



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Universidad
Andina
del Cusco**

TESIS

**“EVALUACION COMPARATIVA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A
DIFERENTES NIVELES DE PH DE CONCRETOS EXPUESTOS A
CARBONATACION ACELERADA USANDO FENOLFTALEINA EN LA
CIUDAD QUILLABAMBA-CUSCO 2021”**

Presentado por:

Jorge Martin Rojas Bejar

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Jorge Alvarez Espinoza

Cusco – Perú

2022



Dedicatoria

Principalmente dedico la presente investigación a Dios, quien me da soporte en todo momento, a mis padres Irayda y Nicanor por ser los pilares en mi desarrollo como persona y profesional, a mis hermanos Angel, Carmen y Anahid por saber encaminarme en diferentes etapas de la vida.

También, quiero dedicar todo el desarrollo de esta investigación a mi primo Julio y a mi mamá Angélica quienes ya no están presentes en este mundo, pero sé que en su forma espiritual nunca dejaran de guiarme y aconsejarme.



Agradecimientos

Quiero agradecer al Señor de Quyllur Rit'i y Tayankani por saber comprender mi ausencia en sus días de celebración, y al Señor de Huanca por cuidar de mi familia.

A mis padres y hermanos por ser los principales promotores de mis sueños y metas, gracias por confiar en mí.

A mis tíos Julio, Alfredo, Herminio y Luzmila por su gran apoyo en las diferentes etapas del desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Andina del Cusco por la formación otorgada en mi etapa de estudiante.

Al ingeniero Jorge Alvarez Espinoza, quien fue mi docente y asesor además de un gran impulsor de la presente investigación.

Por último, expresar mi gratitud a cada una de las personas que apoyaron al desarrollo de esta investigación, quienes permanecerán en mi memoria.



Resumen

La presente investigación evaluó comparativamente los resultados de la resistencia a la compresión de testigos de concreto carbonatado fabricados con agua de tres sectores diferentes de la ciudad de Quillabamba (Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba), además, tiene como objeto evaluar y comparar los efectos de la resistencia a la compresión de estos testigos de concretos carbonatados que fueron sometidas a una exposición prolongada de dióxido de carbono (CO₂) un nivel de concentración del 40000 ppm en una cámara hermética de carbonatación que ha simulado un ambiente totalmente saturado, esto es debido a que la concentración natural de CO₂ en el ambiente es tan solo de 400 ppm, además los de testigos de concreto fueron fabricados con diferentes niveles de pH de agua, que se obtuvieron en tres sectores de la ciudad de Quillabamba, con el mismo diseño de mezcla ($f'c = 210\text{kg/cm}^2$). Se realizaron 2 ensayos correspondientes a la resistencia a la compresión y a la profundidad de carbonatación con el reactivo químico denominado fenolftaleína todo ello sujeto a tres periodos de exposición del gas a 7, 14 y 28 días posterior a la etapa de curado correspondiente a 28 días. Se concluyó que los resultados de esta evaluación comparativa indicaron que los efectos de la carbonatación en la resistencia a la compresión de los testigos de concreto dependen netamente de la variación de la alcalinidad del concreto y el pH presente en el agua de diseño del concreto, además de la humedad relativa del ambiente de la ciudad de Quillabamba.

Palabras clave: Concreto, Profundidad de carbonatación, Resistencia a la compresión, fenolftaleína, pH del agua, humedad relativa, alcalinidad del concreto.



Abstract

The present investigation comparatively evaluated the results of the compressive strength of carbonated concrete cores made with water from three different sectors of the city of Quillabamba (Quillabamba, Ajuajuyoc and Pintobamba), in addition, it aims to evaluate and compare the effects of the compressive strength of these carbonated concrete witnesses that were subjected to prolonged exposure to carbon dioxide (CO₂) at a concentration level of 40,000 ppm in a hermetic carbonation chamber that has simulated a fully saturated environment, this is because the natural concentration of CO₂ in the environment is only 400 ppm, in addition, those of concrete witnesses were manufactured with different levels of water pH, which were obtained in three sectors of the city of Quillabamba, with the same mix design ($f'c = 210\text{kg/cm}^2$). Two tests corresponding to compressive strength and carbonation depth were carried out with the chemical reagent called phenolphthalein, all subject to three periods of gas exposure at 7, 14 and 28 days after the curing stage corresponding to 28 days. It was concluded that the results of this comparative evaluation indicated that the effects of carbonation on the compressive strength of the concrete cores depend clearly on the variation of the alkalinity of the concrete and the pH present in the design water of the concrete, in addition of the relative humidity of the environment of the city of Quillabamba.

Keywords: Concrete, carbonation depth, compressive strength, phenolphthalein, pH of water, relative humidity, alkalinity of concrete.



Introducción

El notorio crecimiento vehicular en la ciudad de Quillabamba, conlleva directamente a un incremento de la contaminación ambiental, gracias a la quema de combustibles y posterior emisión de gases que no solo desarrollan diversas patologías en los seres humanos; sino también patologías a nuestras obras civiles, entre las cuales sobresale la patología de la carbonatación que vendría a ser una patología del concreto donde se ve implicada la presencia del dióxido de carbono (CO_2) que afecta al recubrimiento de las estructuras de concreto y causa daños colaterales como la corrosión del acero; a esto se le suma la humedad relativa del ambiente en la ciudad de Quillabamba que ayuda a la propagación de esta patología.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general, evaluar comparativamente la carbonatación usando fenolftaleína en concretos a diferentes niveles de pH en el agua obtenidos de tres sectores diferentes (Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba), además de evaluar las características de los materiales presentes para el concreto patrón ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) además del impacto en cuanto al avance de carbonatación en la resistencia a la compresión de los testigos creados; por ello se sostiene que el concreto elaborado con agua de Quillabamba presenta menor grado de carbonatación que el concreto elaborado con agua Pintobamba y de Ajuajuyoc. Frente a la necesidad de entender el comportamiento de la carbonatación del concreto, se evaluó la calidad de las muestras de agua para el diseño del concreto patrón. Esta investigación incluyó la elaboración y construcción de una cámara de carbonatación acelerada, por lo cual los resultados de carbonatación fueron artificiales por lo cual nos permitió hacer la comparación entre los tres tipos de concretos elaborados y su comportamiento frente a la carbonatación, así como la resistencia que presentan frente al ensayo de compresión.

Cabe recalcar que la presente investigación estará sujeta como referente a la norma RILEM CPC – 18 y a diferentes investigaciones realizadas por otros investigadores.



Índice general

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Introducción.....	V
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema.....	3
1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....	3
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.....	3
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.2.1. Justificación técnica.....	3
1.2.2. Justificación social.....	4
1.2.3. Justificación por viabilidad.....	4
1.2.4. Justificación por relevancia.....	4
1.3. Limitaciones de la investigación.....	5
1.3.1 Limitaciones geográficas.....	5
1.3.2 Limitaciones de estudio.....	5
1.4. Objetivo de la investigación.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivo específico.....	6
Capítulo II: Marco teórico.....	7
2.1. Antecedentes de la tesis.....	7
2.1.1 Antecedentes a nivel local.....	7
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	8
2.1.3 Antecedentes a nivel internacional.....	11
2.2. Aspectos teóricos pertinentes.....	13
2.2.1 Concreto.....	13
2.2.1.1 Definición.....	13
2.2.1.2. Características.....	13
2.2.1.3. Composición.....	14



2.2.1.3.1 Cemento.....	14
2.2.1.3.2 Agregados.....	20
2.2.1.3.3 Agua.....	32
2.2.1.4 Propiedades del concreto fresco	35
2.2.1.4.1 Trabajabilidad	35
2.2.1.4.2 Consistencia	35
2.2.1.4.3 Segregación	35
2.2.1.4.4 Exudación.....	36
2.2.1.4.5 Contracción.....	36
2.2.1.4.6 Cohesividad.....	36
2.2.1.5. Propiedades del concreto endurecido	37
2.2.1.5.1. Impermeabilidad	37
2.2.1.5.2. Resistencia.....	37
2.2.1.5.3. Durabilidad.....	37
2.2.1.5.4. Extensibilidad	37
2.2.1.6. Diseño de mezcla.....	38
2.2.1.6.1 Definición	38
2.2.1.6.2. Objetivos del diseño de mezcla.....	38
2.2.1.6.3. Diseño de mezclas por el método ACI	38
2.2.1.7. Curado o hidratación	46
2.2.1.7. Ensayo de consistencia	46
2.2.1.7.1 Definición	46
2.2.1.7.2 Equipos.....	46
2.2.1.7.3 Procedimiento	47
2.2.1.7. Ensayo de resistencia a la compresión.....	47
2.2.1.7. Equipos.....	48
2.2.1.7. Procedimiento	48
2.2.2. El acero.....	49
2.2.2.1. Varillas de acero corrugado	49
2.2.2.2. La interacción de las varillas de acero y el concreto	49
2.2.2.3. El recubrimiento y espaciamiento de las varillas de acero	50
2.2.2.4. Adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo	51
2.2.2.5. La oxidación del acero	51



2.2.2.6. La corrosión	51
2.2.2.7. Factores que favorecen la corrosión	52
2.2.3. Patología de la edificación	53
2.2.3.1. Definición	53
2.2.3.1.1 Proceso patológico	54
2.2.3.1.2. Lesiones	54
2.2.3.2. Patología del concreto	56
2.2.3.2.1. Definición	56
2.2.3.2.3. Carbonatación	57
2.2.3.2.4 Velocidad de carbonatación en los concretos.....	60
2.2.3.2.5. Carbonatación acelerada	61
2.2.3.2.6. Fenolftaleína.....	63
2.3 Hipótesis	64
2.3.1 Hipótesis general.....	64
2.3.2 Hipótesis específicas	64
2.4. Definición de variables	65
2.4.1. Variables	65
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables	67
Capítulo III: Metodología.....	68
3.1. Metodología de la investigación	68
3.1.1. Enfoque de la investigación	68
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación	68
3.1.3 Método de investigación.....	68
3.2. Diseño de la investigación	69
3.2.1. Diseño metodológico.....	69
3.2.1.1. Diseño Experimental.....	69
3.2.2. Diseño de ingeniería	70
3.3. Población y muestra	71
3.3.1. Población	71
3.3.1.1. Descripción de la población	71
3.3.1.2. Cuantificación de la población	71
3.3.2. Muestra	72
3.3.2.1. Descripción de la muestra.....	72



3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.....	73
3.3.2.3. Método de muestreo	73
3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra.....	73
3.3.3. Criterios de inclusión	74
3.4. Instrumentos	74
3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos	75
3.4.2. Instrumentos de ingeniería	86
3.4.2.1 Instrumentos para la granulometría de agregados	86
3.4.2.2 Instrumentos para el peso unitario de agregados.....	86
3.4.2.3 Instrumentos para el peso específico de agregados	86
3.4.2.4 Instrumentos para el contenido de humedad de agregados	86
3.4.2.5 Instrumentos para el ensayo de consistencia	87
3.4.2.6 Instrumentos para el ensayo de resistencia a la compresión	87
3.4.2.7 Instrumentos para el ensayo de penetración de la carbonatación	87
3.5. Procedimientos de recolección de datos	87
3.5.1 Granulometría de agregados.....	87
3.5.1.1. Procedimientos para el análisis granulométrico de agregado fino	88
3.5.1.1.1. Equipos.....	88
3.5.1.1.2 Procedimiento	88
3.5.1.1.3 Procedimientos de toma de datos.....	91
3.5.1.2. Procedimientos para el análisis granulométrico de agregado grueso.....	92
3.5.1.2.1 Equipos.....	92
3.5.1.2.2 Procedimiento	93
3.5.1.2.3 Procedimientos de toma de datos.....	95
3.5.2 Peso unitario de agregados	96
3.5.2.1 Peso unitario de agregado grueso	96
3.5.2.1.1 Equipos.....	96
3.5.2.1.2 Procedimiento	96
3.5.2.1.2 Toma de datos.....	100
3.5.3. Peso específico y absorción de agregados.....	101
3.5.3.1 Agregado fino.....	101
3.5.3.1.1 Equipos.....	101
3.5.3.1.2 Procedimiento	101



3.5.3.1.3 Toma de datos.....	104
3.5.3.2 Agregado grueso.....	105
3.5.3.2.1 Equipos.....	105
3.5.3.2.2 Procedimiento.....	105
3.5.3.2.3 Toma de datos.....	107
3.5.4 Contenido de humedad de agregados.....	107
3.5.4.1 Agregado fino.....	107
3.5.4.1.1 Equipos.....	107
3.5.4.1.2 Procedimiento.....	108
3.5.4.1.3 Toma de datos.....	109
3.5.4.2 Agregado grueso.....	109
3.5.4.2.1 Equipos.....	109
3.5.4.2.2 Procedimiento.....	110
3.5.4.2.3 Toma de datos.....	110
3.5.5 Recolección de muestras de agua.....	110
3.5.5.1 Equipos.....	110
3.5.5.2 Procedimiento.....	111
3.5.5.3 Toma de datos.....	114
3.5.6 Elaboración de briquetas de concreto.....	115
3.5.6.1 Equipos.....	115
3.5.6.2 Procedimiento.....	115
3.5.6.3 Toma de Datos.....	118
3.5.7 Ensayo de consistencia.....	119
3.5.7.1 Equipos.....	119
3.5.7.2 Procedimiento.....	120
3.5.7.3 Toma de datos.....	122
3.5.8 Elaboración de cámara de carbonatación acelerada.....	122
3.5.8.1 Equipos.....	122
3.5.8.2 Herramientas.....	123
3.5.8.3 Equipos.....	123
3.5.8.4 Proceso de elaboración.....	123
3.5.9 Ensayo de la resistencia a la compresión en probetas de concreto carbonatado.....	126
3.5.9.1 Equipos.....	126



3.5.9.2 Procedimiento	126
3.5.9.3 Toma de datos	127
3.5.10 Ensayo de penetración de la carbonatación artificial	131
3.5.10.1 Equipos y materiales	131
3.5.10.2 Procedimiento	131
3.5.10.3 Toma de datos	135
3.6. Procedimientos de análisis de datos	139
3.6.1 Agregado fino	139
3.6.1.1 Granulometría de agregado fino	139
3.6.1.1.1 Procesado	139
3.6.1.1.2 Diagramas y tablas	139
3.6.1.1.3 Análisis de la prueba	143
3.6.1.2 Modulo de fineza en agregado fino	143
3.6.1.2.1 Procesado	143
3.6.1.2.2 Diagramas y tablas	143
3.6.1.2.3 Análisis de prueba	143
3.6.1.3 Peso específico de agrado fino	144
3.6.1.3.1 Procesamiento	144
3.6.1.3.2 Diagramas y tablas	144
3.6.1.3.3 Diagramas y tablas	144
3.6.1.4 Contenido de humedad de agregado fino	145
3.6.1.4.1 Procesamiento	145
3.6.1.4.2 Diagramas y tablas	145
3.6.1.4.3 Análisis de prueba	145
3.6.2 Agregado grueso	145
3.6.2.1 Granulometría de agregado grueso	145
3.6.2.1.1 Procesamiento	145
3.6.2.1.2 Diagramas y tablas	146
3.6.2.1.3. Análisis de prueba	147
3.6.2.2. Peso unitario del agregado grueso	147
3.6.2.2.1. Procesamiento	147
3.6.2.2.2. Procesamiento	147
3.6.2.2.3. Análisis de prueba	148



3.6.2.3. Peso específico de agregado grueso.....	148
3.6.2.3.1. Procesamiento.....	148
3.6.2.3.2 Diagramas y tablas.....	148
3.6.2.3.3. Análisis de prueba.....	149
3.6.2.4. Contenido de humedad de agregado grueso.....	149
3.6.2.4.1. Procesamiento.....	149
3.6.2.4.2. Diagramas y tablas.....	149
3.6.2.4.3. Análisis de prueba.....	150
3.6.3. Diseño de mezcla por el método ACI (American Concrete Institute).....	150
3.6.3.1. Datos para el diseño de mezcla:.....	150
3.6.3.2. Procesamiento.....	150
3.6.3.3 Análisis de muestra.....	157
3.6.4 Ensayo de consistencia.....	158
3.6.4.1 Procesamiento.....	158
3.6.4.2 Diagramas y tablas.....	158
3.6.4.3 Diagramas y tablas.....	159
3.6.5 Ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado.....	159
3.6.5.1 Procesamiento.....	159
3.6.5.2 Diagramas y tablas.....	159
3.6.7 Ensayo de penetración de la carbonatación artificial.....	162
3.6.7.1 Procesamiento.....	162
3.6.7.1.1 Distribución logarítmica.....	162
3.6.7.1.2 Distribución potencial.....	163
3.6.7.2 Diagramas y tablas.....	164
3.6.7.2.1 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Quillabamba.....	167
3.6.7.2.2 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Ajuajuyoc.....	170
3.6.7.2.3 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Pintobamba.....	174
3.6.7.3 Análisis de la prueba.....	177
3.6.8 Determinación de la velocidad de carbonatación acelerada.....	178
3.6.8.1 Procesamiento.....	178
3.6.8.2 Diagramas y tablas.....	178
3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Quillabamba”.....	178
3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	179



3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Pintobamba”.....	180
Capítulo IV: Resultados	181
4.1 Resistencia a la compresión del concreto carbonatado con diferentes aguas de diseño	181
4.2 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Quillabamba	182
4.3 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Ajuajuyoc.....	185
4.4 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Pintobamba.....	188
4.5 Resumen de penetración de carbonatación.....	192
4.6 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Quillabamba”	192
4.7 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	193
4.8 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Pintobamba”.....	195
4.9 Relación de la resistencia a la compresión frente a la carbonatación.....	196
Capítulo V: Discusión	202
Glosario	205
Conclusiones	207
Recomendaciones	211
Referencias	212
ANEXOS	216



Índice de tablas

Tabla 1: Humedad relativa media multianual.	2
Tabla 2: Límites de composición aproximados para cemento Portland.....	16
Tabla 3: Granulometría del agregado fino.	25
Tabla 4 Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	30
Tabla 5: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088.....	34
Tabla 6: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.	39
Tabla 7: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.	39
Tabla 8: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.	39
Tabla 9: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.....	40
Tabla 10: Contenido de aire atrapado	41
Tabla 11: Relación agua/cemento por resistencia.	42
Tabla 12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	43
Tabla 13: Tabla para el método de volúmenes.....	44
Tabla 14: Clases de mezcla según su asentamiento.	47
Tabla 15: Tolerancia permisible de tiempo de ensayo.....	48
Tabla 16: Recubrimiento mínimo del concreto vaciado en obra	50
Tabla 17: Cuadro de operacionalización de variables.....	67
Tabla 18: Cuantificación de la población.....	72
Tabla 19: Cuantificación de la muestra.....	73
Tabla 20: Instrumento metodológico para granulometría del agregado fino.	75
Tabla 21: Instrumento metodológico para granulometría del agregado grueso.....	76
Tabla 22: Instrumento metodológico para el peso específico de agregado fino.	77
Tabla 23: Instrumento metodológico para el peso específico de agregado grueso.....	78
Tabla 24: Instrumento metodológico para el peso unitario de agregados.....	79
Tabla 25: Instrumento metodológico para el contenido de humedad de agregados.	80
Tabla 26: Muestreo de agua para análisis físico- químico.....	81
Tabla 27: Instrumento metodológico para la nomenclatura de briquetas	82



Tabla 28: Instrumento metodológico para ensayo de consistencia	83
Tabla 29: Instrumento metodológico para el ensayo de resistencia a la compresión	84
Tabla 30: Instrumento metodológico para el ensayo de profundidad de carbonatación.	85
Tabla 31: Toma de datos para granulometría de agregado fino “A”	91
Tabla 32: Toma de datos para granulometría de agregado fino “B”	92
Tabla 33: Toma de datos para granulometría de agregado grueso.....	95
Tabla 34: Toma de datos para el peso unitario de agregado grueso	100
Tabla 35: Toma de datos para el peso específico de agregado fino	104
Tabla 36: Toma de datos para peso específico de agregado grueso.....	107
Tabla 37: Toma de datos para contenido de humedad de agregado fino	109
Tabla 38: Toma de datos para contenido de humedad de agregado grueso	110
Tabla 39: Muestreo de agua para análisis físico- químico	114
Tabla 40: Toma de datos para nomenclatura de briquetas	119
Tabla 41: Toma de datos para el ensayo de consistencia	122
Tabla 42: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 7 días.....	128
Tabla 43: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 14 días.....	129
Tabla 44: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 28 días.....	130
Tabla 45: Cronograma de distribución para los periodos de carbonatación	131
Tabla 46 Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 7 días	136
Tabla 47: Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 14 días	137
Tabla 48: Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 28 días	138
Tabla 49: Granulometría de agregado fino tipo “A”.....	140
Tabla 50: Granulometría de agregado fino tipo “B”	141
Tabla 51: Granulometría de agregado fino “mejorado”	142
Tabla 52: Modulo de fineza de agregado fino tipo “A”,”B” y “mejorado”	143



Tabla 53: Peso específico del agregado fino y su absorción.....	144
Tabla 54: Contenido de humedad de agregado fino.....	145
Tabla 55: Granulometría de agregado grueso	146
Tabla 56: Peso unitario suelto de agregado grueso	147
Tabla 57: Peso unitario compactado de agregado grueso	147
Tabla 58: Peso específico de agregado grueso.....	148
Tabla 59: Contenido de humedad de agregado grueso	149
Tabla 60: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.	150
Tabla 61: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	151
Tabla 62: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.....	151
Tabla 63: Contenido de aire atrapado	152
Tabla 64: Relación agua/cemento.	153
Tabla 65: La relación entre el peso seco compactado y sin compactar será	154
Tabla 66: Volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino	155
Tabla 67: Diseño de mezclas en estado seco.....	155
Tabla 68: Diseño de mezclas corregido	157
Tabla 69: Proporción en peso de diseño de mezcla	157
Tabla 70: Proporción de diseño de mezclas por bolsa de cemento	157
Tabla 71: SLUMP para el concreto de Quillabamba	158
Tabla 72: SLUMP para el concreto de Ajuajuyoc	158
Tabla 73: SLUMP para el concreto de Pintobamba.....	158
Tabla 74: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 7 días	159
Tabla 75: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 14 días	160
Tabla 76: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 28 días	161
Tabla 77: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada.....	161
Tabla 78: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 7 días	164
Tabla 79: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 14 días ...	165
Tabla 80: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 28 días ...	166



Tabla 81: Agua de diseño “Quillabamba” y concentración de CO ₂	167
Tabla 82: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”.....	167
Tabla 83: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”.....	169
Tabla 84: Agua de diseño “Ajuajuyoc” y concentración de CO ₂	170
Tabla 85: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	171
Tabla 86: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	172
Tabla 87: Agua de diseño “Pintobamba” y concentración de CO ₂	174
Tabla 88: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	174
Tabla 89: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	176
Tabla 90: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Quillabamba”.....	178
Tabla 91: Valores de K _c potencial con agua de diseño “Quillabamba”	179
Tabla 92: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	179
Tabla 93: Valores de K _c potencial con agua de diseño “Ajuajuyoc”	179
Tabla 94: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Pintobamba”	180
Tabla 95: Valores de K _c potencial con agua de diseño “Pintobamba”.....	180
Tabla 96: Resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada	181
Tabla 97: Agua de diseño “Quillabamba”.....	183
Tabla 98: Agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	186
Tabla 99: Agua de diseño “Pintobamba”	189
Tabla 100: Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición..	192
Tabla 101: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Quillabamba”.....	192
Tabla 102: Valores de K _c potencial con agua de diseño “Quillabamba”	193
Tabla 103: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Ajuajuyoc”.....	193
Tabla 104: Valores de K _c potencial con agua de diseño “Ajuajuyoc”	194
Tabla 105: Valores de K _c logarítmico con agua de diseño “Pintobamba”	195



