinación de la energía de activación, considerando tres condiciones de temperatura de curado.

La aproximación más simple es utilizar un software de análisis estadístico que permita ajustar los mínimos cuadrados de la ecuación 2.6, o si el usuario no tiene esta capacidad, un acercamiento alternativo es determinar los tiempos de fraguado a tres temperaturas de curado constante usando el método de la resistencia a la penetración (ASTM C 403) para obtener el valor de Q.

### **2.2.8. Equipos para medición de madurez**

A diferencia de la época en que surgió el método, cuando no existía un equipo portátil para la medición de madurez, hoy en día existe variabilidad de equipos de medición, ya sea si estos trabajan bajo la ecuación de Arrhenius o Nurse- Saúl.

Los equipos de medición de madurez han evolucionado desde sistemas manuales simples, sistemas electrónicos complejos hasta microelectrónicos avanzados, existiendo actualmente una variedad de equipos, que proporcionan a la vez variabilidad en el grado de exactitud, automatización, seguridad, e integridad de los datos. Estos equipos se dividen en dos generaciones distintas, la distinción entre los equipos de la primera y segunda generación es la discrepancia en el registro de datos y la tecnología de almacenaje.

Más específicamente, la distinción difiere en la localización de donde se registran y se almacenan los datos. Todos los equipos de primera generación almacenan los datos externamente a la estructura que se está supervisando, en cambio los equipos de segunda generación almacenan todos los datos de temperatura y/o madurez dentro del concreto mismo, esto protege los datos y al equipo de peligros externos.

En general un equipo de madurez consiste en las siguientes partes (Figura 2.1).

Sensores de temperatura	
Almacenador electrónico de datos	
Un sistema de cálculo	Software interno del almacenador: Command Center
El operador	

Figura 2.1: Componentes de un equipo de madurez

a) Primera generación de equipos de medición de madurez

La primera generación de equipos de madurez se agrupa en las tres categorías siguientes.

- Método manual (Figura 2.19)
- Colector de datos externo (Figura 2.19)
- Mecanismo de cálculo externo de madurez (Figura 2.19)

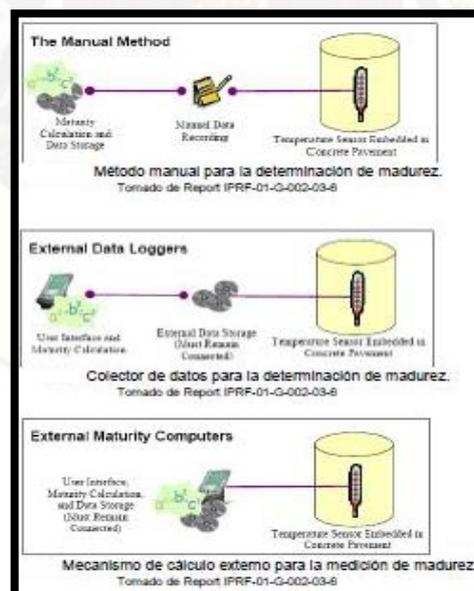


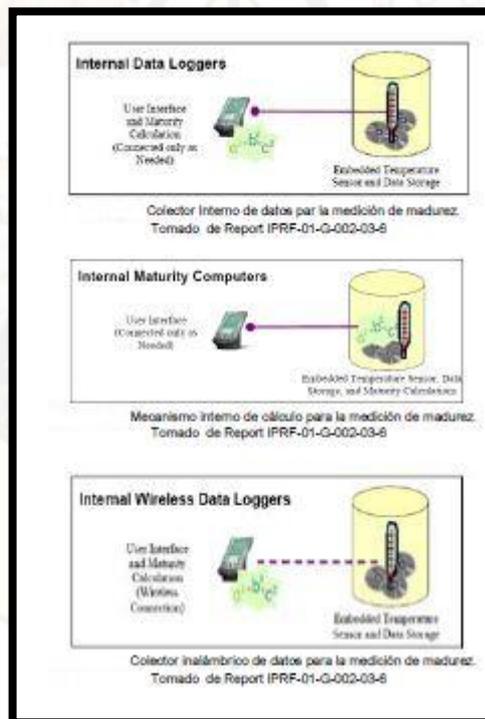
Figura 2.19: Equipo de primera generación

## b) Segunda generación equipos de medición de madurez

Los equipos de madurez de segunda generación representan un cambio importante en la tecnología para determinar la madurez del concreto. La distinción principal con los equipos de primera generación difiere en su confianza sobre la tecnología de registros de datos integrados.

Esta tecnología permite a los equipos de segunda generación proporcionar en campo en cualquier momento lecturas reales de madurez sin la necesidad de dispositivos externos colocados permanentemente. Los equipos de segunda generación de madurez se pueden agrupar en las tres categorías siguientes:

- Colector interno de datos (Figura 2.20)
- Mecanismo interno de cálculo de madurez (Figura 2.20)
- Colector de datos internos de manera inalámbrica (Figura 2.20)



**Figura 2.20:** Equipos de segunda generación

### **2.2.8.1. Beneficios y aplicaciones del método de madurez.**

El principal beneficio de usar este método es que proporciona un medio no Destructivo relativamente rápido para supervisar continuamente la resistencia del Concreto mejorando así notablemente el nivel de confiabilidad en la verificación del cumplimiento de especificaciones técnicas del concreto, optimizando los tiempos y tecnificando los sistemas de aseguramiento y control de calidad en obra.

Los beneficios y aplicaciones típicas del método de madurez se resumen a continuación:

- Se estima que el tiempo de construcción para proyectos de autopistas podría reducirse en más del 50 %.
- Requiere un menor número de especímenes (vigas o cilindros) para los ensayos, reduciendo así los costos de control de calidad y tiempo en la preparación.
- Permite monitorear permanentemente y tomar acciones correctivas en forma oportuna en los efectos del clima frío sobre la ganancia de resistencia del concreto. Así mismo detener rápidamente los sistemas de calentamiento.
- Los cables de pos tensado pueden ser tensados más pronto, acelerando el flujo de trabajo.
- Predecir con alto grado de exactitud el momento en el cual el concreto lanzado en las paredes del túnel adquiriría la resistencia requerida, así como para determinar las condiciones mecánicas del concreto.
- Los encofrados en proyectos de puentes o edificios pueden retirarse más rápido, agilizando la construcción y disminuyendo costos de arrendamiento y horas hombre.

## 2.3. HIPÓTESIS

### 2.3.1. Hipótesis general

El método de madurez influye significativamente en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

### 2.3.2. Hipótesis específicas

- a) Los tipos de agregado grueso influyen significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.
- b) Los tipos de curado influyen significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de madurez para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.
- c) La edad influye significativamente en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.
- d) La temperatura influye significativamente en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

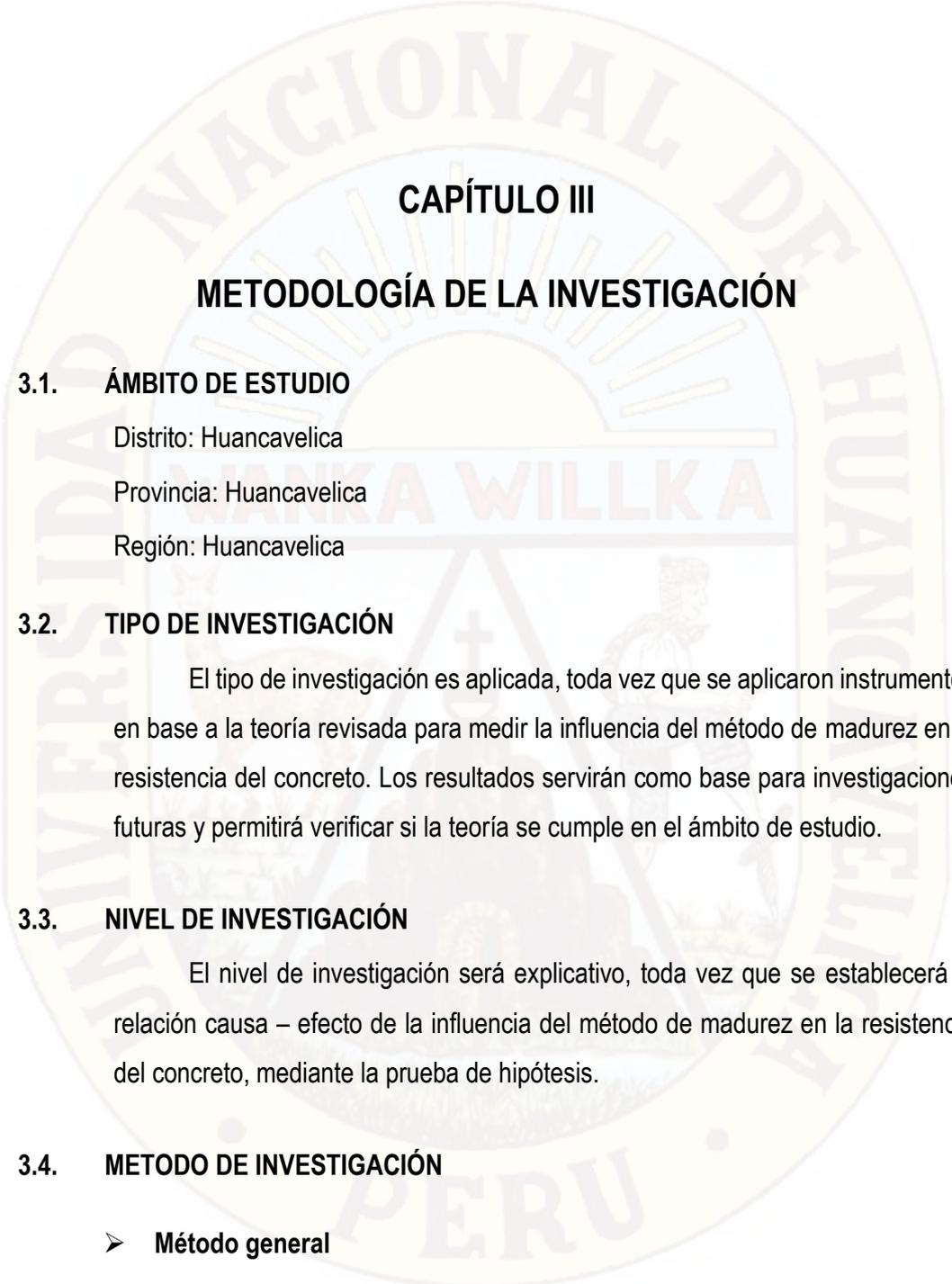
## 2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

### Variable dependiente

**Resistencia del concreto:** Es la característica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar a compresión y flexión una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo.

### Variable independiente

**Método de madurez:** 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.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO**

Distrito: Huancavelica

Provincia: Huancavelica

Región: Huancavelica

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es aplicada, toda vez que se aplicaron instrumentos en base a la teoría revisada para medir la influencia del método de madurez en la resistencia del concreto. Los resultados servirán como base para investigaciones futuras y permitirá verificar si la teoría se cumple en el ámbito de estudio.

#### **3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación será explicativo, toda vez que se establecerá la relación causa – efecto de la influencia del método de madurez en la resistencia del concreto, mediante la prueba de hipótesis.

#### **3.4. METODO DE INVESTIGACIÓN**

➤ **Método general**

En la siguiente investigación se utilizó el Método experimental. En la actualidad, según Quezada (2010: p. 33), la observación de fenómenos, que en un primer momento es sensorial. Con el pensamiento abstracto se elaboran las hipótesis y se diseñan el experimento con el fin de reproducir el objeto de estudio, controlando el fenómeno para probar la validez de la hipótesis.

### 3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

➤ Experimental:

GE: O<sub>1</sub> X O<sub>2</sub>

Donde:

G.E. Grupo experimental

O<sub>1</sub> pre test

O<sub>2</sub> post test

X manipulación de la variable independiente

### 3.6. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

#### 3.6.1. La población

SENSOR		NO					SI	TOTAL
a/c								
F°C		210						(PROBETAS)
dias		1	3	7	14	28	T.COMPLETO	
temperatura								
OBRA(piedra chancada)	ROSEADO	3	3	3	3	3	2	17
	SELLADORA	3	3	3	3	3	2	17
OBRA (canto rodado)	ROSEADO	3	3	3	3	3	2	17
	SELLADORA	3	3	3	3	3	2	17
LABORATORIO(p.ch y c.r)		6	6	6	6	6	4	34
								120

Se utilizaron 120 probetas como se muestra en la tabla con las respectivas variables.

#### 3.6.2. Muestra

SENSOR		NO					SI	TOTAL
a/c								
F°C		210						(PROBETAS)
dias		1	3	7	14	28	T.COMPLETO	
temperatura								
OBRA(piedra chancada)	ROSEADO	3	3	3	3	3	2	17
	SELLADORA	3	3	3	3	3	2	17
OBRA (canto rodado)	ROSEADO	3	3	3	3	3	2	17
	SELLADORA	3	3	3	3	3	2	17
LABORATORIO(p.ch y c.r)		6	6	6	6	6	4	34
								120

Se utilizaron 120 probetas como se muestra en la tabla con las respectivas variables

#### 3.6.3. Muestreo

Muestreo censal, es decir el tamaño de la población es igual a la muestra.

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

- a) **Técnica:** La técnica empleada en la presente investigación fue la observación.
- b) **Instrumento:** El instrumento utilizado en la presente investigación fue la Ficha de observación directa.

### 3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Se realizaron coordinaciones con el director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para que se nos brinde facilidades para el uso de laboratorio.
- Coordinación con el técnico del laboratorio para la ejecución el proyecto de investigación
- Aplicación del instrumento de recojo de datos

### 3.9. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Dentro de las técnicas de procesamiento y análisis de datos se utilizó el programa Excel 2.013 y software de los sensores, para calcular los siguientes estadígrafos:

- El coeficiente de correlación, regresión, gráficos, tablas, etc. Se desarrollaron en el programa Excel.
- Relación de la temperatura –tiempo – madurez se desarrollarán en el software de los sensores.

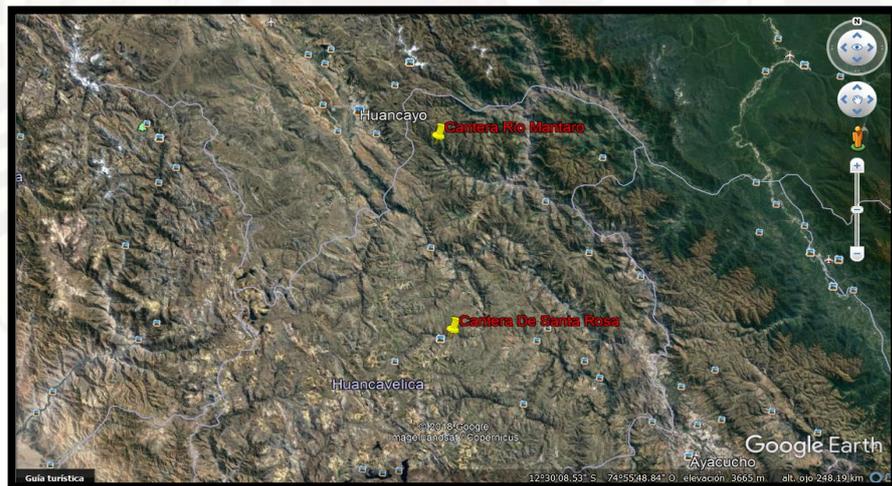
## CAPÍTULO IV

### MEMORIA DE CÁLCULO

#### 4.1. UBICACIÓN DE LAS CANTERAS

Se realizó el muestreo de los agregados con la finalidad de ser utilizado en el proyecto, de acuerdo con la norma **ASTM D 75 MUESTREO DE AGREGADOS**. Se llenaron en costales para su respectivo transporte hacia el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil – Huancavelica. Donde se obtuvo la información de la procedencia de los agregados:

- Agregado llamado confitillo (agregado fino más canto rodado) de la cantera de Santa Rosa
- Agregado fino y piedra triturada de la cantera del río Mantaro



**Figura 4.1:** Gráfico de la ubicación de las canteras de los agregados utilizados

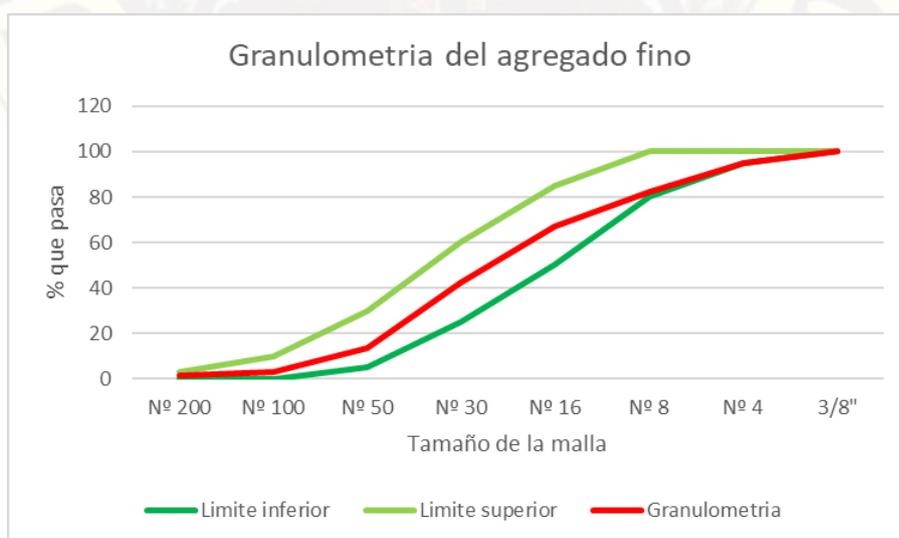
## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

### 4.2.1. Granulometría del agregado fino, grueso y global

Se realizó el ensayo de granulometría en base a la norma **ASTM C 136**, los resultados obtenidos son los que se muestran en la tabla 4.1, 4.2 y 4.3, donde se puede notar que están en los rangos establecidos mediante norma, según se muestran en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente.

**Tabla 4.1:** Resultado de la granulometría del agregado fino

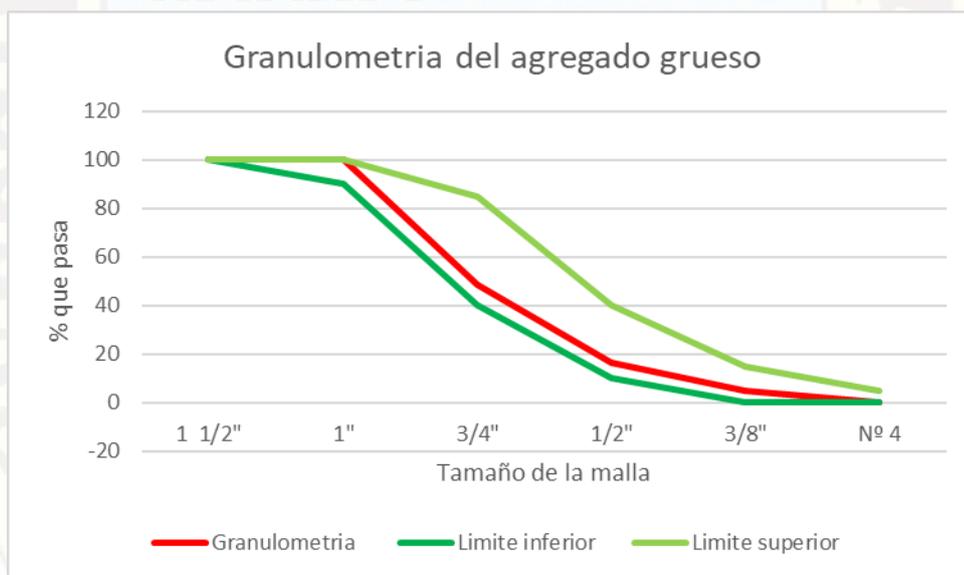
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN LA NORMA ASTM C 136					
Malla	Peso retenido(gr)	Peso comp.	% retenido		% que pasa
			parcial	acumulado	
3/8"	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	240,90	240,90	4,95	4,95	95,05
Nº 8	618,30	618,30	12,71	17,66	82,34
Nº 16	743,50	743,50	15,28	32,95	67,05
Nº 30	1195,90	1195,90	24,58	57,53	42,47
Nº 50	1423,20	1423,20	29,26	86,79	13,21
Nº 100	488,60	488,60	10,04	96,83	3,17
Nº 200	89,00	89,00	1,83	98,66	1,34
Cazuela	65,10	65,10	1,34	100,00	0,00



**Figura 4.1:** Gráfico de la curva granulométrica del agregado fino

**Tabla 4.2:** Resultado de la granulometría del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN LA NORMA ASTM C 136					
Malla	Peso retenido(gr)	peso comp.	% retenido		% que pasa
			parcial	acumulado	
1 1/2"	0	0	0	0	100
1"	0	0	0	0	100
3/4"	2283,70	2283,70	50,75	50,75	49,25
1/2"	1423,50	1423,50	31,63	82,38	17,62
3/8"	506,80	506,80	11,26	93,64	6,36
Nº 4	206,20	206,20	4,58	98,22	1,78
cazuela	80	80	1,78	100	0E+00

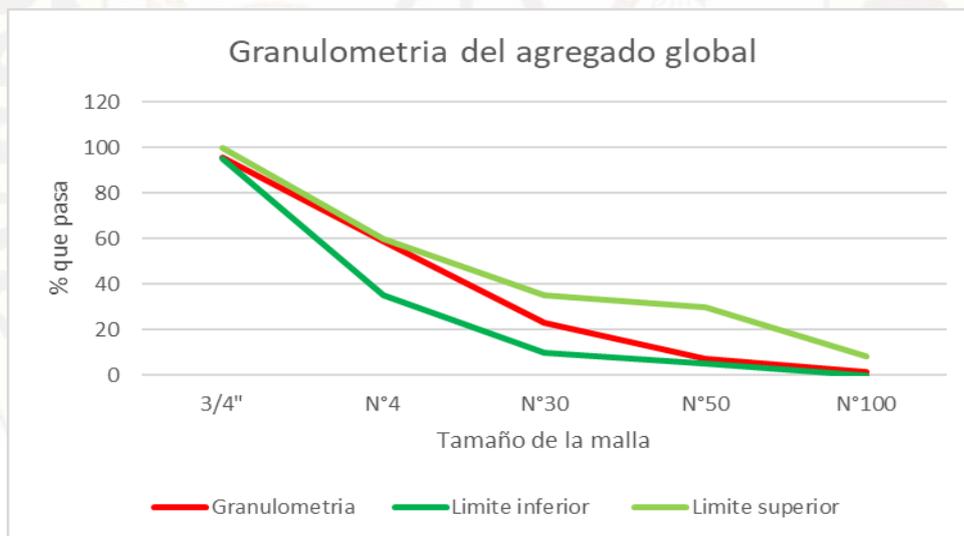


**Figura 4.2:** Gráfico de la curva granulométrica del agregado grueso (piedra triturada)

**Tabla 4.3:** Resultado de la granulometría del agregado global (agregado fino más canto rodado)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN LA NORMA ASTM C 136					
Malla	Peso retenido(gr)	Peso comp.	% retenido		% que pasa
			parcial	acumulado	
3"	0	0	0	0	100
2 1/2"	0	0	0	0	100

2"	0	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	0	100
1"	0	0	0	0	100
3/4"	306,8	306,8	4,40	4,40	95,60
1/2"	918,4	918,4	13,16	17,55	82,45
3/8"	628,3	628,3	9,00	26,56	73,44
N°4	1014,9	1014,9	14,54	41,10	58,90
N°8	659,6	659,6	9,45	50,55	49,45
N°16	755,3	755,3	10,82	61,37	38,63
N°30	1089,8	1089,8	15,61	76,98	23,02
N°50	1094	1094	15,67	92,65	7,35
N°100	430	430	6,16	98,82	1,18
Fondo	82,7	82,7	1,1848477	100	0



**Figura 4.3:** Gráfico de la curva granulométrica del agregado global (agregado fino más canto rodado)

#### 4.2.2. Gravedad específica y absorción de agregado fino, grueso y global

Los siguientes ensayos se desarrollaron en base a la norma **ASTM C 127**, para cada tipo de agregado (grueso, fino y global), donde se pueden mostrar los resultados obtenidos en las siguientes tablas:

**Tabla 4.4:** Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado grueso (piedra triturada)

Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127	
(Masa + tara) sss (g)	3650
Tara sss (g)	650
Masa sss (g)	3000
(Masa + canastilla) sumergida (g)	2650,3
Canastilla sumergida (g)	824
Masa sumergida (g)	1826,3
(Masa + tara) seca (g)	3535,4
Tara seca (g)	617,8
Masa seca (g)	2917,6
Gravedad específica	2,49
Gravedad específica sss	2,82
% de absorción	2,56

**Tabla 4.5:** Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado fino

Gravedad específica y absorción de agregado fino ASTM C 128	
P.fiola+ agua (gr)	659,48
P. fiola + agua + muestra (gr)	906,38
P.fiola (gr)	160,85
Tara (gr)	79,62
Masa + tara (gr)	470,5

masa seca (gr)	390,88
Grav especifica (sss)	2,59
Grav especifica seca	2,53
% Absorción	2,33

**Tabla 4.6:** Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado global (canto rodado)

Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127	
(Masa + Tara) sss (g)	3650
Tara sss (g)	650
Masa sss (g)	3000
(Masa + canastilla) sumergida (g)	2604,4
Canastilla sumergida (g)	824,4
Masa sumergida (g)	1780
(Masa + tara) seca (g)	3138
Tara seca (g)	276,5
Masa seca (g)	2861,5
Gravedad específica	2,35
Gravedad específica sss	2,46
% de absorción	4,84

**Tabla 4.7:** Resultado de la gravedad específica y absorción del agregado global (agregado fino)

Gravedad específica y absorción de agregado fino ASTM C 128	
P.fiola+ agua (gr)	659,48
P. fiola + agua + muestra (gr)	963,4
P.fiola (gr)	160,85
Tara (gr)	79,68
Masa + tara (gr)	564,02

masa seca (gr)	484,34
Grav especifica (sss)	2,53
Grav especifica seca	2,45
% Absorción	3,23

#### 4.2.3. Peso volumétrico de agregado grueso, fino y global

Los ensayos se desarrollaron en base a la norma **ASTM C 29**, donde se muestran los resultados obtenidos en las siguientes tablas para cada tipo de agregado:

**Tabla 4.8:** Resultado del peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso (piedra triturada)

Peso volumétrico suelto y varillado de grava ASTM C-29						
Ensayo	Peso volumétrico varillado			Peso volumétrico suelto		
	1	2	3	1	2	3
Masa del recipiente(kg)	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05
vol. del recip.(m3)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Masa recip + muestra(Kg)	18,28	18,26	18,30	17,47	17,4	17,43
masa de muestra(Kg)	8,23	8,21	8,25	7,42	7,35	7,38
peso vol. (Kg/m3)	1553,20	1549,42	1556,97	1400,33	1387,12	1392,78
Promedio (Kg/m3)	1553,20			1393,41		

**Tabla 4.9:** Resultado del peso volumétrico suelto del agregado fino

Peso volumétrico suelto agregado fino ASTM C-29			
Ensayo	Peso volumétrico suelto		
	1	2	3
Masa del recipiente(kg)	10,05	10,05	10,05
vol. del recip.(m3)	0,01	0,01	0,01
Masa recip + muestra(Kg)	18,80	18,82	18,83
masa de muestra(Kg)	8,75	8,77	8,78
peso vol. (Kg/m3)	1651,33	1655,11	1656,99
Promedio (Kg/m3)	1654,48		

**Tabla 4.10:** Resultado del peso volumétrico suelto y varillado del agregado global

Peso volumétrico suelto y varillado de agregado global ASTM C-29						
Ensayo	Peso volumétrico varillado			Peso volumétrico suelto		
	1	2	3	1	2	3
Masa del recipiente(kg)	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05
vol. del recip.(m3)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Masa recip + muestra(Kg)	19,63	19,59	19,59	18,42	18,46	18,49
masa de muestra(Kg)	9,58	9,54	9,54	8,37	8,41	8,44
peso vol. (Kg/m3)	1807,97	1800,42	1800,42	1579,62	1587,17	1592,83
Promedio (Kg/m3)	1802,94			1586,54		

#### 4.3. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se hizo para cada tipo de agregado mediante el método ACI donde:

- Piedra triturada + agregado fino: se desarrolló mediante el método ACI con ayuda de tablas que nos proporciona dicho método.
- Agregado global (canto rodado + agregado fino): se desarrolló mediante el método de ACI con las especificaciones siguientes:

**Tabla 4.11:** Proporción en % de la composición del agregado global

	Peso (%)
Agregado fino	58,9
Agregado grueso	41,1

Tomando los pesos en % de la tabla 4.11, con el objetivo de obtener el peso específico del agregado global.

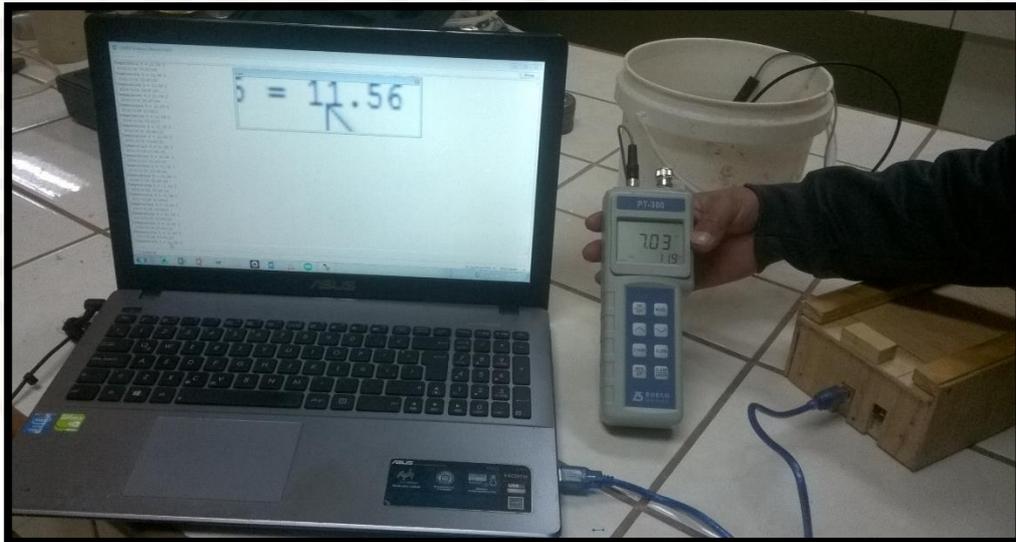
De esta forma se llegó hasta los resultados que se detallan a continuación en la tabla 4.11, que detalla el proporcionamiento en kilos de los diseños (piedra triturada + agregado fino) y (canto rodado + agregado fino).

**Tabla 4.12:** Resultado de la proporción de cada diseño de mezcla

PROPORCION POR PESO ACI		
A/C	0,684	
CEMENTO	1	1
A. FINO	2,716	5,92
A. GRUESO	3,19	
AGUA	0,619	0,46

#### 4.4. REGISTRO DE TEMPERATURA

El registro de temperatura se realizó con sensores especiales para poder registrar dichas temperaturas con un error de un  $\pm 0,5$  °C. Para la obtención de las temperaturas tanto en obra como en laboratorio se desarrolló un prototipo con Arduino, para el software y hardware implementados con sensores se tomaron temperaturas cada 1 minuto durante los 28 días de edad.



**Figura 4.4:** Comparación de temperaturas entre el prototipo y PT 380 equipo para medir la temperatura del concreto en estado fresco

De la **figura 4.4** se puede observar el prototipo desarrollado tanto como el software y hardware en Arduino, para la obtención de temperatura del concreto tanto en laboratorio y en obra con la finalidad de calcular la madurez, en base al tipo de agregado grueso curados con agua y aditivo durante los 28 días que dura el curado del concreto. El registro

de temperatura se dio a un tiempo para cada 1 minuto, con la finalidad de ser más objetivos en el resultado dado que el método de madurez está en función de la temperatura del concreto.

De la **figura 4.4** podemos observar que el prototipo arroja una temperatura de 11,56°C mientras que el equipo PT300 arroja una temperatura de 11,9°C con una diferencia de 0,3 °C aproximadamente. Por lo tanto, dándonos más confianza en los resultados.