Tabla 106: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Pintobamba”	195
Tabla 107: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"	196
Tabla 108: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"	198
Tabla 109: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"	200
Tabla 110: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada.....	207
Tabla 111: Tabla resumen de resistencia a la compresión	209
Tabla 112: Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición .	210
Tabla 113: Velocidad de carbonatación artificial promedio	210
Tabla 114: Matriz de consistencia.....	216
Tabla 115 Resultados del análisis fisicoquímico de agua para uso en concreto	217
Tabla 116: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado fino tipo “A”	218
Tabla 117: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado fino tipo “B”	219
Tabla 118: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado grueso.....	220
Tabla 119: Toma de datos para ensayo de peso unitario y vacíos del agregado grueso	221
Tabla 120: Toma de datos para ensayo de peso específico y absorción de agregado fino	222
Tabla 121: Toma de datos para ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso	223
Tabla 122: Toma de datos para ensayo de contenido de humedad de agregado fino	224
Tabla 123: Toma de datos del primer periodo (7 días) de resistencia a la compresión.	225
Tabla 124: Toma de datos del segundo periodo (14 días) de resistencia a la compresión.....	226
Tabla 125: Toma de datos del tercer periodo (28 días) de resistencia a la compresión.....	227
Tabla 126: Certificado de calibración.	228



Índice de figuras

Figura 1: Emisión de CO2 vehicular.....	1
Figura 2: Acero de elemento estructural expuesto y visiblemente corroído	2
Figura 3: Esquema de la secuencia de la formación e hidratación del cemento Pórtland.....	18
Figura 4: Interacción de las varillas de acero y el hormigón	50
Figura 5: La fisuración que aparece en el concreto como consecuencia de la corrosión del acero.....	53
Figura 6: Porcentajes de fuentes genéricas de la patología en la edificación.	55
Figura 7: Forma ácida y básica de la fenolftaleína.....	64
Figura 8: Maquina chancadora de agregado grueso.....	87
Figura 9: Obtención de agregados del rio Vilcanota.....	88
Figura 10: Ensayo de cuarteo para el agregado fino	89
Figura 11: Cuarteo del agregado fino.....	89
Figura 12: Tamizado de agregado fino	90
Figura 13: Cuarteo de agregado grueso.....	93
Figura 14: Granulometría mecánica de agregado grueso.....	94
Figura 15: Equipos para la obtención de peso unitario	96
Figura 16: Enrasado del borde superior del molde	97
Figura 17: Pesaje de material más molde.....	97
Figura 18: Colocado de material para posterior compactado.....	98
Figura 19: Compactado de material	98
Figura 20: Peso de muestra Compactada	99
Figura 21: Saturación de muestra cubierta por agua en su totalidad.....	101
Figura 22: Apisonado de agregado fino	102
Figura 23: Desmolde de cono.....	103
Figura 24: Peso del Picnómetro con 500 ml de agua	103
Figura 25: Extracción de aire del agregado con bomba vacíos.....	104
Figura 26: Colocado de muestra en horno	105
Figura 27: Secado superficial de muestra	106
Figura 28: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.....	106
Figura 29: Colocado de muestras en horno eléctrico	108



Figura 30: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de personal de la empresa EMAQ-Quillabamba	111
Figura 31: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de dirigente de JASS- Ajuajuyoc	112
Figura 32: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de dirigente de JASS- Pintobamba	113
Figura 33: Lavado de agregados	115
Figura 34: Almacenado de agregados	116
Figura 35: Equipos y materiales empleados en el vaciado del concreto	116
Figura 36: Dosificación de materiales.....	117
Figura 37: Proceso de elaboración de concreto.....	117
Figura 38: Proceso de elaboración de briquetas.....	118
Figura 39: Colocado de mezcla en el cono de Abrams	120
Figura 40: Enrasado de superficie del cono de abrams.....	121
Figura 41: Medición del slump	121
Figura 42: Estructura metálica de la cámara de carbonatación.....	124
Figura 43: Cobertura con plástico doble transparente y sellado con perfiles de madera	125
Figura 44: Equipos de control y medición	126
Figura 45: Ensayo de resistencia a la compresión.....	127
Figura 46: Tipos de fallas ocurridas posterior al ensayo de resistencia a la compresión.....	127
Figura 47: Materiales y equipos para el estudio de la carbonatación.....	132
Figura 48: Proceso de ensayo para la obtención de la penetración de carbonatación artificial ...	133
Figura 49: Criterio de medición del frente carbonatado	133
Figura 50: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Quillabamba”.....	134
Figura 51: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Ajuajuyoc”	134
Figura 52: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Pintobamba”	135
Figura 53: Curva granulométrica de agregado fino tipo “A”	140
Figura 54: Curva granulométrica de agregado fino tipo “B”	141
Figura 55: Curva granulométrica de agregado fino “mejorado”.....	142



Figura 56: Curva granulométrica de agregado grueso	146
Figura 57: Tendencia lineal de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada	162
Figura 58: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”	168
Figura 59: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”	170
Figura 60: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”	172
Figura 61: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”	173
Figura 62: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	175
Figura 63: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	177
Figura 64: Evolución de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada.....	182
Figura 65: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”	184
Figura 66: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”	185
Figura 67: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”	187
Figura 68: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”	188
Figura 69: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	190
Figura 70: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”	191
Figura 71: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"	197



Figura 72: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"199

Figura 73: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"201



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Durante los últimos años la ciudad de Quillabamba, cuenta con un incremento visible del parque automotor que conlleva a una mayor contaminación debido al uso constante de los diferentes combustibles derivados del petróleo, estos ocasionan diferentes gases entre los cuales resalta el Dióxido de carbono (CO_2).



Figura 1: Emisión de CO_2 vehicular

El CO_2 aparte de afectar la salud del ser humano, también afecta las nuestras obras civiles, ya que en concentraciones normales penetra el recubrimiento de las estructuras de concreto formando micro-fisuras y grietas para luego hacer contacto con el acero; es por ello que el ambiente altamente alcalino del concreto, durante el proceso de carbonatación, comienza a reducir el pH del concreto y ocasiona una posterior corrosión del acero.



Figura 2: Acero de elemento estructural expuesto y visiblemente corroído

Cabe recalcar la humedad relativa de la ciudad de Quillabamba promedio es 70.7 % que lo hace un ambiente que contribuye al desarrollo de la carbonatación del concreto, por ende, la carbonatación es un problema latente que puede influenciar en el comportamiento en la resistencia a la compresión de las estructuras en la ciudad de Quillabamba, además requiere de un análisis durante toda la fase de constructiva y de vida útil en una infraestructura de concreto hidráulico.

Tabla 1: Humedad relativa media multianual.

Estación	Altitud (m.s.m.m.)	Humedad relativa media anual (%)
Quillabamba.	990	70,7
Huyro.	2326	82,3
Machu-picchu.	2459	77,1

Fuente: (CESEL S.A., 2013, pág. 9)

Por otro lado, no hay estudios o antecedentes en la región con respecto a la patología de carbonatación por lo cual se desconoce este tópico en la técnica de la elaboración del concreto. Por



lo que se genera duda e incertidumbre en cuanto a la eficiencia de las estructuras durante su vida útil respecto al comportamiento de la carbonatación.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba 2021?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

1. ¿Cómo resulta la evaluación comparativa de los valores de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?
2. ¿Cómo resulta la evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?
3. ¿Cómo resulta la evaluación comparativa de la carbonatación acelerada usando fenolftaleína en los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

La presente investigación se justifica técnicamente por que se desarrolló dentro del campo de la Ingeniería Civil, en las ramas de las áreas de estudio de construcciones y estructuras, obteniendo la parte teórica de las especialidades de tecnología del concreto, concreto Armando y resistencia de materiales.

Además, esta investigación incluyo estudios sobre los materiales presentes en el concreto, así como el análisis de diseño de mezclas para una adecuada dosificación.

Cabe mencionar, que también se realizó el estudio completo del agua para observar si se encuentra dentro de los parámetros establecidos y su posterior empleo.



Por lo tanto, la investigación cumple con las normativas vigentes del ACI, ASTM y NTP, tanto para las propiedades de los agregados, la dosificación se basó por el método ACI 211.

En cuanto al análisis de carbonatación el procedimiento se realizó teniendo como referente a investigaciones elaboradas en otros países, también se considera normas de propuestas por International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (Rilem CPC-18).

1.2.2. Justificación social

La presente investigación se justifica socialmente, debido a que la población de Quillabamba se beneficiara en cuanto al desarrollo de diferentes estrategias para que puedan tomar medidas adecuadas en el proceso constructivo de las edificaciones además de su posterior puesta en servicio que hagan frente a los daños ocasionados por la carbonatación.

Cabe recalcar que la presente investigación favorece a docentes y alumnos como material de consulta, así como a diferentes tipos de profesionales que busquen ampliar sus conocimientos, esto debido a que la presente investigación estará al alcance de todos.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación es viable debido a que principalmente se contó con el tiempo y los recursos económicos para su debido proceso de ejecución.

En tanto al uso del compuesto químico como es el caso de la Fenolftaleína, se procedió a recibir capacitación para su manipulación, así como el uso adecuado del balón de CO₂.

Por otro lado, se contó con el alquiler de equipos de laboratorio para los diferentes tipos de ensayos y pruebas pertinentes durante el desarrollo de la tesis de investigación.

1.2.4. Justificación por relevancia

La presente investigación se justifica por relevancia debido a que principalmente no se cuentan estudios de carbonatación en la ciudad de Quillabamba.

Además, representa una técnica innovadora para determinación de carbonatación y su posterior propagación en el concreto producido.



Cabe recalcar que también representa un avance en el ámbito del desarrollo sobre las patologías del concreto y el comportamiento que este tiene durante la vida útil de cada estructura en ambientes húmedos como la ciudad de Quillabamba, por lo cual sirve de apoyo para posteriores investigaciones y futuras referencias en cuanto al estudio de la misma

1.3. Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitaciones geográficas

La presente investigación se limita a las condiciones de la ciudad de Quillabamba.

1.3.2 Limitaciones de estudio

- Se limita el curado de los testigos de concreto a 28 días completos.
- Se limita un tamaño máximo nominal del agregado opcional de 3/4”.
- Se limita a un slump de 3” – 4”.
- Se limita a realizar el diseño de mezcla según el método ACI 211.
- Se limita a usar el pH de aguas procedente de los sectores de Ajuajuyoc, Pintobamba y Quillabamba.
- Se limita a definir el concreto patrón del sector de Quillabamba en el primer periodo de evaluación (día 7).
- Se limita a definir el concreto patrón del sector de Ajuajuyoc en el primer periodo de evaluación (día 7).
- Se limita a definir el concreto patrón del sector de Pintobamba en el primer periodo de evaluación (día 7).
- Se limita a la obtención de la resistencia a la compresión de los 3 grupos de testigos de concretos sometidos a la cámara de carbonatación acelerada con los siguientes periodos de exposición:
 - Primer periodo de 7 días completos con un tiempo de curado previo de 28 días completos.
 - Segundo periodo de 14 días completos con un tiempo de curado previo de 28 días completos.
 - Tercer periodo de 28 días completos con un tiempo de curado previo de 28 días completos.



- Se limita la carbonatación artificial a las condiciones del centro poblado de Ajuajuyoc, las cuales son las siguientes:
 - Concentración promedio de CO₂ de 4%.
 - Humedad Relativa Promedio de 60%.
 - Humedad ambiental promedio de 89%
 - Temperatura ambiental promedio 14.6 °C
 - Presión atmosférica ambiental de 1050hPa.
- Se limita a realizar el ensayo de carbonatación con Fenolftaleína al 1%.
- Se limita a realizar los ensayos de calidad de agregados en el laboratorio “Geosoil Testing Soul”.
- Se limita a realizar ensayos de resistencia a la compresión en el laboratorio “Keremca-Quillabamba”.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar comparativamente la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba 2021.

1.4.2. Objetivo específico

1. Determinar si los valores de pH los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba cumplen con el parámetro admisible por la NTP.
2. Determinar cómo resulta la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba
3. Evaluar y comparar la profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua en la ciudad de Quillabamba 2021



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a nivel local

- I. Título: “Evaluación de la carbonatación utilizando fenolftaleína, en concretos de relación agua-cemento 0.55 y 0.65 expuestas a carbonatación acelerada”

Universidad:

Universidad Andina del Cusco

Autores:

- Adan Renzo Aguilar Hilari.
- Roger Villacorta Sánchez.

Año:

- 2017

Lugar:

- Cusco- Perú

Resumen:

La investigación estudia la carbonatación del concreto de relación agua-cemento 0.55 y 0.65, para ello, se elaboraron briquetas con agregados de la cantera de Huambutio y cemento de la marca YURA del tipo IP. Las muestras fueron curadas por sumersión, la resistencia a la compresión promedio alcanzada del concreto de a/c 0.55 y 0.65 luego de un curado de 28 días fue de 326 kg/cm² y 248 kg/cm² respectivamente.

Conocida su resistencia a la compresión, las briquetas fueron expuestas a carbonatación acelerada a diferentes periodos (7, 14, 21, 30 y 45 días), para ello, se construyó una cámara con condiciones especiales; concentración de CO₂ de 4%, humedad relativa de 60% y con dimensiones de: 0.70 m. x 1.40 m. x 0.75 m.

Para realizar el análisis de la carbonatación se utilizó el reactivo llamado fenolftaleína; compuesto orgánico utilizado como indicador del pH. Es incoloro en medio ácido y tiene un tono rosado-purpura en medio básico. De los ensayos se observó que el concreto de relación a/c 0.55 obtuvo la menor profundidad de carbonatación respecto del concreto de a/c 0.65.



Con la carbonatación promedio para cada periodo se realizó regresiones para obtener la ecuación de carbonatación artificial en función del tiempo para ambos concretos, con las ecuaciones de carbonatación artificial (logarítmica y potencial) se halló las ecuaciones de carbonatación natural (logarítmica y potencial).

A la vez se realizó el ensayo de resistencia a la compresión del concreto de a/c 0.55 y 0.65 carbonatado artificialmente a diferentes periodos (7, 14, 21, 30 y 45 días), donde se encontró un decremento en su resistencia a la compresión, esta disminución se hace mucho más evidente en el quinto periodo para ambos concretos.

Aporte de la tesis:

El presente antecedente nos ayudara a elaborar las fichas de cálculo además de entender el criterio de medición del frente carbonatado.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

- II. Título: “Efecto del tiempo de exposición al CO_2 , del concreto de $f'c=210$ kg/cm², en la profundidad de carbonatación y en la resistencia a compresión”

Universidad:

Universidad Nacional de Cajamarca

Autor:

- Mcs. César Pelayo Mosqueira Ramírez.

Año:

- 2019

Lugar:

- Cajamarca- Perú

Resumen:

Esta investigación tiene como objeto determinar el efecto del tiempo de exposición al CO_2 , del concreto de $f'c=210$ kg/cm², en profundidad de carbonatación y resistencia a compresión. La profundidad de carbonatación se determinó mediante el test de fenolftaleína, la que en muestras sin recubrimiento con aditivo resistente a la intemperie estuvo directamente relacionada con el tiempo de exposición al CO_2 y en las recubiertas presentaron resistencia inicial para luego continuar con la relación descrita. La resistencia a compresión del concreto se determinó en la



maquina universal, que comparando resultados obtenidos con testigos patrón, las muestras recubiertas mostraron inicialmente una tendencia creciente hasta en un 13%, luego una disminución progresiva en función al período de exposición. En cambio, en las muestras no recubiertas la disminución fue gradual desde el inicio

Se realizaron 140 ensayos: 05 muestras para diseño de mezclas, 15 experimentos por cada variación del tiempo de exposición a CO₂ (30, 60, 90, 120 días) y por tipo de muestra. Los testigos de concreto fueron expuestos en un depósito hermético al CO₂, simulando un ambiente totalmente saturado.

Conclusiones:

- La profundidad de carbonatación en el concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ frente a la exposición de CO₂, en muestras sin recubrimiento, depende directamente de: la concentración de CO₂ en el aire; la permeabilidad, presencia de micro y macro poros en el concreto y la humedad relativa.
- La resistencia a la compresión en el concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ frente a la exposición de CO₂, tanto en muestras con aditivo y sin aditivo, produjo un efecto inicial de tendencia ascendente hasta un 13%, con respecto a la resistencia de la muestra patrón (o de diseño), posteriormente las acciones a las que está sometido el concreto por la inducción a CO₂ períodos más prolongados, generan disminución de pH volviéndolo ácido.

Aporte de la tesis:

El presente antecedente nos ayudará a entender acerca del comportamiento del CO₂, así como los efectos en la resistencia a la compresión en el concreto.

III. Título: “Evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el canal del túnel - río Asana, 2018”

Universidad:

- Universidad José Carlos Mariátegui

Autor:

- Bac. Neyva Yasira Catari Falcón

Año:

- 2021

Lugar:



- Moquegua- Perú

Resumen:

La investigación desarrollada tuvo por objetivo evaluar el proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el canal del túnel - río Asana, ubicado en el proyecto Quellaveco distrito de Torata, región Moquegua.

Se realizó muestras cilíndricas, de 100 mm de diámetro y 40 mm de altura elaborados con concreto $f'c = 45$ Mpa, sometidos a un ambiente natural en el interior del túnel del río Asana, a una atmósfera con valores máximos de 47 % de humedad relativa y una temperatura mínima de 15° C, son dos series de muestras que expuestas a 95 días (30 muestras) y a 77 días (15 muestras), todas las muestras expuestas a un mismo ambiente de exposición. Se recolectó información periódicamente de la temperatura y humedad relativa, para finalmente medir el avance de la carbonatación y pH de las muestras expuestas aplicando el método de ensayo de la fenolftaleína.

De la recolección de datos, se obtuvieron resultados de la aparición de fisuras en los muros del canal, concluyendo que el 53 % tienen fisuras mayores a 0,30 mm y el 47 % tienen fisuras menores a 0,30 mm. Además, se obtuvo resultados de los valores obtenidos de las infiltraciones del agua del túnel llegando a valores de hasta un máximo de 10,91pH y en los resultados del método de ensayo de fenolftaleína se evidencia que el promedio de la profundidad de carbonatación en las muestras, del M1 al M29 tienen profundidades entre tres milímetros a 5,7 mm registrando mayores profundidades de carbonatación en comparación a las muestras del M30 a M45.

Esta investigación ha permitido brindar el conocimiento de la evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH usando el método de ensayo de fenolftaleína, el resultado dependió de la evaluación de factores ambientales y factores químicos como las aguas de escorrentía y el tiempo de exposición.

Conclusiones:

- Según los resultados encontrados, se concluye que evaluar el proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el canal del túnel del río Asana, brindó el conocimiento para hallar el avance de carbonatación y el valor del pH aproximado del concreto, aplicando el método de disolución de fenolftaleína, así mismo como lo indica la norma se verificó las condiciones de exposición de las muestras, registrando valores de la humedad relativa del ambiente y su temperatura, respecto a los valores encontrados con el modelo matemático de la regresión lineal para predecir el comportamiento de la relación temperatura y humedad



relativa, se observó que cuando se registran temperaturas bajas la humedad relativa se incrementa. Estas correlaciones obtenidas entre profundidades de carbonatación y el cambio de pH del concreto y la identificación de factores físicos y químicos podrán ser empleado para calificar el estado del concreto, a su vez recomendar medidas de reparación del canal y proyectar la durabilidad del canal.

- Se identificó los factores físicos y químicos que intervienen en el cambio del pH del concreto en el canal del túnel, en cuanto a los factores se recolectó mediciones del pH del agua subterránea, humedades relativas y temperaturas, determinando que si intervienen en el cambio del pH del concreto, de los datos registrados del pH del agua de infiltración (aguas subterráneas) el 13,1 % de los valores registrados se encuentran por encima de los límites permisibles con un pH máximo de 10,91, en los resultados se presenta los valores máximos de la humedad relativa, llegando a registrar un 47 % valor cercano al 50 % siendo este el rango ideal (50 %-70 %) que favorece la carbonatación del concreto el cual incide inmediatamente sobre los niveles de pH en el concreto causando la disminución del pH y con la prueba de regresión que mejor expresa la relación entre las variables se evidencio que existe influencia inversamente proporcional fuerte entre la humedad y temperatura. Se tuvo como limitación de medir los valores del dióxido de carbono presentes en el ambiente.

Aporte de la tesis:

El presente antecedente nos ayudara a entender los diferentes factores que contribuyen a la carbonatación en el concreto.

2.1.3 Antecedentes a nivel internacional

IV. Título: “Evaluación de la carbonatación en hormigones elaborados con cemento de bajo carbono LC³”

Universidad:

- Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Autor(es):

- Andres Felipe León Rivera
- Cristian Enrique Reyes Lozano.



Año:

- 2016

Lugar:

- Santa Clara- Cuba

Resumen:

La presente investigación evalúa el comportamiento de los procesos de la carbonatación en el hormigón fabricado con cemento de bajo carbono LC3, respecto a los producidos con cemento Pórtland P-35, sometidos a diferentes condiciones ambientes: primero en una zona marina tropical y en segundo lugar en zonas aisladas con humedad relativa entre un 60 y 70%. Para la determinación de la profundidad carbonatada se emplea la técnica de la fenolftaleína, atendiendo a las normativas nacionales.

Generalmente los elementos elaborados con cementos ternarios resultan más sensibles a la carbonatación que los producidos con Cementos Pórtland Ordinarios (CPO), debido al efecto de la sustitución de clínquer con la consiguiente reducción de la alcalinidad, así lo corresponde los resultados de los ensayos realizados a los elementos fabricados en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción (CIDC) de La Habana (zona de agresividad baja) de resistencia característica 30 MPa, conservados en una zona de humedad relativa (HR) entre 60 y 70%.

Por otro lado, al evaluar los hormigones de resistencia característica de diseño de 25 MPa producidos en la Empresa de Producción Industrial (EPI) Villa Clara, y luego situados en Cayo Santa María (zona marina de agresividad ambiental muy alta), se obtiene que los elementos elaborados con LC3 exponen una profundidad carbonatada menor respecto a los hormigones producidos con cemento Pórtland, situación atípica, que puede deberse, a los elevados índices de porosidad en conjunto con los efectos de la lixiviación con mayor agresividad en los hormigones con mayor contenido de compuestos solubles como el CO₂.

Conclusiones:

Los elementos elaborados con LC3 ubicados en zonas de HR medias son mucho más susceptibles al efecto de la carbonatación aun cuando se garantice mayores índices de impermeabilidad y porosidad, debido fundamentalmente al bajo índice de alcalinidad en los poros de los elementos, factor primordial en los efectos de la carbonatación.

Aporte de la tesis:



El presente antecedente nos brinda mayores conocimientos para elaborar el muestreo y procedimientos para la medición de la profundidad de carbonatación.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1 Concreto

2.2.1.1 Definición

En termino generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivo, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 19).

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto (Abanto Castillo, 2009, pág. 11).

Como indica Rivva López (1992) “el concreto de cemento portland es uno de los más usados y el más versátil de los materiales de construcción. Esta versatilidad permite su utilización en todo tipo de formas estructurales, así como en los climas más variados. En la práctica, las principales limitaciones del concreto están dadas no por el material sino por quien debe utilizarlo” (pág. 1).

2.2.1.2. Características

Según Abanto Castillo (2009):

Se considera a tres factores que hacen al concreto un material de construcción universal:

- a) La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene consistencia plástica.
- b) Su elevada resistencia a la compresión lo que hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- c) Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua (pág. 11).



2.2.1.3. Composición

La Tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo. Si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de Trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento (Pasquel Carbajal, 1998).

2.2.1.3.1 Cemento

- **Definición**

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 17).

- **Cemento portland**

El cemento portland es producto de la calcinación de rocas calizas y arcillosas; y ocupa entre el 7% y 15% del volumen de la mezcla. El agua ocupa entre 14% y 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento portland, por complejas reacciones químicas, dando como producto final Tobermorita que es el producto responsable de la resistencia del concreto. La mezcla de cemento portland y agua se conoce como pasta y sirve como lubricante de la mezcla fresca. La pasta endurecida provee de propiedades al concreto. (Rivva López, 2006, pág. 17).

- **Composición química**

Las materias primas constituyentes del cemento son principalmente cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Durante el proceso de producción del cemento estos compuestos interactúan para luego formar una serie de productos más complejos (silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos) que alcanzan un estado de equilibrio químico, con la excepción de un residuo de cal no combinada la cual no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar esta es denominada como cal libre (Portugal Barriga, 2007, pág. 21).



Abanto Castillo (2009), sostiene que en el cemento portland hay cuatro compuestos que constituyen más del 90% del peso del cemento los cuales son:

	Abreviación
▪ Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)	C_3S
▪ Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)	C_2S
▪ Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)	C_3A
▪ Aluminato ferrita tricálcica ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$)	C_4AF (pág. 16).

Pasquel Carbajal (1998), define estos componentes de la siguiente forma:

- **Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) $\rightarrow C_3S \rightarrow$ Alita**
Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- **Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) $\rightarrow C_2S \rightarrow$ Belita**
Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.
- **Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) $\rightarrow C_3A$**
Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3%-6%) para controlarlo.
Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce Sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por lo que hay que limitar su contenido (pág. 22).
- **Aluminato ferrita tricálcica ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$) $C_4AF \rightarrow$ Celita**
Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.

Por otro lado, en la siguiente tabla, se muestran los límites en porcentaje indica los límites de la mezcla de los diferentes óxidos de los cementos Portland.



Tabla 2: Límites de composición aproximados para cemento Portland.

Oxido	Contenido %
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Alcalis	0.2-1.3
SO ₃	1-3

Fuente: (Portugal Barriga, 2007, pág. 21)

- **Tipos de cemento portland**

Abanto Castillo (2009) sostiene que:

Los cementos portland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de normas de cemento portland (C150).

Tipo I: Es el cemento destinado a obras de concreto general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

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

Tipo III Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II.

Tipo IV Es el cemento del cual requiere bajo calor de hidratación.

Tipo V Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar (pág. 17).

Sin embargo, la NTP (2013) establece cementos portland adicionados para construcción de concreto en general (pág. 5):

- Tipo IS: Cemento portland con escoria de alto horno.



- Tipo IP: Cemento Portland puzolánico.
- Tipo I (PM): Cemento Portland puzolánico modificado.
- Tipo IT: Cemento adicionado ternario.
- Tipo ICo: Cemento Portland compuesto.

- **Cemento Portland tipo IP**

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso (YURA, Ficha Técnica - IP Cemento Multipropósito, 2021, pág. 1).

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclar la minuciosamente en ciertas proporciones y calcinar la en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente 1,450 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clinker. El clinker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso, y el producto resultante es el cemento portland comercial que tanto se usa en todo el mundo (M. Neville, 1999, pág. 2).

- **Mecanismos de hidratación del concreto**

Pasquel Carbajal, (1998) describe la hidratación del concreto de la siguiente forma:

“Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de calcio complejos” (pág. 48).

La reacción mediante la cual el cemento Portland se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua, generada por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos. En otras palabras, en presencia del agua los silicatos y aluminatos forman productos de hidratación, los cuales, con el paso del tiempo, producen una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento hidratada (M. Neville, 1999, pág. 8).

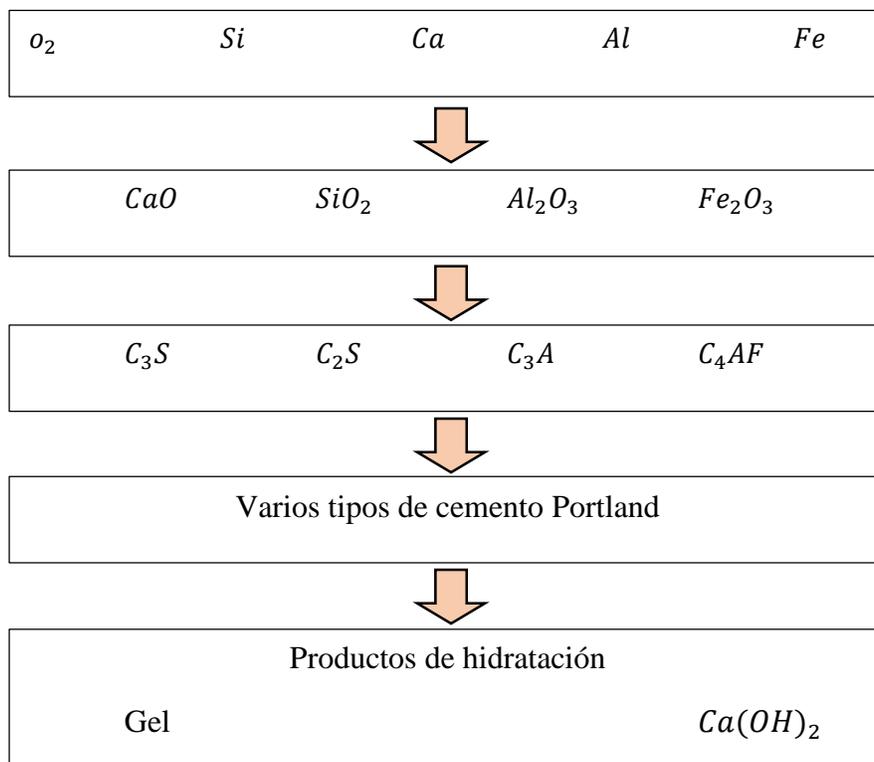


Figura 3: Esquema de la secuencia de la formación e hidratación del cemento Pórtland.

Fuente: (Portugal Barriga, 2007, pág. 31)

YURA (2014), sostiene lo siguiente:

“El calor de hidratación es un problema muy complejo; no solamente es el causante de la fisuración plástica, que tantos problemas trae, sino también complica todo llenado masivo de concret. El uso del cemento portland puzolánico, resuelve la mayoría de los casos de llenados de gran volumen” (pág. 15).

- **Etapas del proceso de hidratación**

A. Plástico: Unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/cemento, mayor es la concentración de partículas del cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente.

el primer elemento en reaccionar es el C_3A , y posteriormente los silicatos y el C_4AF , caracterizándose el proceso por la dispersión de cada grano de cemento en millones de partículas. La acción del yeso contrarresta la velocidad de las reacciones y en este estado



se produce lo que se denomina el periodo latente o de reposo en que las acciones se atenúan y durante entre 40 y 120 minutos dependiendo de la temperatura ambiente y el cemento en partícula. En este estado se forma hidróxido de calcio que contribuye a incrementar notablemente la alcalinidad de la pasta que alcanza un Ph del orden 13 (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 26).

- B. Fraguado:** Este es el término utilizado para describir la rigidez de la pasta del cemento, aun cuando la definición de rigidez de la pasta puede considerarse un poco arbitraria. En términos generales el fraguado se refiere a un cambio del estado fluido al estado rígido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere cierta resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada. (Portugal Barriga, 2007, pág. 43).

Podemos diferenciar dos procesos del fraguado:

- a) Fraguado inicial:** Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 27).

Portugal Barriga (2007), sostiene lo siguiente:

“El fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura. En este momento también se produce una fuerte caída en la conductividad eléctrica, por lo que se han realizado algunos intentos de medir el fraguado por medios eléctricos” (pág. 43).

- b) Fraguado final**

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 27).

Se refiere al punto donde la pasta logra un punto importante de rigidez, mayor al del fraguado inicial; generalmente lo determina un valor empírico que indica el tiempo en Horas y minutos que se requiere para que una pasta de cemento endurezca lo suficiente



para resistir hasta cierto grado, la penetración de una aguja. (ej. Aguja de Vicat) (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 3).

C. Endurecimiento: Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continua de manera indefinida (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 27).

2.2.1.3.2 Agregados

A. Definición

Los agregados también llamados áridos, son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia de agua conforman un todo compuesto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 19).

La denominación de inertes es relativa, porque si bien si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares como la resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 69).

B. Agregados en el concreto

Inicialmente se podría pensar que la función de los agregados en el Hormigón es la de reducir los costos, pero en realidad no se podría conseguir un buen hormigón si no se contara con estos. Por ejemplo, la pasta sin agregados sufriría una cantidad intolerable de contracción que conduciría al agrietamiento, debido a la contracción diferencial entre las partes exteriores e interiores. La superficie del agregado proporciona una enorme área de contacto para producir una liga íntima con la pasta. La rigidez de los agregados restringe en gran parte el cambio de volumen de la masa en conjunto. En la figura 2.1 se muestra la magnitud de la contracción del hormigón con relación a la pasta, conforme se aumenta la cantidad de agregado en el propio hormigón, por ejemplo, con un contenido de 75% de agregado la contracción del hormigón es sólo de alrededor de un décimo del correspondiente al que presentaría una pasta sin agregados (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 27).

M. Neville, (1999), indica lo siguiente:



“Originalmente, los agregados se consideraban un material inerte, que se repartía en toda la pasta de cemento, más que nada por razones económicas. Sin embargo, es posible asumir un punto de vista opuesto y pensar que los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, como sucede en las construcciones de mampostería. De hecho, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y, a veces, químicas, influyen en el comportamiento del concreto” (pág. 75).

C. Características físicas de los agregados

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación. Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 72).

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado. Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si conserva su integridad bajo cambios de temperatura o humedad y si resiste la acción de la intemperie sin descomponerse (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 31).

D. Características químicas de los agregados

Pasquel Carbajal (1998) sostiene lo siguiente:

“Los agregados, también llamados inertes, son en general sumamente resistentes al ataque de agentes químicos, siendo importante establecer que cualquier agresión de este tipo debe ser en forma de solución para que tenga la posibilidad de surtir algún efecto.

Existe una forma de ataque químico sobre los agregados, que es la más importante desde el punto de vista de sus consecuencias en la durabilidad del concreto y que es producida por la reacción de ciertos agregados con los álcalis del cemento produciendo compuestos expansivos” (pág. 80).

E. Textura superficial de los agregados

La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a la flexo-tracción que a la compresión (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 32).



La textura superficial del agregado afecta a su adherencia a la pasta de cemento y también influye en la demanda de agua de la mezcla, especialmente en el caso del agregado fino. (M. Neville, 1999, pág. 93).

Según indica Rivva López (2000), que de acuerdo a su textura superficial, las partículas de agregado se clasifican en seis grupos:

- Textura vítrea.
- Textura suave.
- Textura granular.
- Textura rugosa.
- Textura cristalina.
- Textura alveolar (pág. 174).

F. Forma de los agregados

Además del aspecto petrográfico de los agregados, son también importantes sus características externas, especialmente la forma y la textura superficial de las partículas. Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales y, por lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas de dichos cuerpos (M. Neville, 1999, pág. 78)

Las partículas naturales de agregado que han sido sujetas a la acción de las olas y el agua durante la historia geológica pueden ser esencialmente esféricas; las otras, rotas por la trituración, pueden ser cúbicas o tener muchos ángulos con vértices agudos, debiendo tener por lo menos una cara fracturada, resultante del proceso de trituración (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 32).

G. Clasificación

a) Por su tamaño

Para Abanto Castillo (2009), los agregados clasifican en (pág. 23):

- Agregados finos
 - Arena fina
 - Arena gruesa



- Agregados gruesos
 - Grava
 - Piedra

i. Agregados finos

Se considera agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. (Abanto Castillo, 2009, pág. 23).

ii. Agregados gruesos

Se define como agregado grueso al material retenido por el tamiz ITINTEC 4.75mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánicas de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. (Abanto Castillo, 2009, pág. 26).

b) Por su procedencia

i. Agregados naturales

Se considera como agregados naturales a las partículas que son el resultado de un proceso de obtención o transformación natural. Los agregados obtenidos por trituración mecánica y tamizado de rocas se consideran dentro de la clasificación de agregados naturales (Rivva López, 2000, pág. 171).

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 70).

Todas las partículas de agregado natural proceden originalmente de una masa mayor. Es posible que dicha masa se haya fragmentado por procesos naturales, como con el intemperismo o la abrasión, o que la fragmentación haya sido artificial, mediante trituración. (M. Neville, 1999, pág. 75).

ii. Agregados artificiales

Se define como agregados artificiales a las partículas obtenidas como el resultado de un proceso de transformación de transformación industrial de un elemento natural, como en el caso de las arcillas y esquistos expansionados; o como subproducto de un proceso industrial, como sería el caso de las arcillas de alto horno (Rivva López, 2000, pág. 171).



Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 28).

Algunos agregados de este tipo los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la microsilice etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van investigando y desarrollando otros materiales y sus aplicaciones en concreto, por lo que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en ese sentido (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 70).

c) Por composición mineralógica

Rivva López (2000), sostiene que:

Por su composición mineralógica los agregados pueden ser primordialmente:

- Silíceos.
- Calcareos.

La forma en la cual los minerales principales se presentan, así como la presencia o ausencia de minerales secundarios, pueden ser más importantes que la composición promedio (pág. 172).

d) Por su densidad

Entendiendo la densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e=2.5$ a 2.75 ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 72).

e) Por su gradación

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas que como ya hemos mencionado tiene suma importancia en el concreto. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM # 4) (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 72).



H. Agregado fino

a) Concepto

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz NTP 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33 (Rivva López, 2000, pág. 179).

TORRE C. (2004), estipula consideraciones acerca del agregado fino:

- Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.
- Debe estar graduado dentro de los límites dados en los requisitos obligatorios.
- El módulo de fineza debe estar entre 2.3 a 3.1.
- Deberá estar libre de materia orgánica, que es determinado mediante el ensayo indicado en ASTM C 40, si no cumple con esta especificación puede ser utilizado siempre que realizado el ensayo de compresión a los 7 días de morteros preparados con arena sana y otros con la arena en cuestión la resistencia no sea menor del 95% (pág. 57).

b) Requerimiento

El agregado podrá consistir de arena natural o manufacturada, o con una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes, libres de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto (Rivva López, 2000, pág. 179).

c) Análisis granulométrico

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena. La distribución del tamaño del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son las N^os 4, 8, 16, 30, 50 y 100 (Abanto Castillo, 2009, pág. 24).

Tabla 3: Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg.)	100
475 mm (No. 4)	95 a 100



1,18 mm (No 8)	80 a 100
2.36 mm (No 8)	50 a 85
600 μm (No. 16)	25 a 60
300 μm (No. 16)	05 a 30
150 μm (No. 16)	0 a 10

Fuente: (NTP 400.037, 2014, pág. 8)

d) **Módulo de fineza**

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz No 100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 92).

En el apartado 6.4 de la NTP 400.037 (2014), nos indica lo siguiente:

“En una cantera determinada el módulo de fineza base no debe variar en más de 0,20, siendo éste el valor típico de la cantera. La aprobación de un cambio en el módulo de fineza deberá ser a satisfacción de las partes” (pág. 8).

Por lo tanto, el módulo de finura no se puede usar como una descripción de la granulometría de un agregado, pero es útil para medir variaciones ligeras en agregados de la misma fuente; por ejemplo, como un control diario. Sin embargo, con ciertas limitaciones, el módulo de finura da un indicio del posible comportamiento de una mezcla de concreto hecha con agregado de cierta granulometría, y hay muchas personas que apoyan el uso del módulo de finura para la evaluación de agregados y el diseño de mezclas (M. Neville, 1999, pág. 107).

e) **Peso unitario**

Se define peso unitario o volumétrico del agregado, ya sea en estado suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Usualmente esta expresado en Kg/m³ (Portugal Barriga, 2007, pág. 67).

- **Peso unitario suelto**

El procedimiento que nos indica la N.T.P. 400.017, (2011), es el siguiente:



“Llenar el recipiente hasta el reboce con una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo. Tener cuidado a fin de prevenir, como sea posible, la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente” (pág. 10).

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del agregado suelto}}{\text{Volumen del molde}}$$

- **Peso unitario compactado**

El procedimiento que nos indica la N.T.P. 400.017, (2011), es el siguiente:

“Llenar el recipiente a un tercio del total y nivelar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Llenar el recipiente a los 2 tercios del total y nuevamente nivelar y apisonar como anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente a sobre-volumen y apisonar nuevamente de la forma indicada líneas arriba. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibre los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente” (pág. 8).

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del agregado compacto}}{\text{volumen del molde}}$$

f) Peso específico

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 74).

El peso específico absoluto se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros, y se puede definir, como resultado de esto, como la relación de la masa del sólido, referido a vacío, respecto de la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gases, tomadas ambas a una temperatura dada. Así, para eliminar el efecto de poros impermeables totalmente encerrados, el material se tiene que pulverizar, y la prueba es tanto laboriosa como sensitiva. Afortunadamente, no se requiere normalmente en trabajos de tecnología de concreto (M. Neville, 1999, pág. 86).

g) Absorción

La NTP 400.022 (2013), afirma que:



“Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca” (pág. 5).

La absorción de agua de los agregados se determina midiendo el aumento en masa de una muestra secada en horno, y sumergida después en agua durante 24 horas (habiendo quitado el agua de la superficie). La relación que existe entre el aumento en masa con respecto a la masa de la muestra seca, expresada en porcentaje; se llama absorción (M. Neville, 1999, pág. 89).

El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 76).

La norma ASTM C127-07 (2007), en el inciso 9.4, permite calcular a la absorción de la siguiente manera:

$$\% \text{ Absorción} = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100$$

Donde:

- A = Peso en el aire de la muestra seca (gr).
- B = Peso en el aire de la muestra saturada (gr) (pág. 10).

Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 77).

La norma ASTM C 566 - 97, (2004), en el inciso 8.1 (pág. 2), permite calcular a la humedad de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{w - D}{D} * 100$$

Donde:

- ρ = contenido de humedad total evaporable de la muestra, %
- W = masa original de la muestra, g,
- D = masa de la muestra secada, g.



El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de una muestra seca (ASTM C 566 - 97, 2004, pág. 3).

I. Agregado grueso

a) Concepto

Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 29).

b) Requisitos

El agregado grueso puede consistir de piedra partida grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semi-angular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas (Rivva López, 2000, pág. 182).

c) Análisis granulométrico

El agregado grueso estará graduado dentro de los límites especificados en las normas NTP 400.037 o ASTM c 33. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2” y no más del 6% del agrado que pasa la malla de 1/4" (Rivva López, 2000, pág. 182).

TORRE C. (2004), estipula consideraciones acerca del agregado grueso:

- Estará conformado de fragmentos cuyos perfiles sean preferentemente angulares o semiangulares, limpios, duros, compactos, resistentes y de texturas preferentemente rugosas y libres de material escamoso o partículas blandas.
- La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm²
- Estará graduado dentro de los límites especificados en la tabla de requisitos obligatorios.
- El tamaño máximo del agregado a tomar será:



- 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados ó
- 1/3 de la altura de las losas ó
- 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo.
- Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión (pág. 57).

Tabla 4 Requisitos granulométricos del agregado grueso.

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	90 mm a 37,5 mm	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 mm a 37,5 mm			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 mm a 25,0 mm				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 mm a 4,75 mm				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 mm a 19,0 mm					100	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
467	37,5 mm a 4,75 mm					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25,0 mm a 12,5 mm						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-			
56	25,0 mm a 9,5 mm						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 mm a 4,75 mm						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19,0 mm a 9,5 mm							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,0 mm a 4 mm							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		



7	12,5 mm a 4,75 mm								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 mm a 2,36 mm									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12,5 mm a 9,5 mm									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: (NTP 400.037, 2014, pág. 13)

d) Peso específico

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. En este último caso hay que tener en cuenta que estas conversiones asumen que el material en estado natural tiene el peso unitario obtenido en la prueba estándar, lo cual no es cierto por las características de compactación indicadas (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 74).

Según la NTP 400.021 (2013), define al peso específico como la relación, a una temperatura estable, de la masa (o peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas, nos refiere que los valores son adimensionales (pág. 3).

Para calcular los tres estados de pesos específicos utilizamos:

- Peso específico de masa:

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} * 100$$



- Peso específico de masa saturada con superficie seca:

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

- Peso específico aparente:

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire.
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

2.2.1.3.3 Agua

A. Definición

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido. (Abanto Castillo, 2009, pág. 21).

Según ASOCRETO (1997), el agua:

“Es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto y mortero debido a que se desempeña una función importante en estado fresco y endurecido. Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, pero es evidente, que, para usarla en el lavado de agregados, en la preparación de la mezcla o durante el curado del concreto, no solamente su cantidad es importante, sino también su calidad química y física” (pág. 59).

De acuerdo con lo anterior, el agua se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 57).

B. Tipos de agua para la construcción

a) Agua para el lavado de agregado



Es la utilizada durante el proceso de trituración, para retirar impurezas y exceso de finos presentes en los conglomerantes de los que provienen, así como las partículas muy finas formadas durante la trituración. Debe ser lo suficientemente limpia como para no introducir contaminación a los materiales procesado, como puede ser exceso de partículas en suspensión, especialmente materia orgánica o sales, que posteriormente afectan la calidad del concreto producido con estos (ASOCRETO, 1997, pág. 60).

b) Agua para el mezclado del concreto

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dependiendo de la cantidad de agua adicionada la fluidez de la pasta será mayor o menor, y al endurecerse una cantidad del agua quedará fija como parte de la estructura y otra permanecerá como agua libre. Si la medida de agua de mezclado aumenta, la parte fija es la misma y por consiguiente el agua libre aumenta, con lo cual se aumenta la porosidad debido a que, con el tiempo, esta agua libre se evapora dejando unos pequeños conductos en el interior del concreto endurecido. Con este aumento se disminuye la resistencia y el concreto se hace más permeable. De ahí la importancia del control de la calidad de agua utilizada en la mezcla (ASOCRETO, 1997, pág. 60)

El agua de mezclado no deberá contener cantidades indeseables de sustancias orgánicas ni constituyentes inorgánicos en proporciones excesivas. No obstante, no existen normas que prescriban explícitamente la calidad del agua de mezclado, en parte porque no se conocen los límites de los constituyentes perjudiciales, pero principalmente por que las restricciones necesarias podrían ser económicamente dañinas. (M. Neville, 1999, pág. 125).

c) Agua para el curado del concreto

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 59).