De acuerdo con el prototipo diseñado se obtuvieron las temperaturas y se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.13:** Registro de temperatura (media diaria) para 28 días para cada tipo de agregado grueso y tipo de curado en obra y laboratorio

Edad (Dias)	Temperatura - cr (°C)	Temperatura - pt (°C)	Temperatura - cr -a (°C)	Temperatura - pt -a (°C)	Temperatura - a (°C)	Temperatura - pt-L (°C)	Temperatura - cr-L (°C)
1	14,08	12,97	14,61	13,41	11,51	15,23	15,34
2	9,42	9,57	10,22	10,44	8,91	19,23	17,76
3	8,97	9,80	11,08	12,93	9,67	24,93	23,04
4	9,02	9,67	10,61	11,10	9,38	25,63	24,11
5	11,42	12,07	13,43	14,18	11,04	26,15	24,63
6	10,50	11,77	10,95	12,07	10,85	26,35	24,89
7	9,41	9,57	9,90	9,85	8,98	26,56	25,07
8	9,00	9,12	9,44	9,47	8,06	26,73	25,24
9	9,32	9,66	9,82	10,11	9,57	26,66	25,18
10	10,89	12,19	11,40	12,37	11,19	26,66	25,12
11	11,45	12,23	12,60	13,47	10,74	26,76	25,25
12	11,01	12,20	13,42	14,35	11,29	27,29	25,82
13	9,53	10,01	11,09	11,42	9,12	27,43	26,04
14	8,94	9,50	10,49	10,97	9,56	25,44	24,24
15	8,59	9,41	10,60	11,18	9,46	26,94	25,47
16	10,54	12,06	12,65	13,78	11,21	27,36	25,90
17	13,07	14,53	15,62	16,64	11,73	27,74	26,18
18	9,97	10,57	11,43	11,90	8,84	27,84	26,30

19	8,31	8,54	8,85	8,98	7,90	27,72	26,14
20	9,03	10,01	9,98	10,78	9,15	27,68	26,11
21	10,30	11,37	11,64	12,46	9,90	27,63	26,06
22	7,94	8,35	8,53	8,69	7,92	27,49	25,98
23	9,39	10,01	10,17	10,79	8,87	27,56	26,06
24	9,10	10,06	10,21	10,81	9,58	27,65	26,15
25	8,57	9,05	9,37	9,85	8,31	27,62	26,13
26	9,18	10,01	10,14	10,66	9,45	27,60	26,11
27	10,40	11,26	11,79	12,38	10,21	27,59	26,11
28	11,29	12,13	12,66	13,41	11,35	27,54	26,08
promedio	9.95	10.63	11.17	11.73	9.87	26.32	24.88

**NOTA**

**cr y pt:** Canto rodado y piedra triturada curado con agua en obra

**cr-a y pt-a:** Canto rodado y piedra triturada curado con aditivo en obra

**a:** Ambiente // **cr-L y pt-L:** Canto rodado y piedra triturada curado en laboratorio

**4.5. RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE COMPRESIÓN (LABORATORIO)**

Se desarrolló la rotura a compresión de probetas en base a la norma **ASTM C 39**, para los cilindros curados en laboratorio con agregado grueso (canto rodado y piedra triturada). Las probetas fueron inundadas en agua a una temperatura de 22 °C para su curado, los resultados se detallan en las tablas siguientes:

**Tabla 4.14:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en laboratorio

AGREGADO GRUESO Canto rodado (LABORATORIO)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Dias)	kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	14/02/2018	15	30	176,7	1	6017,13	34,05
2	14/02/2018	15	30	176,7		6425,31	36,36

3	14/02/2018	15	30	176,7		6833,49	38,67
4	17/02/2018	15	30	176,7	3	14535,59	82,26
5	17/02/2018	15	30	176,7		14943,77	84,57
6	17/02/2018	15	30	176,7		15351,95	86,88
7	20/02/2018	15	30	176,7	7	21941,43	124,17
8	20/02/2018	15	30	176,7		22349,61	126,48
9	20/02/2018	15	30	176,7		22757,78	128,79
10	27/02/2018	15	30	176,7	14	27874,76	157,75
11	27/02/2018	15	30	176,7		28282,94	160,06
12	27/02/2018	15	30	176,7		28691,12	162,37
13	13/03/2018	15	30	176,7	28	33084,05	187,23
14	13/03/2018	15	30	176,7		33492,22	189,54
15	13/03/2018	15	30	176,7		33900,40	191,85

**Tabla 4.15:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en laboratorio

AGREGADO GRUESO piedra triturada (LABORATORIO)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Dias)	Kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	9/02/2018	15	30	176,7	1	6441,47	36,45
2	9/02/2018	15	30	176,7		6849,65	38,76
3	9/02/2018	15	30	176,7		7257,83	41,07
4	11/02/2018	15	30	176,7	3	15764,08	89,21
5	11/02/2018	15	30	176,7		16172,26	91,52
6	11/02/2018	15	30	176,7		16580,43	93,83
7	15/02/2018	15	30	176,7	7	25566,72	144,69
8	15/02/2018	15	30	176,7		25974,90	147,00
9	15/02/2018	15	30	176,7		26383,08	149,31
10	22/02/2018	15	30	176,7	14	32957,83	186,52
11	22/02/2018	15	30	176,7		33366,01	188,83

12	22/02/2018	15	30	176,7		33774,19	191,14
13	8/03/2018	15	30	176,7	28	40439,81	228,86
14	8/03/2018	15	30	176,7		40847,99	231,17
15	8/03/2018	15	30	176,7		41256,17	233,48

#### 4.6. MADUREZ Y RESISTENCIA EN LABORATORIO

Se obtuvo la madurez, según la norma **ASTM C 1074**, para cada tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada) curado en laboratorio. Donde se inundó en agua los especímenes durante los 28 días de edad a una temperatura de 22 °C.

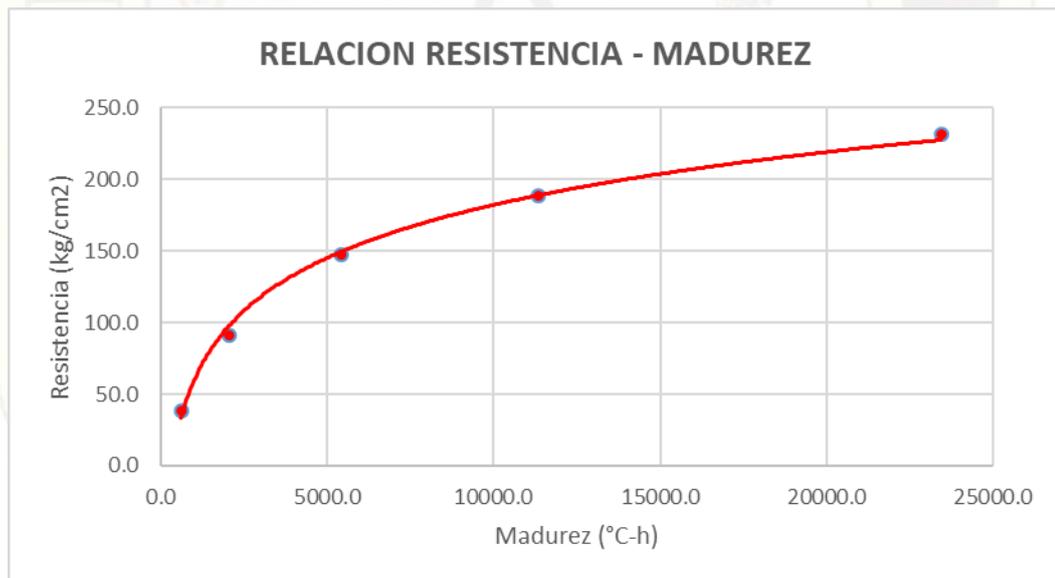
Por otro lado, también podemos observar en las tablas las resistencias promedio que se obtuvo para cada edad 1, 3, 7, 14 y 28 días, para cada tipo de agregado grueso.

**Tabla 4.16:** Resultado de la madurez y resistencia a compresión de las probetas curadas en laboratorio (piedra triturada) como agregado grueso

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA (LABORATORIO)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm <sup>2</sup>
24	24	15,4	25,4	370,13	370,13	38,76
72	48	21,9	31,9	1052,02	1355,18	91,52
168	96	26,2	36,2	2512,10	3724,58	147,00
336	168	26,7	36,7	4487,72	7970,67	188,83
672	336	27,6	37,6	9257,69	16721,81	231,17

**Tabla 4.17:** Resultado de la madurez y resistencia a compresión de las probetas curadas en laboratorio (canto rodado) como agregado grueso

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO CANTO RODADO(LABORATORIO)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm2
24	24	15,2	25,2	364,85	364,85	27,55
72	48	20,5	30,5	985,05	1349,90	84,57
168	96	24,7	34,7	2369,40	3719,30	126,48
336	168	25,3	35,3	4246,09	7965,40	160,06
672	336	26,0	36,0	8751,13	16716,53	189,54



**Figura 4.5:** Curva de madurez de la variable agregado grueso (P. triturada)

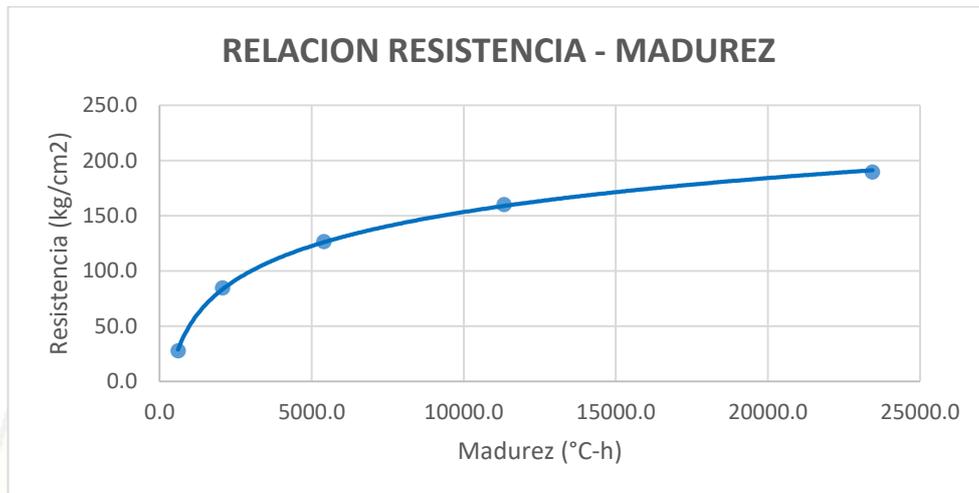
De la **figura 4.5**, se obtuvo la siguiente ecuación en términos de la resistencia y madurez, la cual es de la siguiente manera:

$$f'c = 53,237 * \ln(M) - 308,2 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

$M = \text{madurez del concreto } (^\circ\text{C} - h)$

$f'c = \text{resistencia del concreto a compresion a cualquier edad } (\text{kg}/\text{cm}^2)$



**Figura 4.6:** Curva de madurez de la variable agregado grueso (C. rodado)

De la **figura 4.6**, se obtuvo la siguiente ecuación en términos de la resistencia y madurez, la cual es de la siguiente manera:

$$f'c = 44,412 * \ln(M) - 255,7 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

$M = \text{madurez del concreto } (^\circ\text{C} - h)$

$f'c = \text{resistencia del concreto a compresion a cualquier edad } (kg/cm^2)$

La finalidad de las **ecuaciones 4.1 y 4.2** es la de calcular la resistencia en obra en base a la madurez para el tipo de agregado Canto rodado y Piedra triturada en la ciudad de Huancavelica. Dado que una vez obtenida la temperatura interna del concreto se puede hallar la madurez y mediante la ecuación obtener así la resistencia del concreto a edades tempranas y monitorearlas durante los 28 días que dura el curado para poder desencofrar las estructuras que se estén llevando a cabo.

#### 4.7. RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ

De las **ecuaciones 4.1 y 4.2**, se obtuvieron las resistencias mediante el método de madurez, en función de la temperatura ambiente y temperatura interna del concreto, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curadas con (aditivo y agua) en obra. Los resultados se detallan en las tablas desde la 4.17 hasta 4.22 para las edades de

1, 3, 7, 14 y 28 días. Por otro lado, la tabla 4.23 muestra los datos de la resistencia obtenida mediante el método de madurez para cada uno de los 28 días de edad que demora el curado.

**Tabla 4.18:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra y con agua

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO CANTO RODADO CURADO CON AGUA (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm <sup>2</sup>
24	24	14,1	24,1	577,98	577,98	26,74
72	48	9,2	19,2	921,59	1499,57	69,08
168	96	10,1	20,1	1928,53	3428,10	105,80
336	168	9,8	19,8	3326,02	6754,12	135,92
672	336	9,8	19,8	6648,87	13402,99	166,36

**Tabla 4.19:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra y con aditivo

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO CANTO RODADO CURADO CON ADITIVO (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm <sup>2</sup>
24	24	14,6	24,6	590,64	590,64	27,70
72	48	10,7	20,7	991,40	1582,04	71,46
168	96	11,2	21,2	2037,61	3619,65	108,22
336	168	11,1	21,1	3539,08	7158,73	138,50
672	336	11,0	21,0	7061,50	14220,22	168,99

**Tabla 4.20:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra y con agua

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURAD CURADO CON AGUA (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm2
24	24	12,2	22,2	531,79	531,79	25,93
72	48	9,7	19,7	945,62	1477,40	80,33
168	96	10,7	20,7	1987,89	3465,30	125,71
336	168	10,6	20,6	3457,64	6922,93	162,55
672	336	10,6	20,6	6910,24	13833,17	199,41

**Tabla 4.21:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra y con aditivo

MADUREZ DEL AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA CURADO CON ADITIVO (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm2
24	24	12,7	22,7	544,07	544,07	27,14
72	48	11,7	21,7	1039,53	1583,60	84,02
168	96	11,7	21,7	2087,68	3671,28	128,79
336	168	11,7	21,7	3647,47	7318,75	165,51
672	336	11,6	21,6	7250,43	14569,18	202,17

**Tabla 4.22:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curadas en obra

MADUREZ DEL AMBIENTE PARA EL AGREGADO CANTO RODADO (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm2
24	24	12,2	22,2	516,23	516,23	21,72
72	48	9,7	19,7	926,08	1442,31	67,35
168	96	10,7	20,7	1925,96	3368,27	105,02
336	168	10,6	20,6	3334,48	6702,75	135,58
672	336	10,6	20,6	6580,93	13283,68	165,96

**Tabla 4.23:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curadas en obra

MADUREZ DEL AMBIENTE PARA EL AGREGADO PIEDRA TRITURADA (OBRA)						
Diferencia a 12:57(horas)	$\Delta t$	T	T+10	Madurez	Suma de Madurez	Resistencia
	(horas)	(°C)	(°C)	(°C*horas)	(°C*horas)	kg/cm2
24	24	12,2	22,2	516,23	516,23	24,35
72	48	9,7	19,7	926,08	1442,31	79,05
168	96	10,7	20,7	1925,96	3368,27	124,20
336	168	10,6	20,6	3334,48	6702,75	160,83
672	336	10,6	20,6	6580,93	13283,68	197,25

**Tabla 4.24:** Resultado de la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente e interna) de las probetas con agregado grueso (piedra triturada y canto rodado), tipo de curado (agua y aditivo) en obra para los 28 días

Edad	Resistenci	Resistenci	Resistencia	Resistenci	Resistenci	Resistenci
Días	a – cr	a - pt	- cr – a	a - pt – a	a - a - cr	a - a – pt
1	26,74	27,86	27,70	28,85	21,72	24,35
2	17,18	19,32	18,97	21,64	16,01	17,50
3	16,15	19,94	20,83	27,75	17,75	19,58
4	16,25	19,59	19,83	23,31	17,09	18,79
5	21,55	25,71	25,52	30,58	20,73	23,16
6	19,60	24,99	20,56	25,71	20,34	22,69
7	17,16	19,31	18,26	20,08	16,18	17,70
8	16,21	18,08	17,24	19,04	13,95	15,04
9	16,96	19,55	18,08	20,78	17,52	19,32
10	20,43	26,00	21,49	26,44	21,05	23,54
11	21,61	26,11	23,91	28,99	20,10	22,40
12	20,67	26,04	25,50	30,95	21,27	23,80
13	17,44	20,50	20,85	24,14	16,49	18,07
14	16,06	19,13	19,57	22,99	17,50	19,28
15	15,24	18,87	19,80	23,51	17,27	19,01
16	19,67	25,68	24,01	29,69	21,09	23,59
17	24,83	31,35	29,50	35,74	22,18	24,89
18	18,43	21,97	21,55	25,31	15,83	17,28
19	14,56	16,44	15,87	17,69	13,56	14,56
20	16,29	20,51	18,44	22,52	16,56	18,16

21	19,16	24,01	21,99	26,64	18,27	20,21
22	13,67	15,90	15,11	16,86	13,61	14,62
23	17,11	20,51	18,87	22,54	15,92	17,39
24	16,45	20,64	18,95	22,59	17,55	19,35
25	15,20	17,89	17,07	20,07	14,56	15,77
26	16,63	20,51	18,79	22,21	17,26	19,00
27	19,37	23,72	22,30	26,47	18,96	21,04
28	21,27	25,87	24,03	28,85	21,38	23,94
promedio	18.28	22	20.88	24.71	17.92	19.79

#### NOTA

**cr y pt:** Canto rodado y piedra triturada curado con agua en obra (temperatura interna)

**cr-a y pt-a:** Canto rodado y piedra triturada curado con aditivo en obra (temperatura interna)

**a-cr y a-pt:** Canto rodado y piedra triturada curado en Laboratorio (temperatura ambiente)

#### 4.8. RESISTENCIA MEDIANTE EL METODO DE COMPRESION (OBRA)

Se desarrolló la rotura a compresión de probetas en base a la norma **ASTM C 39**, para los cilindros con agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curados con (aditivo y agua) en obra. Los resultados se detallan en las tablas siguientes:

**Tabla 4.25:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en obra y con aditivo

AGREGADO GRUESO CANTO RODADO CURADO CON ADITIVO (OBRA)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(días)	kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	9/02/2018	15	30	176,7	1	4495,25	25,44
2	9/02/2018	15	30	176,7		4868,09	27,55

3	9/02/2018	15	30	176,7		5240,92	29,66
4	11/02/2018	15	30	176,7	3	10399,97	58,86
5	11/02/2018	15	30	176,7		10772,81	60,97
6	11/02/2018	15	30	176,7		11145,65	63,08
7	15/02/2018	15	30	176,7	7	16873,08	95,49
8	15/02/2018	15	30	176,7		17245,92	97,60
9	15/02/2018	15	30	176,7		17618,76	99,71
10	22/02/2018	15	30	176,7	14	22044,50	124,76
11	22/02/2018	15	30	176,7		22417,34	126,87
12	22/02/2018	15	30	176,7		22790,18	128,98
13	8/03/2018	15	30	176,7	28	26541,10	150,20
14	8/03/2018	15	30	176,7		26913,93	152,31
15	8/03/2018	15	30	176,7		27286,77	154,42

**Tabla 4.26:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (canto rodado) curado en obra y con agua

AGREGADO GRUESO CANTO RODADO CURADO CON AGUA (OBRA)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(dias)	kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	9/02/2018	15	30	176,7	1	4271,85	24,18
2	9/02/2018	15	30	176,7		4644,69	26,29
3	9/02/2018	15	30	176,7		5017,52	28,40
4	11/02/2018	15	30	176,7	3	11845,63	67,04
5	11/02/2018	15	30	176,7		12199,03	69,04
6	11/02/2018	15	30	176,7		12552,43	71,04
7	15/02/2018	15	30	176,7	7	19021,33	107,65
8	15/02/2018	15	30	176,7		19374,73	109,65
9	15/02/2018	15	30	176,7		19728,13	111,65
10	22/02/2018	15	30	176,7	14	24205,38	136,99
11	22/02/2018	15	30	176,7		24594,12	139,19
12	22/02/2018	15	30	176,7		24982,86	141,39

13	8/03/2018	15	30	176,7	28	29865,58	169,02
14	8/03/2018	15	30	176,7		30238,42	171,13
15	8/03/2018	15	30	176,7		30611,26	173,24

**Tabla 4.27:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en obra y con aditivo

AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA CURADO CON ADITIVO (OBRA)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(dias)	kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	9/02/2018	15	30	176,7	1	6476,81	36,65
2	9/02/2018	15	30	176,7		6849,65	38,76
3	9/02/2018	15	30	176,7		7222,49	40,87
4	11/02/2018	15	30	176,7	3	13120,31	74,25
5	11/02/2018	15	30	176,7		13493,15	76,36
6	11/02/2018	15	30	176,7		13865,99	78,47
7	15/02/2018	15	30	176,7	7	19103,79	108,11
8	15/02/2018	15	30	176,7		19492,53	110,31
9	15/02/2018	15	30	176,7		19881,27	112,51
10	22/02/2018	15	30	176,7	14	25771,70	145,85
11	22/02/2018	15	30	176,7		26160,44	148,05
12	22/02/2018	15	30	176,7		26549,18	150,25
13	8/03/2018	15	30	176,7	28	31895,41	180,51
14	8/03/2018	15	30	176,7		32268,25	182,62
15	8/03/2018	15	30	176,7		32641,08	184,73

**Tabla 4.28:** Resultado de la resistencia a compresión de las probetas con agregado grueso (piedra triturada) curado en obra y con agua

AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA CURADA CON AGUA (OBRA)							
N°	FECHA DE ROTURA	DIAM	ALTURA	AREA	EDAD	CARGA MAX	ESFUERZO
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(dias)	kg	kg/cm <sup>2</sup>
1	9/02/2018	15	30	176,7	1	6688,01	37,85
2	9/02/2018	15	30	176,7		7060,85	39,96
3	9/02/2018	15	30	176,7		7433,68	42,07
4	11/02/2018	15	30	176,7	3	13393,36	75,80
5	11/02/2018	15	30	176,7		13766,19	77,91
6	11/02/2018	15	30	176,7		14139,03	80,02
7	15/02/2018	15	30	176,7	7	21331,90	120,72
8	15/02/2018	15	30	176,7		21720,64	122,92
9	15/02/2018	15	30	176,7		22109,38	125,12
10	22/02/2018	15	30	176,7	14	27426,67	155,22
11	22/02/2018	15	30	176,7		27815,41	157,42
12	22/02/2018	15	30	176,7		28204,15	159,62
13	8/03/2018	15	30	176,7	28	34155,61	193,30
14	8/03/2018	15	30	176,7		34528,44	195,41
15	8/03/2018	15	30	176,7		34901,28	197,52

#### 4.9. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ

Se muestran la diferencia de la resistencia obtenida mediante el método de madurez para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curado con (aditivo y agua), donde dicha diferencia se puede mostrar en las tablas desde la 28 al 31.

**Tabla 4.29:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con aditivo

Edad(días)	Madurez	Madurez	Diferencia	
	C. rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	27,70	27,14	-0,56	-0,27
3	71,46	84,02	12,56	5,98
7	108,22	128,79	20,57	9,79
14	138,50	165,51	27,01	12,86
28	168,99	202,17	33,18	15,80
		Promedio	18,55	8,83

**Tabla 4.30:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con agua

Edad(días)	Madurez	Madurez	Diferencia	
	C.Rodado - Agua (kg/cm <sup>2</sup> )	P. Triturada - Agua (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	26,74	25,93	-0,81	-0,39
3	69,08	80,33	11,24	5,35
7	105,80	125,71	19,91	9,48
14	135,92	162,55	26,63	12,68
28	166,36	199,41	33,05	15,74
		Promedio	18,00	8,57

**Tabla 4.31:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso canto rodado, curados con aditivo y agua

Edad(días)	Madurez	Madurez	Diferencia	
	C.rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	C.rodado - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	27,70	26,74	0,96	0,46
3	71,46	69,08	2,38	1,13
7	108,22	105,80	2,41	1,15
14	138,50	135,92	2,58	1,23
28	168,99	166,36	2,63	1,25
		Promedio	2,19	1,04

**Tabla 4.32:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso piedra triturada, curados con aditivo y agua

Edad(días)	Madurez	Madurez	Diferencia	
	P.triturada - aditivo (kg/cm2)	P.triturada - agua (kg/cm2)	kg/cm2	%
1	27,14	25,93	1,22	0,58
3	84,02	80,33	3,70	1,76
7	128,79	125,71	3,07	1,46
14	165,51	162,55	2,96	1,41
28	202,17	199,41	2,76	1,31
		Promedio	2,74	1,31

#### 4.10. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se muestran la diferencia de la resistencia obtenida mediante el método a la compresión, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curado con (aditivo y agua), donde dicha diferencia se puede mostrar en las tablas desde la 32 al 35.

**Tabla 4.33:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con aditivo

Edad (días)	Compresión	Compresión	Diferencia	
	C. rodado - aditivo (kg/cm2)	P. triturada - aditivo (kg/cm2)	kg/cm2	%
1	27,55	38,76	11,21	5,34
3	60,97	76,36	15,40	7,33
7	97,60	110,31	12,71	6,05
14	126,87	148,05	21,18	10,09
28	152,31	182,62	30,30	14,43
		Promedio	18,16	8,65

**Tabla 4.34:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso y curados con agua

Edad (días)	Compresión	Compresión	Diferencia	
	C. rodado - agua (kg/cm2)	P. triturada - agua (kg/cm2)	kg/cm2	%
1	26,29	39,96	13,67	6,51
3	69,04	77,91	8,87	4,22
7	109,65	122,92	13,28	6,32
14	139,19	157,42	18,23	8,68
28	171,13	195,41	24,28	11,56
		Promedio	15,67	7,46

**Tabla 4.35:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso canto rodado, curados con aditivo y agua

Edad (días)	Compresión	Compresión	Diferencia	
	C. rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	27,55	26,29	-1,26	-0,60
3	60,97	69,04	8,07	3,84
7	97,60	109,65	12,05	5,74
14	126,87	139,19	12,32	5,87
28	152,31	171,13	18,82	8,96
		Promedio	10,00	4,76

**Tabla 4.36:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base al tipo de agregado grueso piedra triturada, curados con aditivo y agua

Edad (días)	Compresión	Compresión	Diferencia	
	P. triturada - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	38,76	39,96	1,20	0,57
3	76,36	77,91	1,55	0,74
7	110,31	122,92	12,61	6,00
14	148,05	157,42	9,37	4,46
28	182,62	195,41	12,79	6,09
		Promedio	7,50	3,57

#### 4.11. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ

Se muestran la diferencia de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente interna del concreto, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curado con (aditivo y agua), donde dicha diferencia se puede mostrar en las tablas desde la 36 al 39.

**Tabla 4.37:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso canto rodado, curado con aditivo

Edad (días)	Método de madurez		diferencia	
	T. interna	T. ambiente		
	C. rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	27,70	21,72	5,98	2,85
3	71,46	67,35	4,11	1,96
7	108,22	105,02	3,20	1,52
14	138,50	135,58	2,92	1,39
28	168,99	165,96	3,03	1,44
		Promedio	3,84650826	1,83

**Tabla 4.38:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso canto rodado, curado con agua

Edad (días)	Método de madurez		Diferencia	
	T. interna	T. ambiente		
	C. rodado - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1,00	26,74	21,72	5,02	2,39
3,00	69,08	67,35	1,73	0,82
7,00	105,80	105,02	0,78	0,37
14,00	135,92	135,58	0,34	0,16
28,00	166,36	165,96	0,40	0,19
		Promedio	1,65	0,79

**Tabla 4.39:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso piedra triturada, curado con aditivo

Edad (días)	Metodo de madurez		Diferencia	
	T. interna	T. ambiente		
	P. triturada - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	P. trirurada (kg/cm <sup>2</sup> )	kg/cm <sup>2</sup>	%
1	27,14	24,35	2,80	1,33
3	84,02	79,05	4,98	2,37
7	128,79	124,20	4,59	2,18
14	165,51	160,83	4,68	2,23
28	202,17	197,25	4,92	2,34
		Promedio	4,39	2,09

**Tabla 4.40:** Comparación de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente e interna, para el tipo de agregado grueso Piedra triturada, curado con agua

Edad (días)	Método de madurez		diferencia	
	T. interna	T.ambiente	kg/cm2	%
	P. triturada - agua (kg/cm2)	P. triturada (kg/cm2)		
1	25,93	24,35	1,58	0,75
3	80,33	79,05	1,28	0,61
7	125,71	124,20	1,51	0,72
14	162,55	160,83	1,72	0,82
28	199,41	197,25	2,16	1,03
		Promedio	1,65	0,79

#### 4.12. VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Según la norma ASTM C 1074, detalla que la resistencia a compresión debe de estar en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida mediante el método de madurez, dichos resultados los podemos ver en las tablas 4.28 al 4.31, para los tipos de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), curados con (agua y aditivo) en obra, donde podemos ver que las resistencias a compresión están en el rango establecido en su mayoría. Por otro lado, también se muestra el método de madurez en base a la temperatura ambiente, donde podemos notar que los resultados obtenidos mediante compresión están en los rangos establecidos, por ende, los resultados son más confiables.

**Tabla 4.41:** Resultado de los límites +-10 % de la resistencia del método de madurez, para la validación de los resultados del agregado grueso (canto rodado)

AGREGADO GRUESO CANTO RODADO					
CON ADITIVO			CON AGUA		
Límite inferior	Resistencia	Límite superior	Límite inferior	Resistencia	Límite superior
-10 %		10 %	-10 %		10 %
kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
24,93	27,55	30,47	24,07	26,29	29,41
64,31	60,97	78,61	62,17	69,04	75,99
97,40	97,60	119,04	95,22	109,65	116,38
124,65	126,87	152,36	122,33	139,19	149,51
152,09	152,31	185,88	149,72	171,13	182,99

**Tabla 4.42:** Resultado de los límites  $\pm 10\%$  de la resistencia del método de madurez, para la validación de los resultados del agregado grueso (piedra triturada)

AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA					
CON ADITIVO			CON AGUA		
Límite inferior	Resistencia	Límite superior	Límite inferior	Resistencia	Límite superior
-10 %		10 %	-10 %		10 %
kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
24,43	38,76	29,86	23,34	39,96	28,52
75,62	76,36	92,42	72,29	77,91	88,36
115,91	110,31	141,66	113,14	122,92	138,28
148,96	148,05	182,06	146,30	157,42	178,81
181,95	182,62	222,38	179,46	195,41	219,35

**Tabla 4.43:** Resultado de los límites  $\pm 10\%$  de la resistencia del método de madurez (temperatura ambiente), para la validación de los resultados del agregado grueso (canto rodado)

AGREGADO GRUESO CANTO RODADO (AMBIENTE)					
CON ADITIVO			CON AGUA		
Límite inferior	Resistencia	Límite superior	Límite inferior	Resistencia	Límite superior
-10 %		10 %	-10 %		10 %
kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
19,55	27,55	23,89	19,55	26,29	23,89
60,62	60,97	74,09	60,62	69,04	74,09
94,52	97,60	115,52	94,52	109,65	115,52
122,02	126,87	149,14	122,02	139,19	149,14
149,36	152,31	182,56	149,36	171,13	182,56

**Tabla 4.44:** Resultado de los límites  $\pm 10\%$  de la resistencia del método de madurez (temperatura ambiente), para la validación de los resultados del agregado grueso (Piedra triturada)

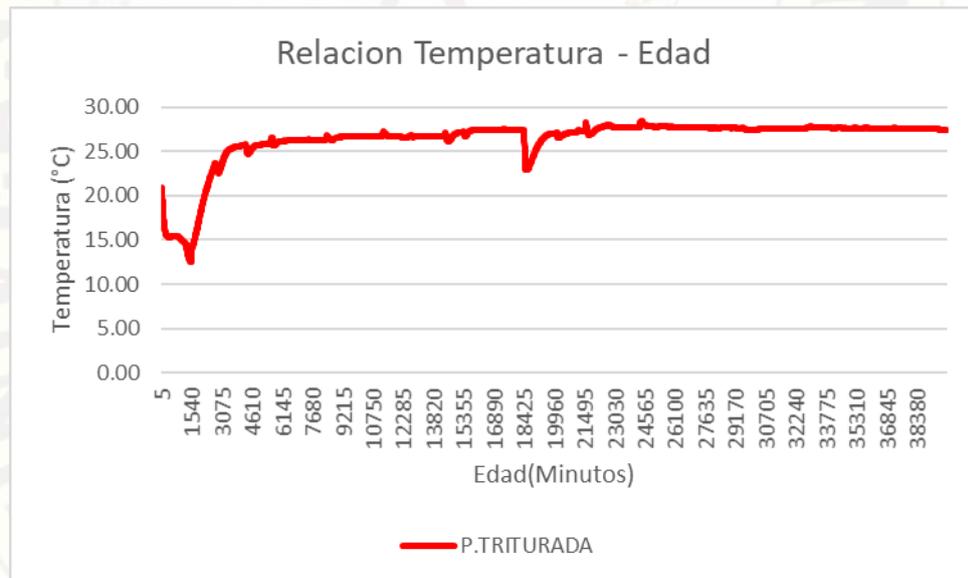
AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA(AMBIENTE)					
CON ADITIVO			CON AGUA		
Límite inferior	Resistencia	Límite superior	Límite inferior	Resistencia	Límite superior
-10 %		10 %	-10 %		10 %
kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
21,91	38,76	26,78	21,91	39,96	26,78
71,14	76,36	86,95	71,14	77,91	86,95
111,78	110,31	136,62	111,78	122,92	136,62
144,75	148,05	176,92	144,75	157,42	176,92
177,52	182,62	216,97	177,52	195,41	216,97

## CAPÍTULO V

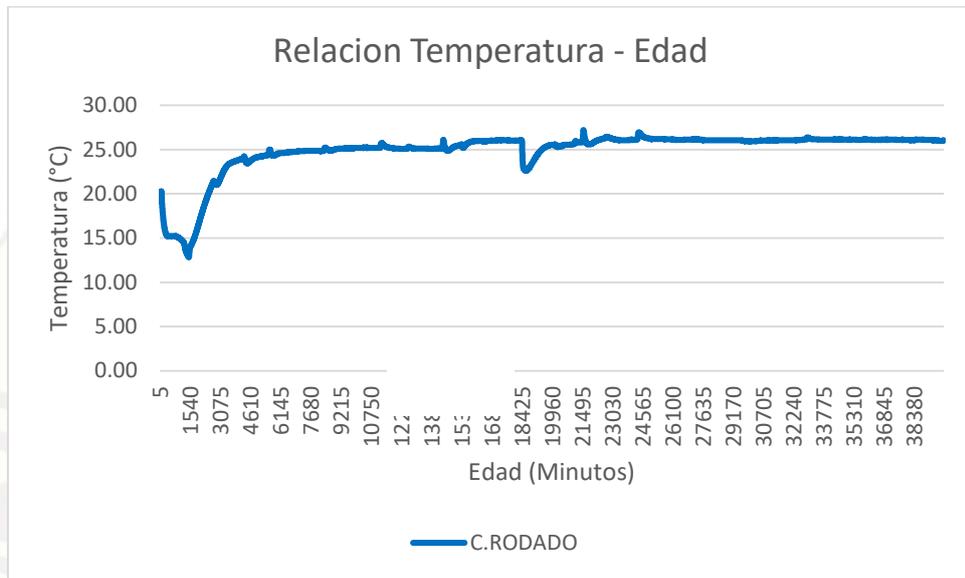
### RESULTADOS

#### 8.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

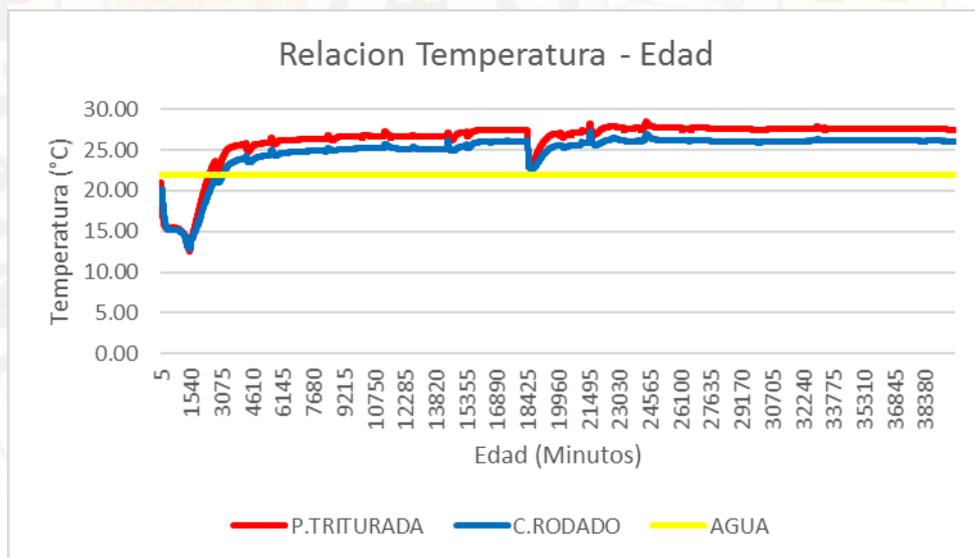
##### 8.1.1. Registro de temperaturas internas (laboratorio)



**Figura 5.1:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada)



**Figura 5.2.** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (Canto rodado)



**Figura 5.3.** Gráfico de la comparación de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días de los dos tipos de agregado grueso

En las **figuras (5.1 y 5.2)**, se pueden observar los registros de temperatura para el tipo de agregado grueso Piedra triturada y canto rodado, con las que fueron diseñados dichas probetas de concreto. Donde en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura hasta (12,5 y 12,8 °C) respectivamente, esto se debe a que

los cilindros de concreto estuvieron dichas horas fuera de la tina de curado para su respectivo fraguado. Una vez sumergido en la tina de curado a una temperatura aproximado de 22°C, empezaron a ascender hasta un (28,5 y 27 °C) respectivamente como máximas temperaturas y por otro lado la temperatura más frecuente es 27,5 y 26 °C respectivamente.

Los picos altos o cambios de temperatura se le atribuye a la interacción química del cemento y el agua, en lo que se da en un periodo aproximado de 17 días, a partir de ahí tienden a desvanecerse dichos cambios de temperatura y dando lugar a una temperatura más constante hasta el día 28, que es el último día de curado en donde la resistencia del concreto llega a un 99 % de su resistencia total aproximadamente. Por otra parte, el cambio brusco más relevante que se puede notar en la gráfica es atribuido, al incremento de agua a la tina de curado por el déficit de esta al cabo de un cierto tiempo, ya que con las altas temperaturas por así decirlo que emana del concreto esta tiende a evaporarse.

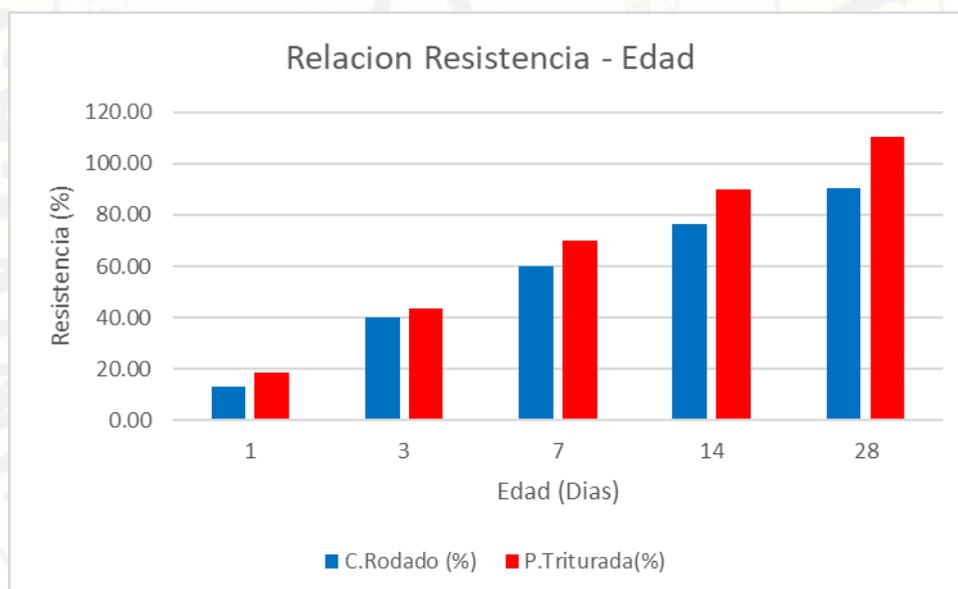
En la figura 5.3, se observa la comparación de temperaturas obtenidas durante los 28 días de curado, tomadas para cada tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada). Con una diferencia máxima de 2,25 °C en la edad de segundo día desde el inicio de las lecturas de temperaturas, por otro lado, la diferencia de temperatura más repetida es de 1,5 °C durante los 28 días, dichas diferencias se le podría atribuir a las propiedades térmicas del agregado grueso utilizado.

Donde también podemos observar la evolución de la temperatura de las probetas en comparación a una temperatura constante del agua de la tina que es de 22 °C, dichas diferencias se les atribuye netamente a las propiedades de los componentes de las probetas de concreto.

### 8.1.2. Resistencia a compresión (laboratorio)

**Tabla 5.1:** Resultados de la resistencia a compresión de las probetas de concretos curados en laboratorio de los tipos de agregado grueso

Edad(días)	P. Triturada		C. Rodado		Diferencia (%)
	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	
1	38,76	18,46	27,55	13,12	5,34
3	91,52	43,58	84,57	40,27	3,31
7	147,00	70,00	126,48	60,23	9,77
14	188,83	89,92	160,06	76,22	13,70
28	231,17	110,08	189,54	90,26	19,82



**Figura 5.4:** Gráfico de los valores en porcentaje de la resistencia a compresión curados en laboratorio para cada edad y el tipo de agregado grueso

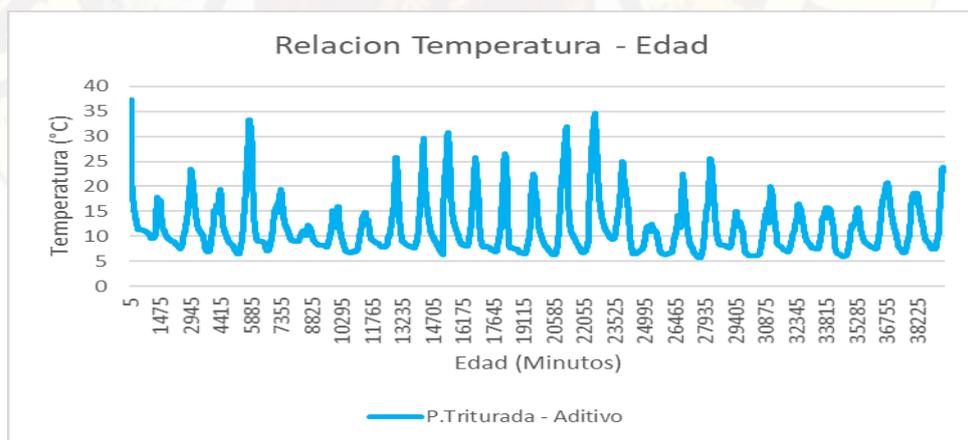
En la tabla 5.4 se observa las resistencias obtenidas de los cilindros de concreto curado en laboratorio diseñada para cada agregado grueso (p. triturada y c. rodado), para las edades de (1, 3, 7, 14 y 28) días. Donde la resistencia obtenida a los 28 días es de 231,17 kg/cm<sup>2</sup> y 189,54 kg/cm<sup>2</sup> y en porcentaje de 110,08 y 90,26

% respectivamente teniendo como referencia la resistencia patrón diseñada. Por otro lado, las resistencias mínimas obtenidas fueron a la edad de 1 día para los dos tipos de diseño de agregado grueso las cuales son 38,76 kg/cm<sup>2</sup> y 27,55 kg/cm<sup>2</sup> y en porcentaje 18,46 y 13,12 % respectivamente.

Donde las probetas diseñadas con el agregado grueso (p. triturada) obtuvieron una ganancia de resistencia de 10,08 % de más con respecto a la diseñada y las probetas con el agregado grueso (c. rodado) pierde una resistencia de 9,74 %.

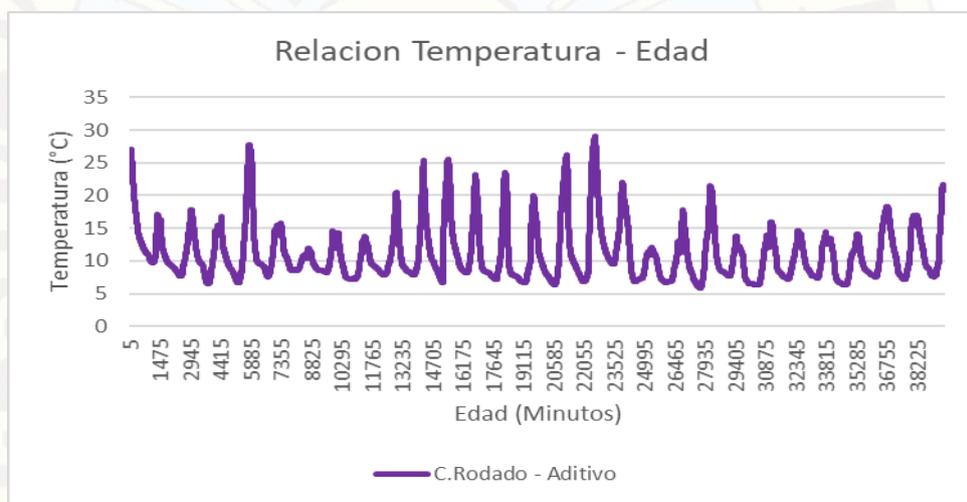
Por otro lado, en la figura 5.4, podemos observar la resistencia en porcentaje de la p. triturada y c. rodado para cada edad. También podemos observar las diferencias que hay con respecto a la resistencia de dichas variables. según la tabla 5.1, la mayor diferencia a las 5 edades ensayadas es de 19,82 % correspondiente a los 28 días y la menor es de 3,31% a la edad de 3 días. Dicha diferencia se debe al tipo de agregado grueso utilizado.

### 8.1.3. Registro de la temperatura interna del concreto y temperatura ambiente



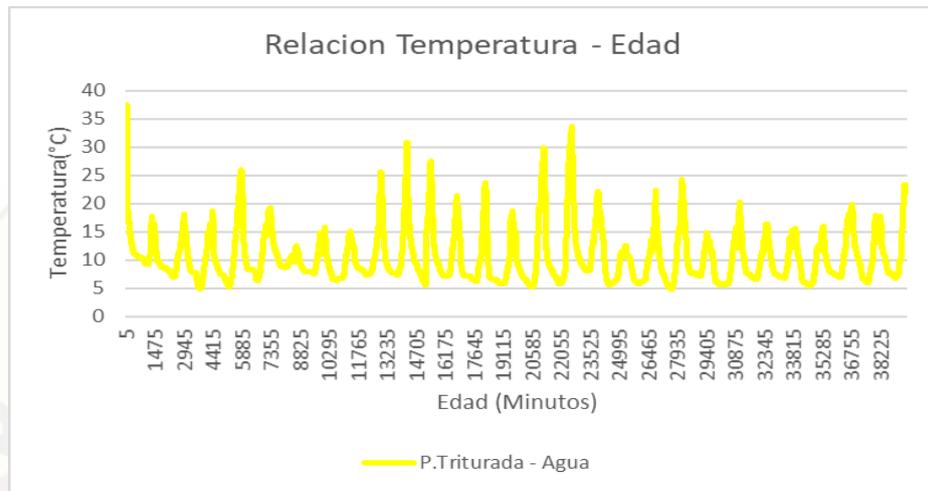
**Figura 5.5:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada) curado con aditivo

En la figura (5.5) se pueden observar que en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura hasta (9,56 °C), cuyo rango de tiempo es donde se da el respectivo fraguado. Por otro lado, durante el tiempo de curado que es un lapso de 28 días, donde este llega a un 99 % de su resistencia aproximadamente, se obtuvo una temperatura máxima de 37,33 °C, una mínima de 5,69°C y la temperatura más frecuente durante todo el periodo es 8,31°C.



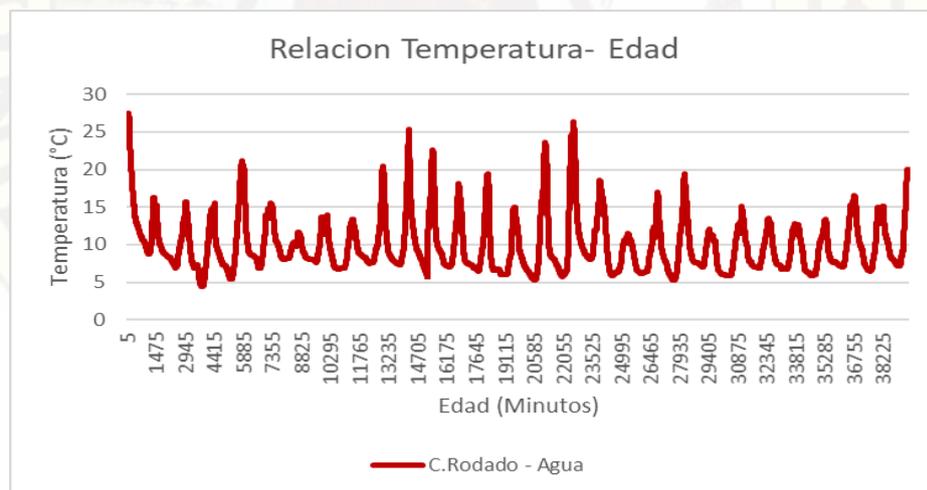
**Figura 5.6:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (canto rodado) curado con aditivo

En la figura (5.6) se pueden observar que en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura hasta (9,69 °C), cuyo rango de tiempo es donde se da el respectivo fraguado. Por otro lado, durante el tiempo de curado que es un lapso de 28 días, donde este llega a un 99 % de su resistencia aproximadamente, se obtuvo una temperatura máxima de 29,13 °C, una mínima de 5,88°C y la temperatura más frecuente durante todo el periodo es 7,94°C.



**Figura 5.7:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días del agregado grueso (piedra triturada) curado con agua

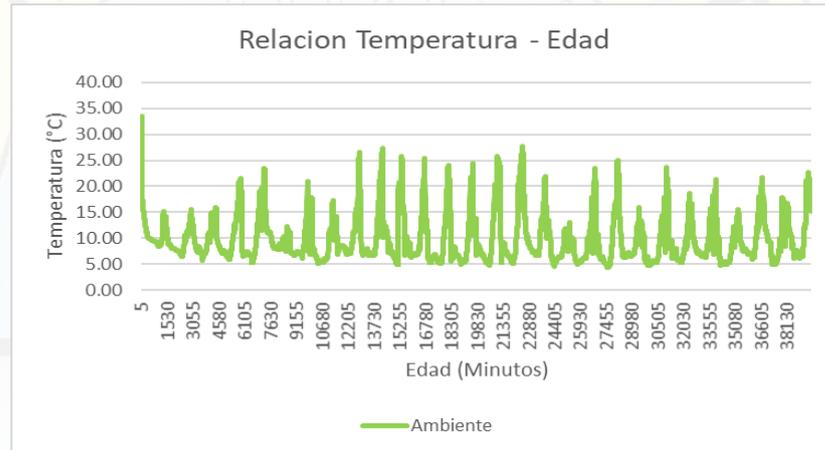
En la figura (5.7) se pueden observar que en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura hasta  $9,42^{\circ}\text{C}$ , cuyo rango de tiempo es donde se da el respectivo fraguado. Por otro lado, durante el tiempo de curado que es un lapso de 28 días, donde este llega a un 99 % de su resistencia aproximadamente, se obtuvo una temperatura máxima de  $37,51^{\circ}\text{C}$ , una mínima de  $4,94^{\circ}\text{C}$  y la temperatura más frecuente durante todo el periodo es  $7,81^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 5.8:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días para el agregado grueso (canto rodado) curado con agua

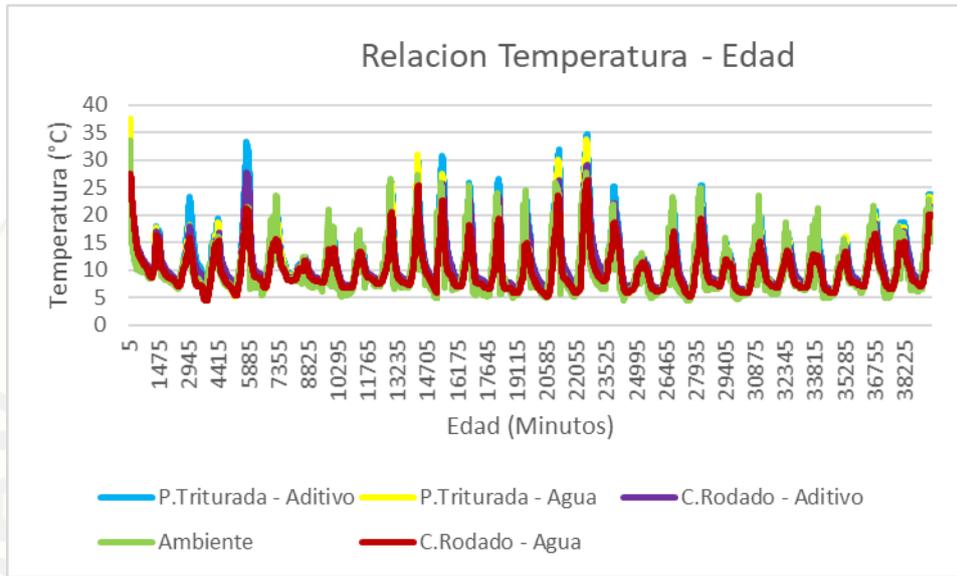
En la figura (5.6) se pueden observar que en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura hasta  $8,81^{\circ}\text{C}$ , cuyo rango de tiempo es donde se da el

respectivo fraguado. Por otro lado, durante el tiempo de curado que es un lapso de 28 días, donde este llega a un 99 % de su resistencia aproximadamente, se obtuvo una temperatura máxima de 27,56 °C, una mínima de 4,38°C y la temperatura más frecuente durante todo el periodo es 5,94°C.

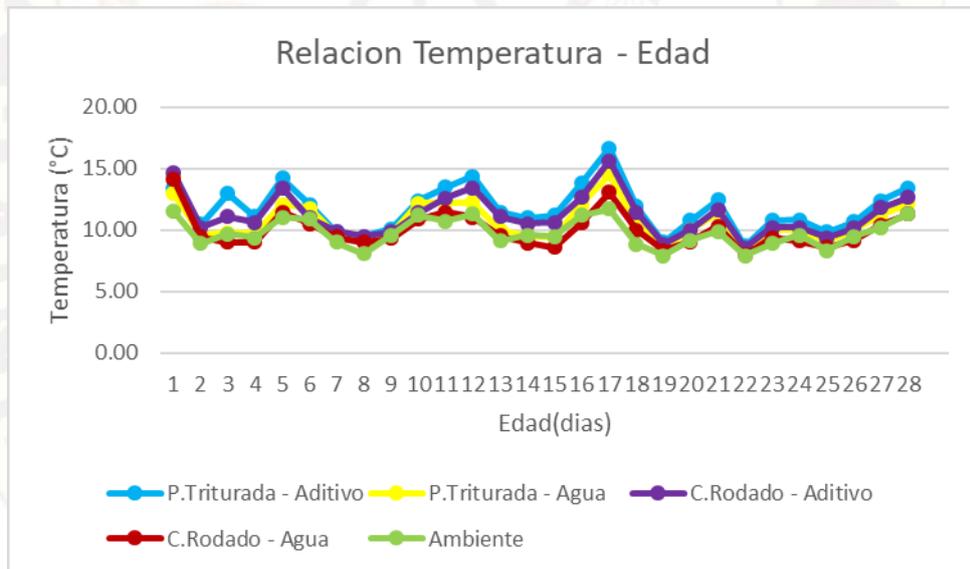


**Figura 5.9:** Gráfico de la relación temperatura – edad en minutos durante 28 días de la temperatura ambiente

En la figura (5.6) se pueden observar que en las primeras 24 horas hubo una caída de temperatura ambiente hasta 9,16 °C. Por otro lado, durante el tiempo de curado del concreto que es un lapso de 28 días, donde este llega a un 99 % de su resistencia aproximadamente, se obtuvo una temperatura máxima de 27,77 °C, una mínima de 4,45°C y la temperatura más frecuente durante todo el periodo es 7,19°C.



**Figura 5.10:** Gráfico de la relación temperatura – edad para el tipo de agregado grueso, tipo de curado y ambiente en minutos durante los 28 días



**Figura 5.11:** Gráfico de la relación temperatura – edad para el tipo de agregado grueso, tipo de curado y ambiente en días durante los 28 días

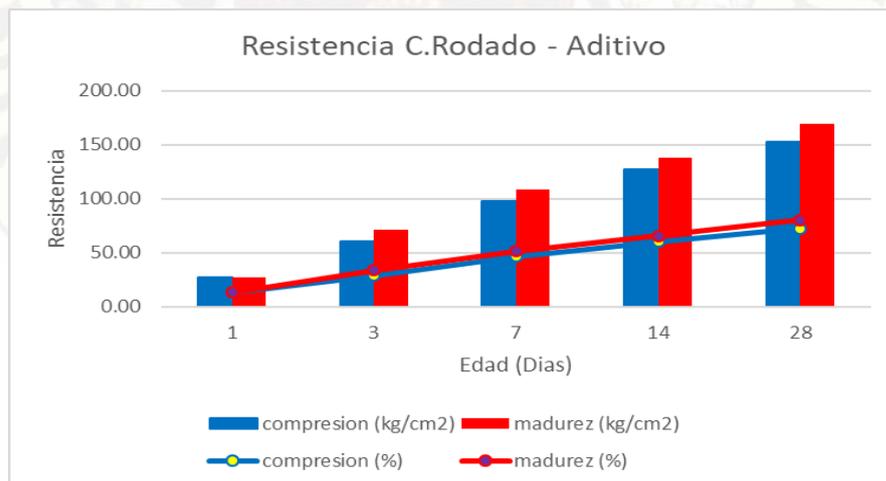
En las figuras 5.10 y 5.11, se pueden observar el registró de temperaturas en minutos y en días respectivamente, notando que las mayores temperaturas la tienen las probetas que fueron curadas con aditivo. Por otro lado, también podemos

afirmar que las probetas que fueron curadas sin aditivos registraron menores temperaturas a comparación con los que se curaron con aditivo. Mientras con respecto al tipo de agregado se registraron más altas temperaturas las probetas con el tipo de agregado grueso piedra triturada a comparación con los de canto rodado. pero también se registraron la temperatura ambiente a las cuales fueron sometidas las probetas en obra observando así que fue relativamente la más baja, todos estos registros para los 28 días de curado.

#### 8.1.4. Método de madurez y método de compresión

**Tabla 5.2:** Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con aditivo del agregado grueso (c. rodado)

Edad (días)	Compresión		Madurez	
	C. rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado - aditivo (%)	C. rodado - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado - aditivo (%)
1	27,55	13,12	27,70	13,19
3	60,97	29,03	71,46	34,03
7	97,60	46,48	108,22	51,53
14	126,87	60,41	138,50	65,95
28	152,31	72,53	168,99	80,47



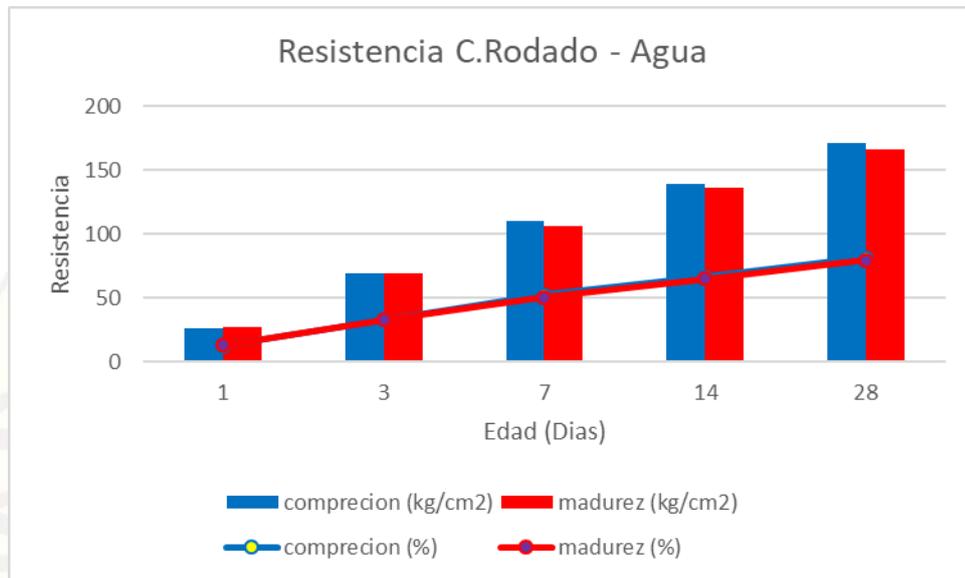
**Figura 5.12:** Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (canto rodado) curado en obra con aditivo

En la tabla 5.12 se observa los resultados de la resistencia del concreto con agregado grueso (canto rodado) curado con aditivo en obra. Mediante el ensayo a compresión y el método de madurez donde podemos constatar la diferencia que existe entre dichos métodos y para cada edad ensayada.

Para las edades de 3, 7, 14 y 28 días, la resistencia según el método de madurez llega a un máximo de 168,99 kg/cm<sup>2</sup> (80,47 %), mientras que para el método de compresión solo llega a un máximo de 152,31 kg/cm<sup>2</sup> (72,53 %) ambos a la edad de 28 días, notamos cuya diferencia a favor del método de madurez, por otro lado para la edad de 1 día cambia la diferencia a favor del método de compresión con un 27,55 kg/cm<sup>2</sup> (13,12 %), mientras para el método de madurez se obtiene un 27,70kg/cm<sup>2</sup> (13,19 %), diferencia mínima a comparación con las demás edades, cuyas diferencias se pueden visualizar en la figura 5.12, donde fue plasmada gráficamente todos los resultados obtenidos para cada edad, método y el porcentaje en base a la resistencia diseñada. Por otro lado, podemos observar la predominancia del método de madurez cuando las probetas son curadas con aditivo.

**Tabla 5.3:** Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con agua del agregado grueso (c. rodado)

Edad (días)	Compresión		Madurez	
	C. rodado - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado – agua (%)	C. rodado - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado – agua (%)
1	26,29	12,52	26,74	12,73
3	68,84	32,88	69,08	32,90
7	109,45	52,21	105,80	50,38
14	138,99	66,28	135,92	64,72
28	171,13	81,49	166,36	79,22



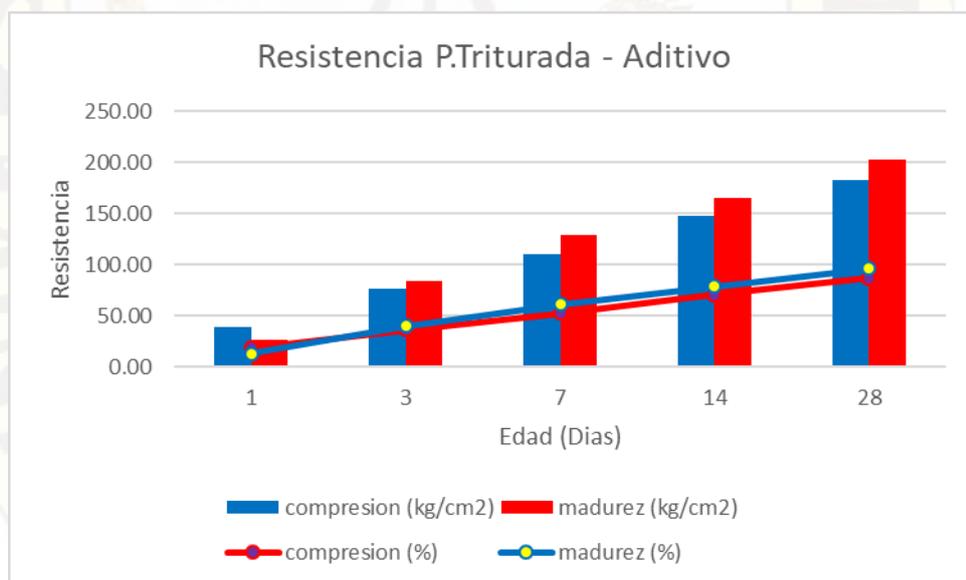
**Figura 5.13:** Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (canto rodado) curado con agua en obra

En la tabla 5.13, se observa los resultados de la resistencia del concreto con agregado grueso (canto rodado) curado con agua en obra. Mediante el ensayo a compresión y el método de madurez donde podemos constatar la diferencia que existe entre dichos métodos y para cada edad ensayada.

Para las edades de 7, 14 y 28 días la resistencia según el método de madurez llega a un máximo de 166.36 kg/cm<sup>2</sup> (79,22 %), mientras que para el método de compresión llega a un máximo de 171,12 kg/cm<sup>2</sup> (81,49 %), ambos a la edad de 28 días, notamos cuya diferencia a favor del método de compresión. Por otro lado, para las edades de 1 y 3 días cambia la diferencia a favor del método de madurez con un 26,74 kg/cm<sup>2</sup> (12,73 %), mientras para el método de compresión se obtiene un 26,29kg/cm<sup>2</sup> (12,52 %), diferencia mínima a comparación con las demás edades, cuyas diferencias se pueden visualizar en la figura 5.13 donde fue plasmada gráficamente todos los resultados obtenidos para cada edad, método y el porcentaje en base a la resistencia diseñada. Por otro lado, podemos observar la predominancia del método de compresión cuando las probetas son curadas con agua.

**Tabla 5.4:** Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con aditivo del agregado grueso (p. triturada)

Edad (días)	Compresión		Madurez	
	P. triturada - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - aditivo (%)	P. triturada - aditivo (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - aditivo (%)
1	38,76	18,46	27,14	12,93
3	76,36	36,36	84,02	40,01
7	110,31	52,53	128,79	61,33
14	148,05	70,50	165,51	78,82
28	182,62	86,96	202,17	96,27



**Figura 5.14.** Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (p. triturada) curado con aditivo en obra

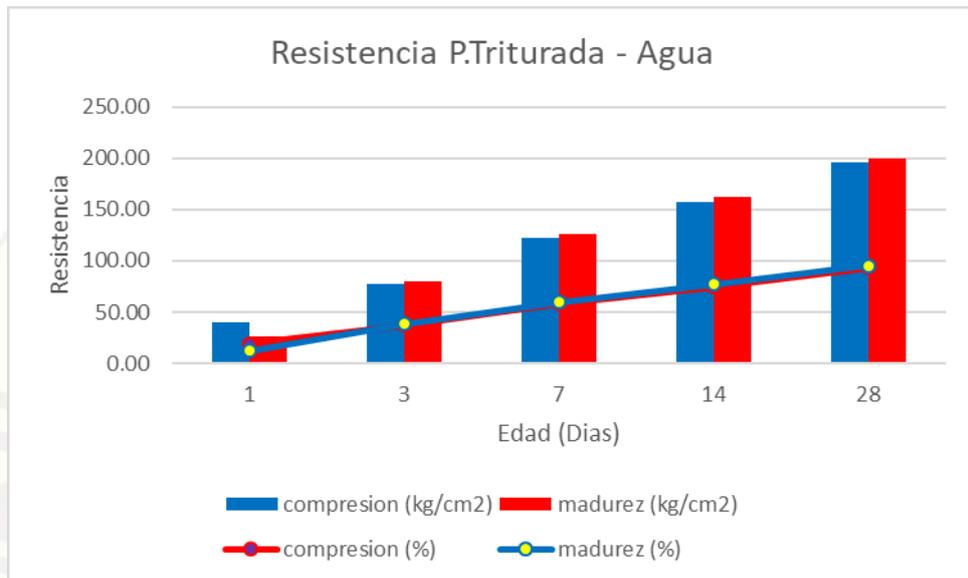
En la tabla 5.14, se observa los resultados de la resistencia del concreto con agregado grueso (piedra triturada) curado con aditivo en obra. Mediante el

ensayo a compresión y el método de madurez donde podemos constatar la diferencia que existe entre dichos métodos y para cada edad ensayada.

Para las edades de 3, 7, 14 y 28 días la resistencia según el método de madurez llega a un máximo de 202,17 kg/cm<sup>2</sup> (96,27 %), mientras que para el método de compresión solo llega a un máximo de 182,62 kg/cm<sup>2</sup> (86,96 %), ambos a la edad de 28 días, notamos cuya diferencia a favor del método de madurez. Por otro lado, para la edad de 1 día cambia la diferencia a favor del método de compresión con un 38,76 kg/cm<sup>2</sup> (18,46 %), mientras para el método de madurez se obtiene un 27,14 kg/cm<sup>2</sup> (12,93 %), diferencia mínima a comparación con las demás edades, cuyas diferencias se pueden visualizar en la figura 5.14 donde fue plasmada gráficamente todos los resultados obtenidos para cada edad, método y el porciento en base a la resistencia diseñada. Por otro lado, podemos observar la predominancia del método de madurez cuando las probetas son curadas con aditivo.

**Tabla 5.5:** Resultados de la resistencia a compresión y madurez de las probetas curado en obra con agua del agregado grueso (p. triturada)

Edad (días)	Compresión		Madurez	
	P. triturada - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - agua (%)	P. triturada - agua (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada - agua (%)
1	39,96	19,03	25,93	12,35
3	77,91	37,10	80,33	38,25
7	122,92	58,54	125,71	59,86
14	157,42	74,96	162,55	77,41
28	195,41	93,05	199,41	94,95



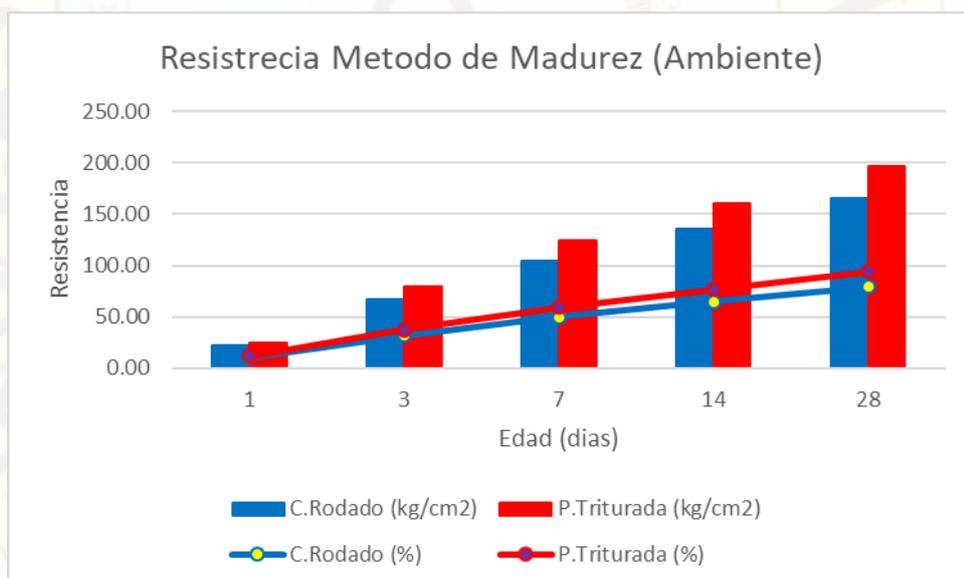
**Figura 5.15:** Gráfico de la relación resistencia – edad a compresión y madurez de agregado grueso (p. triturada) curado en obra con agua

En la tabla 5.15 se observa los resultados de la resistencia del concreto con agregado grueso (piedra triturada) curado con agua en obra. Mediante el ensayo a compresión y el método de madurez donde podemos constatar la diferencia que existe entre dichos métodos y para cada edad ensayada.