Una vez el concreto ha fraguado, es necesario el suministro de agua para garantizar la completa hidratación del grano de cemento, esta agua adicionada depende de la temperatura y humedad del ambiente donde se encuentre el concreto, ya que a menor humedad relativa, la evaporación es mayor (ASOCRETO, 1997, pág. 60).

d) Requisitos de calidad del agua

El agua a ser empleada debe cumplir con los requisitos dados por las normas como la NTP 339.088, y ser de preferencia potable. Si se hace necesario el uso de agua no potable, se deben realizar estudios comparándola con agua potable, manteniendo la similitud en los procedimientos. En la siguiente tabla se dan los valores máximos permisibles de diferentes compuestos presentes en el agua, sin embargo, es necesario destacar que no existen criterios uniformes en cuanto a estos valores (Portugal Barriga, 2007, pág. 92).

Tabla 5: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088.

Descripción	Límite permisible		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO ₃)	1	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Fuente: (TORRE C., 2004, pág. 31)

TORRE C. (2004), nos indica las siguientes recomendaciones adicionales a considerar:

- Si la variación de color es un requisito que se desea controlar, el contenido máximo de fierro, expresado en ión férrico, será de 1 ppm.
- El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.
- Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua, determinada por análisis de Laboratorio, deberá ser aprobada por la Supervisión.



- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los que se ha utilizado en la preparación del concreto el agua de la fuente elegida (pág. 31).

C. PH en el concreto

Porque el concreto, con su ambiente altamente alcalino (rango de pH de 12 a 13), protege al acero de refuerzo ahogado contra la corrosión. Esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero que permanece estable en el ambiente altamente alcalino. Esta es la misma capa pasivadora que atacan los cloruros cuando alcanzan el acero de refuerzo expuesto a sales descongelantes y ambientes marinos (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2000, pág. 1).

2.2.1.4 Propiedades del concreto fresco

2.2.1.4.1 Trabajabilidad

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evolución es relativa, por cuanto depende realmente de la facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 131).

2.2.1.4.2 Consistencia

Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. (Abanto Castillo, 2009, pág. 47).

En términos generales, la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 111).

2.2.1.4.3 Segregación

Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero (Abanto Castillo, 2009, pág. 50).

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los



agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumando a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 137).

2.2.1.4.4 Exudación

La exudación es definida como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas (Rivva López, 2000, pág. 211)

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 139).

La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua en la misma, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación (Abanto Castillo, 2009, pág. 54).

2.2.1.4.5 Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 140).

2.2.1.4.6 Cohesividad

Se define a la Cohesividad como aquella propiedad del concreto fresco reacias a la cual es posible controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de la misma y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto (Rivva López, 2000, pág. 211).



2.2.1.5. Propiedades del concreto endurecido

2.2.1.5.1. Impermeabilidad

Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad (Abanto Castillo, 2009, pág. 58)

2.2.1.5.2. Resistencia

Es la capacidad de soportar cargas esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.(...) Depende principalmente de la concentración de pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de relación agua/cemento en peso. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 141).

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a compresión. (...) La resistencia a la compresión de un concreto ($f'c$) debe ser alcanzado a los 28 días, después de vaciado y realizado el curado respectivo (Abanto Castillo, 2009, pág. 50).

2.2.1.5.3. Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación (Abanto Castillo, 2009, pág. 57).

2.2.1.5.4. Extensibilidad

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran figuraciones.

Depende de la elasticidad y del flujo plástico, constituido por las deformaciones que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo. El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperables, estando relacionado también con la contracción, pese q ser dos fenómenos nominalmente independientes. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 143).



2.2.1.6. Diseño de mezcla

2.2.1.6.1 Definición

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 171).

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cubica de concreto, conocido usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuada; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o las especificaciones de obra (Rivva López, 1992, pág. 13).

2.2.1.6.2. Objetivos del diseño de mezcla

Cuantificar y determinar la combinación más práctica de los materiales componentes del concreto, para satisfacer requerimientos técnicos específicos identificando proporciones de agregados finos, gruesos, aditivos y la relación agua-cemento.

2.2.1.6.3. Diseño de mezclas por el método ACI

A. Definición

Está basado en que los agregados cumplan con los requisitos físicos y granulométricos establecidos por ASTM C-33 (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 172).

B. Secuencia de diseño

Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado (Rivva López, 1992, pág. 49).

a. Elección de resistencia promedio requerida

La resistencia promedio a la compresión requerida, f'_{cr} , usada como base para la dosificación del concreto empleando la desviación estándar S_s .



Tabla 6: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2): $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (5-1) $f'cr = f'c + 2,33 Ss - 3,5$ (5-2)
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-3): $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (5-1) $f'cr = 0,90 f'c + 2,33 Ss$ (5-3)

Fuente: (E.060, 2009, pág. 29)

Tabla 7: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

Fuente: (E.060, 2009, pág. 30)

b. Selección de asentamiento

Se seleccionará el slump de diseño en función al tipo de estructura a realizar en la siguiente tabla:

Tabla 8: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Tipos de construcción	Máximo	Mínimo
-Zapatas y muros de cimentación reforzados.	3"	1"



-Zapatas simples, cajones y muros de subestructura.	3"	1"
-Vigas y muros reforzados.	4"	1"
-Columnas de edificios.	4"	1"
-Pavimentos y losas.	3"	1"
-Concreto Ciclópeo.	2"	1"

Fuente: (Abanto Castillo, 2009, pág. 64)

Estos valores de asentamiento mostrado, se aplicara cuando el método de consolidación utilizado sea la vibración (Abanto Castillo, 2009, pág. 64).

c. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

Para Abanto Castillo (2009), los concretos con mayor tamaño de agregados, requieren menos mortero por unidad de volumen de concreto que tamaños menores. (...) En la medida en que el tamaño máximo del agregado grueso (piedra) nunca será mayor de:

- 1/5 de la dimensión más angosta entre las caras del encofrado
- 1/3 del espesor de las losas
- 3/4 de la distancia libre entre barras o paquetes de barra o cables pretensores (Pág. 65).

d. Selección del contenido de agua y selección del aire atrapado

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesario para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento (Abanto Castillo, 2009, pág. 65).

Tabla 9: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.

Slump	Tamaño máximo del agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124



6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----- -
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----- -
% de aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 176)

Tabla 10: Contenido de aire atrapado

TMN Agregado Grueso	Aire atrapado
3/8" (9.5mm)	3.0
1/2" (12.5mm)	2.5
3/4" (19.0 mm)	2.0
1" (25.0 mm)	1.5
1 1/2" (38.5 mm)	1.0
2" (50.0 mm)	0.5
3" (75.5 mm)	0.3
6" (150.0 mm)	0.2

Fuente: (ICG, 2016, pág. 72)

e. Selección de la relación agua-cemento (a/c)

La relación agua-cemento requerido es determinada teniendo en consideración no solamente la resistencia sino también factores como la durabilidad y propiedades de acabado del concreto.



Tabla 11: Relación agua/cemento por resistencia.

Resistencia a la compresión a los 28 días F' c (Kg/cm ²)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...

Fuente: (ICG, 2016, pág. 72)

f. Cálculo de contenido de cemento

El contenido de cemento por metro cubico de concreto es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

$$\text{Contenido de cemento (en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)} = \frac{\text{Agua de mezclado (} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)}}{\text{Relación } \frac{\text{a}}{\text{c}} \text{ (para } f'_{cr}\text{)}}$$

g. Estimación del contenido de agregado gruesos

Los agregados de esencialmente el mismo tamaño máximo y granulometría, producirán concreto de satisfactoria trabajabilidad, cuando un volumen dado de agregado grueso seco y compactado, es empleado por unidad de volumen de concreto (Abanto Castillo, 2009, pág. 70).



Tabla 12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Relación entre peso seco con y sin compactar del agregado grueso, por unidad de volumen del concreto.						
TMM Tamaño Máximo Nominal, Agregado Grueso.		Módulo de fineza agregado fino				
		2.40	2.60	2.80	3.00	Und..
3/8"	9.55mm	0.50	0.48	0.46	0.44	m3
1/2"	12.5mm	0.59	0.57	0.55	0.53	m3
3/4"	19.00mm	0.66	0.64	0.62	0.60	m3
1"	25.00 mm	0.71	0.69	0.67	0.65	m3
1 1/2"	37.50 mm	0.76	0.74	0.72	0.70	m3
2"	50.00 mm	0.78	0.76	0.74	0.72	m3
3"	75.00 mm	0.81	0.79	0.77	0.75	m3
6"	150.00 mm	0.87	0.85	0.83	0.81	m3

Fuente: (ICG, 2016, pág. 72)

Se emplea la siguiente relación:

b/b_0 , que nos indica que es una relación entre peso seco con y sin compactar del agregado grueso, por unidad de volumen del concreto.

h. Estimación del contenido de agregado fino

Como indica (Abanto Castillo, 2009), existen 2 métodos para la determinación del contenido de agregado fino, ambos se basan en el hecho de que una vez concluido el paso N° 6, todos los ingredientes a excepción del agregado fino son conocidos por metro cúbico de concreto, pudiendo hallarse el mismo por diferencia, empleando el método de los pesos o el método de los volúmenes.

Es decir:

$$\begin{aligned}
 & \text{Peso del agregado fino (en kg)} \\
 & = \text{Pesodel concreto (en kg)} \\
 & - [\text{Peso del agregado (en kg)} + \text{Peso del cemento (en kg)} \\
 & + \text{Pesodel agua de mezclado (en kg)}]
 \end{aligned}$$



Tabla 13: Tabla para el método de volúmenes.

Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (kg/cm ³)	Volumen absoluto
Cemento	P. cemento	/P.E Cemento	Vol. Cemento
Agua	P. agua	/P.E. Agua	Vol. agua
Aire	0.000	0.000	0.000
Agregado grueso	P. agregado grueso	/P.E. Agregado grueso	= Vol. Agreg. grueso
Agregado Fino	P. Agregado fino = P.E. Agreg. Fino x Vol. Agreg.Fino		
Σ [Vol. (Cemento + Agua + Agregado Grueso + Aire)]			
1 - Σ			

Fuente: (ICG, 2016, pág. 74)

i. Ajustes por humedad del agregado

Para Abanto Castillo (2009), generalmente los agregados utilizados en la preparación de un concreto, se encuentran húmedos por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como superficial. Así el agua de mezclado añadida a la colada, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido total de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Por lo tanto:

Si:

$$\text{Agregado Grueso} = \begin{cases} \text{Humedad total} = W_g\% \\ \text{\% absorción} = a_g\% \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} = \begin{cases} \text{Humedad total} = W_f\% \\ \text{\% absorción} = a_f\% \end{cases}$$

$$\text{Peso del agreg. grueso humedo (kg)} = [\text{peso agreg. grueso seco (kg)}] \times w_g\%$$

$$\text{Peso del agreg. fino humedo (kg)} = [\text{peso agreg. fino seco (kg)}] \times w_f\%$$

$$\text{Agua en agreg. grueso} = [\text{peso agreg. grueso seco (kg)}] \times (w_g\% - a_g\%) = X \text{ (kg)}$$



$$\text{Agua en agreg. fino} = [\text{peso agreg. fino seco (kg)}] \times (\text{wf\%} - \text{af\%}) = Y \text{ (kg)}$$

$$\text{Agua neta Efectiva} = \text{Agua de diseño (kg)} - (X + Y) \text{ (pág. 74).}$$

j. Ajustes de las mezclas o coladas de prueba

Abanto Castillo (2009), sostiene que:

Las proporciones de la mezcla, calculadas siguiendo estas recomendaciones deben ser comprobadas, para lo cual se prepara mezclas de ensayo o de prueba con los materiales a ser empleados en obra, de acuerdo a la norma C192 del ASTM, o empleando tandas reales preparadas en obra.

Se verificarán en estos ensayos las condiciones de trabajabilidad, adecuada ausencia de segregación y buen acabado, debiendo ajustar si es necesario las proporciones de la siguiente manera:

- a. La cantidad de agua de mezclado necesaria para obtener el mismo asentamiento que el de la mezcla de prueba, deberá ser igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividida por el rendimiento de la mezcla de prueba en m³.
Si el asentamiento de la mezcla de prueba no fue el correcto, se debe incrementar o disminuir el contenido de agua estimada en 2lt/m³ de concreto por cada incremento o disminución de 1cm en el asentamiento deseado.
- b. Para ajustar por el efecto de un contenido de aire incorrecto en una mezcla de prueba de un concreto con aire incorporado, se debe incrementar o reducir el contenido de agua de mezclado del acápite anterior en 3 lt/m³ de concreto por cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.
- c. El peso unitario estimado nuevamente del concreto fresco para el ajuste de proporciones de la mezcla para prueba, es igual al peso unitario en kg/m³ medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o disminución del contenido de aire de la mezcla ajustada respecto a la primera mezcla de prueba.
- d. Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando con el paso N°4, si es necesario se modificará el volumen del agregado grueso de la tabla N°5 para obtener una trabajabilidad apropiada (pág. 75).



2.2.1.7. Curado o hidratación

El curado del hormigón son condiciones que debe tener para que se pueda hidratar sin ningún tipo de pérdida del agua de hidratación. Según Sánchez (2011) el agua de curado se lo puede definir como: “Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento.” (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 137).

El curado es el procedimiento usado para garantizar que existe suficiente agua presente en el hormigón para dar lugar a una hidratación continua del cemento. Tiene una influencia significativa en las propiedades del hormigón endurecido como ser: Resistencia, Permeabilidad, Resistencia a la Abrasión, estabilidad de Volumen y Resistencias a la congelación y deshielo (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 293).

2.2.1.7. Ensayo de consistencia

2.2.1.7.1 Definición

Este método de ensayo se desarrolló originalmente para proporcionar una técnica de monitoreo de la consistencia del concreto fresco. En condiciones de laboratorio, con un control estricto de todos los materiales constituyentes del concreto, se ha encontrado que por lo regular el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla de concreto dada, por lo tanto, es inversamente proporcional a la resistencia del concreto. Sin embargo, bajo condiciones de obra, dicha relación con la resistencia no se aprecia en forma clara y consistente. Es por ello que se debe tener cuidado al correlacionar los resultados de asentamiento obtenidos en condiciones de obra, con la resistencia (NTG-41017 h4, pág. 4).

2.2.1.7.2 Equipos

- Cono de Abrams (tronco de cono): El molde tiene la forma troncocónica, con un diámetro de 200 mm en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm y una altura de 300 mm, también cuenta con 2 asas y dos aletas de pie soldados.
- Barra compactadora: Una barra cilíndrica de acero liso, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, que tiene su extremo de compactación, o ambos, redondeado a una semiesfera con un diámetro de 16 mm.
- Wincha: Para medir el asentamiento.



2.2.1.7.3 Procedimiento

Abanto Castillo (2009) nos indica el procedimiento:

- El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.
- En seguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.
- La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta y cuidadosamente en dirección vertical.
- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla se denomina slump.
- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos (pág. 48).

Tabla 14: Clases de mezcla según su asentamiento.

Consistencia	Slump- Revenimiento		Trabajabilidad
	(Pulgadas)	(centímetros)	
Seca	0 – 2”	0cm – 5cm	Poco trabajable
Plástica	3” – 4”	7.5cm – 10cm	Trabajable
Fluida	>5	>12.5 cm	Muy trabajable

Fuente: (Abanto Castillo, 2009, pág. 49)

2.2.1.7. Ensayo de resistencia a la compresión

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta (NTP 339.034, 2008, pág. 3).



2.2.1.7. Equipos

- Máquina de compresión: La máquina de ensayo será de capacidad conveniente suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga indicada.
- Probetas: Según (NTP 339.034, 2008), nos dan recomendaciones para el preparado de los testigos:
 - No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.
 - El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más de 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.
 - Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05 mm) (pág. 4).

2.2.1.7. Procedimiento

La (NTP 339.034, 2008) indica que el procedimiento para realizar el ensayo de compresión de los testigos debe considerar los siguientes pasos:

- Empezar el ensayo tan pronto como el espécimen ha sido retirado de la cámara de curado y conservar sus condiciones de humedad.
- Los testigos tienen que estar identificados antes de la prueba.
- No permitir que los testigos se sequen antes de la prueba, realizar la preparación de los testigos.

Tabla 15: Tolerancia permisible de tiempo de ensayo.

Edad	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo
24 HH	$\pm 0.5h$ ó 2.1 %
3 días	2 h ó 2.8 %
7 días	6h ó 3.6 %
28 días	20h ó 3.0 %
90 días	2 dias ó 2.2 %

Fuente: (NTP 339.034, 2008, pág. 11)

- Colocar Las almohadillas de neopreno en la parte inferior, luego en la parte superior del testigo y centrar en la máquina de compresión y verificar que extremos de las probetas no deben



presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05 mm).

- Centrar el testigo en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. Aplicar carga continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta que el espécimen falle. La velocidad requerida de movimiento dependerá del tamaño del espécimen de ensayo, el módulo de elasticidad del concreto y de la solidez de la máquina de ensayo.
- Registrar la máxima carga soportada por el espécimen. Se debe anotar el tipo de falla. La fractura cónica es un patrón común de ruptura (pág. 11).

2.2.2. El acero

Nos indica que el acero es la aleación de diversos elementos entre ellos: carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el más importante y el que determina sus propiedades mecánicas. A mayor contenido de carbono, la dureza, la resistencia a la tracción y el límite elástico aumentan. Por el contrario, disminuye la ductilidad y la tenacidad. El manganeso es adicionado en forma de ferro-manganeso. Aumenta la forjabilidad del acero, su templabilidad y resistencia al impacto. Así mismo, disminuye su ductilidad. El silicio se adiciona en proporciones que varían de 0.05% a 0.50%. Se le incluye en la aleación para propósitos de desoxidación pues se combina con el oxígeno disuelto en la mezcla. El cromo incrementa la resistencia a la abrasión y la templabilidad; el níquel, por su parte, mejora la resistencia al impacto y la calidad superficial. Finalmente, el vanadio mejora la temperabilidad (E. Harmsen, 2002, pág. 36).

2.2.2.1. Varillas de acero corrugado

Las varillas corrugadas son de sección circular y, como su nombre lo indica, presentan corrugaciones en su superficie para favorecer la adherencia con el concreto. Estas corrugaciones deben satisfacer requisitos mínimos para ser tomadas en cuenta en el diseño. (E. Harmsen, 2002, pág. 36).

2.2.2.2. La interacción de las varillas de acero y el concreto

La mezcla resultante de la combinación entre el hormigón y el acero no presenta solamente buenas características mecánicas. Además, las propiedades químicas que el hormigón armado posee hacen que su empleo tenga una durabilidad adecuada en la mayoría de sus aplicaciones (Garcés et al., 2008, pág. 107).

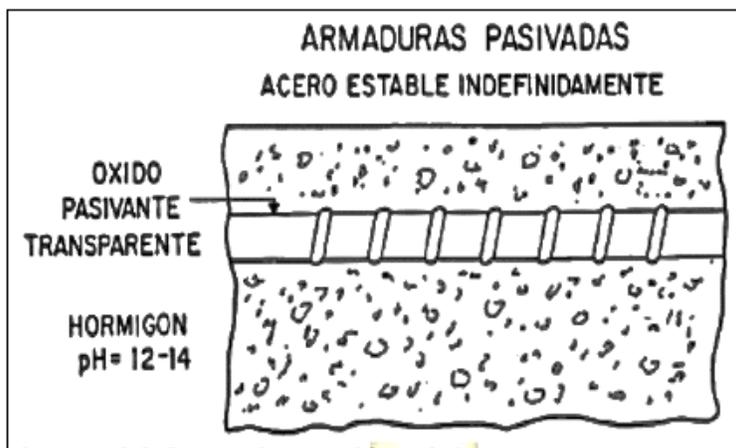


Figura 4: Interacción de las varillas de acero y el hormigón

Fuente: (Garcés et al., 2008, pág. 107)

2.2.2.3. El recubrimiento y espaciamiento de las varillas de acero

El recubrimiento y espaciamiento del refuerzo deben ser controlados para evitar las fallas por adherencia descritas en la sección precedente y para garantizar una distribución del acero que facilite el procedimiento constructivo. Además, es necesario asegurar un recubrimiento mínimo de concreto para proteger el refuerzo contra la corrosión, el fuego, la abrasión, etc. Las varillas colocadas muy cerca de los bordes del elemento pueden ser atacadas por agentes externos pues el concreto es un material poroso y siempre presenta fisuras debidas a la contracción de fragua. Sin embargo, el recubrimiento no debe ser demasiado grueso pues esto puede ocasionar rajaduras en el concreto por falta de refuerzo (E. Harmsen, 2002, pág. 46).

Tabla 16: Recubrimiento mínimo del concreto vaciado en obra

Concreto vaciado en obra	Recubrimiento mínimo (cm)
1. Concreto vaciado directamente sobre el terreno sin encofrado	7
2. Concreto en contacto con el terreno o expuesto a la intemperie	
Barras de 3/4" y mayores	5
Barras de 5/8" y menores, mallas electro soldadas	4



3. Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo	
Losas, muros y viguetas	
Barras de 1 11/16" y 2 1/4"	4
barras de 1 3/8" y menores	2
Vigas y columnas: Refuerzo longitudinal, estribos, cascaras y losas plegadas	4
barras de 3/4" y mayores	2
barras de 5/8" menores	1.5

Fuente: (E.060, 2009, pág. 42)

2.2.2.4. Adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo

El término adherencia se refiere al fenómeno de interacción física que se produce entre la masa de concreto y las barras cilíndricas de acero que se ahogan dentro de ésta, y que se localiza en la interfaz de estos dos materiales, permitiendo la transferencia y continuidad de esfuerzos y fuerzas entre los dos cuerpos en contacto, asegurando con ello un trabajo en conjunto". De lo que podemos entender es que al estar ambos materiales juntos les permite trabajar a distintos tipos de esfuerzos puesto que el concreto trabajará a compresión y el acero a flexión lo que les permitirá una gran capacidad de transferencia y distribución de los esfuerzos al estar estos sometidos en el caso de la construcción las cargas de servicio (Domínguez Ramírez, 2013, pág. 61).

2.2.2.5. La oxidación del acero

El acero debe estar libre de óxido durante su colocación pues éste perjudica la adherencia con el concreto. Si las varillas lo presentan, deben limpiarse con escobilla de acero o con chorro de arena. El Óxido reduce la sección transversal e las varillas afectando directamente su capacidad resistente. Durante el proceso constructivo debe verificarse que esta disminución no sea crítica (E. Harmsen, 2002, pág. 41).