Para las edades de 3,7,14 y 28 la resistencia según el método de madurez llega a un máximo de 199.41 kg/cm<sup>2</sup> (94,95 %), mientras que para el método de compresión solo llega a un máximo de 195.41 kg/cm<sup>2</sup> (93,05 %), ambos a la edad de 28 días , notamos cuya diferencia a favor del método de madurez , por otro lado para la edad de 1 día cambia la diferencia a favor del método de compresión con un 39,96 kg/cm<sup>2</sup> (19,03 %), mientras para el método de madurez se obtiene un 25,93kg/cm<sup>2</sup> (12,35 %), diferencia mínima a comparación con las demás edades, cuyas diferencias se pueden visualizar en la figura 5.15 donde fue plasmada gráficamente todos los resultados obtenidos para cada edad ,método y el por ciento en base a la resistencia diseñada. Por otro lado, podemos observar la predominancia del método de madurez cuando las probetas son curadas con aditivo.

**Tabla 5.6:** Resultados de la resistencia por el método de madurez en función a la temperatura ambiente en obra para el agregado grueso

Edad (días)	Resistencia por el método madurez (Ambiente)			
	C. rodado (kg/cm <sup>2</sup> )	C. rodado (%)	P. triturada (kg/cm <sup>2</sup> )	P. triturada (%)
1	21,72	10,34	24,35	11,59
3	67,35	32,07	79,05	37,64
7	105,02	50,01	124,20	59,14
14	135,58	64,56	160,83	76,59
28	165,96	79,03	197,25	93,93

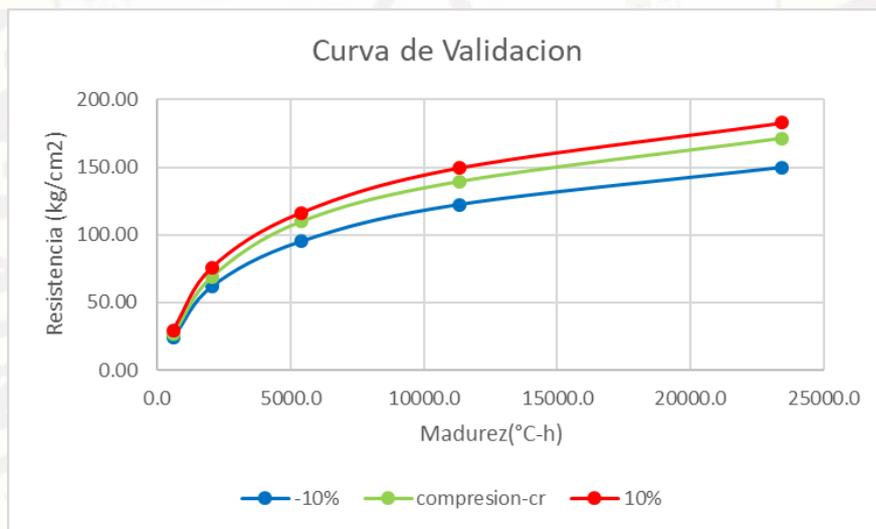


**Figura 5.16:** Gráfico de la relación resistencia – edad por el método de madurez en función de la temperatura ambiente en obra para el agregado grueso

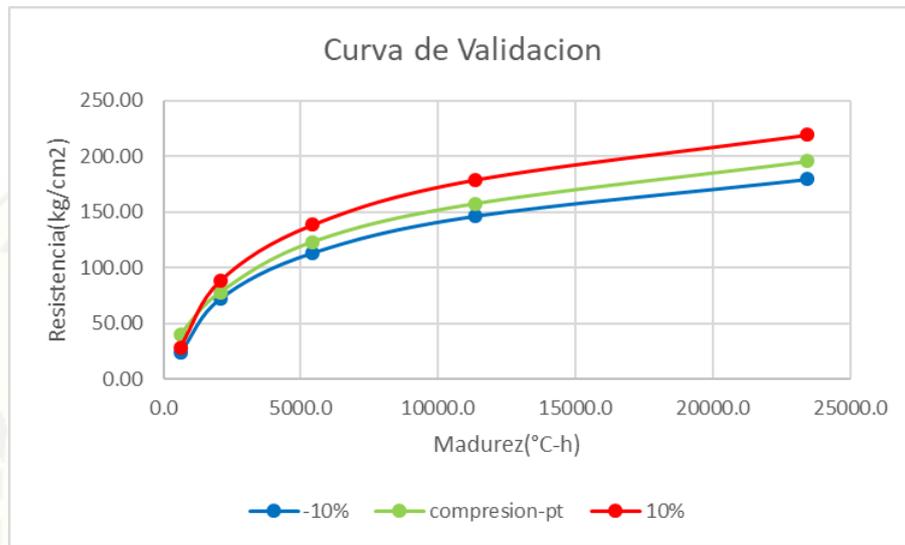
En la tabla 5.6 se observa las resistencias mediante el método de madurez en función de la temperatura ambiente obtenida en obra aplicada a las ecuaciones para los dos tipos de agregado grueso las cuales son: canto rodado y piedra triturada.

Donde para el agregado grueso piedra triturada la resistencia según el método de madurez llega a un máximo de 197,25 kg/cm<sup>2</sup> (93,93 %) mientras que para el agregado grueso canto rodado solo llega a un máximo de 165,96 kg/cm<sup>2</sup> (79,03 %), ambos a la edad de 28 días, notamos cuya diferencia a favor del agregado grueso Piedra triturada, por otro lado para la edad de 1 día para el agregado piedra triturada llega a 24,35 kg/cm<sup>2</sup> (11,59%), mientras para el agregado grueso canto rodado se obtiene un 21.72 kg/cm<sup>2</sup> (10,34 %), donde dichas resistencias son mínimas para cada agregado grueso, dichas diferencias se pueden visualizar en la figura 5.16 donde fue plasmada gráficamente todos los resultados obtenidos para cada edad, tipo y el porcentaje en base a la resistencia diseñada.

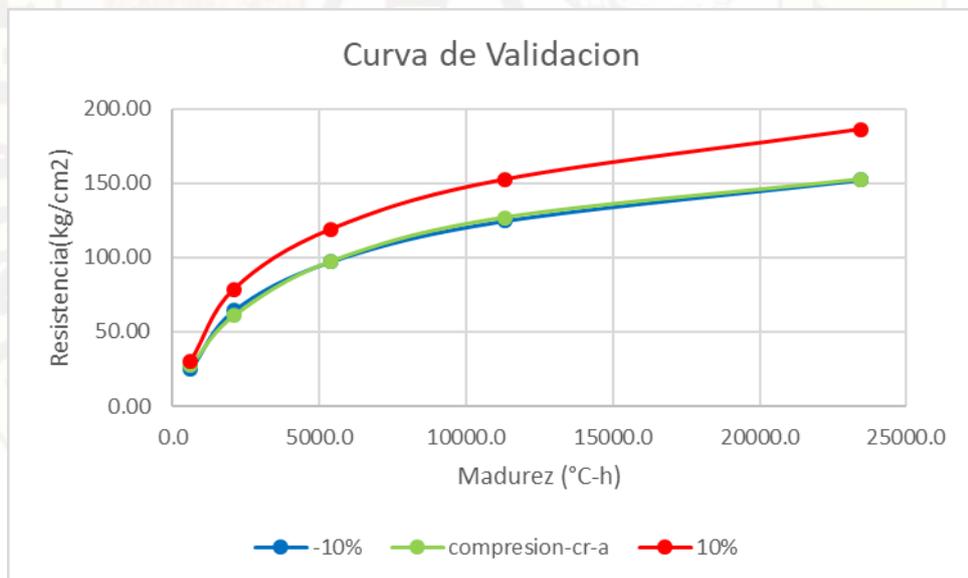
#### 8.1.5. Curvas de validación con temperatura interna del concreto



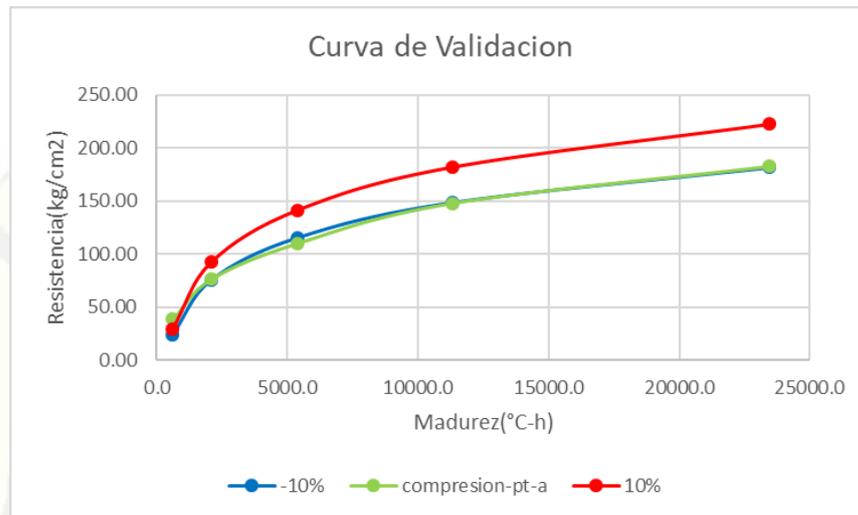
**Figura 5.17:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con regado grueso (canto rodado) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad



**Figura 5.18:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad



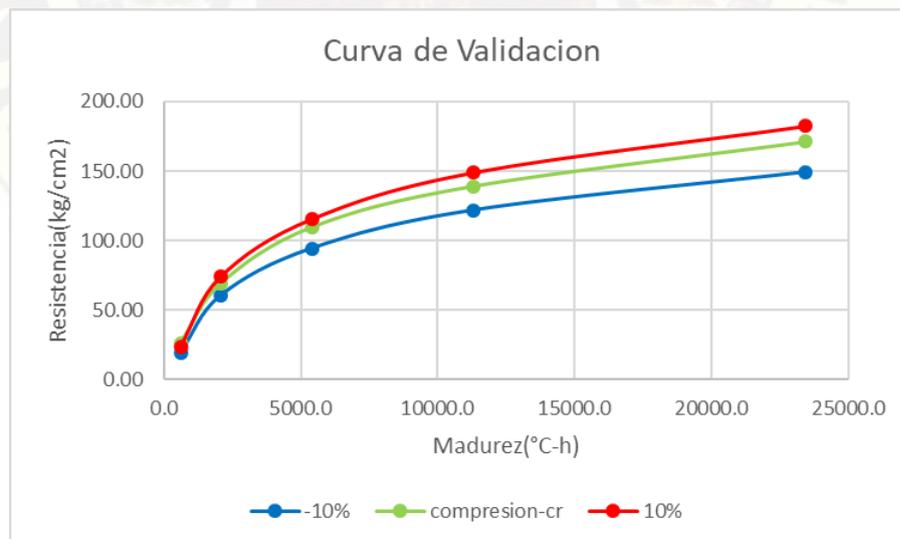
**Figura 5.19:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad



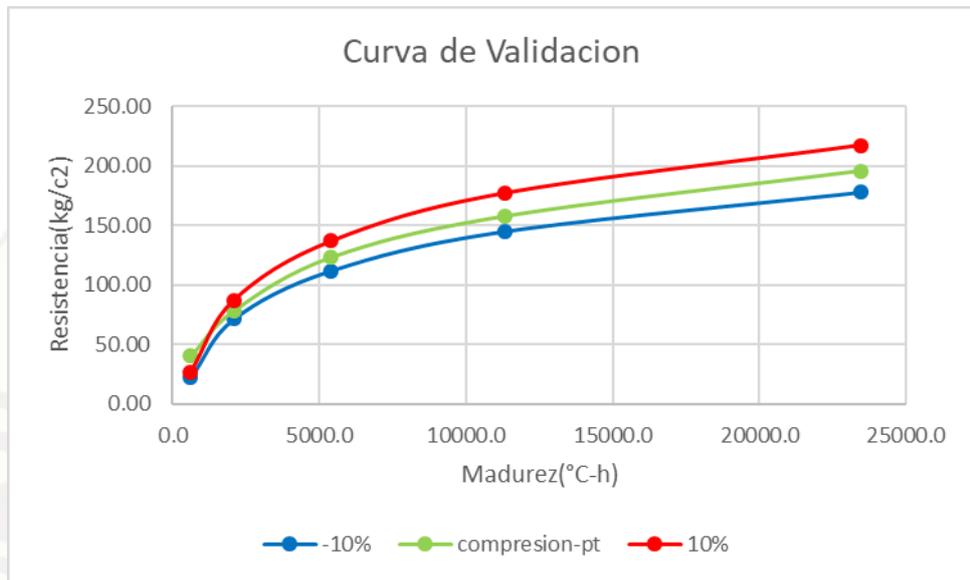
**Figura 5.20:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad

Se observa en las figuras 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 que las resistencias están en el rango establecido en un +/- 10 % de la resistencia obtenida mediante el método de madurez para cada tipo de agregado grueso y tipo de curado. Dichos porcentajes establecido según la norma ASTM C 1074 donde especifica para que, la resistencia del concreto sea válida tienes que estar dentro del rango.

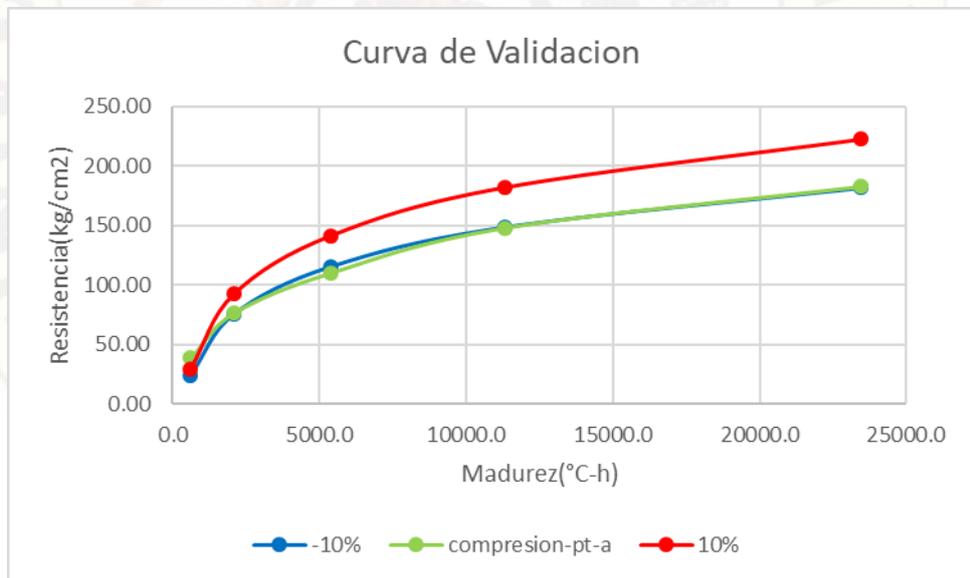
### 8.1.6. CURVA DE VALIDACIÓN MEDIANTE TEMPERATURA AMBIENTE



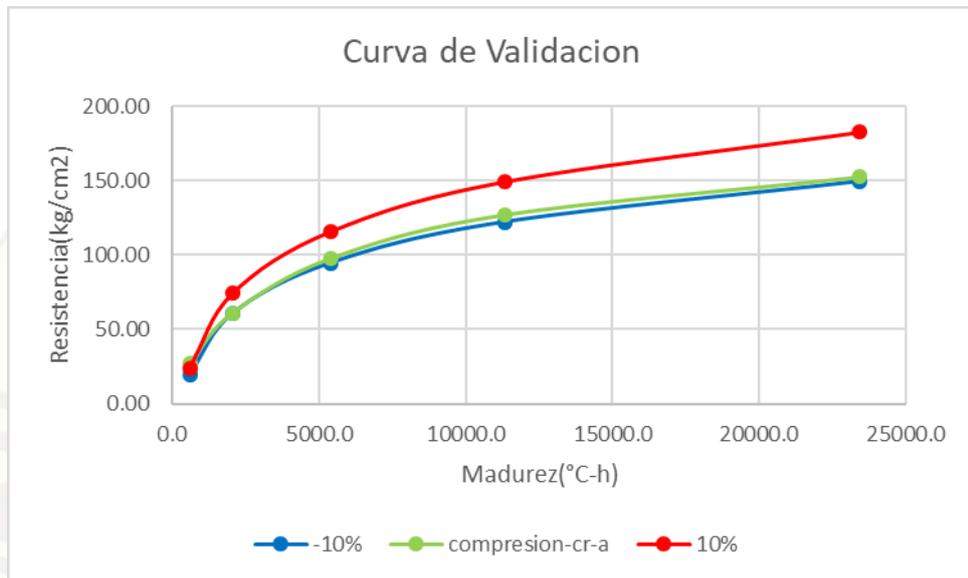
**Figura 5.21:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente



**Figura 5.22:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con agua, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente



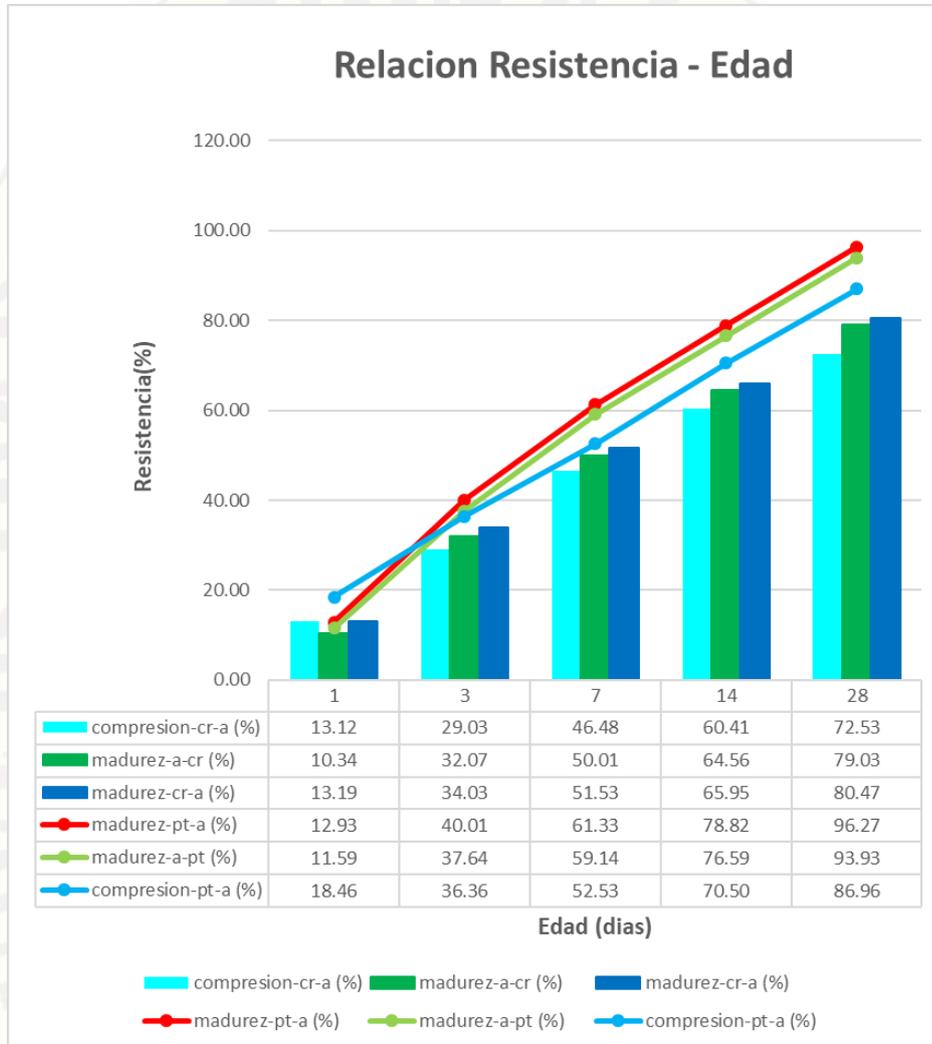
**Figura 5.23:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (canto rodado) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente



**Figura 5.24:** Gráfico que representa la resistencia a compresión de las probetas de concreto con agregado grueso (piedra triturada) curados en obra con aditivo, en un rango de +/- 10 % de la resistencia obtenida del método de madurez para cada edad utilizando la temperatura ambiente

Se observa en las figuras 2.21, 5.22, 5.23 y 5.24, que las resistencias para cada tipo de agregado grueso y curado están en el rango establecido en un +/- 10 % de la resistencia obtenida mediante el método de madurez en base a la temperatura ambiente para los 28 días de curado. Dichos porcentajes establecido según la norma ASTM C 1074 donde especifica para que, la resistencia del concreto sea válida tienen que estar dentro del rango.

**8.1.7. Resistencia mediante el método de compresión y el método de madurez para cada tipo de agregado grueso**



**Figura 5.25.** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado curado en obra y con aditivo

De la figura 5.25, podemos observar la resistencia en porcentaje del método de madurez en función a la temperatura interna y temperatura ambiente del concreto, por otro lado, la resistencia a compresión. Todo esto para el tipo de agregado grueso (piedra triturada, canto rodado) curados con (aditivo) en obra.

Donde podemos observar que, para el agregado grueso canto rodado es predominante el método de madurez (temperatura interna) durante las edades 1, 3, 7, 14 y 28 días, con un máximo de 80,47 %, a comparación con el método de madurez

(temperatura ambiente) con un máximo de 79,03 %, que las diferencias de resistencia entre dichos métodos son mínimas de por lo menos 1 % aproximadamente. La resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) tiene un máximo de 79,03%, a comparación con el método de compresión teniendo un máximo de 72,53 %, para los tres casos a los 28 días de edad donde se puede notar la diferencia para cada edad, entre dicho método y la resistencia a compresión son de unos 4 % aproximadamente.

También podemos observar que para el agregado grueso Piedra triturada es predominante el método de madurez (temperatura interna) con un 96,27 %, con respecto al método de madurez (temperatura externa) con un máximo de 93,93 %, de resistencia. Mientras tanto la predominancia en la mayor parte de las edades (3, 7, 14 y 28 días) es para el método de madurez (temperatura ambiente) a comparación con el método de compresión, donde a la edad de 28 días se da la mayor diferencia con un máximo de 93,93%, para el método de madurez (temperatura ambiente) a comparación con el método de compresión con una 86,96 %.

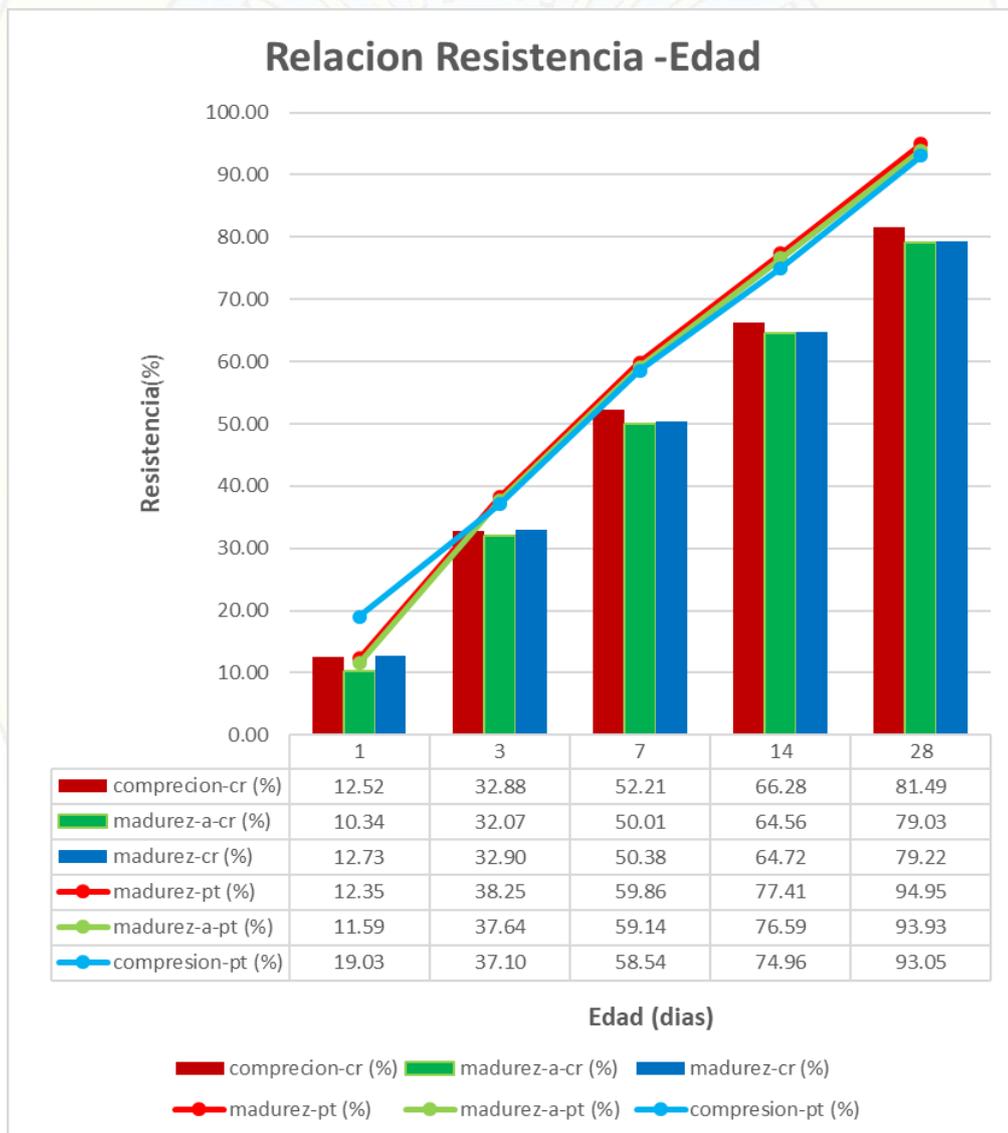
Por otro lado, podemos ver en la figura 5.25, la diferencia de resistencia, dependiendo el tipo de agregado grueso que se utilizó en todos los métodos. Mediante el método de madurez (temperatura interna) podemos observar que para el agregado grueso piedra triturada tiene una resistencia máxima de 96,27 %, mientras que para el agregado grueso Canto rodado tiene una resistencia máxima de 80,47 %, cuyas resistencias están en base a la resistencia de diseño, donde dicha diferencia se debe a la propiedad térmica del concreto diseñado para cada tipo de agregado grueso. Donde podemos observar también que las probetas curadas con aditivo obtienen mayor resistencia mediante el método de madurez en función al método de compresión, dicha diferencia se debe al aditivo, ya que el aditivo forma una capa impermeable en todo el contorno de las probetas por ende los escasos de agua, las altas temperaturas y la baja resistencia a compresión. Por otro lado, podemos ver la diferencia de resistencias a compresión esto se debe a la forma del agregado grueso, dado que el canto rodado tiene una morfología redondeada y una

superficie liza a comparación con el agregado grueso piedra triturada dado que tiene una morfología angulosa y una superficie áspera.

**NOTA**

**cr-a y pt-a:** Canto rodado y piedra triturada curado con aditivo en obra (temperatura interna)

**a-cr y a-pt:** Canto rodado y piedra triturada curado en Laboratorio (temperatura ambiente)



**Figura 5.26:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado curado en obra y con agua

De la figura 5.26 podemos observar la resistencia en porcentaje del método de madurez en función a la temperatura interna y temperatura ambiente del concreto, por otro lado, la resistencia a compresión. Todo esto para el tipo de agregado grueso (piedra triturada, canto rodado) curados con (agua) en obra.

Donde podemos observar que para el agregado grueso canto rodado, es predominante el método de madurez (temperatura interna) durante las edades 1, 3, 7, 14 y 28 días, con un máximo de 79,22 %, a comparación con el método de madurez (temperatura ambiente) con un máximo de 79,03 %, podemos observar que las diferencias de resistencia entre dichos métodos son mínimas. Mientras la resistencia mediante el método de madurez (temperatura ambiente) tiene un máximo de 79,03 %, a comparación con el método de compresión teniendo un máximo de 81,49 % a los 28 días de edad, donde se puede notar la diferencia a favor del método de compresión.

También podemos observar que para el agregado grueso piedra triturada es predominante el método de madurez (temperatura interna) con un 96,95 %, con respecto al método de madurez (temperatura externa) con un máximo de 93,93 %. Mientras tanto la predominancia a la edad 1 día es para el método de compresión, a comparación con el método de madurez (temperatura ambiente), pero a las edades (3,7.14 y 28) días es donde se invierte la diferencia a favor del método de madurez (temperatura ambiente) con un máximo de 93,93 %, a comparación con el método de compresión con un 93,05 %.

Por otro lado podemos ver en la figura 5.26, la diferencia de resistencia dependiendo el tipo de agregado grueso que se utilizó en todos los métodos, donde mediante el método de madurez (temperatura interna) podemos observar que para el agregado grueso piedra triturada, tiene una resistencia máxima de 93,05 %, mientras que para el agregado grueso Canto rodado tiene una resistencia máxima de 79,22 %, cuyas resistencias están en base a la resistencia de diseño, donde dicha diferencia se debe a la propiedad térmica del concreto diseñado para cada tipo de agregado grueso. Por otro lado, el motivo de la diferencia pequeña entre los métodos

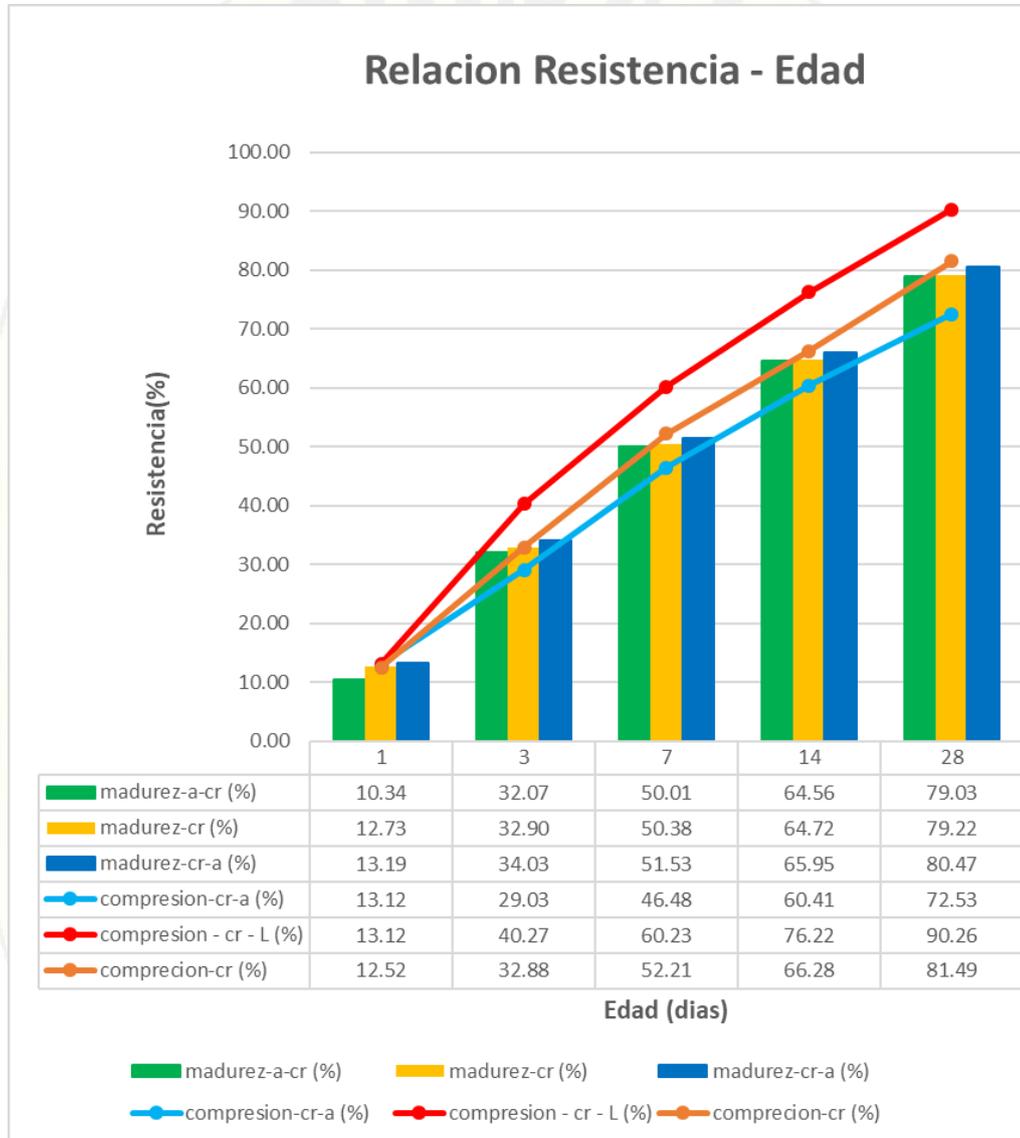
de madurez y compresión, para el tipo agregado grueso piedra triturada y la mayor ganancia de resistencia mediante el método de compresión para el agregado grueso canto rodado se debe al curado con agua ya que por el mismo hecho de haberse curado con agua la adquisición y expulsión de la temperatura es más rápida no olvidándonos que dicho liquido también ayuda al control de temperatura y a mejorar la hidratación del cemento que es necesario para su respectivo curado dándonos como resultado mejores resistencias . Por otro lado, podemos ver la diferencia de resistencias a compresión esto se debe a la forma del agregado grueso dado que el canto rodado tiene una morfología redondeada y una superficie liza a comparación con el agregado grueso piedra triturada dado que tiene una morfología angulosa y una superficie áspera.