2.2.2.6. La corrosión

La corrosión es la conversión de un metal a su forma hidratada de óxido. La superficie del hierro nunca es uniforme y si entra en contacto con una delgada capa de electrólito acuoso, pequeños desequilibrios eléctricos de un sitio a otro conducirán a la formación de una célula electrolítica. Dentro del metal, los electrones fluyen desde los puntos anódicos a los catódicos, y dentro del



electrólito los iones migratorios se encuentran para formar hidróxido ferroso soluble, cuando hay presente oxígeno suficiente, hay una oxidación hasta producir óxido férrico insoluble. Vemos que la corrosión (disolución de un metal), es un proceso electroquímico que requiere una etapa adicional de oxidación. Si el producto final de la corrosión puede formar una capa impermeable, insoluble y fuertemente adherida a la superficie del metal, la corrosión decrecerá (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 269).

2.2.2.7. Factores que favorecen la corrosión

- **Humedad:** El factor más importante de la corrosión atmosférica es la humedad sea en forma de lluvia, rocío, condensación o alta humedad relativa. En ausencia de humedad, la mayoría de los contaminantes tienen poco o ningún efecto sobre la corrosión. La lluvia tiene un efecto beneficioso sobre la corrosión debido a que es capaz de lavar la superficie metálica. Sin embargo, si la lluvia se acumula en zonas que inducen estancamiento del agua puede acelerar la corrosión mediante el suministro continuo de humedad.
- **Temperatura:** La temperatura del aire ocasiona efectos antagónicos en la corrosión atmosférica. Se considera que un aumento de la temperatura acelera la velocidad de los diversos procesos físicos y químicos involucrados en la corrosión metálica: reacciones químicas y electroquímicas y procesos de difusión. Sin embargo, un aumento de la temperatura también conduce a velocidades más altas de volatilización de la película acuosa, reduciendo, por tanto, el tiempo de humectación de la superficie metálica.

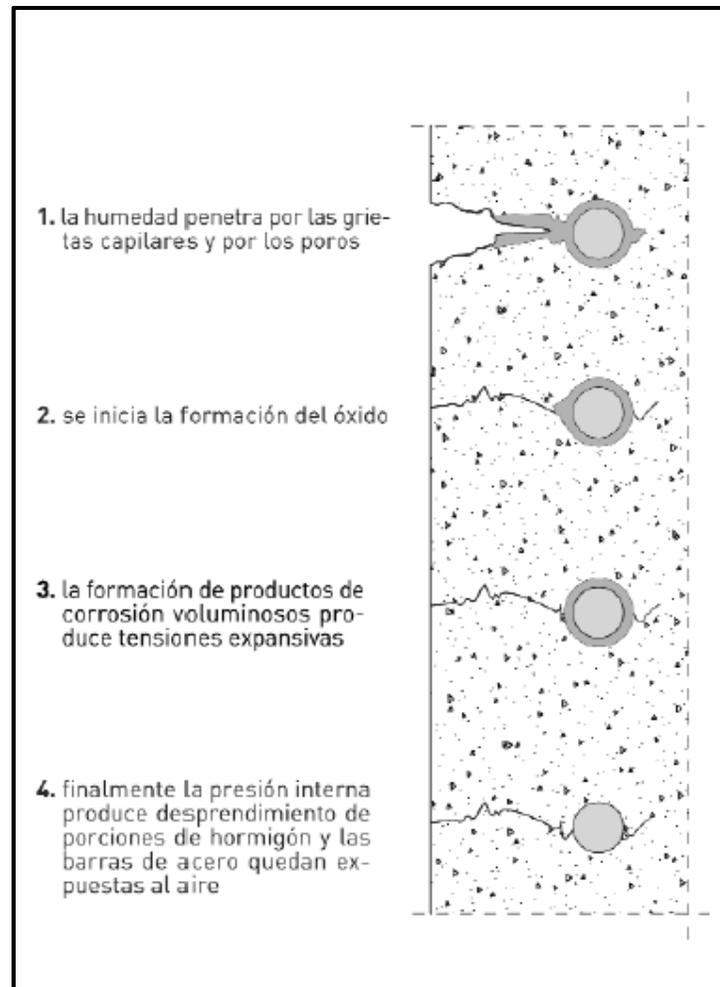


Figura 5: La fisuración que aparece en el concreto como consecuencia de la corrosión del acero

Fuente: (Broto, 2006, pág. 162).

2.2.3. Patología de la edificación

2.2.3.1. Definición

La palabra “patología” conforme al diccionario de la Real Academia procede de las palabras griegas “pathos”, que quiere decir enfermedad o afección y “logos” que significa estudio o tratamiento y en castellano se define como la parte de la medicina que trata el estudio de las enfermedades. (..) Podríamos definir la patología de la edificación como el estudio de las lesiones o problemas que se presentan en un edificio y que determinan la carencia de algunas de sus condiciones básicas de funcionamiento, o sea las relativas a funcionalidad, seguridad o habitabilidad (Lopez et al., 2018, pág. 16).



2.2.3.1.1 Proceso patológico

Entendemos por proceso patológico el conjunto de acciones que se producen en un edificio, o parte de él, desde el momento en que se presenta un deterioro en su funcionamiento o una lesión, en definitiva, una patología y hasta el momento en que el edificio recupera las condiciones básicas para las que fue construido, mediante la correspondiente reparación (Lopez et al., 2018, pág. 21).

2.2.3.1.2. Lesiones

Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma final del proceso patológico.

En muchas ocasiones las lesiones pueden ser origen de otras y no suelen aparecer aisladas sino confundidas entre sí. Por ello conviene hacer una distinción y aislar en primer lugar las diferentes lesiones. La «lesión primaria» es la que surge en primer lugar y la lesión o lesiones que aparecen como consecuencia de ésta se denominan «lesiones secundarias».

El conjunto de lesiones que pueden aparecer en un edificio es muy extenso debido a la diversidad de materiales y unidades constructivas que se suelen utilizar. Pero, en líneas generales, se pueden dividir en tres grandes familias en función del carácter y la tipología del proceso patológico: físicas, mecánicas y químicas (Broto, 2006, pág. 32).

A. Fuentes de las lesiones en las edificaciones

No son muy abundantes los datos estadísticos sobre las fuentes o causas de las patologías en la edificación, pero por los datos que manejan las casas aseguradoras de este tipo de riesgos pueden extraerse las cifras que figuran a continuación, representadas en la figura n ° 4 (Lopez et al., 2018, pág. 17).

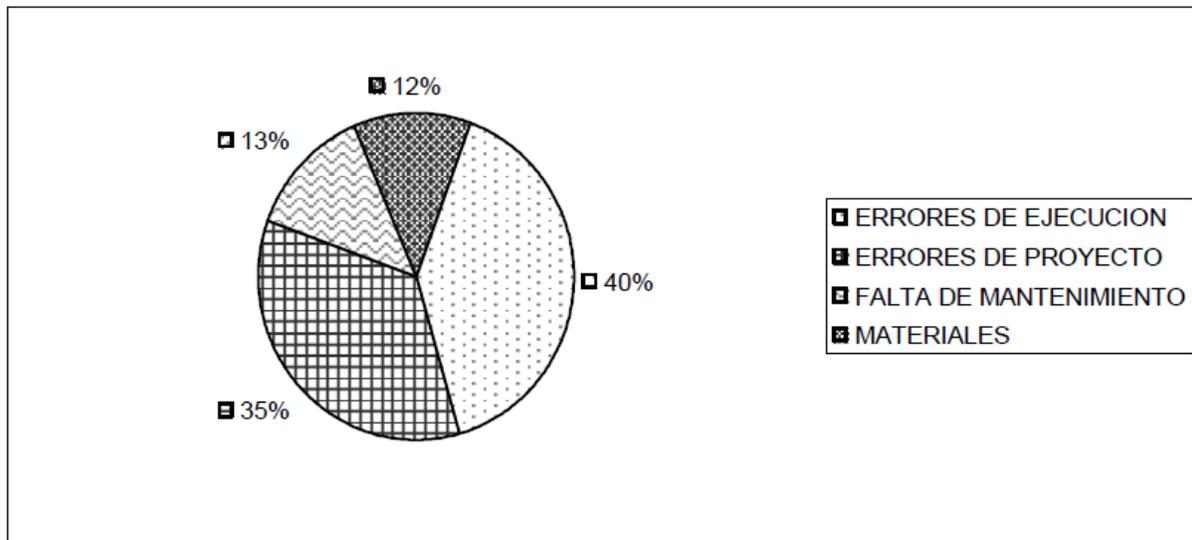


Figura 6: Porcentajes de fuentes genéricas de la patología en la edificación.

Fuente: (Lopez et al., 2018, pág. 17).

B. Tipos de lesiones

a. Lesiones Químicas

Segun Florentín & Granada, (2009) nos indica que, es el resultado de la exposición de los materiales a sustancias corrosivas que provienen del exterior o del interior. La corrosión puede generarse por:

- Corrosión química: reacción de metales con gases.
- Corrosión electroquímica: corrosión de metales por un medio electrolítico.
- Corrosión metálica: metales en contacto con agua.
- Corrosión por erosión: es el desgaste en la sección de los metales.
- Corrosión por incrustación: por deposición de sarro y barro
- Corrosión general: deterioro por acción del medio ambiente (pág. 7).

b. Lesiones físicas

Se dan comúnmente por la acción de los agentes climáticos como la lluvia, la lluvia ácida, el viento, el calor, los rayos ultra violetas, la nieve etc.

c. Lesiones mecánicas

Pueden generarse por acción de tensiones no estabilizadas, por falta de coordinación de las obras civiles.



2.2.3.2. Patología del concreto

2.2.3.2.1. Definición

La Patología del Concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios. En resumen, en este trabajo se entiende por Patología a aquella parte de la Durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto (Rivva Lopez , 2006, pág. 3).

El concreto puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros (Del Rosal, 2017, pág. 14).

Para (Rivva Lopez , 2006). El concreto puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros. Para determinar sus causas es necesaria una investigación en la estructura, la cual incluye:

1. Conocimiento previo, antecedentes e historial de la estructura, incluyendo cargas de diseño, el microclima que la rodea, el diseño de ésta, la vida útil estimada, el proceso constructivo, las condiciones actuales, el uso que recibe, la cronología de daños, etc.
2. Inspección visual que permita apreciar las condiciones reales de la estructura.
3. Auscultación de los elementos afectados, ya sea mediante mediciones de campo o pruebas no destructivas.
4. Verificación de aspectos de la mezcla de concreto que pueden ser importantes en el diagnóstico, tales como la consistencia empleada; tamaño máximo real del agregado grueso empleado; contenido de aire; proceso de elaboración de los especímenes; procedimiento de determinación de las resistencias en compresión, flexión y tracción; verificación de características especiales o adicionales, según requerimientos.



5. Conocimiento del diseño y cálculo de la estructura; los materiales empleados; las prácticas constructivas; y los procedimientos de protección y curado; los cuales son factores determinantes del comportamiento de la estructura en el tiempo.
6. Conocimiento del tipo, cantidad y magnitud de los procesos de degradación de las armaduras de refuerzo, los cuales determinan, a través del tiempo, la resistencia, rigidez y permeabilidad de la estructura; recordando que sus condiciones superficiales influyen, y todo ello se refleja en su seguridad, funcionalidad, hermeticidad y apariencia; en suma, en su comportamiento y vulnerabilidad.
7. Verificación que el acero de refuerzo cumpla con la resistencia requerida por el Ingeniero Estructural de acuerdo con las especificaciones indicadas en los planos y memoria de cálculo de las estructuras. Correspondiendo al Ingeniero Constructor y a la Supervisión comprobar que se cumplan las Normas ASTM correspondientes (pág. 4).

2.2.3.2.3. Carbonatación

A. Definición de carbonatación

La carbonatación del concreto, producto de la reacción del CO₂ (dióxido de carbono) presente en el aire o agua con el hidróxido de calcio originado al hidratarse el cemento y que forman el carbono de calcio, aunque mejora la dureza superficial del concreto, origina contracción y disminuye el pH. Si el pH se baja a valores inferiores de 10, puede ocurrir la corrosión del acero embebido en el concreto.

La carbonatación es el proceso por el cual el hormigón de recubrimiento pierde la alcalinidad que mantiene protegida la armadura. El mecanismo por el cual se produce es la reacción del dióxido de carbono de la atmosfera con las sustancias alcalinas de la solución de los poros y los componentes hidratados del hormigón. Esto genera un descenso del pH del hormigón por debajo del valor crítico situado alrededor de 9,5. A partir de dicho valor no se puede garantizar la protección a la armadura (Broto, 2006, pág. 164).

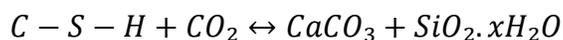
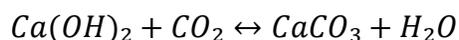
B. Mecanismo de reacción

La alta alcalinidad del hormigón, que promueve la formación de una capa de óxidos pasivantes sobre el acero, es debida principalmente a la portlandita formada durante la hidratación de los compuestos anhidros del cemento y a los hidróxidos de sodio y potasio presentes. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros del hormigón en valores entre 12,6 y 14, en



el extremo más alcalino de la escala de pH. El descenso de la alcalinidad se produce principalmente por reacción de los compuestos de carácter básico de la fase acuosa del hormigón, hidróxidos de sodio, potasio y calcio, con los componentes ácidos de la atmósfera, dióxido de carbono (CO₂) y de azufre (SO₂), para formar carbonatos, sulfatos y agua. Puesto que el CO₂ se encuentra en mayor proporción en el aire que el SO₂, este proceso de descenso de la alcalinidad se denomina genéricamente ‘carbonatación’.

Las moléculas de CO₂ penetran en el hormigón a través de los poros capilares no saturados de agua y posteriormente se disuelven en la fase acuosa contenida en esos poros. Los iones CO₃²⁻ generados reaccionan con los iones Ca²⁺ presentes formando carbonato cálcico (CaCO₃). Esta reacción se puede producir tanto con los iones Ca²⁺ de la portlandita como con los del gel C-SH. Las reacciones simplificadas son las siguientes:



La carbonatación del C-S-H produce una descalcificación del gel y una polimerización de los silicatos, llegando en último término a formar, junto con el carbonato cálcico, un gel de sílice hidratado. El CaCO₃ precipita en la mayoría de los casos en forma de calcita, aunque en determinadas condiciones se pueden generar también los polimorfos aragonito y vaterita (Galán García, 2011).

C. Factores que favorecen la carbonatación

a. Humedad relativa

Indica la razón de vapor presente en una muestra de aire en razón del vapor necesario para saturar dicha muestra, y se calcula como el cociente entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación:

$$HR = \frac{e}{e_s}$$

Para Treviño (1998), Todos los procesos de deterioro requieren agua: el factor importante es el contenido de humedad en el concreto más que en la atmósfera circundante. Bajo condiciones estables, ambos contenidos de humedad serán constantes; pero bajo condiciones variables, el



concreto toma agua del medio ambiente más rápidamente de lo que la pierde y por lo tanto, la humedad promedio dentro del concreto tiende a ser más alta que la humedad promedio del ambiente.

Broto, 2006 nos indica que:

En el proceso de difusión la humedad relativa del aire de los poros juega un papel decisivo. El coeficiente de difusión del CO₂ es 10.000 veces superior en el aire que, en el agua, por lo tanto, si los poros están saturados de agua la penetración del gas es muy débil y la reacción es inexistente.

El avance de la carbonatación está en función de la humedad relativa del aire, de la proporción de CO₂ y de la porosidad. A los efectos de evitar estos procesos es importante conseguir hormigones compactos y mantener los recubrimientos mínimos (pág. 150).

b. Concentración de Dióxido de Carbono

Medina Valtierra (2010) nos indica lo siguiente:

El dióxido de carbono (CO₂) es un compuesto inorgánico formado por la unión simétrica de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, espacialmente dispuestos para formar una molécula triatómica lineal de la siguiente forma:



El CO₂ es un gas inerte a condiciones normales y que se produce principalmente como un sub-producto de procesos de combustión Medina Valtierra (2010) (pág. 50).

Broto (2006) sostiene que:

El dióxido de carbono acidifica las aguas de lluvia (lluvia acida) y actúa principalmente sobre materiales calizos (piedras, mármoles, hormigones) incrementando en gran medida la velocidad de disolución o disgregación de este tipo de piedras o de aquellas que contengan elementos calcáreos.

En concreto, consigue convertir el carbonato cálcico en bicarbonato cálcico ($CO_3Ca + CO_2 + H_2O = CO_3H_2Ca$), que es mucho más soluble que el primero.

El dióxido de carbono (CO₂) es un elemento que se encuentra siempre presente en la atmosfera y es uno de sus componentes naturales, aunque en pequeñas cantidades. Estas medidas se van incrementando notablemente en las áreas industriales y urbanas. Su concentración normal media



es de 340 ppm, y ha llegado a crecer en los últimos decenios en áreas urbanas hasta un 0,3%. El aumento es resultado, fundamentalmente, de la combustión de fósiles (pág. 32).

c. Temperatura

Treviño, (1998), nos indica lo siguiente: No obstante que la temperatura tiende a ser ignorada en las definiciones de agresividad, su influencia puede ser muy importante en virtud de que las reacciones químicas son aceleradas por incrementos en la temperatura. Una regla sencilla, es que un incremento de 10°C en la temperatura causa una duplicación en la velocidad de la reacción. Este factor por si solo hace a los medios ambientes tropicales considerablemente más agresivos.

En síntesis, la disponibilidad de humedad, la presencia de sustancias agresivas en el ambiente, y el nivel de temperatura son las consideraciones principales que caracterizan a un medio ambiente determinado (pág. 153).

d. Relación agua-cemento del concreto

Como ya se ha ido viendo a lo largo de los apartados anteriores, existen notables diferencias de comportamiento frente al avance del frente de carbonatación entre los hormigones tipo edificación y los de obra civil. Estas diferencias están motivadas, en primer lugar, por la dosificación y, en concreto, por la relación a/c, siendo en los primeros 0,6 y en los segundos 0,45 (Galán, 2011, pág. 4).

2.2.3.2.4 Velocidad de carbonatación en los concretos

Para Mejía de Gutiérrez et al., (2009), La velocidad de carbonatación en los concretos es afectada por las características de la atmósfera de exposición tales como humedad relativa, concentración de CO₂ y temperatura. El proceso de carbonatación prevalece cuando la humedad relativa se encuentra entre el 60% y 70%; así los poros parcialmente llenos de agua promueven la difusión de CO₂ y aceleran la formación de ácido carbónico. Otros factores que pueden incrementar la velocidad de carbonatación están relacionados con la calidad del concreto, tales como el tipo de cemento, las condiciones de curado, la relación agua/cemento y la permeabilidad del material. El coeficiente de difusión del CO₂ puede ser obtenido por medio de la primera ley de Fick, tal como se expresa en la ecuación (pág. 56):



$$x = \sqrt{\frac{2DC}{a}} * \sqrt{t}$$

Donde X representa la profundidad del frente de carbonatación (mm) a un tiempo de exposición t (años); C la concentración de CO₂, D el coeficiente de difusividad y a es la concentración de las fases activas originadas en el proceso de hidratación del cemento, así como en la reacción puzolánica. Esta ecuación puede ser redefinida y reducida obteniéndose la ecuación:

$$x = K_c * \sqrt{t}$$

Donde K_c representa el coeficiente de carbonatación y por tanto la velocidad de penetración (mm/año). Esta expresión ha sido aceptada por diversos investigadores alrededor del mundo (Mejía de Gutiérrez et al., 2009, pág. 56).

2.2.3.2.5. Carbonatación acelerada

A. Definición

Traversa et al., (2013), sostienen que:

La velocidad del proceso de carbonatación natural es muy lenta por lo cual, para obtener profundidades en cortos periodos de tiempo, se emplean en laboratorio métodos acelerados que consisten en elevar el CO₂ a concentraciones muy superiores a la existente en la atmosfera. La concentración promedio de dióxido de carbono en la atmósfera es de aproximadamente 0,0038% en volumen (380 ppm), por lo cual para poder alcanzar una cierta profundidad en un breve periodo de tiempo se debe incrementar considerablemente la concentración de CO₂ en un espacio 80 confinado, como por ejemplo al 4% en volumen, o sea 100 veces mayor a la natural (40.000 ppm).

Investigaciones realizadas con el método de carbonatación acelerada han indicado que por más que se eleve la concentración de CO₂, si la humedad relativa se mantiene dentro del rango 50-70%, no se evidencia un incremento lineal del perfil de carbonatación. Pero cuando la humedad varía a valores menores de 50% o mayores de 70% y se mantiene constante la concentración de CO₂, los perfiles de carbonatación resultan inferiores debido a la cantidad de agua contenida en los poros del hormigón. Se ha demostrado, también que la profundidad de carbonatación en el concreto, para una semana de exposición al 4% de CO₂ es muy similar a la profundidad de carbonatación para un año de exposición en ambiente natural (pág. 35).



B. Ensayo de frente de carbonatación

Carles Broto (2006) menciona lo siguiente: La determinación de si un hormigón está significativamente carbonatado se realiza impregnando el hormigón con un indicador de pH. El producto más utilizado es una solución alcohólica de fenolftaleína al 1 %.

Será necesario aplicar esta solución al hormigón que se encuentra en contacto con las armaduras para saber si la carbonatación supera al recubrimiento. Un cambio de color (rosado) en la superficie de aplicación se producirá inmediatamente si el hormigón no se encuentra carbonatado, pero si en una parte de la sección en la que se ha impregnado la solución no se produce esta coloración, significa que esta zona ya se encuentra carbonatada.

Hay dos formas de realizar este ensayo, la primera consiste en aplicar la solución de fenolftaleína sobre un trozo de hormigón del elemento que deje a la vista la armadura, midiendo inmediatamente la profundidad de la carbonatación.

Otra posibilidad es realizar una perforación con un taladro aplicando la fenolftaleína sobre el polvo que va saliendo hacia el exterior, en el momento en que se produce la reacción se toma la medida de la profundidad de la penetración de la broca (pág. 178).

Según Rojas (2006), en la norma RILEM CPC-18, que es la que se utiliza para determinar la profundidad de carbonatación alcanzada por un elemento estructural de hormigón, se señalan dos posibles métodos para ser utilizados. Uno de ellos consiste en picar con un cincel el hormigón hasta llegar a una profundidad en la cual al rociar una solución de fenolftaleína se torna de un color violeta (no hay carbonatación); luego de esto se debe medir la distancia existente entre la superficie del hormigón y la zona donde se produce el inicio del color rojizo. Esta medición se hace en forma perpendicular a la superficie, revelando la profundidad de carbonatación del hormigón, y es el método que se debió utilizar en los Tribunales de Justicia, donde no se nos permitió proceder a la extracción de testigos.

El otro método que propone la norma y que es en general el más el usado, y el que se ha preferido en el presente estudio (Internado Barros Arana, Puente Quillota, Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, Puente Libertad y Puente Mercado), consiste en extraer un testigo de hormigón de a lo menos 2” de diámetro al cual posteriormente se le realiza el ensayo de hendimiento con el objetivo de partir la probeta de manera diametral, para luego de esto rociar la



zona fracturada con la solución de fenolftaleína, quedando de esta manera mucho más cómoda la medición de la profundidad de carbonatación.