#### **NOTA**

**cr y pt:** Canto rodado y piedra triturada curado con agua en obra (temperatura interna)

**a-cr y a-pt:** Canto rodado y piedra triturada curado en Laboratorio (temperatura ambiente)

**8.1.8. Resistencia a compresión y mediante el método de madurez para cada tipo de curado**



**Figura 5.27.** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado grueso (canto rodado), tipo de curado en obra y laboratorio

De la figura 5.27, podemos observar la resistencia en porcentaje del método de madurez en función a la temperatura interna y temperatura ambiente del concreto, por otro lado, la resistencia a compresión. Todo esto para el tipo de agregado grueso (canto rodado) curados con (aditivo y agua) en obra y también se tomó en cuenta las probetas curado en laboratorio.

De la figura 5.27, podemos observar que la resistencia según el método de madurez, es favorable para las probetas curado con aditivo con un máximo de 80,47 %, a comparación de las probetas que fueron curadas con agua con un máximo de 79,22 %, estas a los 28 días de edad, dicha diferencia se debe a que las probetas curadas con aditivo generan mayores temperaturas a comparación con la probetas curadas con agua, ya que a mayor temperatura mayor resistencia, manteniendo dicha diferencia para las edades (1, 3, 7 y 14) días no siendo constantes, pero si manteniendo la diferencia. Por otro lado, también podemos observar que dichos resultados anteriormente mencionados, están en el rango teniendo como un máximo la resistencia a compresión de probetas curadas en laboratorio con un 90.26 %, mientras como un mínimo la resistencia según el método de madurez (temperatura ambiente) con un 79,03 %, estos a los 28 días de edad. donde según el tipo de curado la diferencia se amplía entre el método de madurez (temperatura ambiente) y método de madurez (temperatura interna).

Por otro lado, podemos observar que, para el método de compresión, es favorable para el tipo de curado con agua con un máximo 81,49 %, en comparación para el tipo de curado con aditivo con un máximo de 72,53 %, teniendo como referencia la resistencia patrón de las probetas curadas en laboratorio con un máximo de 90,26 %, donde cuyas diferencias es notorio para todas las edades.

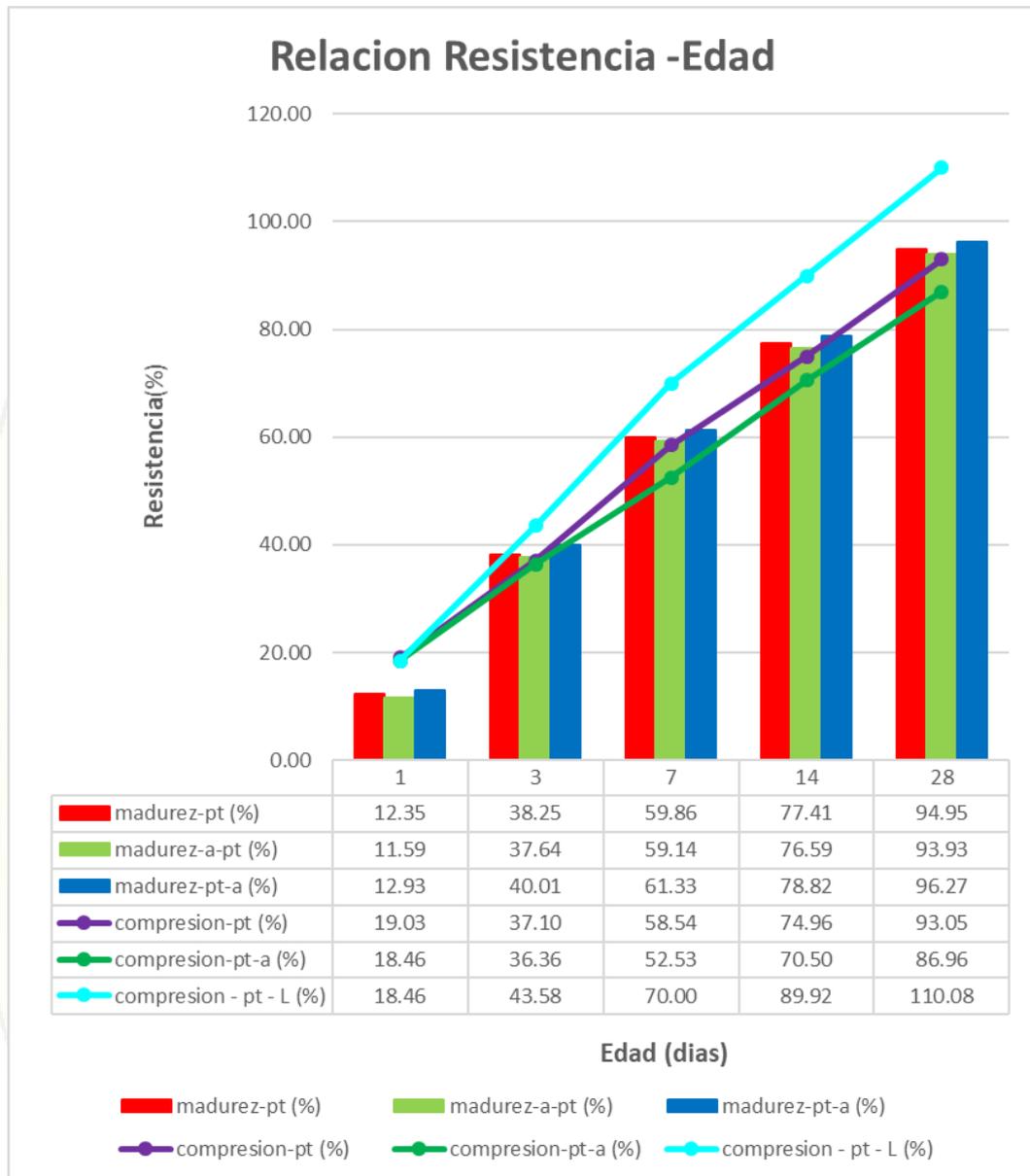
#### **NOTA**

*cr: Canto rodado curado con agua en obra (temperatura interna)*

*cr-a: Canto rodado curado con aditivo en obra (temperatura interna)*

*cr-L: Canto rodado curado en Laboratorio (temperatura interna)*

*a-cr: Canto rodado curado en obra (temperatura ambiente)*



**Figura 5.28:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez (temperatura interna y ambiente), en porcentaje para cada edad y tipo de agregado grueso (piedra triturada), tipo de curado en obra y laboratorio

De la figura 5.28 podemos observar la resistencia en porcentaje del método de madurez en función a la temperatura interna y temperatura ambiente del concreto, por otro lado, la resistencia a compresión. Todo esto para el tipo de agregado grueso (piedra triturada) curados con (aditivo y agua) en obra y también se tomó en cuenta las probetas curados en laboratorio.

De la figura 5.28, podemos observar que la resistencia según el método de madurez, es favorable para las probetas curado con aditivo con un máximo de 96,27 %, a comparación de las probetas que fueron curadas con agua con un máximo de 94,95 %, estas a los 28 días de edad, dicha diferencia se debe a que las probetas curadas con aditivo generan mayores temperaturas a comparación con la probetas curadas con agua ya que a mayor temperatura mayor resistencia, manteniendo dicha diferencia para las edades (1, 3, 7 y 14) días no siendo constantes, pero si manteniendo la diferencia. Por otro lado, también podemos observar que dichos resultados anteriormente mencionados están en el rango, teniendo como un máximo la resistencia a compresión de probetas curadas en laboratorio con un 110,08 % mientras como un mínimo la resistencia según el método de madurez (temperatura ambiente) con un 93,93 % éstos a los 28 días de edad , donde según el tipo de curado la diferencia se amplía en comparación el método de madurez ( temperatura ambiente ) y método de madurez ( temperatura interna ) .

Por otro lado, podemos observar para el método de compresión, es favorable para el tipo de curado con agua con un máximo 93,05 %, mientras para el tipo de curado con aditivo con un máximo de 86,96%, teniendo como referencia la resistencia patrón las probetas curadas en laboratorio con un máximo de 110,08 %, donde cuyas diferencias es notorio para todas las edades.

#### **NOTA**

**pt:** Piedra triturada curado con agua en obra (temperatura interna)

**pt-a:** Piedra triturada curado con aditivo en obra (temperatura interna)

**pt-L:** Piedra triturada curado en laboratorio (temperatura interna)

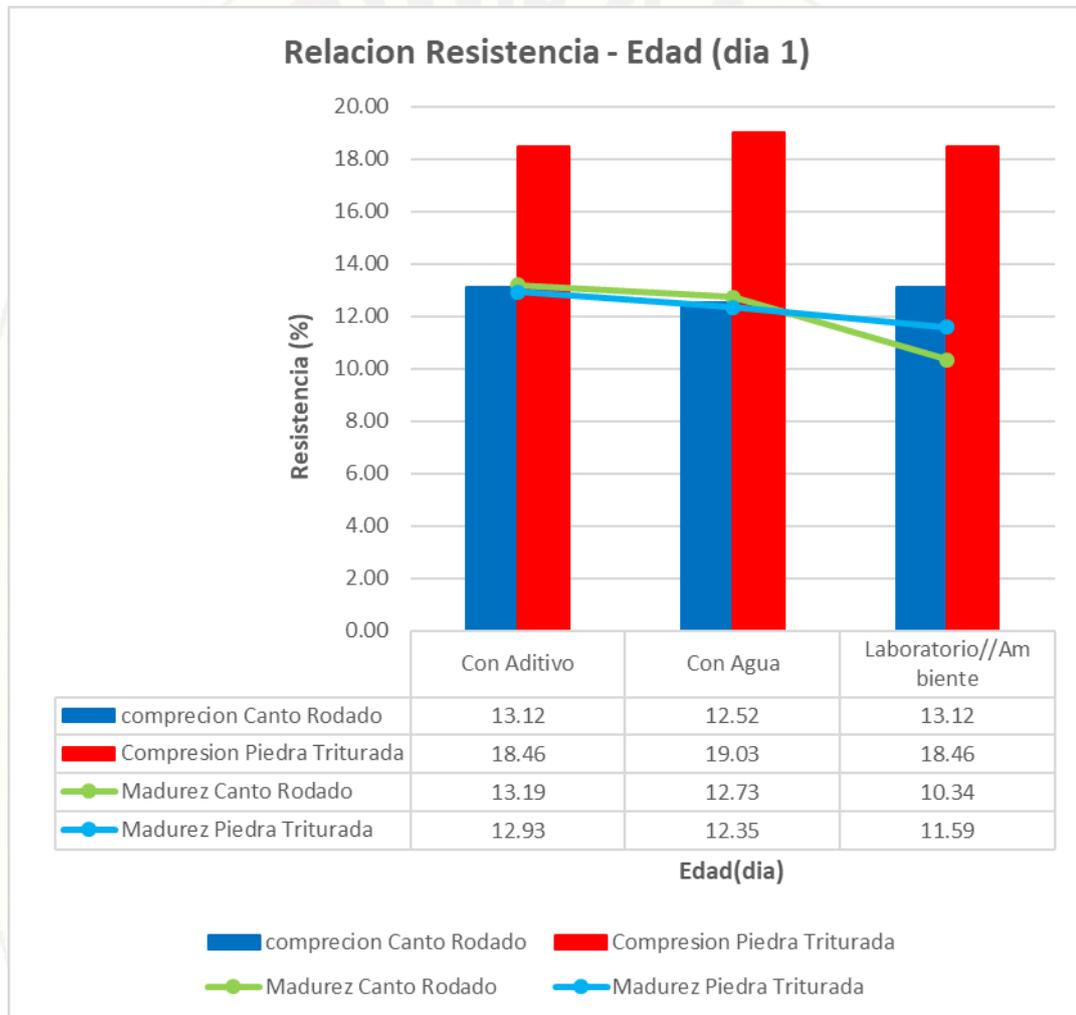
**a-pt:** Piedra triturada curado en obra (temperatura ambiente)

De la figura 5.27 y 5.28 el motivo por lo que se da dichas diferencias de resistencias, son por el tipo de curado que estas están sometidas, por otro lado

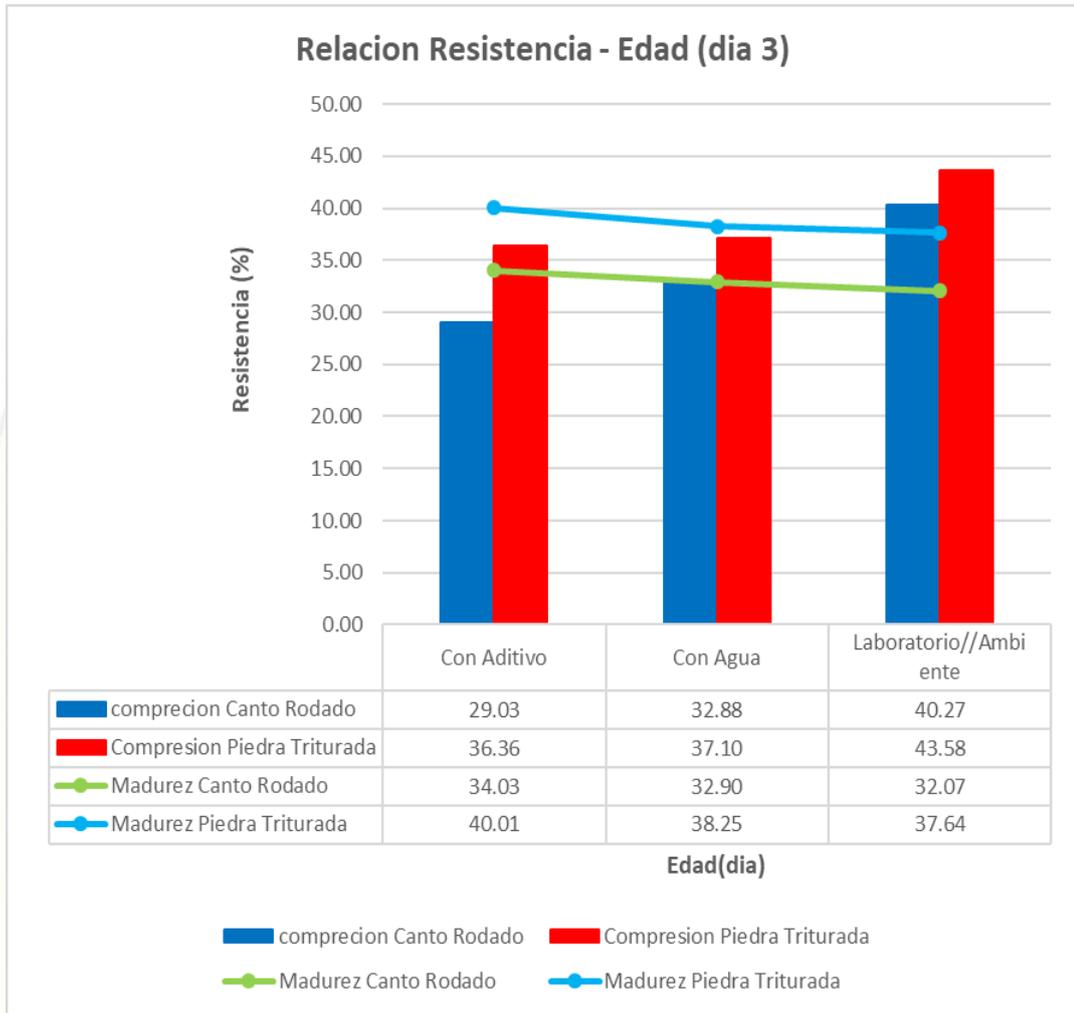
también mucho tiene que ver el ambiente donde fueron curados, es muy diferente curar en obra (aditivo o agua) y en laboratorio, ya que en obra están expuestas a diferentes factores, uno de esta es la temperatura ambiente que juega un rol muy importante, ya que a mayores temperaturas afecta a la resistencia por la rapidez de la evaporación del agua, ya que dicho elemento es muy importante al momento de curar el concreto por ende al evaporarse demasiado rápido el agua y el concreto al necesitarla por causa del cemento y su interacción de esta con los demás componentes tiende a bajar la resistencia por las temperaturas excesivas que se encuentran, peor aun cuando las probetas están siendo curadas con aditivo, estas registran mayores temperaturas ya que el aditivo produce una capa impermeable que no deja que entre agua. En cambio, en el laboratorio están inundadas en agua y a una temperatura constante por ende el fenómeno descrito anteriormente no ocurre con la misma intensidad, ya que estas tienen suficiente agua para la hidratación del concreto.

Por otro lado, vemos que según el tipo de curado en el método de madurez aumenta la resistencia, ya que las resistencias mayores se obtuvieron cuando el concreto fue curado con aditivo para los dos tipos de agregado grueso. Pero el efecto es contrario para las probetas sometidas a compresión, ya que los mejores resultados fueron obtenidos por los que fueron curados con agua.

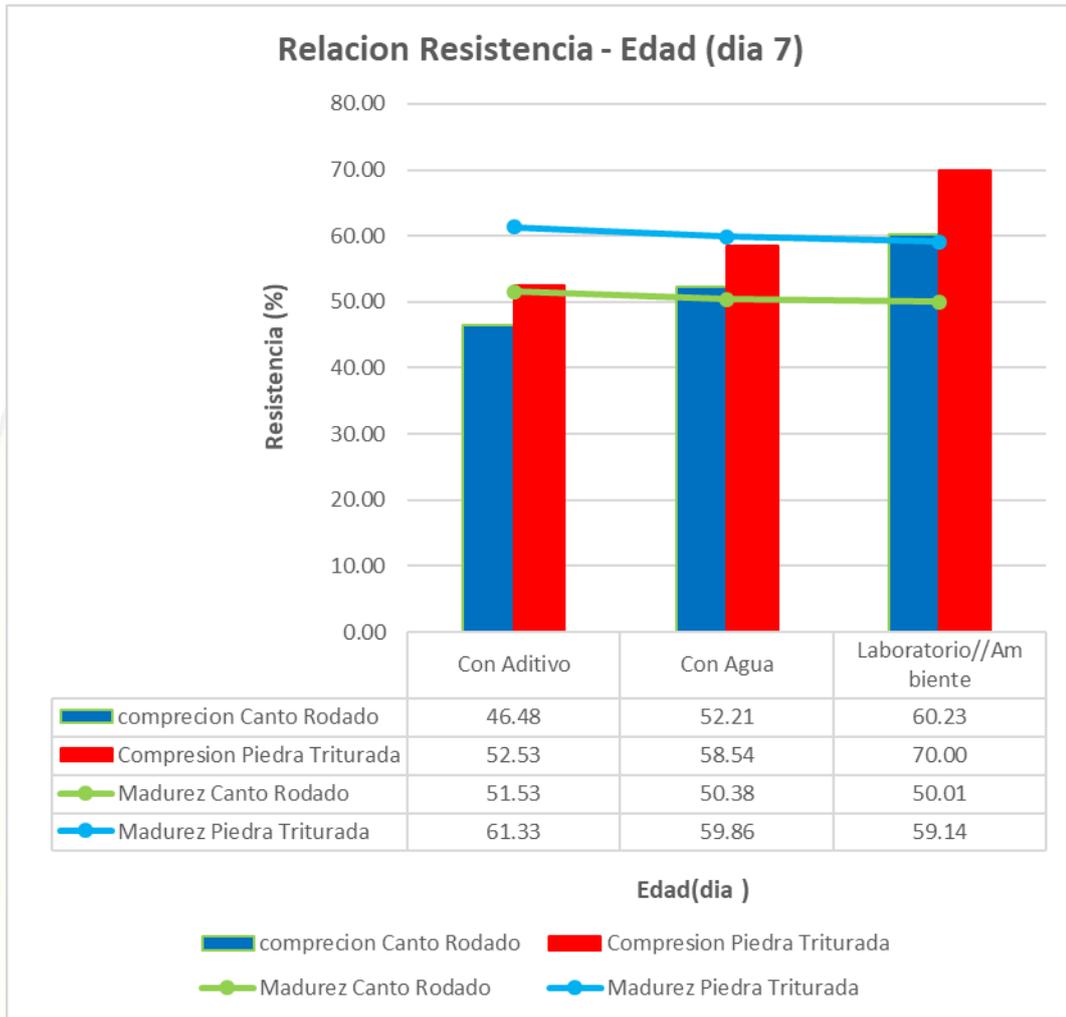
**8.1.9. Resistencia a compresión y método de madurez para cada tipo de agregado grueso y curado en obra y laboratorio**



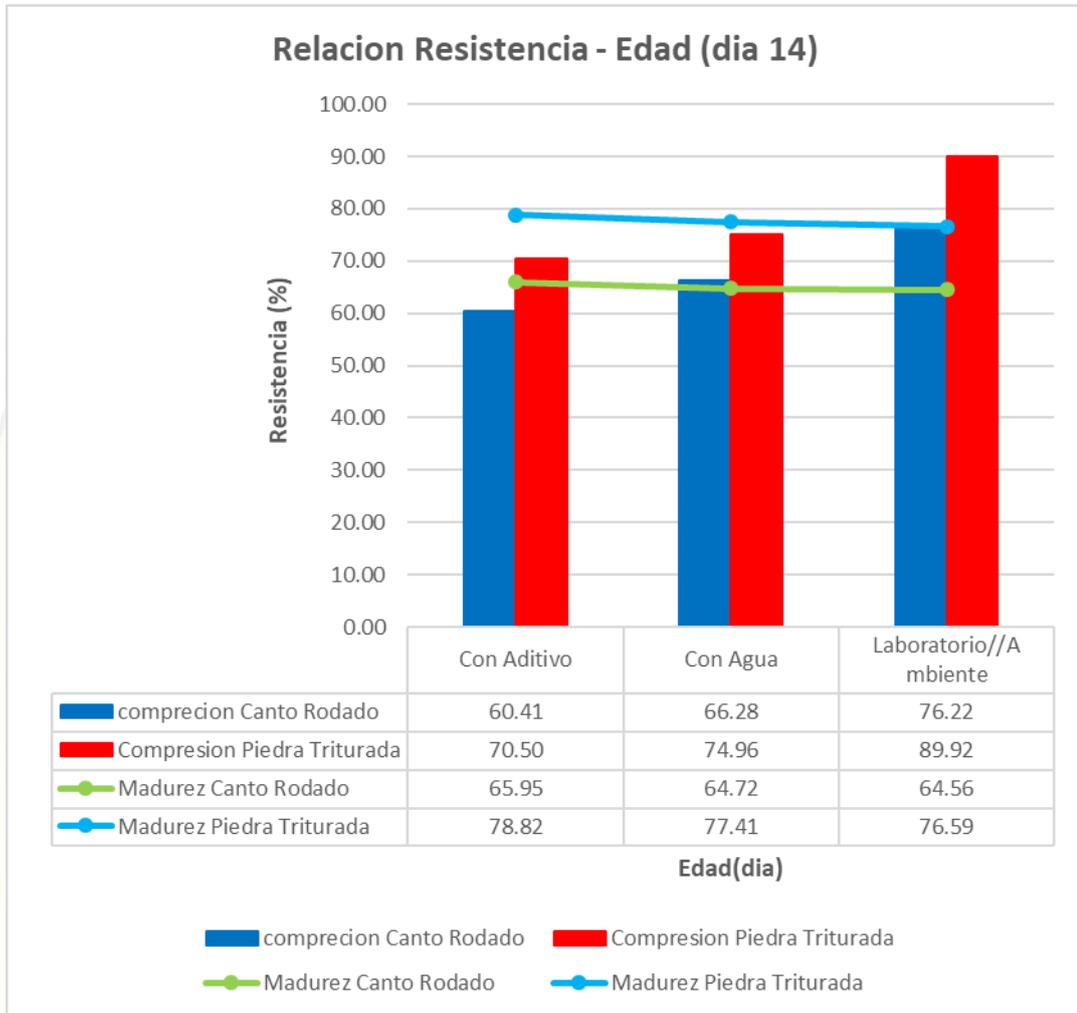
**Figura 5.29:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 1 día, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio



**Figura 5.30:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 3 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio



**Figura 5.31:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 7 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio



**Figura 5.32:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 14 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio



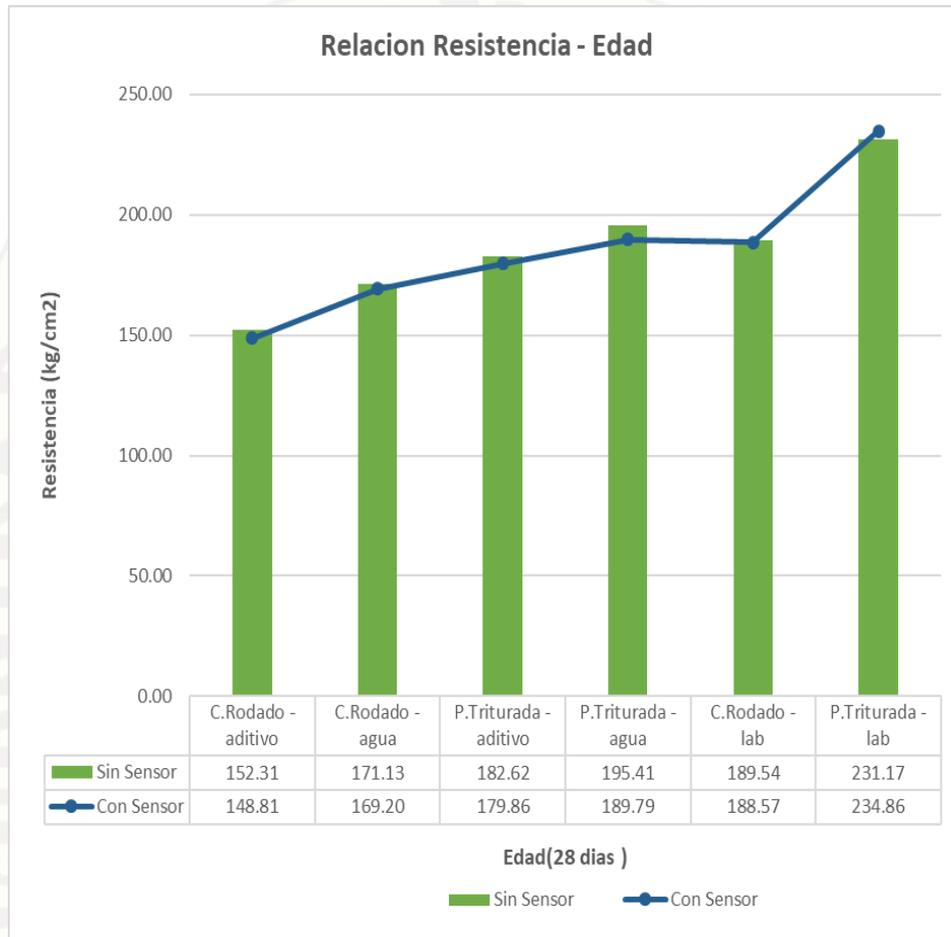
**Figura 5.33:** Gráfico que representa la resistencia a compresión y madurez, en porcentaje. Para la edad de 28 días, tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio

De las figuras desde 5.29 hasta 5.33, podemos observar la resistencia en porcentaje según el método de madurez y compresión para cada edad 1, 3, 7, 14 y 28 días, periodo que dura todo el curado respectivo del concreto.

Donde podemos observar la influencia significativa del método de madurez en comparación al método de compresión de las probetas, dado a las diferencias que estas demuestran en las resistencias obtenidas, donde las mayores resistencias obtenidas fueron para el método de madurez durante las edades de 3, 7, 14 y 28 días, edades muy importantes y decisivos para el comportamiento y desempeño del concreto hacia el futuro.

Por otro lado, podemos observar la relación directa entre el método de madurez y compresión en base al tipo de agregado grueso, ya que la resistencia aumenta para los dos métodos a medida que cambia el tipo de agregado grueso, observando la predominancia del agregado grueso Piedra triturada a comparación con agregado grueso canto rodado para todas las edades durante el periodo de curado. Por otro lado, la relación inversamente proporcional entre el método de madurez y compresión en base al tipo de curado, ya que las probetas curadas con aditivo tuvieron una diferencia significativa cuando se compara las resistencias entre dichos métodos, dando una predominancia al método de madurez, en cambio cuando se trata del curado con agua dicha diferencia se aminora con un aumento de resistencia a compresión y una disminución de la resistencia mediante el método de madurez.

### 8.1.10. Resistencia a la compresión de probetas con sensores y sin ella

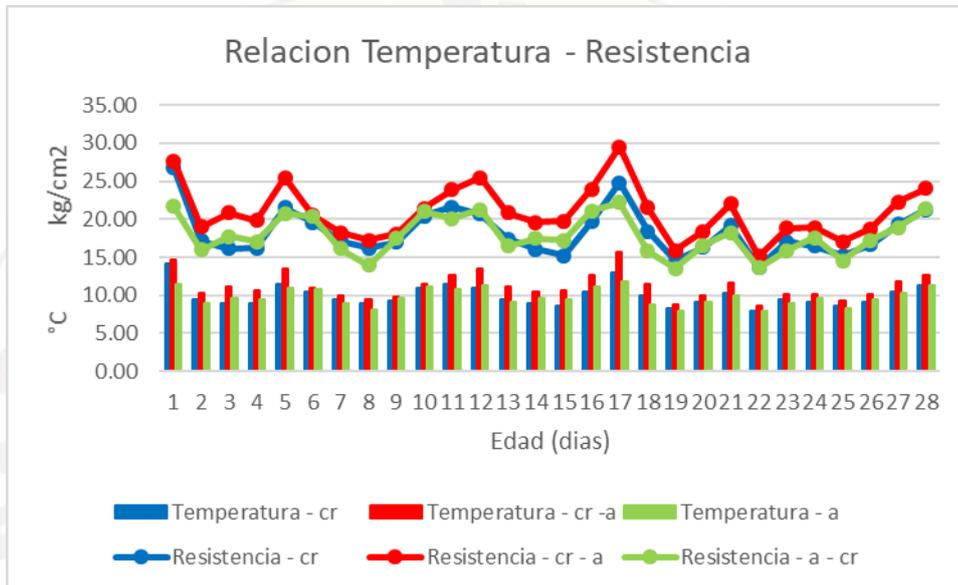


**Figura 5.34:** Gráfico que representa la resistencia a compresión, en kg/cm<sup>2</sup> para el tipo de agregado grueso, tipo de curado en obra y laboratorio a la edad de 28 días

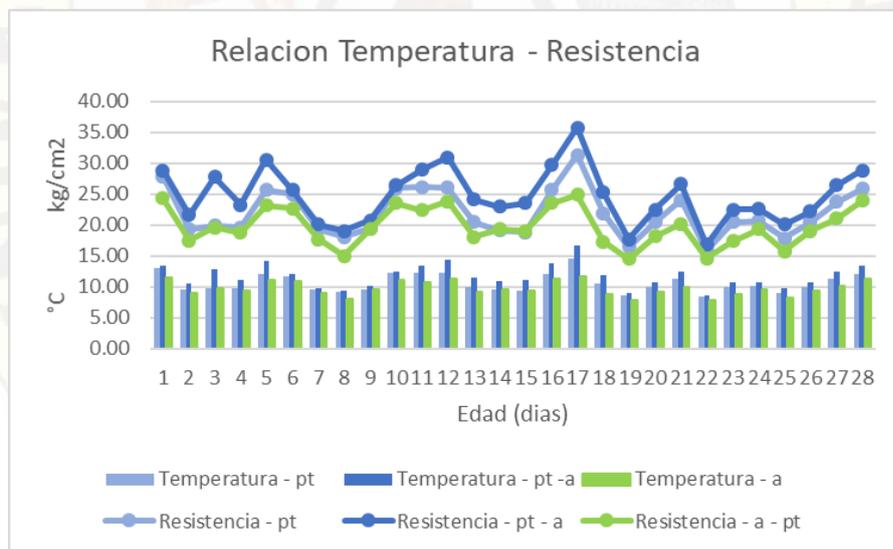
De la figura 5.34, podemos observar la resistencia en porcentaje de la resistencia a compresión, todo esto para el tipo de agregado grueso (piedra triturada y canto rodado) para los diferentes tipos de curado (aditivo y agua) todo esto en obra y también se tomó en cuenta las probetas curado en laboratorio.

También podemos observar que las probetas que estuvieron con sensores y los que no estuvieron presentan una diferencia en resistencia a compresión mínimas lo que nos quiere decir que los datos obtenidos son más confiables con respecto a la toma de temperaturas y a la resistencia a compresión a los 28 días de edad.

### 8.1.11. Relación de temperatura y resistencia mediante el método de madurez



**Figura 5.35:** Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado), tipo de curado (con aditivo y agua) en obra



**Figura 5.36:** Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (piedra triturada), tipo de curado (con aditivo y agua) en obra

En las figuras 5.35 y 5.36 podemos observar la relación de temperatura y resistencia mediante el método de madurez donde vemos que para el tipo de curado

(aditivo y agua) podemos afirmar que las mayores temperaturas la tienen los que fueron curados con aditivo y por ende mayores resistencias a comparación con los que fueron curados con agua, por otro lado, también podemos observar que a mayor temperatura mayor resistencia y viceversa.