La solución de fenolftaleína que indica la norma RILEM está compuesta por un 1 % de fenolftaleína disuelta en una solución que contiene un 70% de alcohol. De esta manera se tiene una solución que se torna de un color rojizo al estar en contacto con materiales que posean un $\text{pH} > 9,2$ y mantiene el color del material al poseer éste un $\text{pH} < 9,2$

Reviste una enorme importancia realizar el ensayo de hendimiento, ya que al extraer una probeta se produce un lavado del testigo en su cara lateral debido a la gran cantidad de agua que ocupa la testiguera en su funcionamiento. A consecuencia de esto, si se rocía la solución de fenolftaleína directamente sobre la cara cilíndrica obtenemos un límite de carbonatación muy poco claro y disparejo; en cambio, al rociar la solución sobre la zona fracturada después de haber realizado el ensayo de hendimiento, aparece un frente de carbonatación mucho más parejo y claro. Se probó echar la solución de fenolftaleína inmediatamente, pero los resultados eran muy diferentes a los obtenidos al echarla después del ensayo de hendimiento.

La norma RILEM nos indica también que las mediciones de profundidad de carbonatación se deben hacer en los lugares donde no haya áridos de gran tamaño, es decir, se deben hacer en lugares donde el frente esté, en lo posible, sólo con pasta de cemento. La norma indica, además, que la exactitud con que se hace la medición se debe aproximar al milímetro (pág. 25).

2.2.3.2.6. Fenolftaleína

La fenolftaleína es un indicador de pH muy conocido que se utiliza sobretodo para valoraciones ácido-base en química analítica, aunque también puede usarse para medir el pH de una disolución, pero de forma cualitativa. La fenolftaleína cambia su estructura molecular y su color cuando el $\text{pH} \sim 9$. En concreto, la fenolftaleína es incolora cuando $\text{pH} < 8$ y adquiere un color rojo violáceo cuando $\text{pH} > 9$. En la figura 6 se muestra la forma ácida y básica de la fenolftaleína (Heredia, 2005, pág. 8).

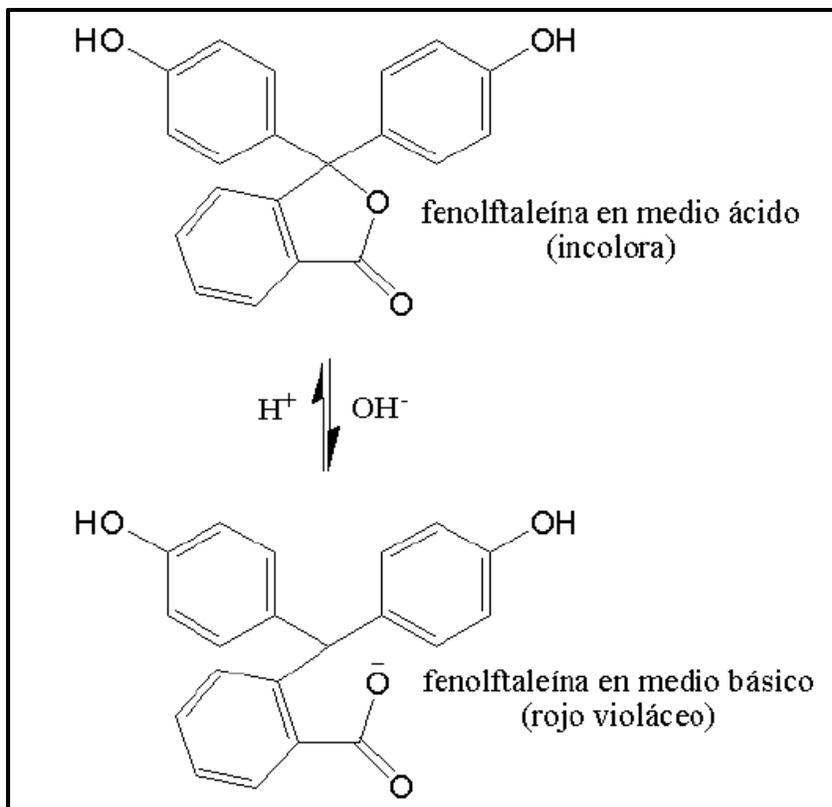


Figura 7: Forma ácida y básica de la fenolftaleína

Fuente: (Heredia, 2005, pág. 8).

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

La evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba demuestran una tendencia de disminución en su magnitud respectiva.

2.3.2 Hipótesis específicas

1. Los valores de pH de las aguas cumplen con el parámetro admisible por la NTP
2. Los resultados de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta mayor resistencia a la compresión.



3. Los resultados de la evaluación comparativa con respecto a la profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta menores valores de profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables

A) Variable 01:

- a) Denominación de la variable: Niveles de pH de concretos.
- b) Definición conceptual: El PH es el potencial de hidrógeno, o potencial de hidrogeniones, que se refiere a la concentración de iones de hidrógeno que están presentes en determinadas sustancias. El pH es la medida de la alcalinidad, neutralidad o acidez de una solución (Valdez & Schorr, 2013, pág. 218).

Por lo cual, se emplean 3 tipos de pH de agua para el amasado y curado obtenidas en sectores diferentes (Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba).

- c) Dimensión: PH 1 (sector de Quillabamba), PH 2 (sector de Ajuajuyoc) y PH 3 (sector de Pintobamba).
- d) Indicador(es): 0-13
- e) Unidad de medida: Factor.
- f) Instrumentos: - PH metro y Norma Técnica Peruana (NTP).

B) Variable 02:

- a) Denominación de la variable: Resistencia a la compresión.
- b) Definición conceptual: La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm² (Pasquel Carbajal, 1998).
- c) Dimensión: Resistencia a la compresión (kg/cm²).
- d) Indicador(es): Fuerza de compresión aplicada y área resistente.
- e) Unidad de medida: Kg y cm².



f) Instrumentos: Fichas técnicas y máquina de ensayo de compresión.

C) Variable 03:

a) Denominación de la variable: Carbonatación acelerada usando fenolftaleína.

b) Definición conceptual: La carbonatación acelerada tiene la finalidad de estudiar el proceso de carbonatación que ocurre en los cementos y concretos hidráulicos, simulando ambientes de exposición con concentraciones controladas de CO₂ y humedad relativa. Como el fenómeno es lento, se construyen cámaras que permitan acelerar la concentración de CO₂ y realizar ensayos en tiempos más cortos (Chávez Ulloa et al., 2010).

c) Dimensión: -% fenolftaleína.

d) Indicador(es): Profundidad de carbonatación acelerada y velocidad de carbonatación acelerada.

e) Unidad de medida: Mm y mm/año.

f) Instrumentos: Fichas técnicas y Norma Técnica Peruana (NTP).

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
Variables	Denominación de variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador(es)	Unidad de medida	Instrumento(s)
Variable 01	Niveles de pH de concretos	El PH es el potencial de hidrógeno, o potencial de hidrogeniones, que se refiere a la concentración de iones de hidrógeno que están presentes en determinadas sustancias. El pH es la medida de la alcalinidad, neutralidad o acidez de una solución (Valdez & Schorr, 2013, pág. 218). Por lo cual, se emplean 3 tipos de pH de agua para el amasado y curado obtenidas en sectores diferentes (Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba).	-PH 1 (sector de Quillabamba). -PH 2 (sector de Ajuajuyoc). -PH 3 (sector de Pintobamba).	- 0-13. - 0-13. - 0-13.	-Factor.	- PH metro. - Norma Técnica Peruana (NTP).
Variable 02	Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm ² (Pasquel Carbajal, 1998).	-Resistencia a la compresión (f'c)	-Fuerza de compresión aplicada. -Área resistente.	-Kg. - cm ² .	- Fichas técnicas. -Máquina de ensayo de compresión.
Variable 03	Carbonatación acelerada usando fenolftaleína	La carbonatación acelerada tiene la finalidad de estudiar el proceso de carbonatación que ocurre en los cementos y concretos hidráulicos, simulando ambientes de exposición con concentraciones controladas de CO ₂ y humedad relativa. Como el fenómeno es lento, se construyen cámaras que permitan acelerar la concentración de CO ₂ y realizar ensayos en tiempos más cortos (Chávez Ulloa et al., 2010).	-% fenolftaleína	- Profundidad de carbonatación acelerada - Velocidad de carbonatación acelerada	-mm -mm/año	- Fichas técnicas. - Norma Técnica Peruana (NTP).

Tabla 17: Cuadro de operacionalización de variables.



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

Esta investigación asumió una categoría con enfoque cuantitativo, tomando en consideración la clasificación propuesta por (Sampieri, 1999), debido a que el postulado indica que: se evalúa la muestra de forma real, en función de parámetros que son susceptibles a ser cuantificados. Los resultados proporcionan series de datos numéricos, relacionadas a las variables estudiadas.

Teniendo en cuenta esta definición, podemos afirmar que el tipo de investigación es Cuantitativa, pues se recolectaran datos de las muestras a partir de mediciones realizadas, se las analizaran y se obtendrán resultados objetivos.

Es probatorio por que se demuestran hipótesis planteadas.

Es sistemática ya que obedece a un proceso secuencial o por etapas.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Nivel descriptivo relacional

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Sampieri, 2010, pág. 92).

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (Arias, 2012, pág. 24).

3.1.3 Método de investigación

Para el desarrollo de la investigación se aplica el método Hipotético – Deductivo, debido a que se plantean diversas hipótesis las cuales se afirmarán si son verídicas o falsas mediante relaciones y descripciones de la realidad. (Hernández, 2010)



3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

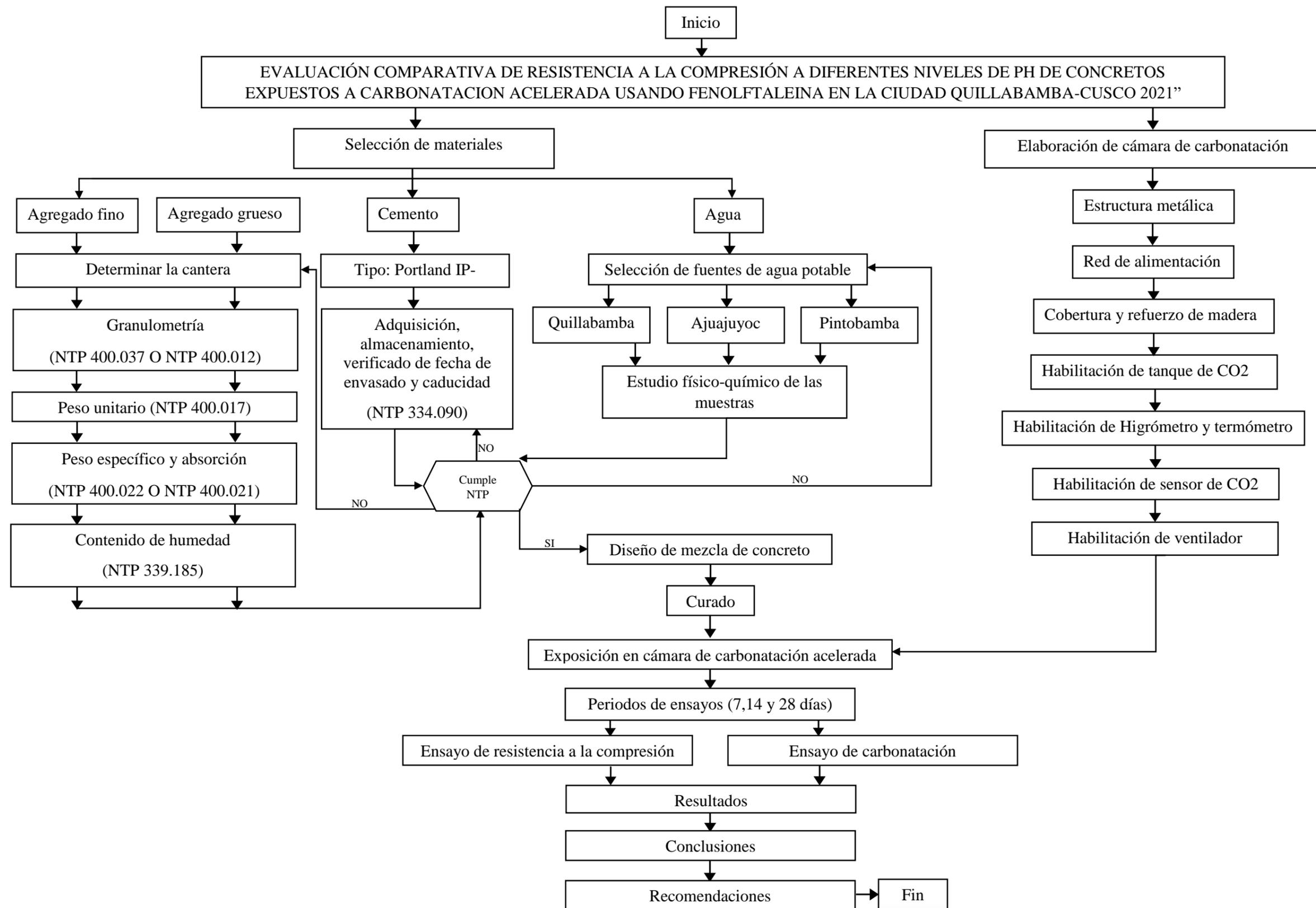
3.2.1.1. Diseño Experimental.

Hernández (2010) afirma lo siguiente:

“Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.” (pág. 130)

La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones estímulos o tratamientos (variable independiente) para observar los efectos reacciones que se producen (variable dependiente). (Arias, 2012, pág. 34)

3.2.2. Diseño de ingeniería





3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

Población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Sampieri, Metodología de la investigación, 2010).

La población a estudiar consta de especímenes o briquetas compuestos por:

- Cemento de la marca YURA tipo IP.
- Agregado grueso proveniente de la cantera de La balsa con un TM de 3/4”.
- Agregado fino de la cantera de La balsa y la cantera de Sambaray.
- Agua proveniente de tres sectores los cuales son:
 - Ciudad de Quillabamba.
 - Centro poblado de Ajuajuyoc.
 - Centro poblado de Pintobamba.

Estos especímenes tendrán las siguientes dimensiones y forma:

- Diámetro superior e inferior igual a 10 cm.
- Altura igual a 20 cm.
- Forma cilíndrica.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población de la investigación es finita y consta de un total de 63 especímenes para los 3 tipos de concreto a elaborar; además por como indica la norma “NTP 339.034” establece como mínimo 3 probetas de concreto por elemento estructural (columnas y vigas); además se tomó en cuenta los antecedentes de la presente investigación.

La población de la investigación consta de un total de 63 especímenes distribuidos en 3 grupos de 21 briquetas (según cada fuente de agua). De los cuales de cada grupo se extraen 3 testigos para ensayos de resistencia a la compresión y 4 testigos para ensayos de carbonatación acelerada. Elaboradas con cemento portland tipo IP, agregado fino de las canteras de La balsa y Sambaray,



agregado grueso de la cantera de La balsa, Agua potable de la ciudad de Quillabamba, el centro poblado de Ajuajuyoc y el centro poblado de Pintobamba.

Tabla 18: Cuantificación de la población

Evaluación de especímenes de diseño					
Ensayo	Fuente de agua	Testigos de concreto			Sub total
		Tiempo de exposición			
		7	14	28	
Resistencia a la compresión	Quillabamba	3	3	3	9
	Ajuajuyoc	3	3	3	9
	Pintobamba	3	3	3	9
Carbonatación acelerada	Quillabamba	4	4	4	12
	Ajuajuyoc	4	4	4	12
	Pintobamba	4	4	4	12
Total					63

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

- La muestra coincidirá con la población, debido a que se evaluarán los 63 especímenes, es decir, la muestra es de tipo censal y está conformada por:
 - Cemento de la marca YURA tipo IP.
- Agregado grueso proveniente de la cantera de La balsa con un TM de 3/4".
- Agregado fino de la cantera de La balsa y la cantera de Sambaray.
- Agua proveniente de tres sectores los cuales son:
 - Ciudad de Quillabamba.
 - Centro poblado de Ajuajuyoc.
 - Centro poblado de Pintobamba.

Estos especímenes tendrán las siguientes dimensiones y forma:

- Diámetro superior e inferior igual a 10 cm.
- Altura igual a 20 cm.



- Forma cilíndrica.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Debido a que es de tipo censal, nuestra muestra coincidió con la población, lo que significa que se evaluarán los 63 especímenes.

Tabla 19: Cuantificación de la muestra

Evaluación de especímenes de diseño					
Ensayo	Fuente de agua	Testigos de concreto			Sub total
		Tiempo de exposición			
		7	14	28	
Resistencia a la compresión	Quillabamba	3	3	3	9
	Ajuajuyoc	3	3	3	9
	Pintobamba	3	3	3	9
Carbonatación acelerada	Quillabamba	4	4	4	12
	Ajuajuyoc	4	4	4	12
	Pintobamba	4	4	4	12
Total					63

3.3.2.3. Método de muestreo

No probabilístico o dirigido: La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernandez et al., 2010).

Se adoptará este método debido a que no habrá ninguna selección al azar o probabilística para la muestra, sino, que se evaluarán todos los especímenes de diseño

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

- Diámetro superior e inferior igual a 4".
- Altura igual a 8".
- Forma cilíndrica.



3.3.3. Criterios de inclusión

- Grupo de briquetas con agua procedente de la ciudad de Quillabamba.
- Grupo de briquetas con agua procedente del centro poblado de Ajuajuyoc.
- Grupo de briquetas con agua procedente del centro poblado de Pintobamba.
- Grupos de briquetas con tiempo de exposición a carbonatación acelerada de 7, 14, 28 días.
- Todas las muestras tendrán forma cilíndrica, con dimensiones: diámetro de 4 pulg. y altura de 8 pulg. Según se especifica en la norma ASTM C-31.
- Grupos de secciones de briquetas con tiempo de curado de 28 días.
- Grupos de secciones de briquetas con tiempo de exposición a carbonatación natural y artificial de 7, 14, 28 días.
- Todas las secciones tendrán forma circular, con un diámetro de 4 pulg. y ubicadas a $1/3$ y $2/3$ de la altura de las briquetas.

3.4. Instrumentos



3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

Tabla 20: Instrumento metodológico para granulometría del agregado fino.

<p style="text-align: center;">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>							
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."							
Laboratorio:							
Ensayo							
Fecha:							
Autor:							
Datos de ensayo							
Procedencia:							
Norma:							
Desarrollado por:							
Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (gr.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Limites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3/8"	9.500						
N°4	4.750						
N°8	2.360						
N°16	1.180						
N°30	0.600						
N°50	0.300						
N°100	0.150						
N°200	0.075						
Fondo							
Σ							



Tabla 21: Instrumento metodológico para granulometría del agregado grueso.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
“Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles d pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021”							
Laboratorio:							
Ensayo:							
Autor:							
Datos de ensayo							
Procedencia:							
Norma:							
Desarrollado por:							
Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Limites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3"	75.000						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
#4	4.750						
#8	2.360						
#16	1.180						
#50	0.300						
#200	0.075						
Fondo							
Σ							



Tabla 22: Instrumento metodológico para el peso específico de agregado fino.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles d pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio:					
Ensayo:					
Fecha:					
Autor:					
Datos de ensayo					
Procedencia:					
Norma:					
Desarrollado por: .					
Descripción	Simb.	M-1	M-2	M-3	Und.
Volumen de fiola.	V				
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola.	Wfs				
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola más peso del agua.	Wfsa				
Peso de la arena seca.	Wo				
Peso del agua añadida.	Va				
					Promedio
Peso específico de masa.	Pem				
Peso específico de masa saturado con superficie seca.	PeSSS				
Peso específico aparente.	Pea				
Absorción.	Ab				



Tabla 23: Instrumento metodológico para el peso específico de agregado grueso.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles d pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Laboratorio:			
Ensayo:			
Fecha:			
Autor:			
Datos de ensayo			
Procedencia:			
Norma:			
Desarrollado por:			
Descripción	Simb.	Cantidad	Und.
Peso de la canastilla.	Wc		
Peso de la muestra seca en el aire.	A		
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.	B		
Peso en el agua de la muestra saturada.	C		
Peso específico de masa.	Pem		
Peso específico de masa saturado con superficie seca.	PeSSS		
Peso específico aparente.	Pea		
Absorción.	Ab		



Tabla 24: Instrumento metodológico para el peso unitario de agregados.

<p align="center">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenoltaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio:					
Ensayo:					
Fecha:					
Autor:					
Datos de ensayo					
Procedencia: Quillabamba - Santa Ana - La Convención.					
Norma: MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021 / AASHTO T-24 / ASTM C-128					
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Peso unitario suelto (PUS)					
Descripción	Simb	Cantidad			Und
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T				
Volumen del recipiente	V				
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G				
Peso de la muestra suelta.	W _s				
Peso unitario suelto	PUS				
Peso unitario suelto promedio (g/cm³)	PUS				
Peso unitario suelto promedio (kg/cm³)	PUS				
Peso unitario compactado (PUC)					
Descripción	Simb	Cantidad			Und
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T				
Volumen del recipiente	V				
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G				
Peso de la muestra suelta.	W _s				
Peso unitario compactado	PUC				
Peso unitario compactado promedio (g/cm³)	PUC				
Peso unitario compactado promedio (kg/cm³)	PUC				



Tabla 25: Instrumento metodológico para el contenido de humedad de agregados.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio:					
Ensayo:					
Fecha:					
Autor:					
Datos de ensayo					
Procedencia					
Norma:					
Desarrollado por:					
Datos de ensayo					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		R-1	R-2	R-3	
Peso del recipiente.					
Peso de la muestra seca más recipiente.					
Peso de la muestra húmeda más recipiente.					
Peso de la muestra seca.	W				
Peso de la muestra húmeda.	Wo				
Contenido de humedad por muestra.					
Contenido de humedad promedio:					



Tabla 26: Muestreo de agua para análisis físico- químico.

Universidad Andina del Cusco			
Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Ensayo:			
Autor:			
Muestra	Ubicación de muestreo	Fecha de muestreo	Fotografía



Tabla 27: Instrumento metodológico para la nomenclatura de briquetas

Universidad Andina del Cusco			
Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Ensayo:			
Fecha:			
Autor:			
Tiempo de curado:			
Ensayo	Procedencia de agua empleada		
	Pintobamba	Quillabamba	Ajuajuyoc
Carbonatación			
Resistencia a la compresión			



Tabla 28: Instrumento metodológico para ensayo de consistencia

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Ensayo:			
Fecha:			
Autor:			
Datos de ensayo			
Norma:			
Ensayo de consistencia en concreto de Quillabamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01			
Medición 02			
Medición 03			
Ensayo de consistencia en concreto de Ajuajuyoc			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01			
Medición 02			
Medición 03			
Ensayo de consistencia en concreto de Pintobamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01			
Medición 02			
Medición 03			



Tabla 29: Instrumento metodológico para el ensayo de resistencia a la compresión

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil										
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."										
Ensayo:										
Fecha:										
Autor:										
Datos de ensayo										
Norma:										
Tiempo de curado:										
Periodo de Carbonatación:										
Item	Diámetro		Diámetro promedio (cm)	Área		Área prom. (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)	f'c prom (kg-f/cm ²)	σ
	Sup. (cm)	Inf. (cm)		Sup. (cm ²)	Inf. (cm ²)					



3.4.2. Instrumentos de ingeniería

3.4.2.1 Instrumentos para la granulometría de agregados

- Balanza
- Agitador mecánico de tamices
- Bandejas
- Brocha
- Juego de tamices: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200
- Juego de tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°4

3.4.2.2 Instrumentos para el peso unitario de agregados

- Balanza
- Recipiente cilíndrico
- Varilla de 5/8" y 60 cm de longitud
- Horno

3.4.2.3 Instrumentos para el peso específico de agregados

- Balanza
- Picnómetro con capacidad de 500 ml
- Cono de absorción
- Apisonador de metal
- Bomba de vacíos
- Bandejas
- Horno
- Cesta

3.4.2.4 Instrumentos para el contenido de humedad de agregados

- Balanza
- Bandejas
- Horno



3.4.2.5 Instrumentos para el ensayo de consistencia

- Cono de Abrams
- Barra compactadora
- Flexómetro

3.4.2.6 Instrumentos para el ensayo de resistencia a la compresión

- Maquina compresora calibrada
- Flexómetro

3.4.2.7 Instrumentos para el ensayo de penetración de la carbonatación

- Vernier digital
- Atomizador
- Transportador de 360°
- Fenolftaleína

3.5. Procedimientos de recolección de datos

3.5.1 Granulometría de agregados

Los agregados que se utilizaron para la elaboración de las briquetas de concreto fueron extraídos de las canteras de La Balsa y Sambaray en la ciudad de Quillabamba.