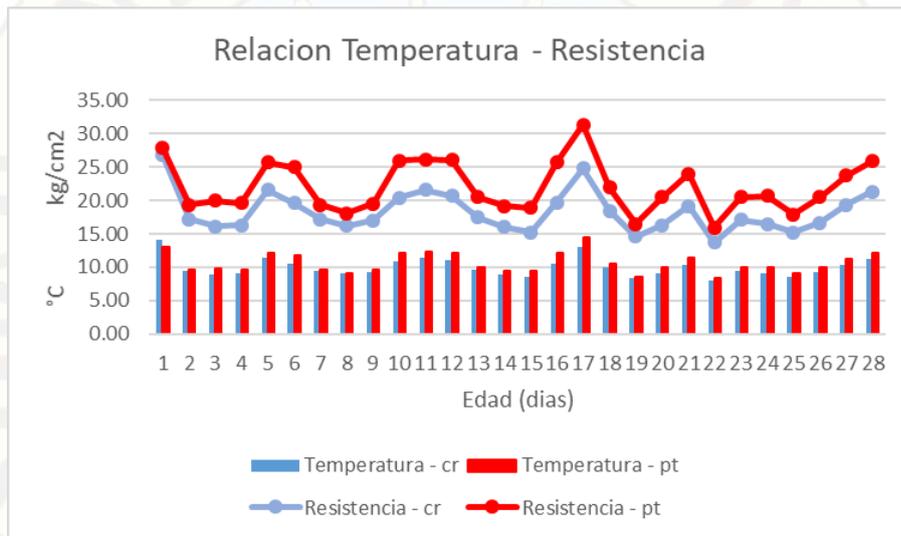


Figura 5.37: Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), tipo de curado (agua) en obra

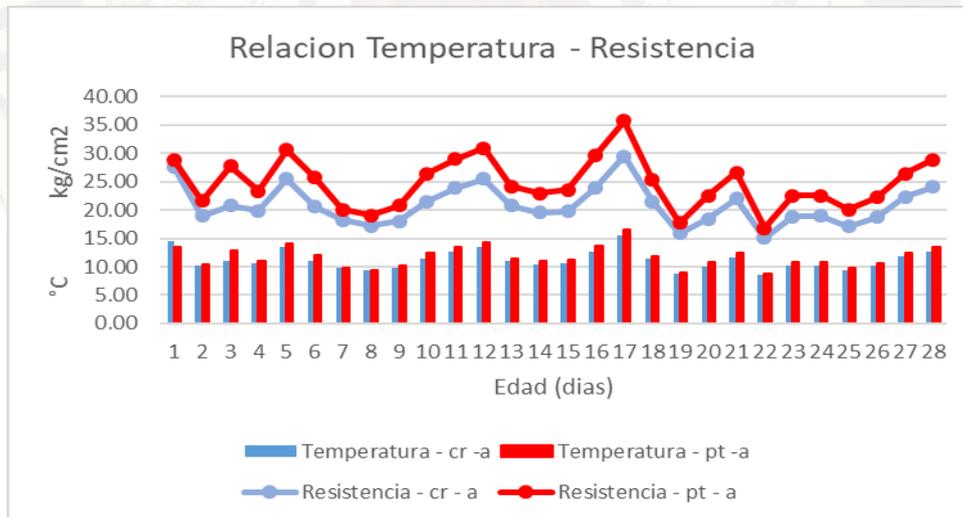


Figura 5.38: Gráfico que representa la relación de resistencia según el método de madurez con la temperatura (ambiente e interna) para los 28 días de edad, para el tipo de agregado grueso (canto rodado y piedra triturada), tipo de curado (aditivo) en obra

También según las figuras 5.37 y 5.38 podemos observar la relación de la temperatura y resistencia para el tipo de agregado grueso, donde podemos notar que a mayor temperatura mayor resistencia y viceversa, y las más altas temperaturas la tiene el agregado grueso (piedra triturada) por ende las más altas resistencias durante todo el tiempo que duró el curado específicamente 28 días.

#### **NOTA**

**cr y pt:** Canto rodado y piedra triturada curado con agua en obra (temperatura interna)

**cr-a y pt-a:** Canto rodado y piedra triturada curado con aditivo en obra (temperatura interna)

**a-cr y a-pt:** Canto rodado y piedra triturada curado en Laboratorio (temperatura ambiente)

**a:** ambiente (temperatura ambiente) // **cr-L y pt-L:** Canto rodado y piedra triturada curado en laboratorio (temperatura interna)

## **8.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **8.2.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS**

#### **8.2.1.1. Análisis estadístico del efecto de los tipos de agregado grueso en la resistencia del concreto ( $f'c$ )**

Como variable respuesta se evaluó la resistencia mediante el método de madurez ( $f'c$ ). En la tabla se presenta el diseño factorial completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de  $f'c$ .

Los datos de resistencia mediante el método de madurez ( $f'c$ ) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  (5 %), y un intervalo de confianza  $(1-\alpha)=0,95$  (95%) mediante el paquete de software Microsoft Excel. La tabla muestra los resultados del análisis de varianza realizado para los datos de  $f'c$ .

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE AGREGADO GRUESO CURADO CON AGUA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de A. grueso	810,366799	1	810,366799	9,2072168	0,038615	7,708647422
Edad	30259,9849	4	7564,99624	85,951893	0,000393	6,388232909
Error	352.057224	4	88,0143061	2	75	
Total	31422,409	9				

Reemplazando valores donde  $p = 0,03861$  y  $a = 0,05$ , lo cual siendo  $a > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con agua.

Por otro lado, reemplazando valores donde  $p = 0,00039$  y  $a = 0,05$ , donde  $a > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para las edades de 1,3,7,14 y 28 días.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE AGREGADO GRUESO CURADO CON ADITIVO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de A. grueso	860,407403	1	860,407403	9,96704	0,034280	7,708647422
Edad	30766,1078	4	7691,52695	89,0993	0,000366	6,388232909
Error	345,300966	4	86,3252415	968	82	
Total	31971,8162	9				

Reemplazando valores donde  $p = 0,03428$  y  $a = 0,05$ , lo cual siendo  $a > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con aditivo.

Por otro lado, reemplazando valores donde  $p = 0,00036$  y  $a = 0,05$ , donde  $a > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para las edades de 1,3,7,14 y 28 días.

### 8.2.1.2. Análisis estadístico del efecto de los tipos de curado en la resistencia del concreto (f'c)

Como variable respuesta se evaluó la resistencia mediante el método de madurez (f'c). En la tabla se presenta el diseño factorial completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de f'c.

Los datos de resistencia mediante el método de madurez (f'c) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$  (5 %), y un intervalo de confianza  $(1-\alpha)=0,95$  (95%) mediante el paquete de software Microsoft Excel. La tabla muestra los resultados del análisis de varianza realizado para los datos de f'c.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE CURADO CON AGREGADO GRUESO CANTO RODADO						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de Curado	12.0277823	1	12.0277823	49.5899	0.002143	
				132	5	7.708647422
Edad	24352.8666	4	6088.21665	25101.3	4.7608E-	
				966	09	6.388232909
Error	0.97017975	4	0.24254494			
Total	24365.8646	9				

Reemplazando valores donde  $p= 0,00214$  y  $\alpha= 0,05$ , lo cual siendo  $\alpha > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para el tipo de curado con agua y aditivo con el agregado grueso canto rodado.

Por otro lado, reemplazando valores donde  $p= 4,76E-09$  y  $\alpha = 0,05$ , donde  $\alpha > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para las edades de 1,3,7,14 y 28 días.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE CURADO CON AGREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	18,782421	1	18,782421	44,2373	0,002653	7,708647422
Columnas	37367,9158	4	9341,97895	22002,7	6,1961E-09	6,388232909
Error	1,69833056	4	0,42458264	341		
Total	37388,3966	9				

Reemplazando valores donde  $p = 0,00265$  y  $\alpha = 0,05$ , lo cual siendo  $\alpha > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para el tipo de curado con agua y aditivo para el agregado grueso piedra triturada.

Por otro lado, reemplazando valores donde  $p = 6,19E-09$  y  $\alpha = 0,05$ , donde  $\alpha > p$ , entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez para las edades de 1,3,7,14 y 28 días.

### 2.2.1.3. Análisis estadístico del efecto de la temperatura en la resistencia del concreto ( $f'c$ )

Como variable respuesta se evaluó la resistencia mediante el método de madurez ( $f'c$ ). En la tabla se presenta el diseño factorial completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de  $f'c$ .

Los datos de resistencia mediante el método de madurez ( $f'c$ ) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de regresión (ANOVA) para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  (5 %), y un intervalo de confianza  $(1-\alpha) = 0,95$  (95 %) mediante el paquete de software Microsoft Excel. La tabla muestra los resultados del análisis de regresión realizado para los datos de  $f'c$ .

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE AGREGADO CANTO RODADO CURADO CON AGUA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	174,651107	174,651107	19089,0651	1,4329E-37
Residuos	25	0,22873188	0,00914928		
Total	26	174,879839			

Remplazando valores donde  $p = 1,4329 \text{ E-}37$  y  $a = 0,05$ , lo cual siendo  $a > p$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias y la temperatura en base al tipo de agregado grueso canto rodado curado con agua.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TIPO DE AGREGADO PIEDRA TRITURADA CURADO CON AGUA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	352,58811	352,58811	14659,1529	3,8691E-36
Residuos	25	0,60131051	0,02405242		
Total	26	353,18942			

Remplazando valores donde  $p = 3,86 \text{ E-}36$  y  $a = 0,05$ , lo cual siendo  $a > p$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias y la temperatura en base al tipo de agregado grueso piedra triturada curado con agua.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL TIPO DE AGREGADO GRUESO CANTO RODADO CURADO CON ADITIVO

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	274,516517	274,516517	9990,51741	4,6234E-34
Residuos	25	0,68694269	0,02747771		
Total	26	275,20346			

Remplazando valores donde  $p = 4,623 \text{ E-}34$  y  $a = 0,05$ , lo cual siendo  $a > p$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre

las resistencias y la temperatura en base al tipo de agregado grueso canto rodado curado con aditivo.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL TIPO DE GAREGADO GRUESO PIEDRA TRITURADA CURADO CON ADITIVO

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	511,513761	511,513761	8673,62963	2,6935E-33
Residuos	25	1,47433596	0,05897344		
Total	26	512,988097			

Remplazando valores donde  $p = 1,4329 \text{ E-}37$  y  $\alpha = 0,05$ , lo cual siendo  $\alpha > p$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Entonces se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre las resistencias y la temperatura en base al tipo de agregado grueso piedra triturada curado con aditivo.

#### 2.2.1.4. Probabilidad para el método de madurez y resistencia a compresión

Los datos de resistencia mediante el método de madurez y compresión ( $f'c$ ) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  (5 %), y un intervalo de confianza  $(1-\alpha) = 0,95$  (95 %) mediante el paquete de software Microsoft Excel. La tabla muestra los resultados del análisis de probabilidad para los datos de  $f'c$ .

Tabla 5.1: Probabilidad para el método de madurez y resistencia a compresión

	Método de madures (p)	Resistencia a la compresión(p)
T. agregado grueso agua	0,03861584	0,00389776
T. agregado grueso aditivo	0,0342806	0,00642855
Tipo de curado, C. rodado	0,0021435	0,03881695
Tipo de curado, p. triturada	0,0026534	0,04362668

donde podemos ver la asociación estadísticamente significativa entre las resistencias obtenidas mediante el método de madurez y compresión para el tipo

de curado con agua y aditivo, y para el tipo de agregado grueso canto rodado y piedra triturada.



## CONCLUSIONES

- Dependiendo del tipo de agregado grueso, se obtuvieron las mayores resistencias, donde la predominancia fue para el tipo de agregado grueso piedra triturada a comparación con el tipo de agregado grueso canto rodado, con una diferencia promedio de resistencia de 18,55 kg/cm<sup>2</sup> (8,83 %) curados con aditivo y 18 kg/cm<sup>2</sup> (8,57 %) curados con agua, con una significancia de 0,034 y 0,04 respectivamente. Por lo que se concluye que los tipos de agregado grueso influyen significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de madurez.
- Dependiendo del tipo de curado se obtuvieron las mayores resistencias, donde la predominancia fue para el tipo de curado con aditivo a comparación con el tipo de curado con agua, con una diferencia promedio de resistencia de 2,19kg/cm<sup>2</sup> (1,04%) utilizando el agregado canto rodado y 2,74 kg/cm<sup>2</sup> (1,31%) utilizando el agregado piedra triturada, con una significancia de 0,002143 y 0,002052 respectivamente. Por lo que se concluye que el tipo de curado influye en la resistencia del concreto mediante el método de madurez.
- Dependiendo del tipo de agregado grueso se obtuvieron las mayores resistencias, donde la predominancia fue para el tipo de agregado grueso piedra triturada a comparación con el tipo de agregado grueso canto rodado, con una diferencia promedio de 18,16 kg/cm<sup>2</sup> (8,65%) curados con aditivo y 15,67 kg/cm<sup>2</sup>(7,46%) curados con agua, con una significancia de 0,0064 y 0,00389 respectivamente. Por lo que se concluye que los tipos de agregado grueso influyen significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de compresión.
- Dependiendo el tipo de curado se obtuvieron las mayores resistencias, donde la predominancia fue para el tipo de curado con agua a comparación con el tipo de curado con aditivo, con una diferencia promedio de 10 kg/cm<sup>2</sup> (4,76 %) utilizando el tipo de agregado canto rodado y 7,5 kg/cm<sup>2</sup> (3,57 %) utilizando el tipo de agregado piedra triturada, con una significancia de 0,038 y 0,043 respectivamente. En conclusión, el tipo de curado influye significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de compresión.

- La resistencia mediante el método de madurez se incrementa a medida que pasa la edad 1, 3, 7, 14 y 28 días, en base al tipo de agregado grueso curado con agua se obtuvo una significancia de 0,000393 y curado con aditivo 0,000366 respectivamente. En base al tipo de curado utilizando el agregado grueso piedra triturada se obtuvo una significancia de 6,19 E- 09 y canto rodado 4,76 E- 09 respectivamente. Consecuentemente, se afirma que la edad influye significativamente en la resistencia del concreto.
- Donde se notó que la resistencia se incrementa a medida que se incrementa la temperatura y viceversa, dado que para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con agua se obtuvo una resistencia y temperatura promedio de 18,28 kg/cm<sup>2</sup> (9,95°C) y 22 kg/cm<sup>2</sup> (10,63°C), para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con aditivo se obtuvo una resistencia y temperatura promedio de 24,71 kg/cm<sup>2</sup> (11,73°C) y 20,88 kg/cm<sup>2</sup> (11,17°C), con una significancia de 3,86 E-36; 1,43 E-37; 2,9 E-33 y 4,62 E-34 respectivamente. Los datos anteriores prueban que la temperatura influye significativamente en la resistencia del concreto.
- En base al registro de temperaturas se obtuvo, para el agregado grueso piedra triturada (37,33; 5,69 y 8,31°C) y canto rodado (29,13; 5,88 y 7,94 °C) curados con aditivo, mientras que para el agregado grueso piedra triturada (37,51; 4,94 y 7,81 °C) y canto rodado (27,56; 4,38 y 5,94 °C) curados con agua, siendo temperatura máxima, mínima y moda para los 28 días que dura el curado del concreto. Por lo tanto, se concluye que las temperaturas internas del concreto varían dependiendo del tipo de agregado grueso que se utilice y tipo de curado que se le aplique al concreto.
- Dado a la influencia significativa de la edad y temperatura en la resistencia del concreto en base a los métodos de curado y a los tipos de agregado. Siendo el método de madurez dependiente directamente de las variables edad y temperatura, concluimos que el método de madurez influye significativamente en la resistencia del concreto.

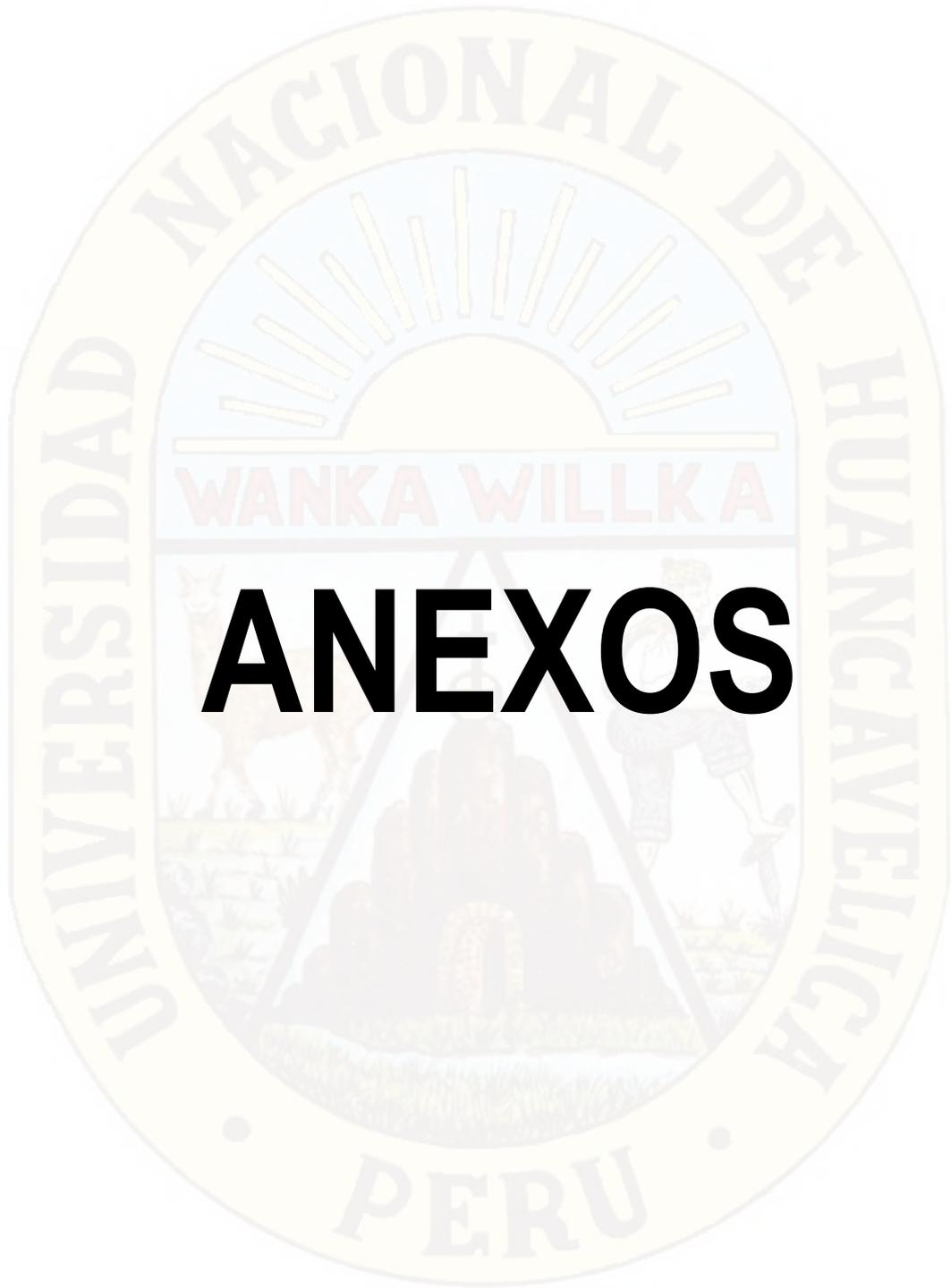
- La temperatura ambiente fue relativamente la más baja registrada a comparación con las demás. Por lo que la predominancia fue para la resistencia mediante el método de madurez en base a la temperatura interna del concreto a comparación con la temperatura ambiente, con una diferencia promedio de resistencia para el tipo de agregado grueso canto rodado curado con aditivo 3,85kg/cm<sup>2</sup> (1,83 %) y agua 1,65 kg/cm<sup>2</sup> (0,79 %) respectivamente, y para el tipo de agregado grueso piedra triturada curado con aditivo 4,39 kg/cm<sup>2</sup> (2,09 %) y agua 1,65 kg/cm<sup>2</sup> (0,79%) respectivamente. En conclusión, la resistencia obtenida mediante la temperatura ambiente se puede utilizar como una referencia confiable pero no como un dato exacto, dado a la diferencia de resistencia que existe entre ambos.

## RECOMENDACIONES

- Que se ensaye el método de madurez para los tipos de cemento que podemos encontrar en la ciudad de Huancavelica, con la finalidad de ampliar el conocimiento, para luego aplicarla a las obras que se den en la localidad o que se puedan dar a futuro.
- Que para complementar la tesis presentada ensayar para conocer el datum de temperatura, para cada tipo de agregado dado que se hizo con un datum de referencia.
- Que para complementar la tesis presentada ensayar para conocer el datum de temperatura, para cada tipo de curado dado que se hizo con un datum de referencia.
- Realizar el método de madurez con los datos de temperatura de una estación meteorológica y hacer la relación entre los datos obtenidos con el sensor y dicha estación.
- Realizar ensayos aplicando el método de madurez para el tamaño del agregado grueso (piedra triturada y canto rodado), como por ejemplo para 1", 1 1/2", etc., en la ciudad de Huancavelica.
- Investigar si es o no aplicable el método de madurez en estructuras como, por ejemplo, pavimentos, obras de estructuras hidráulicas de concreto, lozas aligeradas, etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

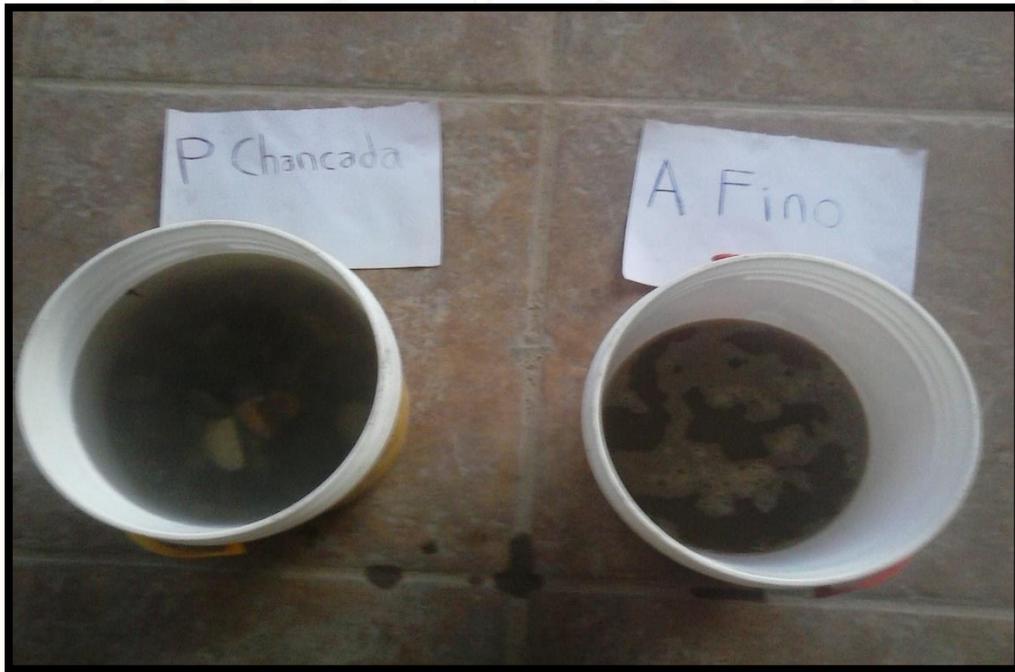
- Velez, S. (2009). *Madurez del concreto*. Medellín: INDASA.
- Aguilar, E., Rodríguez, E. y Sermeño, M. (2009). *Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad Multidisciplinaria Oriental, Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Manobanda, C. (2013). *El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Medina, W. y Garavito, J. (2014). *El curado del concreto en la construcción*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Tunja: Universidad Santo Tomas Seccional Tunja.
- Corro, H., Ramos, A. (2015). *Correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Céspedes, M. (2003). "Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Ruiz, P. (2006). *Influencia de los métodos comunes de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad de ingeniería civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Quezada, N. (2010). *Metodología de la investigación: Estadística aplicada a la investigación*. Lima: Macro.



# ANEXOS

## Anexo 1

### PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1: Saturación de los agregados





Fotografía 2 : Ensayo del peso específico del agregado grueso



Fotografía 3 : Ensayo de la gravedad específica para el agregado fino





Fotografía 4 : Tamizado de los agregados (grueso, fino y global)





Fotografía 5 : Pesado de la briqueta más el agregado grueso (piedra triturada)



Fotografía 6 : Obtención del peso específico compactado de los agregados



PERU



Fotografía 7 : Instalación de los sensores y la máquina, donde se registrará las temperaturas





Fotografía 8 : Preparación de la mezcla de concreto para cada tipo de diseño



Fotografía 9 : Obtención del slum para cada tipo de diseño



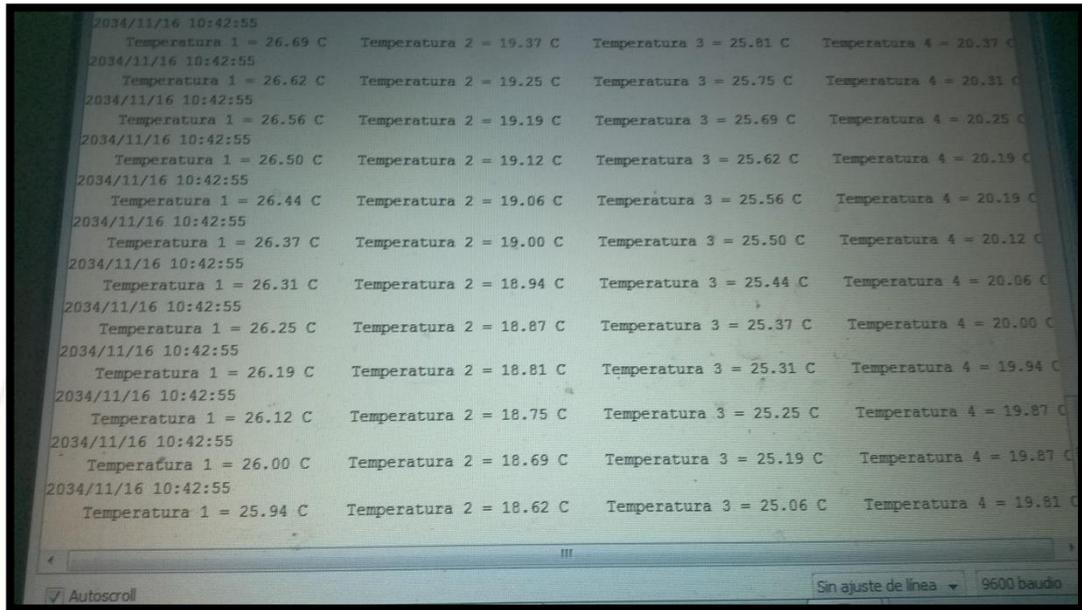
Fotografía 10 : Extracción de los espacios vacíos al momento del vaciado, del concreto a las briquetas



PERU



**Fotografía 11 : Colocación de los sensores dentro de las probetas para el respectivo registro de temperaturas**



Fotografía 12 : Ejecución del programa para registrar las temperaturas



Fotografía 13 : Curado de las probetas de concreto con aditivo



Fotografía 14 : Curado de probetas de concreto con agua



Fotografía 15 : Sensor para medir la temperatura ambiente



Fotografía 16 : Probetas con sensores y sin sensores para el respectivo ensayo de compresión en obra



PERU



**Fotografía 17 : Colocación de los sensores en las probetas curado en laboratorio para su respectivo registro de temperaturas**



Fotografía 18 : Ejecución del programa para poder registrar la temperatura



Fotografía 19 : Sumergiendo las probetas de concreto para su respectivo curado durante los 28 días



Fotografía 20 : Monitoreo de los registrando las temperaturas en laboratorio



Fotografía 21 : Corte de los sensores para poder hacer la respectiva rotura de la probeta a compresión





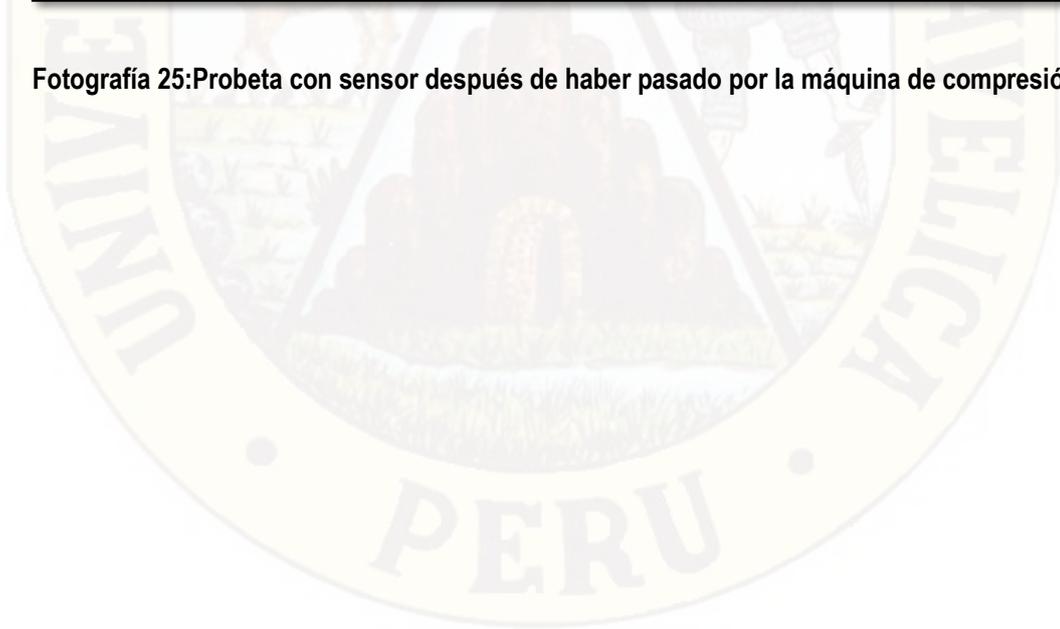
Fotografía 22 : Rotura a compresión de las probetas de concreto

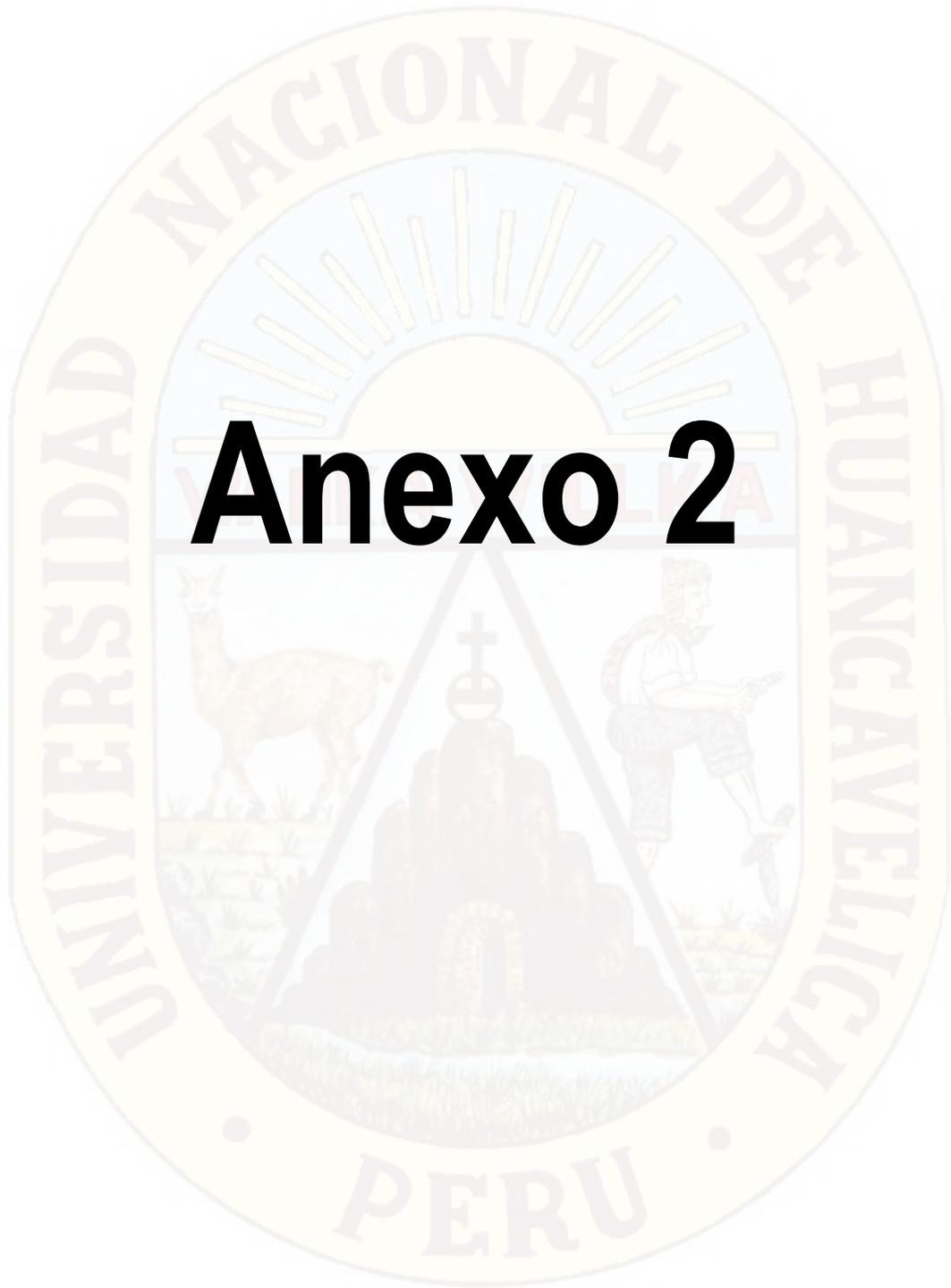


Fotografía 24 : Probeta después de haber pasado por la máquina de compresión



Fotografía 25: Probeta con sensor después de haber pasado por la máquina de compresión





# Anexo 2



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA**  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HUANCAMELICA**  
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EPICH



*"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"*

**EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAMELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA, otorga la presente:**

# **CONSTANCIA**

A: **BEDOYA ESPINOZA JORGE**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, quien ha concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en el Laboratorio de Concreto de la EPICH:

- *Comprensión digital de testigos de concreto (52 ensayos)*
- *Análisis granulométrico por tamizado: fino, grueso y global (03 ensayos)*
- *Peso específico y absorción de agregado grueso, fino y global (03 ensayos)*
- *Peso unitario (S.S. Y S.C.), fino, grueso y global (03 ensayos)*
- *Contenido de humedad de agregado fino grueso y global (03 ensayos)*

Durante el periodo de ejecución Diciembre del 2017 - marzo del año 2018, del proyecto de tesis: "INFLUENCIA DEL METODO DE MADUREZ EN LA RESISTENCIA DE CONCRETO PARA UN  $F'_{C}=210\text{KG}/\text{CM}^2$  EN LA CIUDAD DE HUANCAMELICA".

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para fines que estime por conveniente.

Huancavelica, 19 de marzo del 2018.

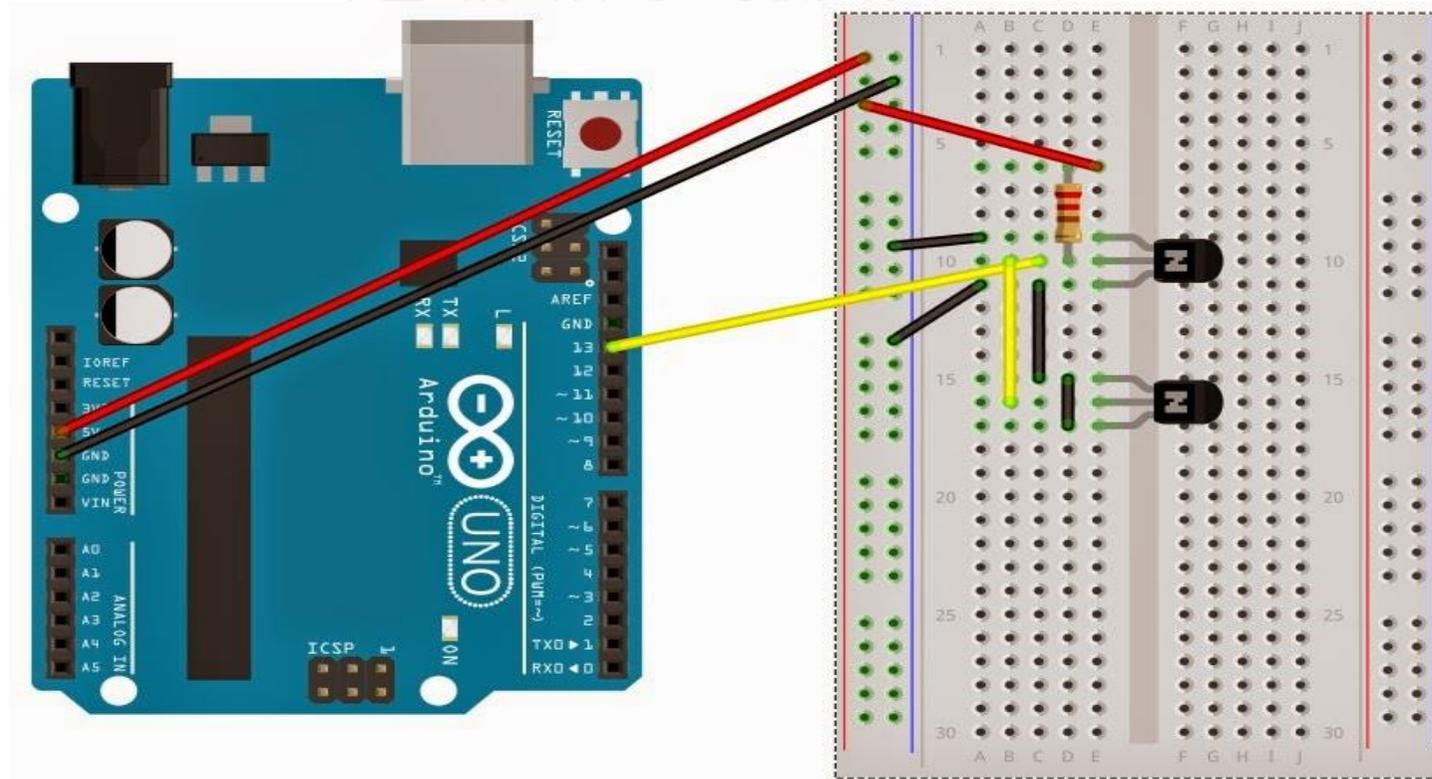
Nº 002-2018

C. C.  
Archivo  
AP



### Anexo 3

## PROTOTIPO PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA(ARDUINO)



## Anexo 4

### CODIGO FUNTE DEL PROGRAMA

(ARDUINO)

#### PARA REGISTRAR LAS TEMPERATURAS

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

File logFile;

RTC_DS3231 rtc;

OneWire ourWire(7); //Se establece el pin 2 como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

DeviceAddress address1 = {0x28, 0xFF, 0x0, 0xBA, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x8D}; //dirección del sensor
1

DeviceAddress address2 = {0x28, 0xFF, 0x3A, 0xC5, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x86}; //dirección del sensor
2

DeviceAddress address3 = {0x28, 0xFF, 0x46, 0xC4, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x45}; //dirección del sensor
1

DeviceAddress address4 = {0x28, 0xFF, 0xB9, 0xC0, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x82}; //dirección del sensor
2

DeviceAddress address5 = {0x28, 0xFF, 0x77, 0x12, 0x85, 0x16, 0x3, 0xB8}; //dirección del sensor
2
```

```
const int chipSelect = 4;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday",
"Friday", "Saturday"};

void setup () {

#ifndef ESP8266

    while (!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero
#endif

    Serial.begin(9600);

    delay(3000); //
    if (!rtc.begin()) {

        Serial.println("Couldn't find RTC");

        while (1);

    }

    if (rtc.lostPower()) {

        Serial.println("RTC lost power, lets set the time!");

        // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

        // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
        // January 21, 2014 at 3am you would call:
        // rtc.adjust(DateTime(2014, 1, 21, 3, 0, 0));

    }

    Serial.begin(9600);

    sensors.begin(); //Se inicia el sensor

    Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
```

```
if (!ISD.begin(4))
{
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
}
Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
}

void printDate(DateTime date)
{
    Serial.print(date.year(), DEC);
    Serial.print("/");
    Serial.print(date.month(), DEC);
    Serial.print("/");
    Serial.print(date.day(), DEC);
    Serial.print(" (");
    Serial.print(daysOfTheWeek[date.dayOfTheWeek()]);
    Serial.print(")");
    Serial.print(date.hour(), DEC);
    Serial.print(":");
    Serial.print(date.minute(), DEC);
    Serial.print(":");
    Serial.print(date.second(), DEC);
    Serial.println();
}
```

```
//Funcion que simula la lectura de un sensor

int readSensor()
{
    return 0;
}

void logValue(DateTime date, int value)
{
    logFile.print(date.year(), DEC);
    logFile.print("/");
    logFile.print(date.month(), DEC);
    logFile.print("/");
    logFile.print(date.day(), DEC);
    logFile.print(" ");
    logFile.print(date.hour(), DEC);
    logFile.print(":");
    logFile.print(date.minute(), DEC);
    logFile.print(":");
    logFile.print(date.second(), DEC);
    logFile.print(" ");
    logFile.println(value);
}

void loop () {

    sensors.requestTemperatures(); //envía el comando para obtener las temperaturas

    float temp1= sensors.getTempC(address1);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
```

```
float temp2= sensors.getTempC(address2);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 2

float temp3= sensors.getTempC(address3);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 3

float temp4= sensors.getTempC(address4);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 4

float temp5= sensors.getTempC(address5);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 5

    logFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

    if (logFile) {

        int value = readSensor( );

        DateTime now = rtc.now();

            DateTime future (now + TimeSpan(0,12,6,27));

                Serial.print(" ");

                Serial.print(future.year(), DEC);

                Serial.print('/');

                Serial.print(future.month(), DEC);

                Serial.print('/');

                Serial.print(future.day(), DEC);

                Serial.print(' ');

                Serial.print(future.hour(), DEC);

                Serial.print(':');

                Serial.print(future.minute(), DEC);

                Serial.print(':');

                Serial.print(future.second(), DEC);

                Serial.println();

                printDate(now);

                Serial.print( " " );
```

```
Serial.print("Temperatura 1 = ");  
  
Serial.print(temp1);  
  
Serial.print(" C");  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print("Temperatura 2 = ");  
  
Serial.print(temp2);  
  
Serial.print(" C");  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print("Temperatura 3 = ");  
  
Serial.print(temp3);  
  
Serial.print(" C");  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print("Temperatura 4 = ");  
  
Serial.print(temp4);  
  
Serial.print(" C");  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print("Temperatura 5 = ");  
  
Serial.print(temp5);  
  
Serial.print(" C");  
  
Serial.println();  
  
//  
  
logValue(future,value);  
  
logFile.close();  
  
}
```

```
else {  
    Serial.println(F("Error al abrir el archivo"));  
}  
File dataFile=SD.open("temp.txt",FILE_WRITE);  
if (dataFile) {  
    dataFile.print(" ");  
    dataFile.print("Temperatura 1 = ");  
    dataFile.print(temp1);  
    dataFile.print(" C");  
    dataFile.print(" Temperatura 2 = ");  
    dataFile.print(temp2);  
    dataFile.print(+ " C");  
    dataFile.print(" ");  
    dataFile.print("Temperatura 3 = ");  
    dataFile.print(temp3);  
    dataFile.print(" C");  
    dataFile.print(" Temperatura 4 = ");  
    dataFile.print(temp4);  
    dataFile.print(+ " C");  
    dataFile.print(" Temperatura 5 = ");  
    dataFile.print(temp5);  
    dataFile.print(+ " C");  
    dataFile.println();  
}
```

```
        dataFile.close();
    }
    delay(6000);
}
```

### PARA SABER EL CODIGO DE LOS SENSORES

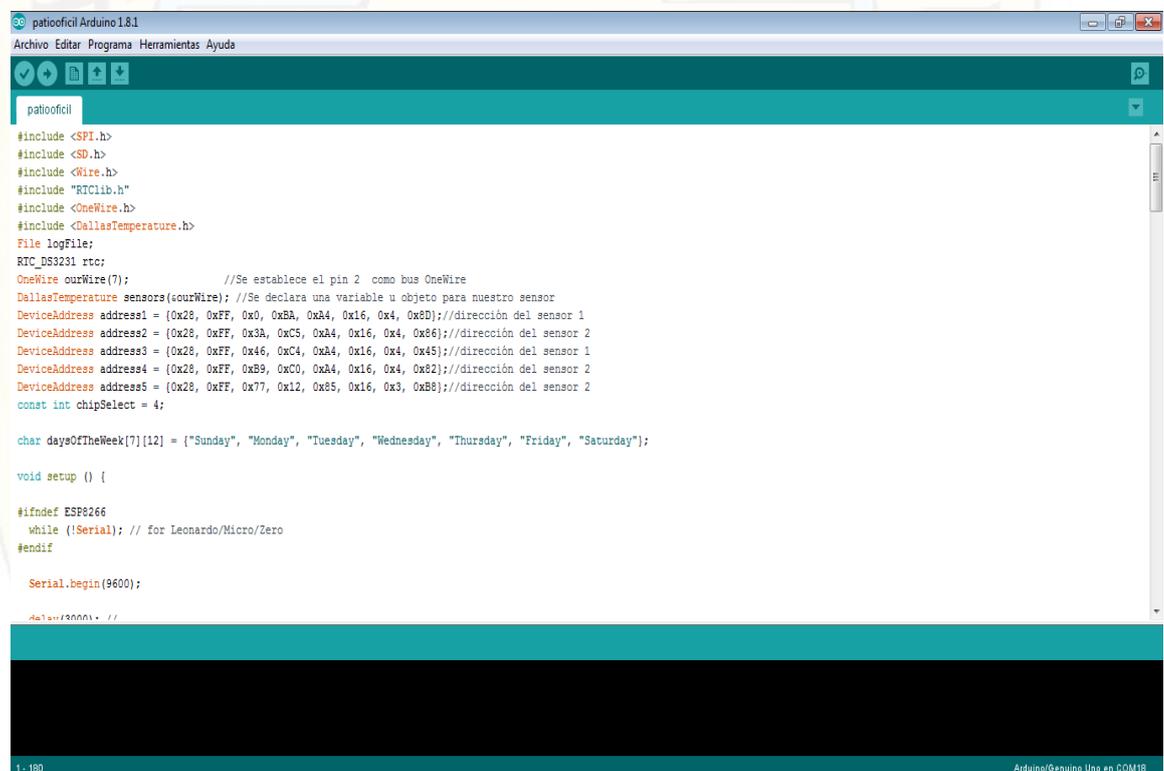
```
include <OneWire.h>
OneWire ourWire(7); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
void setup(void) {
    Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
    byte addr[8];
    Serial.println("Obteniendo direcciones:");
    while (ourWire.search(addr))
    {
        Serial.print("Address = ");
        for( int i = 0; i < 8; i++) {
            Serial.print(" 0x");
            Serial.print(addr[i], HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    Serial.println();
}
Serial.println();
```

```
ourWire.reset_search();
```

```
delay(2000);
```

```
}
```

## PLATAFORMA DE ARDUINO SOFTWARE (ARDUINO)



The screenshot shows the Arduino IDE interface with a code editor window titled 'patioofici1'. The code is a C++ program for an Arduino Uno, including headers for SPI, SD, Wire, RTClib, OneWire, and DallasTemperature. It defines an array of sensor addresses and a setup function that initializes the serial port at 9600 baud. The code is as follows:

```
patioofici1
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
File logFile;
RTC_DS3231 rtc;
OneWire ourWire(7); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
DallasTemperature sensors(ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor
DeviceAddress address1 = {0x28, 0xFF, 0x0, 0xBA, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x2D}; //dirección del sensor 1
DeviceAddress address2 = {0x28, 0xFF, 0x3A, 0xC5, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x86}; //dirección del sensor 2
DeviceAddress address3 = {0x28, 0xFF, 0x46, 0xC4, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x45}; //dirección del sensor 1
DeviceAddress address4 = {0x28, 0xFF, 0xB9, 0xC0, 0xA4, 0x16, 0x4, 0x82}; //dirección del sensor 2
DeviceAddress address5 = {0x28, 0xFF, 0x77, 0x12, 0x85, 0x16, 0x3, 0xB8}; //dirección del sensor 2
const int chipSelect = 4;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};

void setup () {

#ifdef ESP8266
  while (!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero
#endif

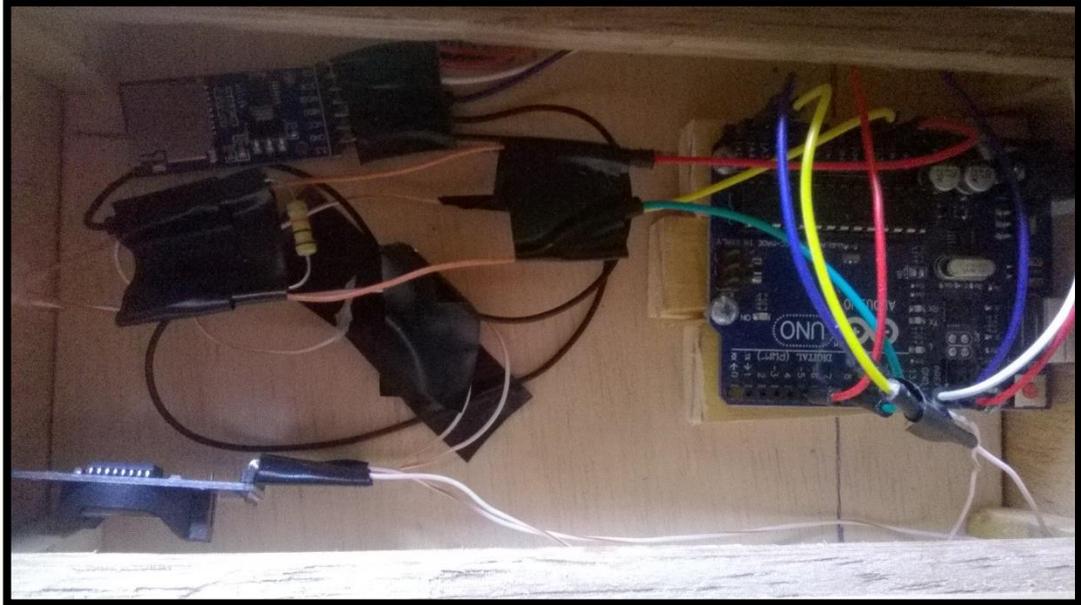
  Serial.begin(9600);