Figura 8: Maquina chancadora de agregado grueso



Figura 9: Obtención de agregados del río Vilcanota

3.5.1.1. Procedimientos para el análisis granulométrico de agregado fino

3.5.1.1.1. Equipos

- 01 horno eléctrico con capacidad de mantener la temperatura a $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- 01 juego de tamices (3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fondo).
- 01 balanza de precisión de 01g.
- 01 brocha.
- 01 escobilla
- Recipientes.

3.5.1.1.2 Procedimiento

- a) Previamente a lo que corresponde el ensayo granulométrico del agregado fino, se realiza el muestreo respectivo mediante el método de cuarteo, para ello se toma una muestra de 25 kg. de agregado como mínimo para buscar un cumulo de forma cónica, posteriormente se procedió a aplanar nuestro agregado fino acumulado para luego subdividirlo en 4 partes equivalentes. Una vez subdividido se escogió 2 partes que se encuentran en una distribución diagonalmente opuestos y además presenten semejanza tanto en contenido como en dimensión, las 2 partes restantes se eliminan del muestreo, con las partes elegidas repetimos el procedimiento 4 veces.



Figura 10: Ensayo de cuarteo para el agregado fino

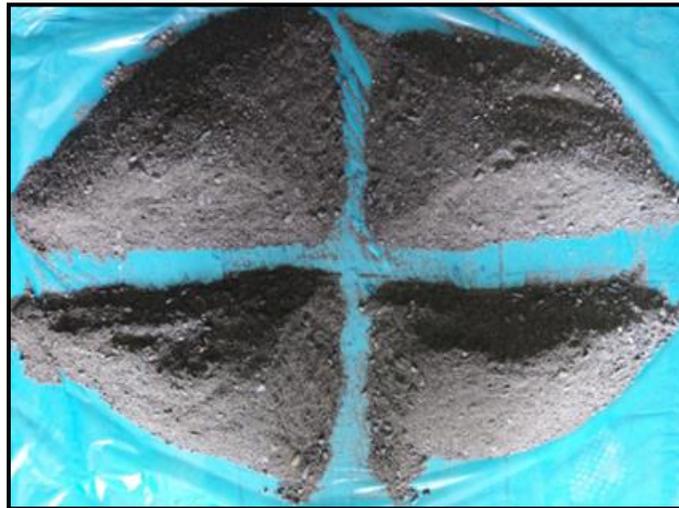


Figura 11: Cuarteo del agregado fino

- b) La muestra seleccionada se colocó en el horno a una temperatura constante $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para que pueda obtener una condición seca.
- c) Posteriormente se tomó una muestra de más de 300 gramos, con la ayuda de una balanza de alta precisión se pesa para luego ser colocada en el primer tamiz de la serie: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fondo. Luego fue sometida a un proceso de tamizado manual por 8 minutos, debido a que se realizó un tamizado manual.



Figura 12: Tamizado de agregado fino

- d) Luego efectuar el primer ensayo granulométrico de nuestro agregado fino de la balsa, se obtuvo resultados que se encontraban fuera de lo establecido por la norma, por lo tanto, después analizar los datos, se vio por conveniente realizar una combinación de canteras para mejorar el agregado fino; por lo cual se mezcló con agregado fino de la cantera de Sambaray mediante una proporción conveniente se logra una curva granulométrica adecuada con los parámetros estipulados en la norma ACI.



3.5.1.1.3 Procedimientos de toma de datos

Tabla 31: Toma de datos para granulometría de agregado fino "A"

<p align="center">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>							
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."							
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab							
Ensayo: Granulometría de agregado fino.							
Fecha: 13/10/2021.							
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.							
Datos de ensayo							
Procedencia: La balsa - Quillabamba - Santa Ana - La Convención.							
Norma: N.T.P 400-12.							
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.							
Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Limites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inf.	Sup.
3/8"	9.500	0.00					
N°4	4.750	0.00					
N°8	2.360	3.65					
N°16	1.180	289.52					
N°30	0.600	226.35					
N°50	0.300	163.89					
N°100	0.150	107.85					
N°200	0.075	66.28					
Fondo		13.54					
Σ		871.08					



Tabla 32: Toma de datos para granulometría de agregado fino "B"

Universidad Andina del Cusco							
Facultad de Ingeniería y Arquitectura							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."							
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab							
Ensayo: Granulometría de agregado fino.							
Fecha: 13/10/2021.							
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.							
Datos de ensayo							
Procedencia: La balsa - Quillabamba - Santa Ana - La Convención.							
Norma: N.T.P 400-12.							
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.							
Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Limites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inf.	Sup.
3/8"	9.500	0.00					
Nº4	4.750	20.31					
Nº8	2.360	305.45					
Nº16	1.180	229.61					
Nº30	0.600	124.87					
Nº50	0.300	98.76					
Nº100	0.150	43.12					
Nº200	0.075	8.21					
Fondo		5.98					
Σ		836.31					

3.5.1.2. Procedimientos para el análisis granulométrico de agregado grueso

3.5.1.2.1 Equipos

- 01 horno eléctrico con capacidad de mantener la temperatura a $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- 01 juego de tamices (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #16, #50, #200 y Fondo).
- 01 balanza de precisión de 0.1g.
- 01 brocha.
- 01 escobilla.
- Recipientes.



3.5.1.2.2 Procedimiento

- a) Previamente a lo que corresponde el ensayo granulométrico del agregado grueso, se realiza el muestreo respectivo mediante el método de cuarteo, para ello se toma una muestra de 70 kg. de agregado como mínimo para buscar un cumulo de forma cónica, posteriormente se procedió a aplanar nuestro agregado fino acumulado para luego subdividirlo en 4 partes equivalentes. Una vez subdividido se escogió 2 partes que se encuentran en una distribución diagonalmente opuestos y además presenten semejanza tanto en contenido como en dimensión, las 2 partes restantes se eliminan del muestreo, con las partes elegidas repetimos el procedimiento 4 veces.



Figura 13: Cuarteo de agregado grueso

- a) La muestra seleccionada se coloca en el horno a una temperatura constante $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para que logre obtener una condición seca.
- b) Se tomaron muestras de más de 1 kg. para facilitar el tamizado. inmediatamente se coloca en el primer tamiz de la serie 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #16, #50, #200 y Fondo. Luego es sometida a un proceso de tamizado mecánico por 8 minutos.



Figura 14: Granulometría mecánica de agregado grueso

- c) Para favorecer el tamizado en la serie de tamices, se decidió separar en 2 partes la muestra y tamizarla por separado, luego de tamizar ambas partes, se realizó la suma de los pesos retenidos de cada tamiz.
- d) Se efectúa el cálculo del porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos en cada tamiz, aproximando al 0.1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra, se obtiene la curva granulométrica y se verifica si se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma ACI.



3.5.1.2.3 Procedimientos de toma de datos

Tabla 33: Toma de datos para granulometría de agregado grueso

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."							
Laboratorio : Geosoil Soil Testing Lab							
Ensayo: Granulometría de agregado fino.							
Fecha: 13/10/2021.							
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.							
Datos de ensayo							
Procedencia : Cantera de La Balsa - Quillabamba - Santa Ana - La Convención.							
Norma : N.T.P 400-12.							
Desarrollado por : Jorge Martin Rojas Bejar.							
Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Limites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inf.	Sup.
3"	75.000	0.00					
2 1/2"	63.000	0.00					
2"	50.000	0.00					
1 1/2"	37.500	0.00					
1"	25.000	0.00					
3/4"	19.000	170.83					
1/2"	12.500	1304.07					
3/8"	9.500	394.07					
#4	4.750	25.54					
#8	2.360	0.00					
#16	1.180	0.00					
#50	0.300	0.00					
#200	0.075	0.00					
Fondo		0.00					
Σ		1894.5					



3.5.2 Peso unitario de agregados

3.5.2.1 Peso unitario de agregado grueso

3.5.2.1.1 Equipos

- 01 molde cilíndrico metálico de volumen conocido que está relacionado con el tamaño máximo del agregado.
- 01 varilla compactadora lisa de acero $\varnothing 5/8'' \times 0.60\text{m}$ cuyos extremos sean redondeados.
- 01 horno eléctrico de materiales capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$.
- 01 balanza con aproximación de 0.1 gr.

3.5.2.1.2 Procedimiento

Se prepara de 125% a 200% de la cantidad de muestra requerida para llenar el recipiente. Para realizar el ensayo la muestra tiene que estar seca por lo cual Se coloca la muestra de agregado grueso al horno a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. por un tiempo aproximado de 24 horas. Es necesario determinar el peso del molde y se calcula su volumen.

A) Procedimiento para el peso unitario suelto

- a) Con la ayuda de una cuchara se coloca el material en el molde, teniendo cuidado que la altura de caída sea 5 cm., se procede a verter el material hasta que se llene el molde.



Figura 15: Equipos para la obtención de peso unitario



- b) Con ayuda de la varilla se enrasó el material al nivel del borde superior del molde.



Figura 16: Enrasado del borde superior del molde

- c) Luego se pesa en la balanza y anotamos el peso del molde más el material.



Figura 17: Pesaje de material más molde

B) Procedimiento para el peso unitario compactado

- a) Se llena una tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie con la mano. Se apisona la capa de agregado con la varilla compactadora, mediante 25



golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y se repite el proceso de compactación con 25 golpes. Finalmente, se llenó la medida hasta desbordar el molde, golpeándola 25 veces con la varilla compactadora; el agregado sobrante se eliminó utilizando la barra compactadora como regla enrasadora.



Figura 18: Colocado de material para posterior compactado

- b) Al compactar el primer tercio, se intenta que la barra no golpee al fondo con fuerza. Al compactar los últimos tercios, solo se emplea la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el molde.



Figura 19: Compactado de material



- c) Se procede a determinar el peso del molde de medida más su contenido y el peso del recipiente solo y se registra los pesos con una aproximación de 0.05 kg.



Figura 20: Peso de muestra Compactada



3.5.2.1.2 Toma de datos

Tabla 34: Toma de datos para el peso unitario de agregado grueso

Universidad Andina del Cusco					
Facultad de Ingeniería y Arquitectura					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab					
Ensayo: Peso unitario de agregados grueso.					
Fecha: 13/10/2021.					
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Datos de ensayo					
Procedencia: Quillabamba - Santa Ana - La Convención.					
Norma: MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021 / AASHTO T-24 / ASTM C-128					
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Peso unitario suelto (PUS)					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T	7370	7370	7370	gr
Volumen del recipiente	V	3268.63	3268.63	3268.63	cm3
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G	11606	11593	11602	gr
Peso de la muestra suelta.	Ws	4236	4223	4232	gr
Peso unitario suelto	PUS				
Peso unitario suelto promedio (g/cm3)	PUS				
Peso unitario suelto promedio (kg/cm3)	PUS				
Peso unitario compactado (PUC)					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T	7370	7370	7370	gr
Volumen del recipiente	V	3268.63	3268.63	3268.63	cm3
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G	12215	12223	12218	gr
Peso de la muestra suelta.	Ws	4845	4853	4848	gr
Peso unitario compactado	PUC				
Peso unitario compactado promedio (g/cm3)	PUC				
Peso unitario compactado promedio (kg/cm3)	PUC				



3.5.3. Peso específico y absorción de agregados

3.5.3.1 Agregado fino

3.5.3.1.1 Equipos

- 1 horno eléctrico de materiales capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 1 balanza sensibles a 0.1 gr. o menos
- 1 cono de Absorción + Apisonador de metal
- 1 fiola o frasco volumétrico 500 cm³.
- 1 equipo de Bombas de Vacíos.
- 1 brocha.
- Cocina.
- Bandeja metálica.
- Bowls Metálicos.

3.5.3.1.2 Procedimiento

- a) Se selecciona como mínimo 1 kg. de arena y se coloca al horno por 24 h. con una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) Se procede a saturar la muestra por 24 horas estando totalmente cubierta por agua.



Figura 21: Saturación de muestra cubierta por agua en su totalidad



- c) Una vez pasado el tiempo, nuestro material es sometido a una temperatura adecuada para formar un estado saturado superficialmente seco gracias a una cocina y una bandeja.
- d) Cuando se estima que la muestra se encuentra en un estado saturado superficialmente seco, se coloca el agregado hasta la tercera parte del cono metálico y se procede a aplicar 25 golpes con el apisonador, se repite esta operación tres veces hasta que el cono este lleno.



Figura 22: Apisonado de agregado fino

- e) Se repitió hasta que la muestra después de desmoldar quedo en forma cónica terminada en punta, esto representa que la muestra se encuentra en el estado saturado superficialmente seca. Inmediatamente después se pesó 500 gr de la muestra y fue colocada en el picnómetro y otra porción de la muestra es llevada al horno para secarse.



Figura 23: Desmolde de cono

- f) Se llenó el picnómetro hasta el nivel de 500 ml. Y con la bomba de vacíos se extrajo los vacíos que tenía el material, hasta que se eliminaron las burbujas de aire, finalmente se registró su peso, también se recoge el peso de la muestra secada en el horno.

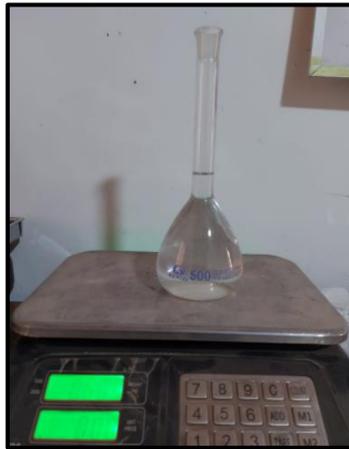


Figura 24: Peso del Picnómetro con 500 ml de agua



Figura 25: Extracción de aire del agregado con bomba vacíos

3.5.3.1.3 Toma de datos

Tabla 35: Toma de datos para el peso específico de agregado fino

<p align="center">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio : Geosoil Soil Testing Lab					
Ensayo: Peso específico de agregado fino.					
Fecha: 13/10/2021.					
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Datos de ensayo					
Procedencia: Quillabamba - Santa Ana - La Convención.					
Norma: MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021 / AASHTO T-84 / ASTM C-128					
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Descripción	Simb.	M-1	M-2	M-3	Und.
Volumen de fiola.	V	500.00	500.00	500.00	cm ³
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola.	Wfs	683.20	682.10	683.20	g.
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola más peso del agua.	Wfsa	998.00	998.00	998.00	g.
Peso de la arena seca.	Wo	489.61	490.38	490.00	g.
Peso del agua añadida.	Va	314.80	315.90	314.80	g.



3.5.3.2 Agregado grueso

La N.T.P. 400.021 (2002), establece el método para realizar este ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso, el agregado a ensayar proviene de las canteras de La balsa y Sambaray del departamento de Santa Ana provincia de La Convención.

3.5.3.2.1 Equipos

- a) 01 balanza de precisión a 0.5g y con capacidad de 5000 gramos o más.
- b) 01 cesta con malla de alambre.
- c) 01 depósito de agua, adecuado para sumergir la cesta o canastilla enmallada colgante.
- d) 01 horno eléctrico de materiales capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- e) 01 tamiz estándar #4.
- f) Recipientes metálicos.

3.5.3.2.2 Procedimiento

Según la (N.T.P. 400.021, 2002) el peso mínimo establecido para este ensayo es de 2 kg y se realiza de la siguiente forma:

- a) La muestra se lavó para eliminar impurezas y luego se colocó al horno a una temperatura de 110°C Una vez fría se sumergió en agua durante 24 ± 4 horas.



Figura 26: Colocado de muestra en horno



- b) La muestra fue tamizada con el tamiz N° 4 y el material pasante fue descartado. Luego de ser saturada la muestra se secó con una tela de franela absorbente hasta eliminar cualquier película de agua visible.



Figura 27: Secado superficial de muestra

- c) Por consiguiente, se obtuvo el peso de la muestra saturada superficialmente seca (SSS), después se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica, removiendo y sacudiendo levemente para evitarla presencia de aire atrapado. y se obtuvo el peso sumergido en agua.



Figura 28: Peso de la muestra saturada superficialmente seca

- d) Finalmente, la muestra es llevada al horno durante 24 horas, se deja enfriar y se registra su peso.



3.5.3.2.3 Toma de datos

Tabla 36: Toma de datos para peso específico de agregado grueso

Universidad Andina del Cusco			
Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles d pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab			
Ensayo: Peso específico de agregado grueso.			
Fecha: 13/10/2021			
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.			
Datos de ensayo			
Procedencia: Cantera de Quillabamba			
Norma: MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021 / AASHTO T-84 / ASTM C-128			
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.			
Descripción	Simb.	Cantidad	Und.
Peso de la canastilla.	Wc	500.00	cm3
Peso de la muestra seca en el aire.	A	2594.00	g.
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.	B	2608.00	g.
Peso en el agua de la muestra saturada.	C	1589.00	g.
Peso específico de masa.	Pem		
Peso específico de masa saturado con superficie seca.	PeSSS		
Peso específico aparente.	Pea		
Absorción.	Ab		

3.5.4 Contenido de humedad de agregados

3.5.4.1 Agregado fino

3.5.4.1.1 Equipos

- 01 horno eléctrico de materiales capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5° C.
- 01 balanza con una precisión de 0,1 % del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso.
- Recipientes.



3.5.4.1.2 Procedimiento

- a) Se procedió a tomar muestras del agregado fino en diferentes recipientes, se registra sus pesos en una balanza sensible al 0.1% del peso medido. Para luego colocar la muestra con el recipiente dentro del horno durante $24h \pm 4h$ a una temperatura constante de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figura 29: Colocado de muestras en horno eléctrico

- b) Luego se determinó la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después que se haya secado y enfriado lo suficiente.



3.5.4.1.3 Toma de datos

Tabla 37: Toma de datos para contenido de humedad de agregado fino

Universidad Andina del Cusco					
Facultad de Ingeniería y Arquitectura					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab					
Ensayo: Contenido de humedad de agregado fino.					
Fecha: 13/10/2021.					
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Datos de ensayo					
Procedencia: Quillabamba - Santa Ana - La Convención.					
Norma: MTC E 108 - 2000 / NTP - 339.127 / ASTM - D2216					
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		R-1	R-2	R-3	
Peso del recipiente.		15.48	15.44	15.90	gr
Peso de la muestra seca más recipiente.		57.06	62.9	63.95	gr
Peso de la muestra húmeda más recipiente.		57.66	63.77	64.74	gr
Peso de la muestra seca.	W	41.58	47.46	48.05	gr
Peso de la muestra húmeda.	Wo	42.18	48.33	48.84	gr
Contenido de humedad por muestra					
Contenido de humedad promedio					

3.5.4.2 Agregado grueso

3.5.4.2.1 Equipos

- a) 01 horno eléctrico de materiales capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ° C ± 5° C.
- b) 01 balanza con precisión de 0,1 % del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso.
- c) 04 recipientes.



3.5.4.2.2 Procedimiento

- a) Se procede a tomar muestras del agregado grueso en 4 diferentes recipientes, se registra sus pesos en una balanza sensible al 0.1% del peso medido. Para luego colocar la muestra con el recipiente dentro del horno durante 24h a una temperatura constante de 110 ± 5 °c.
- b) Luego se determina la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después que se haya secado y enfriado lo suficiente.

3.5.4.2.3 Toma de datos

Tabla 38: Toma de datos para contenido de humedad de agregado grueso

Universidad Andina del Cusco					
Facultad de Ingeniería y Arquitectura					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."					
Laboratorio: Geosoil Soil Testing Lab					
Ensayo: Contenido de humedad de agregado grueso.					
Fecha: 13/10/2021.					
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Datos de ensayo					
Procedencia: Quillabamba - Santa Ana - La Convención.					
Norma: MTC E 108 - 2000 / NTP - 339.127 / ASTM - D2216					
Desarrollado por: Jorge Martin Rojas Bejar.					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		R-1	R-2	R-3	
Peso del recipiente.		14.59	15.82	15.23	gr
Peso de la muestra seca más recipiente.		94.23	94.43	93.85	gr
Peso de la muestra húmeda más recipiente.		94.24	94.45	93.86	gr
Peso de la muestra seca.	W	79.64	78.61	78.62	gr
Peso de la muestra húmeda.	W _o	79.65	78.63	78.63	gr
Contenido de humedad por muestra.					
Contenido de humedad promedio :					

3.5.5 Recolección de muestras de agua

3.5.5.1 Equipos

- Recipiente de 2 litros



- Guantes estériles de látex y mascarilla
- Marcador y cinta adhesiva

3.5.5.2 Procedimiento

A. Quillabamba

1. Para la obtención de muestra de agua de la ciudad de Quillabamba, principalmente se contó con el apoyo de la empresa municipal del agua potable “EPS EMAC- Quillabamba”. Quienes nos otorgaron el permiso correspondiente para la extracción de la muestra.
2. La ubicación de extracción de muestra se dio en lugar denominado “La Toma” ubicado a 10 minutos de la ciudad y que abastece en gran medida a la ciudad de Quillabamba.
3. Se procedió a sumergir el recipiente 20 cm por debajo de la superficie para evitar la contaminación superficial, así como la presencia de burbujas de aire, para luego ser sellado en su estado sumergido.
4. Por último, se procedió a rotular el recipiente, para su análisis físico- químico.



Figura 30: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de personal de la empresa EMAQ-Quillabamba

B. Ajuajuyoc

1. Para la obtención de muestra de agua del sector de Ajuajuyoc, principalmente se contó con el apoyo de los dirigentes del JASS- Ajuajuyoc, previamente se les informo acerca del estudio y la importancia que representa.



2. La ubicación de extracción de muestra se dio en lugar denominado “Quebrada Paucayo” ubicado a 30 minutos de caminata del centro poblado y que abastece en gran medida a los pobladores de Ajuajuyoc.
3. Se procedió a sumergir el recipiente 20 cm por debajo de la superficie para evitar la contaminación superficial, así como la presencia de burbujas de aire, para luego ser sellado en su estado sumergido.
4. Por último, se procedió a rotular el recipiente, para su análisis físico- químico.