  //Serial.println("Inicio");
}
```

1-180 Arduino/Genuino Uno en COM18

## Anexo 5

### PROTOTIPO DESARROLLADO (ARDUINO)



## Anexo 6

### ASTM Designación: C 1074 - 98

**Práctica Estándar para la estimación de la Resistencia del Concreto por el Método de Madurez.**

#### 1. Alcance

1.1. Esta práctica proporciona un procedimiento para estimar la resistencia del concreto por medio del método de madurez. El índice de madurez es expresado en términos del factor temperatura-tiempo o en términos de la edad equivalente a una temperatura especificada.

1.2. Esta práctica requiere determinar la relación resistencia-madurez de la mezcla de concreto en laboratorio y conocer el historial de temperatura interna del concreto para el cual la resistencia es estimada.

1.3. Las unidades consideradas para esta norma serán las del Sistema Internacional (SI).

1.4. Esta norma no pretende señalar problemas de seguridad, si los hubiera, asociado a su aplicación. Será responsabilidad del usuario de esta norma establecer la seguridad apropiada y practicas saludables, así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. **Advertencia** - Las mezclas frescas de cemento hidráulico son causticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos sobre exposición prolongada.

#### 2. Documentos de Referencia (Estándares ASTM):

C 39 Método de Ensayo para Resistencia a Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

C 78 Método de Ensayo para Resistencia a Flexión. del Concreto (Usando Viga Simple con Carga al Tercio)

C109 Método de Ensayo para Resistencia a Compresión de Morteros de

Cemento Hidráulico (Usando Especímenes Cúbicos de 2 pulgadas o 50 mm).

C192 Práctica para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo, en el Laboratorio.

C403 Método de Ensayo para Tiempo de Fraguado de Mezclas de Concreto Mediante Resistencia a la Penetración.

C511 Especificación para Gabinetes de Humedad, Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento de Agua Usados en el Ensayo de Cementos y Concreto.

C684 Método de Ensayo para Elaboración, Curado Acelerado y Ensayo de Especímenes de Concreto a Compresión.

C803 Método de Ensayo para Resistencia a la Penetración del Concreto Endurecido.

C873 Método de Ensayo para Resistencia a Compresión de Cilindros de Concreto Colados en el Lugar, en Moldes Cilíndricos.

C900 Método de Ensayo para Resistencia a la Extracción de Concreto Endurecido.

C918 Método de Ensayo para Medición de Resistencia a Compresión a Edad

Temprana y Proyección de la Resistencia a Edades Posteriores

### 3. Terminología

#### 3.1 Definición de Términos Específicos a este Estándar

3.1.1 *temperatura de referencia* — la temperatura que es restada de la temperatura medida en el concreto mediante el cálculo del factor temperatura - tiempo, de acuerdo a la Ecuación 1.

3.1.2 *edad equivalente* — el número de días u horas a una temperatura especificada requerida para producir una madurez igual a la madurez obtenida mediante un periodo de curado a temperaturas diferentes de la temperatura especificada.

3.1.3 *madurez* — la extensión del desarrollo de una propiedad en una mezcla de cemento.

3.1.3.1 *Discusión* — Aunque el término es usado usualmente para describir la extensión del desarrollo de resistencia relativa, esto también puede ser aplicado a la evolución de otras propiedades que son dependientes de las reacciones químicas que ocurren en una mezcla cementante. A cualquier edad, la madurez es dependiente de la historia de curado.

3.1.4 *función de madurez* — una expresión matemática que usa la historia de la temperatura medida de una mezcla cementante durante el periodo de curado para calcular un índice que es indicativo

de la madurez al final de ese periodo. Refiérase al Apéndice X1 para discusión adicional de este término.

3.1.5 *índice de madurez* — un indicador de madurez que es calculado de la historia de temperatura de la mezcla cementante, mediante el uso de una función de madurez

3.1.5.1 *Discusión* — El índice calculado es indicativo de la madurez proporcionada y ha sido suministrada suficiente agua para hidratación o reacción puzolánica de los materiales cementantes durante el tiempo usado en los cálculos. Dos índices de madurez ampliamente usados son el factor temperatura- tiempo y la edad equivalente.

3.1.6. *método de madurez* — una técnica para estimar la resistencia del concreto que está basada en la asunción que la madurez de una mezcla de concreto dada alcanza igual resistencia si ellas alcanzan iguales valores de índice de madurez.

3.1.7 *relación resistencia — madurez* — una relación empírica entre la resistencia -a compresión y el índice de madurez que es obtenido por ensayos de especímenes cuya historia de temperatura por encima del tiempo de ensayo ha sido registrado.

3.1.8 *factor temperatura- tiempo* — el índice de madurez calculado de acuerdo a la Ecuación 1.

#### **4. Resumen de la práctica**

4.1 Se desarrolla la relación resistencia-madurez mediante ensayos de laboratorio en la mezcla de concreto a ser usada.

4.2 El historial de temperatura del concreto en campo, para el cual la resistencia quiere ser estimada, es registrada desde el tiempo de colocación del concreto hasta el momento que se desee estimar la resistencia.

4.3 El historial de temperatura registrada es usada para calcular el índice de madurez del concreto de campo.

4.4 Usando el índice de madurez calculado y la relación resistencia-madurez, la resistencia del concreto de campo es estimada.

## 5. Significado y Uso.

5.1 Esta práctica puede ser usada para estimar la resistencia del concreto en el lugar para permitir el inicio de actividades críticas en la construcción, tales como: 1) remoción del encofrado y reapuntalamiento; 2) postensionado de acero de refuerzo 3) terminación de la protección del concreto en clima frío; 4) apertura de carretera, al tráfico.

5.2 Esta práctica puede ser usada para estimar la resistencia de los especímenes de laboratorio curados bajo condiciones de temperatura no controlada.

5.3 Las mayores limitaciones del método de madurez son: 1) el concreto debe ser mantenido en una condición que permita la hidratación del cemento; 2) el método no toma en cuenta los efectos de temperatura del concreto a edades tempranas en la resistencia última a largo plazo; 3) el método necesita ser suplementado por otros indicadores de la resistencia potencial de la mezcla de concreto.

5.4 La precisión de la resistencia estimada depende de la determinación apropiada de la función de madurez para la mezcla de concreto particular.

## 6. Funciones de Madurez

6.1 Hay dos funciones alternativas para calcular el índice de madurez mediante el historial de temperatura medida en el concreto.

6.2 Para calcular el factor temperatura-tiempo se utiliza la función de madurez que se muestra a continuación:

$$M(t) = E(T_a - T_o) \Delta t \quad (1)$$

Donde:

$M(t)$  = Factor temperatura-tiempo a la edad  $t$  (grados-día, grados-hora)

$\Delta t$  = Un intervalo de tiempo, días, horas

$T_a$  = Temperatura promedio del concreto durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , ° C

$T_o$  = Temperatura de referencia, ° C

6.3 La otra función de madurez es usada para calcular la edad equivalente a una temperatura especificada como sigue:

$$t_e = \sum e^{-Q(1/T_a - 1/T_s)} \Delta t \quad (2)$$

Donde:

$t_e$  = Edad equivalente a una temperatura especificada  $T_s$

$Q$  = Energía activada dividida por la constante del gas, K

$T_a$  = Temperatura promedio del concreto durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , K

$T_s$  = Temperatura especificada, K

$\Delta t$  = Intervalo de tiempo, días u horas.

Nota 1- La temperatura en grados kelvin (K) es aproximadamente igual a la temperatura en  $^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C}$ .

6.4 Valores aproximados de la temperatura de referencia,  $T_o$ , y la activación de la energía dividida por la constante del gas,  $Q$ , son dados en el Apéndice X1. Los valores apropiados de  $T_o$  y  $Q$ , para una mezcla de concreto específica, puede ser determinada de acuerdo a los procedimientos dados en el Anexo A1.

## 7. Aparatos

7.1 Se requiere un dispositivo para monitorear y registrar la temperatura interna del concreto como una función del tiempo. Los dispositivos aceptados incluyen termocuplas o termistores conectados a un colector (strip-chart) o dispositivos digitales embebidos que midan la temperatura y registren y almacenen la información. El intervalo de tiempo registrado será  $\frac{1}{2}$  h o menos para las primeras 48 h y 1h o menos para después. El dispositivo que registre la temperatura debe ser preciso dentro de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

7.2 Dispositivos alternativos incluyen instrumentos de madurez comerciales, que automáticamente calcula y muestra en la pantalla el factor temperatura-tiempo o la edad equivalente.

Nota 2. — Los instrumentos de madurez comerciales usan valores específicos de temperatura de referencia o energía de activación en la evaluación del índice de madurez entonces, el índice de

madurez mostrado puede no ser indicativo del valor real para la mezcla de concreto utilizada. Refiérase al Apéndice X1 para información sobre correcciones de los valores mostrados.

## **8. Procedimiento para Desarrollar la Relación Resistencia – Madurez**

8.1 Prepare al menos 15 especímenes cilíndricos de acuerdo a la Práctica C192/C192M. Las porciones de la mezcla y constituyentes del concreto deben ser similares a aquellos del concreto cuya resistencia se desea estimar usando esta norma. Si dos revolturas son necesarias para preparar el número necesario de cilindros, cuele un número igual de cilindros de cada revoltura, y ensaye un cilindro de cada revoltura a la edad de ensayo dada en 8.4.

8.2 El sensor de temperatura embebido dentro de  $\pm 15$  mm de los centros de al menos dos especímenes. Conecte inmediatamente los sensores al instrumento de madurez o a los dispositivos registradores de temperatura tales como data-loggers o strip-chart.

Nota 3. — Un método para auxiliar en la posición propia del sensor es insertar una barra rígida de diámetro pequeño en el centro del cilindro hecho recientemente. La barra será empujada a un lado de cualquier partícula de agregado que interfiera. La barra es removida y el sensor insertado dentro del cilindro. El lado del molde cilíndrico debe ser golpeado con un martillo de hule o la varilla de acero para asegurar que el concreto está en contacto con el sensor.

8.3 Los especímenes serán curados húmedos en un baño de agua o en un cuarto húmedo reuniendo los requisitos de la especificación C 511.

8.4 A menos que se especifique de otra manera, efectúe ensayos de compresión a las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, de acuerdo con el método de ensayo C39/C39M. Ensaye dos especímenes en cada edad y calcule la resistencia promedio. Si el rango de la resistencia a compresión de los dos especímenes excede 10% de su resistencia promedio, ensaye otro cilindro y calcule el promedio de los tres ensayos. Si el resultado de un ensayo bajo es debido a un defecto obvio del espécimen, descarte el resultado del ensayo bajo.

Nota 4 — Para mezclas de concreto con desarrollo rápido de resistencia o cuando los esfuerzos estimados son hechos a valores bajos del índice de madurez, los ensayos deben iniciar tan pronto como sea practicable. Subsecuentes ensayos deben ser programados para resultados con incrementos aproximadamente iguales de resistencia ganada entre edades de ensayo. Al menos cinco edades de ensayo deben ser usadas.

8.5 En cada edad de ensayo, registre el índice de madurez para los especímenes instrumentados.

8.5.1 Si se utiliza más de un instrumento para determinar madurez son utilizados, registre el promedio de los valores mostrados en la pantalla.

8.5.2 Si se utiliza un registrador de temperatura, evalúe la madurez de acuerdo con la Ecuación 1 ó 2. A menos que se especifique de otra manera, use un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) de  $\frac{1}{2}$  h o menos para las primeras 48 h del registro de temperatura. Intervalos de tiempo más largos pueden ser usados para la porción relativamente constante del subsecuente registro de temperatura.

Nota 5. — Se deberá seleccionar el intervalo de tiempo inicial para registrar la temperatura en mezclas que tienen cambios rápidos en temperaturas a edad temprana debido a la hidratación rápida. El Apéndice X2 da un ejemplo de cómo evaluar el factor temperatura-tiempo o edad equivalente a partir de la historia de temperatura registrada del concreto.

8.6 En papel para graficar plotee la resistencia a la compresión promedio como una función del valor promedio del índice de madurez. Trace la mejor tendencia a través de los datos. La curva resultante es la relación resistencia-madurez a ser usada para estimar la resistencia de la mezcla de concreto curada bajo otras condiciones de temperatura. La Fig. 1 es un ejemplo de una relación entre la resistencia a la compresión y factor temperatura-tiempo, y la Fig. 2 es un ejemplo de una relación entre resistencia a la compresión y edad equivalente a 20°C.

Nota 6. — La relación resistencia-madurez también puede ser establecida usando un análisis de regresión para determinar una mejor ecuación de la información. Las ecuaciones posibles que han sido encontradas para ser adecuadas a este propósito pueden ser encontradas en la Ref. (3). Una ecuación popular es expresar el esfuerzo como una función lineal de del logaritmo del índice de madurez (ver Fig. 3).

8.7 Cuando sea especificado, se permitirá una relación entre esfuerzo a flexión vrs. índice de madurez. Prepare al menos 15 vigas de acuerdo con la Practica C 192/C 192M. Si dos revolturas son necesarias para preparar el número requerido de especímenes, cuele un número igual de vigas de cada revoltura las edades de ensayo dadas en 8.4. introduzca los sensores de temperatura en dos especímenes, uno de cada revoltura si dos son hechas. Conecte los sensores al instrumento de madurez o dispositivos registradores de temperatura, y cure los especímenes en un baño de agua o en un cuarto húmedo reuniendo los requerimientos de la Especificación C 511. Mida el esfuerzo de flexión de acuerdo con el método de Ensayo C 78 a intervalos de tiempo de 1, 3, 7, 14 y 28 días o como sea especificado (Ver Nota 4). Ensaye dos especímenes de cada edad y calcule el esfuerzo

promedio. Si el rango de esfuerzo a flexión de los dos especímenes excede 15% de su esfuerzo promedio, ensaye otra viga y calcule el promedio de las tres vigas. Si un resultado de ensayo es bajo es debido a un defecto obvio del espécimen, descarte el resultado bajo del ensayo. Use el mismo procedimiento como en 8.5 y 8.6 para desarrollar la relación esfuerzo de flexión- madurez.

## **9. Procedimiento para Estimar la Resistencia en el Lugar.**

9.1 Introduzca los sensores de temperatura dentro del concreto fresco, tan pronto como sea posible después de la colocación del concreto.

Cuando use esta norma para decidir iniciar operaciones críticas de construcción, instale sensores en localizaciones de la estructura que sean críticas, en términos de condiciones de exposición y requerimiento estructurales.

Nota 7.- En la construcción de edificios, porciones expuestas de losas y conexiones losa- columna, son localizaciones típicamente críticas. El consejo del Ingeniero debe ser oportuno para las localizaciones críticas en la estructura particular bajo construcción.

9.2 Conecte los sensores al instrumento de madurez o dispositivos registradores de temperatura y active el dispositivo registrador tan pronto como sea practicable. Use el mismo valor de temperatura de referencia (datum) o activación de energía, cuando sea aplicable, como fue usado para calcular el índice de madurez durante el desarrollo de la relación esfuerzo-madurez. (Ver Sección 8).

9.3 Cuando la resistencia en la localización de un sensor es estimada, lea

el valor del índice de madurez del instrumento de madurez o evalúe el índice de madurez desde el registro de temperatura.

9.4 Usando la relación resistencia- madurez desarrollada en la Sección 8, lea el valor de la resistencia a compresión (o flexión) correspondiente al índice de madurez medido.

9.5 Previo a ejecutar las operaciones críticas, tales como la remoción de formaletas o pos tensionado, determine complementariamente, la madurez del concreto con otros ensayos para asegurar que el concreto en la estructura tiene una resistencia potencial similar a aquella que tiene el concreto que se utilizó para desarrollar la relación resistencia-madurez. Técnicas apropiadas incluyen:

9.5.1 Ensayos en el lugar que dan indicaciones de resistencia, tales como el método de Ensayo C 803/C 803M, Método de Ensayo C 873, Método de ensayo C 900 o Método de Ensayo C 918.

9.5.2 Ensayos de resistencia a compresión a edad temprana de acuerdo con el Método de Ensayo C 918 de especímenes moldeados de curado estándar en muestras de concreto como fue entregado en la obra.

9.5.3 Ensayos de esfuerzo a compresión en especímenes moldeados con muestras de concreto como fue entregado y sujeto a curado acelerado de acuerdo con el Método de Ensayo C 684.

9.5.4 Ensayos a edad temprana de cilindros moldeados en el campo instrumentados con equipo de madurez. Los esfuerzos medidos son comparados con los esfuerzos estimados con la relación esfuerzo-madurez establecido. Si la diferencia consistentemente excede el 10%, una nueva relación esfuerzo madurez debe ser desarrollada.

## **10. Precisión y Tendencia**

10.1 Esta práctica es usada para estimar la resistencia del concreto en el lugar, basado en la historia térmica medida en un punto de la estructura y una relación resistencia - madurez previamente establecida. La precisión de la resistencia estimada es dependiente de varios factores, tales como lo inapropiado de la función de madurez para la mezcla específica, el historial de temperatura a edad temprana y las proporciones actuales de la mezcla. Por esta razón no es posible escribir documentos acerca de la precisión y tendencia de la resistencia estimada.

## **11. Palabras Clave**

11.1 método de madurez, ensayo no destructivo, resistencia, temperatura.

## ANEXO

(Información Mandatorio)

### **A1. Determinación de la temperatura de Referencia o activación de la Energía.**

#### **A1.1 Procedimiento**

A.1.1.1 El ensayo requerido para determinar experimentalmente la temperatura de referencia o la activación de la energía, puede ser desarrollado usando especímenes de mortero y los resultados son aplicables al concreto bajo investigación (5, 6, 7). La aproximación básica es establecer la relación resistencia a la compresión contra la edad, para especímenes de mortero curados en baños de agua mantenidos a tres temperaturas diferentes. Dos baños deben ser a la temperatura máxima y mínima esperada para el concreto en el lugar durante el periodo cuando las resistencias van a ser estimadas. El tercer baño de temperatura debe ser la media entre los extremos. Dependiendo del procedimiento para el análisis de la información que sea usado, el tiempo de fraguado final del mortero a las tres temperaturas debe ser determinado.

A.1.1.2 Las proporciones de una mezcla de mortero teniendo una relación agregado fino/cemento (por masa), que es la misma que la relación agregado grueso/cemento de la mezcla de concreto bajo investigación (6). La pasta debe tener la misma relación agua/material cementante y la misma cantidad de aditivos que serán usadas en el concreto.

A.1.1.3 Si la información de resistencia será analizada usando el procedimiento de ploteo recíproco dado en A.1.1.7, el tiempo de fraguado final debe ser medido. Prepare tres especímenes de mortero usando los contenedores especificados en el Método de Ensayo C 403/C 403M. Cuidadosamente sumerja cada espécimen en su correspondiente baño de temperatura. Determine el tiempo de fraguado final para cada temperatura de acuerdo al Método de Ensayo C 403/C 403M. Los especímenes son extraídos del baño de agua y el exceso de agua es removido previo a efectuar la medida de penetración. Si la información será analizada usando procedimientos de regresión dado en A1.1.8, no es necesario medir los tiempos de fraguado.

A.1.1.4 Prepare tres juegos de cubos de mortero de 50 mm con 18 cubos por juego. Moldee los cubos de acuerdo con el Método de Ensayo C 109/C 109M y cuidadosamente sumerja cada juego en uno de los baños de temperatura. Para cada juego, remueva los moldes y regrese los especímenes a sus respectivos baños, aproximadamente 1 h antes de la primera serie de ensayos a compresión.

A.1.1.5 Para cada juego de cubos, determine la resistencia a la compresión de tres cubos de acuerdo al Método de Ensayo C 109/C 109M, a una edad que es aproximadamente dos veces el tiempo de fraguado final. Si el tiempo de fraguado final no fue medido, efectúe el primer ensayo cuando la resistencia compresión es aproximadamente 4 MPa. Efectúe subsecuentes ensayos en tres cubos de cada juego a edades que son aproximadamente dos veces la edad del ensayo previo. Por ejemplo, si el tiempo del primer ensayo fue 12 h, ensayos de resistencia a la compresión sucesivos deben ser efectuados a 1, 2, 4, 8, 16 y 32 días.

A.1.1.6 La información de resistencia contra edad, obtenidas en las tres temperaturas de curado, son analizadas para determinar la relación entre la razón constante para desarrollo de resistencia (valor K) y la temperatura de curado. Diferentes procedimientos pueden ser usados dependiendo de la herramienta computacional disponible. Si el usuario tiene la capacidad de desarrollar solamente análisis de regresión lineal, use el procedimiento dado en A.1.1.7 o A.1.1.8.2. Si el usuario tiene un programa de computadora que pueda desarrollar análisis de regresión con una función general, use el procedimiento dado en A.1.1.8.1

A.1.1.7 Para usar este procedimiento, el tiempo de fraguado final a las tres temperaturas deben ser conocidos. Prepare una gráfica con el recíproco de la resistencia en el eje y, y el recíproco de la edad en el eje x. Para cada temperatura de curado, plotear el recíproco de la resistencia promedio de cubos a lo largo del eje y, y el recíproco de la edad más allá del tiempo de fraguado final a lo largo del eje x. Un ejemplo de esto es mostrado en la Fig. A.1.1. determine la pendiente y el intercepto de la mejor tendencia a través de la información para cada temperatura de curado. Para cada línea de tendencia divida el valor del intercepto por el valor de la pendiente. Este cociente es el valor k, que es usado para calcular la temperatura de referencia o la energía de activación.

A.1.1.8 Como una alternativa al procedimiento dado en a.1.1.7, el valor k puede ser estimado por cualquiera de los métodos siguientes. En estos casos, el tiempo de fraguado final no tiene que ser medido.

A.1.1.8.1 Si el usuario tiene acceso a un programa de computadora que permite el ajuste de una ecuación general a un conjunto de datos, determine los valores k mediante ajuste de la siguiente ecuación a los datos resistencia-edad para cada temperatura de curado:

$$S = S_u k(t - t_0)^{1+k} \quad (A1.1)$$

Donde:

S = Resistencia a compresión promedio en cubos a la edad t

t = Edad de ensayo

Su = Resistencia limitada

to = Edad cuando la resistencia desarrollada es asumida a empezar

k = La razón constante.

El programa de computadora calculará la mejor tendencia de los valores Su, to, y k

A.1.1.8.2 El valor k también puede ser estimado por los siguientes métodos (5,8).

1) Usando la información resistencia- edad para los últimos cuatro ensayos de edad, plotear el recíproco de la resistencia (eje y) contra el recíproco de la edad (eje x). Determine el intercepto con el eje y. El inverso del intercepto es la resistencia limitada, Su. Repita este procedimiento para cada temperatura de curado.

2) Para cada temperatura de curado, use la información resistencia edad en los cuatro ensayos de edad temprana y el valor de Su para calcular el valor de A para cada resistencia, donde A es dada por la siguiente ecuación.

$$A = S / (Su - S) \quad (A1.2)$$

3) Para cada temperatura de curado, plotear el valor de A contra la edad. Determine la pendiente de la mejor tendencia para cada temperatura de curado. Estas pendientes son los valores de k.

### **A.1.2 Determinación de la Temperatura de Referencia.**

A.1.2.1 Plotee los valores de k como una función de la temperatura de los baños de agua (Fig. A1.2). Determine la mejor tendencia a través de los tres puntos y el intercepto de la línea con el eje de la temperatura. Este intercepto es la temperatura de referencia, To (datum), que será usada en el cálculo del factor temperatura-tiempo de acuerdo con la Ecuación 1.

### **A1.3 Determinación de la Activación de la Energía**

A1.3.1 Calcule el logaritmo natural del valor k y determine la temperatura absoluta (en Kelvin) de los baños de agua. (Kelvin = Celsius + 273)

A1.3.2 Plotee el logaritmo natural del valor  $k$  como una función del recíproco de la temperatura absoluta (Fig. A1.3). Determine la mejor tendencia de los tres puntos. El valor negativo de la pendiente de la línea es el valor de la activación de la energía, dividido por la constante de gas,  $Q$ , que es usada en el cálculo de la edad equivalente de acuerdo a la Ecuación 2.

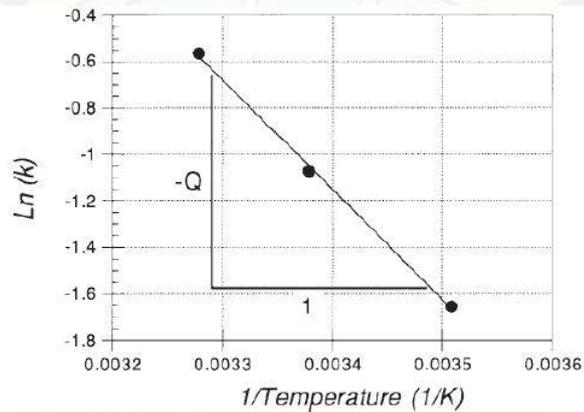


FIG. A1.3 Example of Plot of the Natural Logarithm of  $K$ -Values Versus the Inverse Absolute Temperature for Determining the Value of  $Q$  used in Calculating Equivalent Age

## APENDICE

(información no Mandatoria)

### X1.1. FUNCIONES DE MADUREZ

#### X1.1 General

X1.1.1 Una función de madurez es una expresión matemática para informar los efectos combinados de tiempo y temperatura en el desarrollo de resistencia de una mezcla cementante. La característica de una función de madurez es la representación de cómo los efectos de la temperatura son la razón del desarrollo de resistencia. Hay dos aproximaciones ampliamente usadas; una asume que la razón del desarrollo de resistencia es una función lineal de la temperatura, y la otra asume que la razón de desarrollo de resistencia obedece la ecuación exponencial de Arrhenius (3,4,5).

#### X1.2 Factor Temperatura-Tiempo

X1.2.1 La asunción de que la razón de desarrollo de resistencia es una función lineal de temperatura conduce a la función de madurez dada en la Ec. 1, que es usada para calcular el factor temperatura-tiempo. Para calcular el factor temperatura-tiempo, es necesario conocer el valor apropiado de la temperatura de referencia para el material y las condiciones específicas. La temperatura de referencia puede depender del tipo de cemento, del tipo y la dosificación de adiciones u otros aditivos

que afecten la razón de hidratación y en el rango de temperatura que el concreto experimenta cuando endurece (5,7). Para cemento Tipo I sin adiciones y un rango de temperatura de curado de 0° a 40°C, la temperatura de referencia recomendada es 0°C (5). Para otras condiciones y cuando se desea la máxima precisión de la estimación de la resistencia, la temperatura de referencia apropiada puede ser determinada experimentalmente de acuerdo a los procedimientos dados en el Anexo A1.

X1.2.2 Algunos tipos de instrumentos de madurez que calculan el factor temperatura- tiempo pueden no utilizar la temperatura de referencia apropiada, y entonces puede no indicar el valor verdadero del factor. El valor del factor temperatura- tiempo mostrado por el instrumento puede ser corregido para la temperatura de referencia como sigue:

$$M_c = M_d - (T_o - T_d) t \quad (X1.1)$$

Donde:

$M_c$  = El factor temperatura- tiempo corregido, grados- días o grados- horas

$M_d$  = El factor temperatura- tiempo mostrado por el instrumento, grados-días,

$T_o$  = La temperatura de referencia apropiada para el concreto, °C

$T_d$  = La temperatura de referencia incorporada al instrumento, °C

$t$  = El lapso de tiempo desde cuando el instrumento fue encendido hasta cuando una lectura fue tomada, días u horas.

### **X1.3 Edad Equivalente**

X1.3.1 La asunción de que la razón de resistencia desarrollada obedece la ecuación de Arrhenius conduce a la función de madurez dada en la Ec. 2, esto es usado para calcular la edad equivalente a una temperatura especificada. Note que usando la Ec. 2, la temperatura debe estar en grados kelvin (kelvin = Celsius +273). Para calcular la edad equivalente es necesario conocer la energía de activación para el material y condiciones específicas. Ha sido demostrado que la energía de activación depende del tipo de cemento, el tipo y dosificación de las adiciones que afectan la razón del desarrollo de resistencia y de la relación agua- material cementante (7). En general, para cemento Tipo I sin adiciones, el valor de la energía de activación en el rango de 40 000 a 45 000 J/mol debe ser reportado (6). De esta manera, un valor aproximado de  $Q$ , la energía activada dividida por la constante de gas para use en la Ec. 2, es 5000 k (El valor de la constante de gas es 8.31 J/(K-

mol)). Para otras condiciones y cuando se desea la máxima precisión en la estimación de resistencia, el valor apropiado de  $Q$  puede ser determinado experimentalmente de acuerdo a los procedimientos dados en el anexo A1.

X1.3.2 El cálculo de la edad equivalente también requiere una temperatura especificada,  $T_s$ . Tradicionalmente, un valor de  $20^{\circ}\text{C}$  ha sido usado (4), pero cualquier otra temperatura conveniente, tal como  $23^{\circ}\text{C}$ , es permitido previniendo que es reportada a lo largo del proceso como el valor de la edad equivalente.

X1.3.3 Los instrumentos de madurez que calculan la edad equivalente de acuerdo a la Ec. 2, están basados en valores específicos de activación de energía. Las lecturas mostradas pueden no estar corregidas para el apropiado valor de activación de energía que es ampliamente diferente del incorporado al instrumento. Refiérase a (3) para información sobre los efectos de la energía de activación en el valor calculado de edad equivalente.

## **X2. EJEMPLO DE CALCULO DE MADUREZ**

### **X2.1 Registro de temperatura**

X2.1.1 La Fig. X2.1 muestra una historia de temperatura hipotética para concreto, que será usado para ilustrar los cálculos del factor temperatura-tiempo y edad equivalente. Los valores de temperatura a intervalos de 0.5 h están tabulados en la columna 2 de la Tabla X2.1.

### **X2.2 Cálculo del Factor temperatura-Tiempo**

X2.21 El valor de la temperatura de referencia,  $T_o$ , es requerido para calcular el factor temperatura-tiempo de acuerdo a la Ec. 1. Para este ejemplo un valor de  $2.5^{\circ}\text{C}$  es asumido como se indica en la Fig. A1.2.

X2.2.2 La temperatura promedio durante cada intervalo de 0.5 h es calculado y los resultados son dados en la columna 4 de la tabla X2.1. La temperatura de referencia es restada de la temperatura promedio y la diferencia es multiplicada por el intervalo de edad, el cual en este ejemplo es 0.5 h. El producto da el valor incremental del factor temperatura- tiempo para ese intervalo de edad. Los valores incrementales son mostrados en la columna 5 de la Tabla X2.1.

X2.2.3 La suma de los factores temperatura- tiempo incrementales da el factor temperatura- tiempo acumulado en cada edad. Por ejemplo, a un rango de 12 h el factor temperatura- tiempo es  $175^{\circ}\text{C}$ -horas.

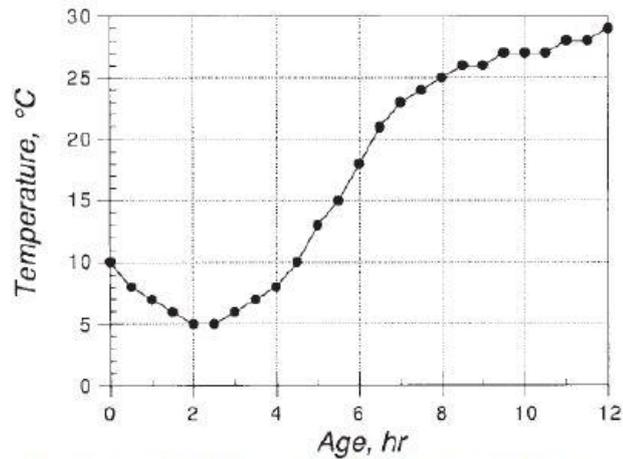


FIG. X2.1 Hypothetical Temperature History used to Illustrate Computations of Temperature-Time Factor and Equivalent Age

### X2.3 Cálculo de la Edad Equivalente

X2.3.1 El valor de  $Q$  y el valor de la temperatura especificada,  $T_s$ , son requeridos para calcular la edad equivalente de acuerdo a la Ec. 2. Para este ejemplo el valor de  $Q$  es asumido en  $4700^\circ\text{K}$  y la temperatura especificada es asumida a ser  $20^\circ\text{C}$  ( $293^\circ\text{K}$ ).

X2.3.2 Usando la temperatura promedio, en kelvin, durante cada intervalo de edad, los valores de la función exponencial en la Ec. 2 son calculados. Estos valores son dados en la columna 7 de la Tabla X2.1 bajo el encabezado Factor de Edad. El producto de cada uno de los factores edad y el intervalo de edad (0.5 h) da la edad equivalente incremental a  $20^\circ\text{C}$ ; las edades equivalentes incrementales son mostradas en la columna 8 de la Tabla X2.1.

X2.3.3 La sumatoria de las edades equivalentes incrementales da la edad equivalente acumulada a  $20^\circ\text{C}$  (columna 9 de la Tabla X2.1). Por ejemplo, en una edad de 12 h, la edad equivalente a  $20^\circ\text{C}$  es 11.3 h.

#### Tabla X2.1 Ejemplo de Cálculo de Madurez

(1) Age, h	(2) Temperature, °C	(3) Age Increment, h	(4) Average Temperature, °C	(5) Temp-Time Factor, Increment °C-h	(6) Temp-Time Factor, Cumulative °C-h	(7) Age Factor	(8) Eq. Age at 20 °C, Increment h	(9) Eq. Age at 20 °C, Cumulative h
0	10	...	...	...	0	...	...	0.0
0.5	8	0.5	9	3.3	3	0.53	0.27	0.3
1.0	7	0.5	7.5	2.5	6	0.49	0.24	0.5
1.5	6	0.5	6.5	2.0	8	0.46	0.23	0.7
2.0	5	0.5	5.5	1.5	9	0.43	0.22	1.0
2.5	5	0.5	5	1.3	11	0.42	0.21	1.2
3.0	6	0.5	5.5	1.5	12	0.43	0.22	1.4
3.5	7	0.5	6.5	2.0	14	0.46	0.23	1.6
4.0	8	0.5	7.5	2.5	17	0.49	0.24	1.9
4.5	10	0.5	9	3.3	20	0.53	0.27	2.1
6.0	13	0.5	11.5	4.5	24	0.62	0.31	2.4
5.5	15	0.5	14	5.8	30	0.72	0.36	2.8
6.0	18	0.5	16.5	7.0	37	0.82	0.41	3.2
6.5	21	0.5	19.5	8.5	46	0.97	0.49	3.7
7.0	23	0.5	22	9.8	56	1.11	0.56	4.3
7.5	24	0.5	23.5	10.5	66	1.21	0.60	4.9
8.0	25	0.5	24.5	11.0	77	1.27	0.64	5.5
8.5	26	0.5	25.5	11.5	88	1.34	0.67	6.2
9.0	26	0.5	26	11.8	100	1.38	0.69	6.9
9.5	27	0.5	26.5	12.0	112	1.42	0.71	7.6
10.0	27	0.5	27	12.3	124	1.45	0.73	8.3
10.5	27	0.5	27	12.3	137	1.45	0.73	9.0
11.0	28	0.5	27.5	12.5	149	1.49	0.75	9.8
11.5	28	0.5	28	12.8	162	1.53	0.77	10.5
12.0	29	0.5	28.5	13.0	175	1.57	0.79	11.3

Referencia: Annual Book of ASTM Standards, 2007

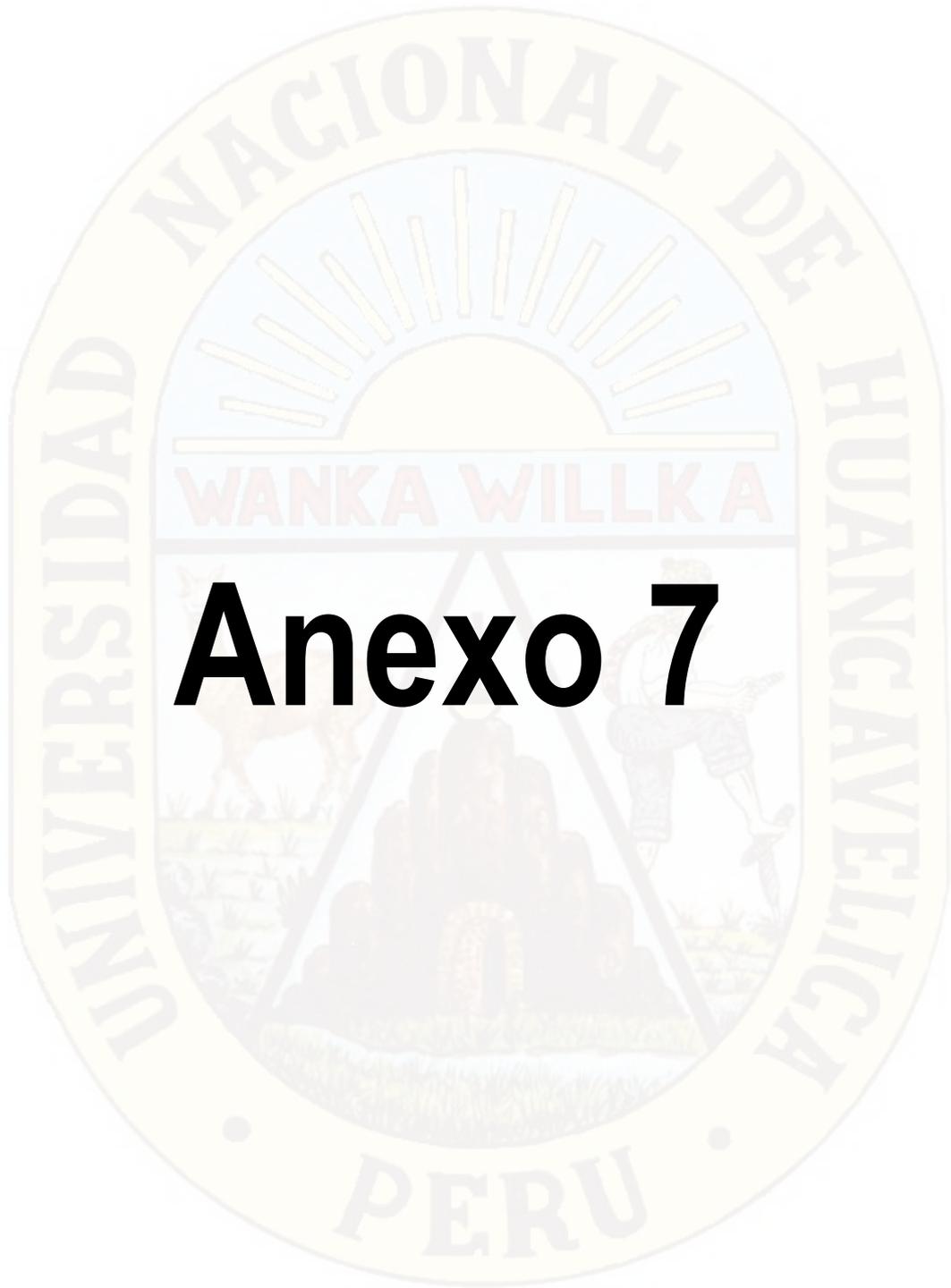
Volume 04.02 Concrete and Aggregates'

Tesis UES, Marzo 2008

Traducción Libre: Oscar Aguilar

Adiel Rodriguez

Martín Sermeño



# Anexo 7

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL COMITÉ DE LA ACI

PROPIEDAD DEL CONCRETO

CONSISTENCIA:	PLASTICA
RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS (kg/cm <sup>2</sup> ):	210
CONTENIDO DE AIRE:	SIN AIRE INCORPORADO
FACTOR DE SEGURIDAD:	NO CONSIDERAR
EXPOSICIÓN A LOS SULFATOS:	DESPRECIABLE
PESO ESPECIF. DEL CEMENTO (gr/cm <sup>3</sup> ):	3.15
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (kg/cm <sup>2</sup> ):	

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

DESCRIPCIÓN:	FINO	GRUESO
PESO ESPECIFICO DE LA MASA:	2.53	2.49
% DE ABSORCIÓN:	2.33	2.82
CONTENIDO DE HUMEDAD:	5.92	1.96
MODULO DE FINEZA:	2.97	---
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL:	---	3/4"
PESO UNITARIO COMPACTADO:	---	1553.2
PESO UNITARIO SUELTO :	1654.48	1393.41

RESULTADOS GENERALES:

RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> ):	210
ASENTAMIENTO:	3" - 4"
VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA (lt/m <sup>3</sup> ):	205
CONTENIDO DE AIRE (%):	2
RELACIÓN AGUA - CEMENTO:	0.684
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO:	0.603

VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS MATERIALES:

CEMENTO (m <sup>3</sup> ):	0.095
AIRE (m <sup>3</sup> ):	0.02
AGUA (m <sup>3</sup> ):	0.205
A. GRUESO (m <sup>3</sup> ):	0.376
A. FINO (m <sup>3</sup> ):	0.304

PESO DE DISEÑO DE LOS MATERIALES:

CEMENTO (kg/m3):		299.708
A. FINO (kg/m3):		768.407
A. GRUESO (kg/m3):		936.58
AGUA (lt/m3):		205

CORREGIDO POR HUMEDAD:

CEMENTO (kg/m3):		299.708
A. FINO (kg/m3):		813.897
A. GRUESO (kg/m3):		954.937
AGUA (lt/m3):		185.469

VOLUMEN EN OBRA:

CEMENTO (pies3):		7.052
A. FINO (pies3):		17.373
A. GRUESO (pies3):		24.202
AGUA (lt/m3):		185.469

PROPORCIÓN POR PESO:

$$1 : 2.716 : 3.186 / 0.619$$

PROPORCIÓN POR VOLUMEN:

$$1 : 2.464 : 3.432 / 26.300 \text{ Lt/bolsa}$$

PROPORCIÓN POR m3:

CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
7.052 bls	0.492 m3	0.685 m3	0.185 m3

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL COMITÉ DE LA ACI (AGREGADO GLOBAL)

CEMENTO	TIPO 1
PESO ESPECIFICO	3.12
PESO ESPECIFICO DEL AGUA	1000
F`C	210
SLUM	3"-4"
TMN	1"
MODULO DE FINEZA	5.7
PESO UNITARIO SUELTO	1586.54
PESO UNITARIO COMPACTADO	1802.94
PESO ESPECIFICO DEL HORMIGON	
%ABSORCION	4.467
%HUMEDAD	8.62

PESO ESPECIFICO DE MASA F	2.45	
PESO ESPECIFICO DE MASA G	2.35	
AF	58.9	%
AG	41.1	%

PESO ESPECIFICO DEL A GLOBAL	2.40788758
------------------------------	------------

HALLAMOS LA RESISTENCIA  
PROMEDIO REQUERIDO

F`C	294
-----	-----

HALLAMOS LA CANTIDAD DE AGUA

AGUA	193	LTS
------	-----	-----

CONTENIDO DE AIRE

AIRE	1.5	%
------	-----	---

CALCULO DE LA RELACION A/C

250	0.62
-----	------

294	0.5584
300	0.55
A/C	0.5584

CALCULO EL CONTENIDO DE CEMENTO

CEMENTO	345.630372	KG
---------	------------	----

CALCULO DE VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO	0.11077897	M3
AGUA	0.193	M3
AIRE	0.015	M3

SUMA	0.31877897	
------	------------	--

AGREGADO GLOBAL	0.68122103	M3
-----------------	------------	----

AGREGADO GLOBAL	1640.30367	KG
-----------------	------------	----

REPRESENTACION EN ESTADO SECO

CEMENTO	345.630372	KG
AGUA	193	LTRS
A.GLOBAL	1640.30367	KG

CORRECCION POR HUMEDAD

HORMIGON	1781.69785	KG
----------	------------	----

HORMIGON	68.1218114	KG
----------	------------	----

AGUA EFECTIVA

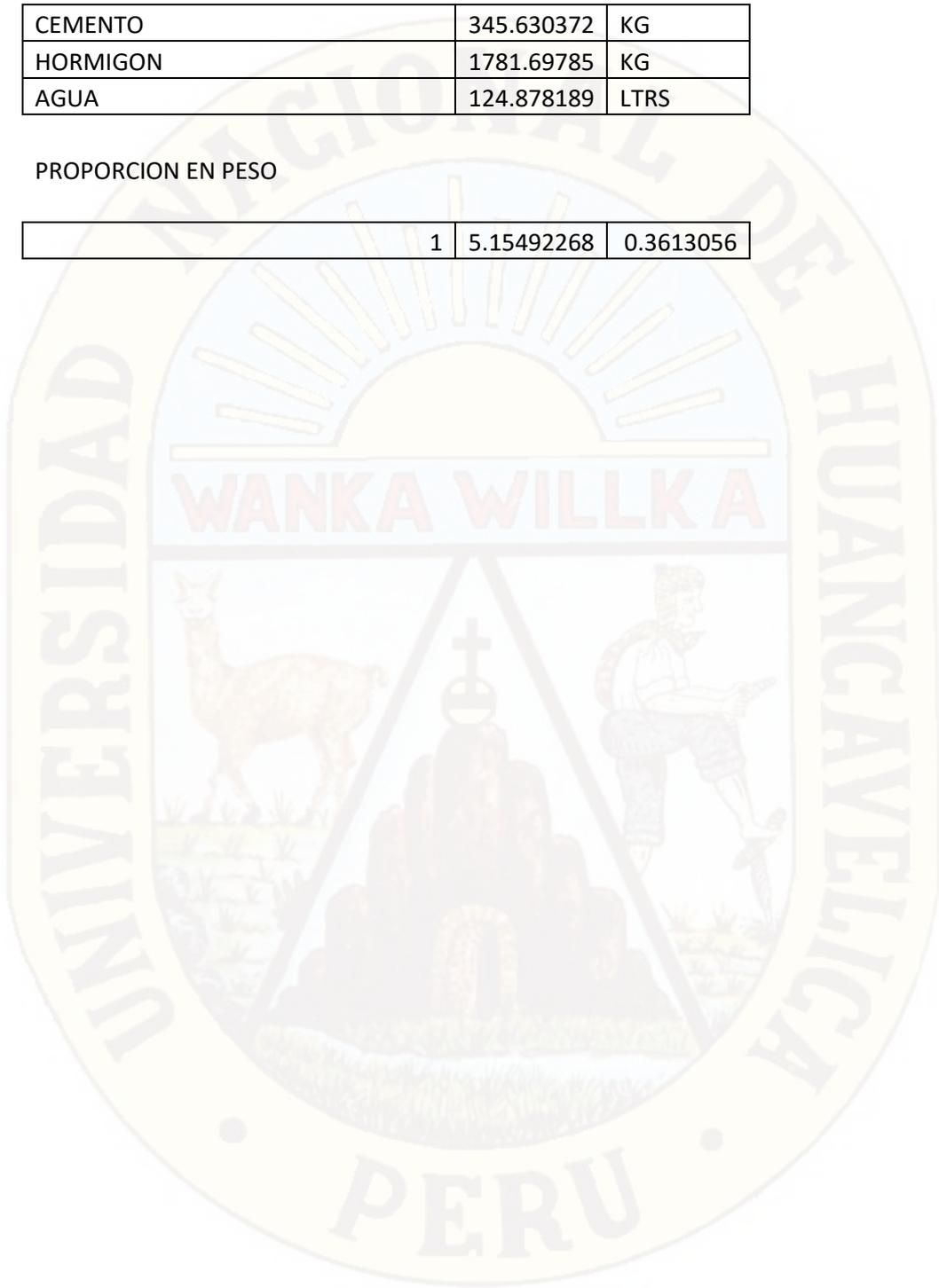
AGUA	124.878189	LTRS
------	------------	------

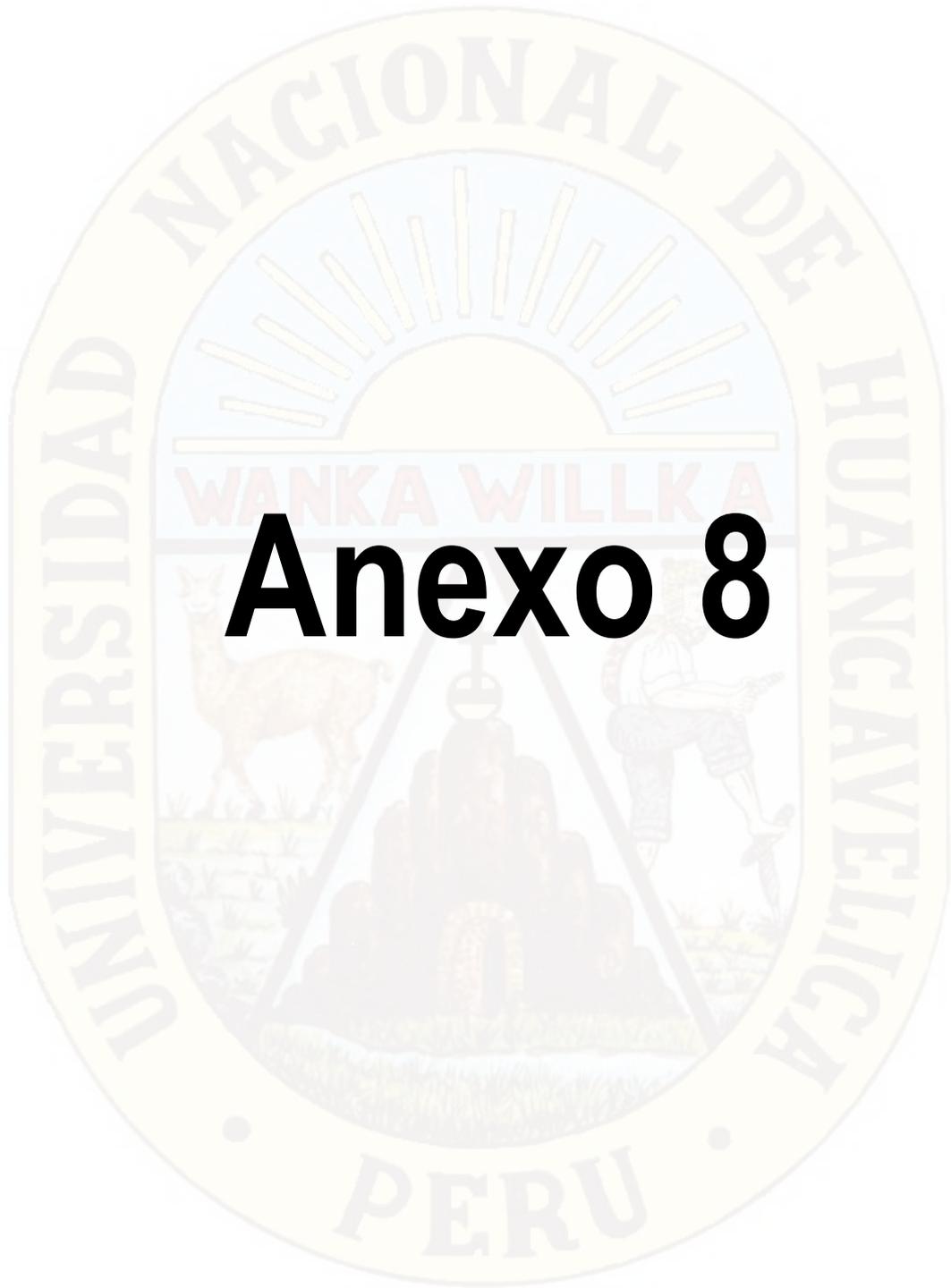
REPRESENTACION DE DISEÑO

CEMENTO	345.630372	KG
HORMIGON	1781.69785	KG
AGUA	124.878189	LTRS

PROPORCION EN PESO

	1	5.15492268	0.3613056
--	---	------------	-----------





# Anexo 8

# HOJA TÉCNICA

## Sika® Cem Curador

Curador químico para concreto y mortero

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Cem Curador es un compuesto de curado que al ser pulverizado sobre el concreto fresco se adhiere a la superficie de éste (concreto), formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de la mezcla y el secado prematuro del concreto por efectos del sol y/o viento.

#### USOS

Sika® Cem Curador es indicado para todo tipo de concreto expuesto a la intemperie, tales como:

- Techos.
- Losas o pisos.
- Vigas y/o columnas.
- Veredas.
- Rampas de acceso.
- Canales de riego.
- Carreteras.
- Puentes.
- Construcciones en general de concreto.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

El empleo de Sika® Cem Curador permite:

- Reducir el riesgo de fisuración por secado prematuro del agua.
- Rapidez y facilidad de aplicación, ya que se pulveriza sobre la superficie del concreto.
- Reduce los tiempos de curado con agua (7 días) y la mano de obra.
- Después de 3 horas de aplicado, Sika® Cem Curador no es afectado por las lluvias y su efecto se mantiene durante 3 semanas mínimo.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### COLORES

Transparente incoloro

#### PRESENTACIÓN

Balde x 4 L

Balde x 20 L

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Sika® Cem Curador puede ser almacenado en un sitio libre de congelamiento a temperaturas sobre los +5 °C durante 2 años.

#### DATOS TÉCNICOS

#### DENSIDAD

1.11 +/- 0.01 Kg/L

---

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

---

### DETALLES DE APLICACIÓN

#### CONSUMO / DOSIS

Dependiendo de las condiciones ambientales, especialmente de la velocidad del viento, el rendimiento es de 5 m<sup>2</sup> por litro de Sika® Cem Curador 0,2 L/m<sup>2</sup>.

### MÉTODO DE APLICACIÓN

#### MODO DE EMPLEO

Sika® Cem Curador se aplica sobre la superficie del concreto fresco, una vez que este haya adquirido una tonalidad opaca superficialmente, es decir, en cuanto haya evaporado el exceso de agua de mezcla, tiempo que puede estar entre media hora y tres horas después de finalizada su colocación, dependiendo del viento y la temperatura ambiente.

Se debe agitar el contenido de los envases antes de su aplicación.

Es recomendable el uso de pulverizadores (fumigadores) para su uso y rendimiento óptimo, mas Sika® Cem Curador puede ser aplicado con brocha o rodillo.

#### PRECAUCIONES

Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

### BASES

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

### RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

### INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

---

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 1  
la misma que deberá ser destruida”**

---

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika®Cem Curador :

1.- SIKI PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKI CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
www.sika.com.pe

Hoja Técnica  
Sika®Cem Curador  
20.11.14, Edición 2

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: informacion@pe.sika.com