Figura 31: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de dirigente de JASS- Ajuajuyoc

C. Pintobamba

1. Para la obtención de muestra de agua del sector de Pintobamba, principalmente se contó con el apoyo de los dirigentes del JASS- Ajuajuyoc, previamente se les informo acerca del estudio y la importancia que representa.
2. La ubicación de extracción de muestra se dio en lugar denominado “Negro Huarcuna” ubicado a 30 minutos de caminata del centro poblado y que abastece en gran medida a los pobladores de Pintobamba.
3. Se procedió a sumergir el recipiente 20 cm por debajo de la superficie para evitar la contaminación superficial, así como la presencia de burbujas de aire, para luego ser sellado en su estado sumergido.
4. Por último, se procedió a rotular el recipiente, para su análisis físico- químico.



Figura 32: Procedimiento de muestreo de agua acompañado de dirigente de JASS- Pintobamba

3.5.5.3 Toma de datos

Tabla 39: Muestreo de agua para análisis físico- químico

<p align="center">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>			
<p align="center">"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."</p>			
<p>Ensayo : Muestreo de agua para análisis físico- químico.</p>			
<p>Autor : Jorge Martin Rojas Bejar.</p>			
Muestra	Ubicación de muestreo	Fecha de muestreo	Fotografía
Quillabamba	La Toma	10/10/2021	
Ajuajuyoc	Quebrada Paucayo	06/10/2021	
Pintobamba	Negro Huarcona	08/10/2021	



3.5.6 Elaboración de briquetas de concreto

3.5.6.1 Equipos

- a) Mezcladora mecánica.
- b) Briqueteras.
- c) Varilla lisa de 5/8" de 60cm de longitud.
- d) Balanza o romana.
- e) Varilla lisa de 5/8" de 60cm de longitud.
- f) Combo de goma.
- g) Cuchara.
- h) Recipientes, baldes y carretilla.
- i) Agua procedente de los sectores.

3.5.6.2 Procedimiento

- a) Tiempo antes de la preparación de la mezcla de concreto se procedió a lavar los agregados para asegurar una buena adherencia de los agregados con la pasta de cemento, así como obtener una condición saturada superficialmente seca.



Figura 33: Lavado de agregados

- b) Posteriormente se procedió a almacenar el agregado para evitar posible contaminación con el medio ambiente.



Figura 34: Almacenado de agregados

Fuente: Propia

- c) Antes de iniciar con la preparación de la mezcla de concreto, fue necesario contar con el resultado del diseño de mezcla preestablecido, los materiales y las herramientas necesarias. En la Figura 35 se aprecia al Tesista con los materiales y herramientas utilizados para la preparación de la mezcla de concreto.



Figura 35: Equipos y materiales empleados en el vaciado del concreto

- d) El proceso de preparación inicio con la dosificación de los materiales para lo cual se emplea el uso de un pie cubico, para realizar una dosificación más precisa de los agregados y el cemento.



Figura 36: Dosificación de materiales

- e) Los materiales fueron colocados en la mezcladora en el siguiente orden: agregado grueso, agua, agregado fino, agua y finalmente el cemento.



Figura 37: Proceso de elaboración de concreto

- f) Inmediatamente después de realizar el ensayo de consistencia se procedió a llenar las briqueteras, se colocaron 2 capas por cada una debido a que las dimensiones de nuestras



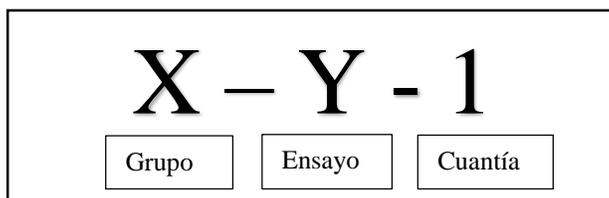
briqueteras son de 20cm de altura y 10 cm de ancho, entre cada capa con la barra lisa se aplicó 25 golpes de forma distribuida y uniforme. Luego se llenó hasta la mitad de la altura del molde y se repitió de nuevo el compactado con los 25 golpes, de forma uniforme y evitando que la punta de la barra llegue al compactado anterior, con la última capa se repite el proceso de los 25 golpes evitando compactar la capa anterior, también se dieron golpes con el martillo de goma en el molde para liberar las burbujas de aire, luego se enrazo la briquetera para retirar los excedentes y darle un acabado uniforme en la cara expuesta a la intemperie.



Figura 38: Proceso de elaboración de briquetas

3.5.6.3 Toma de Datos

Cada una de las briquetas fue asignada con un código, el cual tiene las siguientes partes:



- Grupo: Indica la procedencia del agua con la que las briquetas fueron creadas y curadas, asignando la letra “Q” para Quillabamba, “A” para Ajuajuyoc y “P” para Pintobamba respectivamente.
- Ensayo: Indica el ensayo realizado, asignando la letra “R” para el ensayo de resistencia a la compresión y “C” para el ensayo de carbonatación respectivamente.
- Cuantía: Indica el número de orden de cada briqueta.



Tabla 40: Toma de datos para nomenclatura de briquetas

Universidad Andina del Cusco			
Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Ensayo: Nomenclatura de briquetas.			
Fecha: 21/11/2021.			
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.			
Tiempo de curado: 28 días.			
Ensayo	Procedencia de agua empleada		
	Pintobamba	Quillabamba	Ajuajuyoc
Carbonatación	P-C-1	Q-C-1	A-C-1
	P-C-2	Q-C-2	A-C-2
	P-C-3	Q-C-3	A-C-3
	P-C-4	Q-C-4	A-C-4
	P-C-5	Q-C-5	A-C-5
	P-C-6	Q-C-6	A-C-6
	P-C-7	Q-C-7	A-C-7
	P-C-8	Q-C-8	A-C-8
	P-C-9	Q-C-9	A-C-9
	P-C-10	Q-C-10	A-C-10
	P-C-11	Q-C-11	A-C-11
	P-C-12	Q-C-12	A-C-12
Resistencia a la compresión	P-R-1	Q-R-1	A-R-1
	P-R-2	Q-R-2	A-R-2
	P-R-3	Q-R-3	A-R-3
	P-R-4	Q-R-4	A-R-4
	P-R-5	Q-R-5	A-R-5
	P-R-6	Q-R-6	A-R-6
	P-R-7	Q-R-7	A-R-7
	P-R-8	Q-R-8	A-R-8
	P-R-9	Q-R-9	A-R-9

3.5.7 Ensayo de consistencia

3.5.7.1 Equipos

- Cono de Abrams.
- Varilla lisa de 5/8" de 60cm de longitud.



- Cuchara.

3.5.7.2 Procedimiento

- Una vez terminado el proceso de mezclado del concreto inmediatamente se procedió a realizar el ensayo de slump del concreto. Se humedeció el cono antes de realizar el ensayo para que este no absorba agua durante el ensayo. Se colocó el cono en una superficie nivelada y humedecida, se pisa las aletas y se llena mezcla hasta la primera tercera parte.



Figura 39: Colocado de mezcla en el cono de Abrams

- Inmediatamente con la barra lisa se aplicó 25 golpes de forma distribuida y uniforme. Luego se llenó las 2 terceras partes del molde y se repitió de nuevo el compactado de los 25 golpes, de forma uniforme y evitando que la punta de la barra llegue al compactado anterior. Seguidamente se llenó la última parte del cono de manera que exista un exceso de concreto en la parte superior, se aplicó los 25 golpes y seguidamente se niveló la superficie superior del cono.



Figura 40: Enrasado de superficie del cono de abrams

- c) Se sujeta fuerte de las asas del cono y de manera vertical se jala hacia arriba. luego se colocó la barra compactadora en la parte superior del cono invertido y se procedió a medir el asentamiento del concreto.



Figura 41: Medición del slump



3.5.7.3 Toma de datos

Tabla 41: Toma de datos para el ensayo de consistencia

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenoltaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."			
Ensayo	:	Consistencia.	
Fecha	:	21/11/2021	
Autor	:	Jorge Martin Rojas Bejar.	
Datos de ensayo			
Norma	:	N.T.P. 339 - 035	
Ensayo de consistencia en concreto de Quillabamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.70	
Medición 02	cm.	7.64	
Medición 03	cm.	8.08	
Ensayo de consistencia en concreto de Ajuajuyoc			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.65	
Medición 02	cm.	8.50	
Medición 03	cm.	7.62	
Ensayo de consistencia en concreto de Pintobamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.67	
Medición 02	cm.	7.63	
Medición 03	cm.	8.07	

3.5.8 Elaboración de cámara de carbonatación acelerada

3.5.8.1 Equipos

- Perfil angular de acero de 1" x 1" x 2mm.
- Varillas de acero de diámetro de 8mm.
- Plancha galvanizada de 0.30 mm.
- Plástico doble transparente.



- Pegamento.
- Tubos de PVC de ½”.
- Codos de PVC de ½”.
- Tee de PVC de ½”.
- Llave de paso de ½”.
- Unión universal.
- Cinta teflón.
- Pegamento para PVC.
- Filtro de tanque de agua.
- Listones de madera de 10 mm de espesor
- Pernos de 5 mm.
- Clavos de 3 mm.

3.5.8.2 Herramientas

- Destornillador eléctrico.
- Martillo
- Flexómetro (wincha de 3 m.)
- Sierra y tijera.

3.5.8.3 Equipos

- Sensor de CO₂ con una laptop.
- Tanque de CO₂.
- Higrómetro y termómetro.
- Ventiladores.

3.5.8.4 Proceso de elaboración

Para poder realizar el diseño de la cámara de carbonatación, se consideraron varios factores, como: las dimensiones de las briquetas a ingresar, las proporciones volumétricas, la carga de las briquetas, la manipulación de la cámara, su adecuado volumen para el flujo de gas uniforme.



Se elaboró la construcción de la estructura metálica y la parrilla interior que da soporte a las briquetas de concreto, todo esto gracias al servicio del maestro soldador, según los planos realizados previamente.



Figura 42: Estructura metálica de la cámara de carbonatación

Con la estructura de soporte terminada, se realizaron las medidas y cortes a la plancha galvanizada que fue colocada en la base de la estructura para luego sellada a lo largo de todo el borde con pegamento, seguidamente se coloca los paneles de plástico en los laterales expuestos de la cámara, luego se elaboró un marco de madera para sellar los bordes todos los bordes, esto para evitar la fuga del gas CO₂.



Figura 43: Cobertura con plástico doble transparente y sellado con perfiles de madera

Colocamos una llave de paso de $\frac{1}{2}$ " al tanque de CO₂ para poder controlar de una manera más eficiente el flujo de gas. Entre el tanque de CO₂ y la red de distribución se ubica el filtro de agua que elimina cualquier impureza que se pueda presentar durante el proceso de ensayo.

Se ubicó un ventilador en la base de la cámara para disipar el CO₂ que tiende a acumularse en la parte inferior ya que se sabe que el gas es 1.5 más pesado que el aire y en la parte superior se habilitaron orificios para la manipulación del sensor de CO₂ y el higrómetro.

Finalmente se ubican el sensor de CO₂; el cual nos ayudara a controlar la concentración del gas en el interior de la cámara. El higrómetro nos ayuda a controlar la humedad relativa.



Figura 44: Equipos de control y medición

3.5.9 Ensayo de la resistencia a la compresión en probetas de concreto carbonatado

3.5.9.1 Equipos

- Máquina de compresión axial (calibrado)
- Vernier digital
- Flexómetro.
- Bolsa hermética
- Escuadra

3.5.9.2 Procedimiento

Inicialmente se extrajeron las briquetas de la cámara de carbonatación acelerada para ello, se cerró la válvula de CO₂, se abrió la tapa superior de la cámara y se extrajo las muestras que correspondan a la fecha y periodo de exposición, inmediatamente se procedió a medir los diámetros de parte superior e inferior con el vernier digital y se tomó registro de las alturas y perpendicularidad de las briquetas.

Las briquetas son colocadas en bolsas herméticas para que no pierdan humedad, una vez trasladadas al laboratorio se colocó los cabezales de neopreno en los extremos superior como

inferior de la briqueta inmediatamente se coloca la briqueta en el centro de la máquina de compresión verificando que se encuentre en la parte central.



Figura 45: Ensayo de resistencia a la compresión

Se enciende la máquina de compresión axial y se ingresa las dimensiones de espécimen, y se fuerza hasta que se produzca la falla. Anotamos la máxima carga aplicada y el tipo de falla.



Figura 46: Tipos de fallas ocurridas posterior al ensayo de resistencia a la compresión

3.5.9.3 Toma de datos

A continuación, se presenta las siguientes tablas, conteniendo la totalidad de los datos obtenidos que corresponden a la toma de datos de la resistencia a la compresión del concreto carbonatado durante los 3 periodos diferentes.



Tabla 42: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 7 días

Universidad Andina del Cusco										
Facultad de Ingeniería y Arquitectura										
Escuela Profesional de Ingeniería Civil										
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."										
Ensayo: Resistencia a la compresión.										
Fecha: 26/12/2021										
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.										
Datos de ensayo										
Norma: : N.T.P. 339 - 34										
Tiempo de curado: 28 días.										
Periodo de Carbonatación: 7 días.										
Item	Diámetro		Diám. prom. (cm)	Área		Área prom. (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)	f'c prom.(kg-f/cm ²)	σ
	Sup. (cm)	Inf. (cm)		Sup. (cm ²)	Inf. (cm ²)					
Q-R-1	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	157.42	16052.37	199.96	16.518
Q-R-2	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	184.7	18834.15	233.00	
Q-R-3	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	171.06	17443.26	216.38	
A-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	139.48	14223	174.75	9.9367
A-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	156.32	15940.2	194.50	
A-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	147.9	15081.6	182.77	
P-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	82.6	8422.854	103.48	14.568
P-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	106.56	10866.09	132.59	
P-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	94.58	9644.474	116.88	



Tabla 43: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 14 días

<p style="text-align: center;">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>										
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."										
Ensayo: Resistencia a la compresión.										
Fecha: 26/12/2021										
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.										
Datos de ensayo										
Norma: : N.T.P. 339 - 34										
Tiempo de curado: 28 días.										
Periodo de Carbonatación: 14 días.										
Item	Diámetro		Diám. prom. (cm)	Área		Área prom. (cm ²)	G (kN)	f kg-f/cm ²)	f'c prom. kg-f/cm ²)	σ
	Sup (cm)	Inf (cm)		Sup. (cm ²)	Inf. (cm ²)					
Q-R-4	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	165.64	16890.58	210.40	32.364
Q-R-5	10.09	10.15	10.12	80.44	80.44	80.44	209.02	21314.1	264.98	
Q-R-6	10.10	10.13	10.11	80.32	80.32	80.32	163.48	16670.32	207.56	
A-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	136.86	13955.83	171.46	15.036
A-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	142.82	14563.58	177.71	
A-R-6	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	120.66	12303.89	149.11	
P-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	98.48	10042.16	123.38	12.921
P-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	79.68	8125.097	99.14	
P-R-6	10.19	10.27	10.23	82.19	82.19	82.19	95.94	9783.155	119.02	



Tabla 44: Toma de datos para el ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado con un periodo de exposición de 28 días

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil										
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."										
Ensayo: Resistencia a la compresión.										
Fecha: 26/12/2021										
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.										
Datos de ensayo										
Norma: : N.T.P. 339 - 34										
Tiempo de curado: 28 días.										
Periodo de Carbonatación: 28 días.										
Item	Diámetro		Diám. prom. (cm)	Área		Área prom. (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)	f'c prom. (kg-f/cm ²)	σ
	Sup. (cm)	Inf. (cm)		Sup (cm ²)	Inf (cm ²)					
Q-R-7	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	215.48	21972.84	273.71	35.805
Q-R-8	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	177.96	18146.87	224.50	
Q-R-9	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	161.32	16450.06	204.06	
A-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	133.96	13660.12	167.83	1.2714
A-R-8	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	133.1	13572.42	165.61	
A-R-9	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	134.04	13668.27	165.64	
P-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	72.12	7354.192	90.35	25.417
P-R-8	10.12	10.17	10.15	80.83	80.83	80.83	83.1	8473.84	104.83	
P-R-9	10.15	10.27	10.21	81.87	81.87	81.87	112.24	11445.29	139.79	



3.5.10 Ensayo de penetración de la carbonatación artificial

3.5.10.1 Equipos y materiales

- Atomizador.
- Brocha.
- Combo de 2kg.
- Cincel.
- Amoladora.
- Disco de corte de concreto.
- Vernier.
- Transportador de 360°.
- Fenolftaleína al 1%.

3.5.10.2 Procedimiento

Para poder realizar el ensayo de penetración de carbonatación artificial, principalmente se tomó en consideración el siguiente cronograma:

Tabla 45: Cronograma de distribución para los periodos de carbonatación

Ensayo de carbonatación	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9
Colocación de concreto	■								
Desmoldado		■							
Curado		■	■	■	■				
1° periodo de carbonatación						■			
2° periodo de carbonatación						■	■		
3° periodo de carbonatación						■	■	■	■



Donde los ensayos de carbonatación se llevaron a cabo al culminar las semanas 6, 7 y 9 respectivamente.

Una vez efectuado el periodo de exposición correspondiente para el grupo de briquetas estudiadas dentro de la cámara de carbonatación, se cierra la válvula del tanque de CO₂ y se abren las tapas para extraer las probetas correspondientes rápidamente.



Figura 47: Materiales y equipos para el estudio de la carbonatación

Inmediatamente se procedió a medir la altura de cada briqueta para así, poder partirlas a 1/3 y a los 2/3, se limpió con la brocha la superficie recién partida, las partes se colocaron en una superficie nivelada y con el atomizador se roseo el químico reactivo (fenolftaleína al 1%) en las superficies recién partidas.



Figura 48: Proceso de ensayo para la obtención de la penetración de carbonatación artificial. Después de unos segundos se observa la reacción y el cambio de coloración. Se procede a medir con el vernier la profundidad del frente de carbonatación y se registra según la ficha de recolección de datos desarrollada.

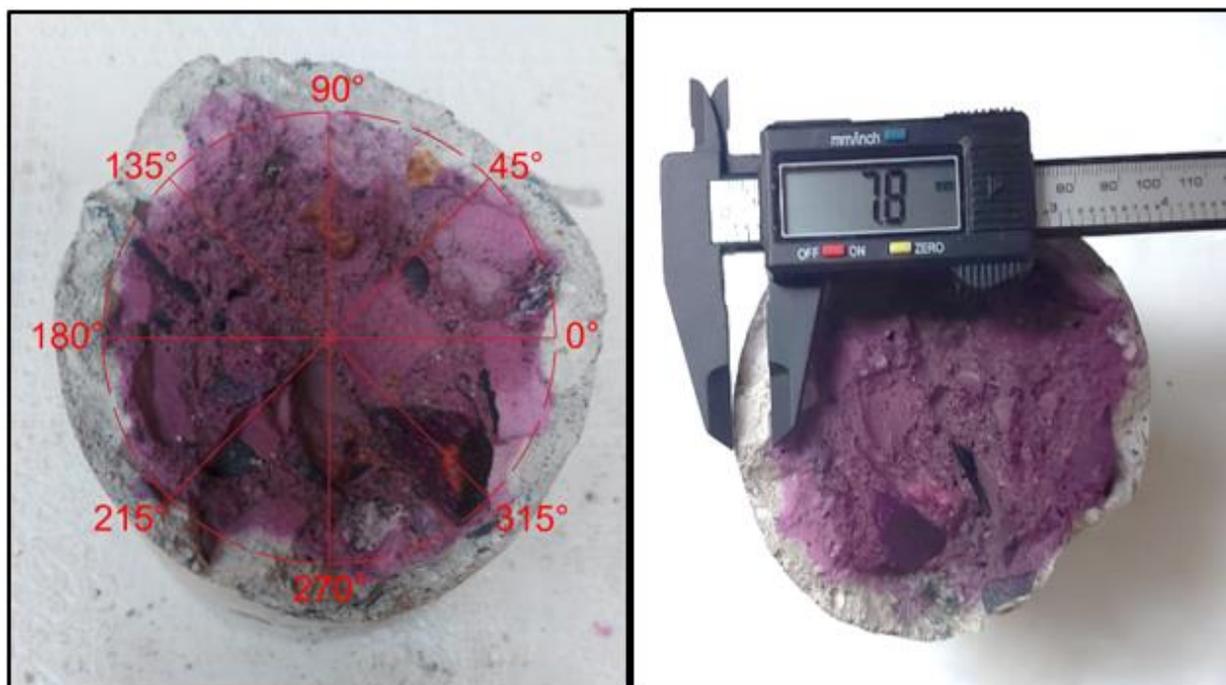


Figura 49: Criterio de medición del frente carbonatado

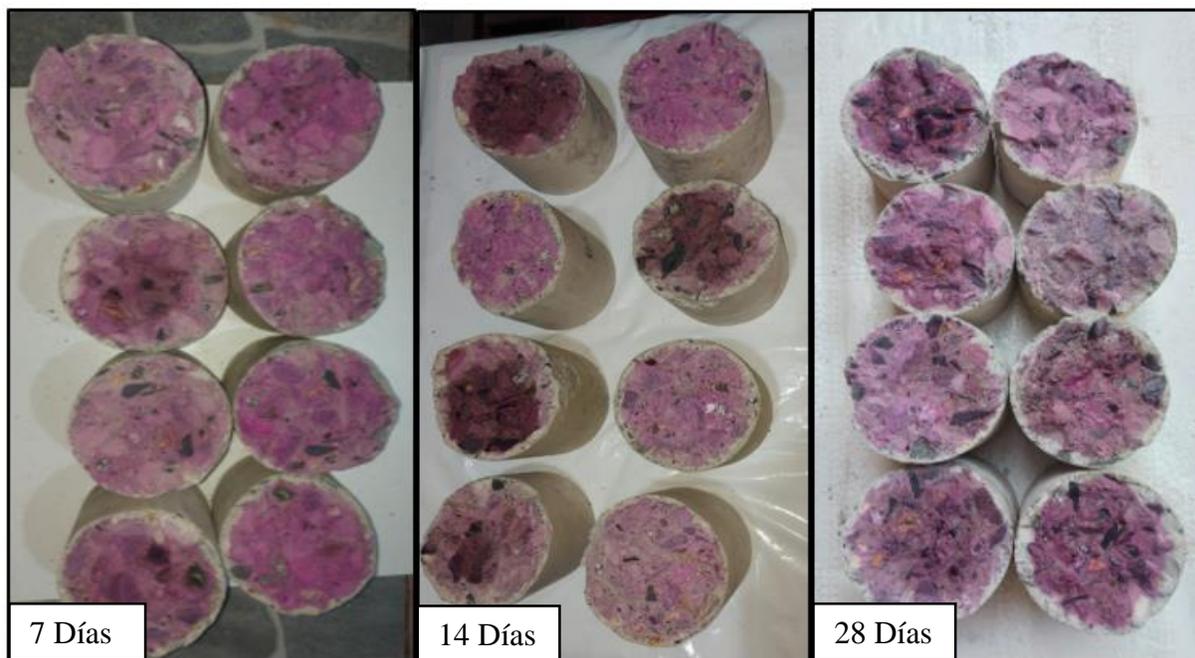


Figura 50: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Quillabamba”

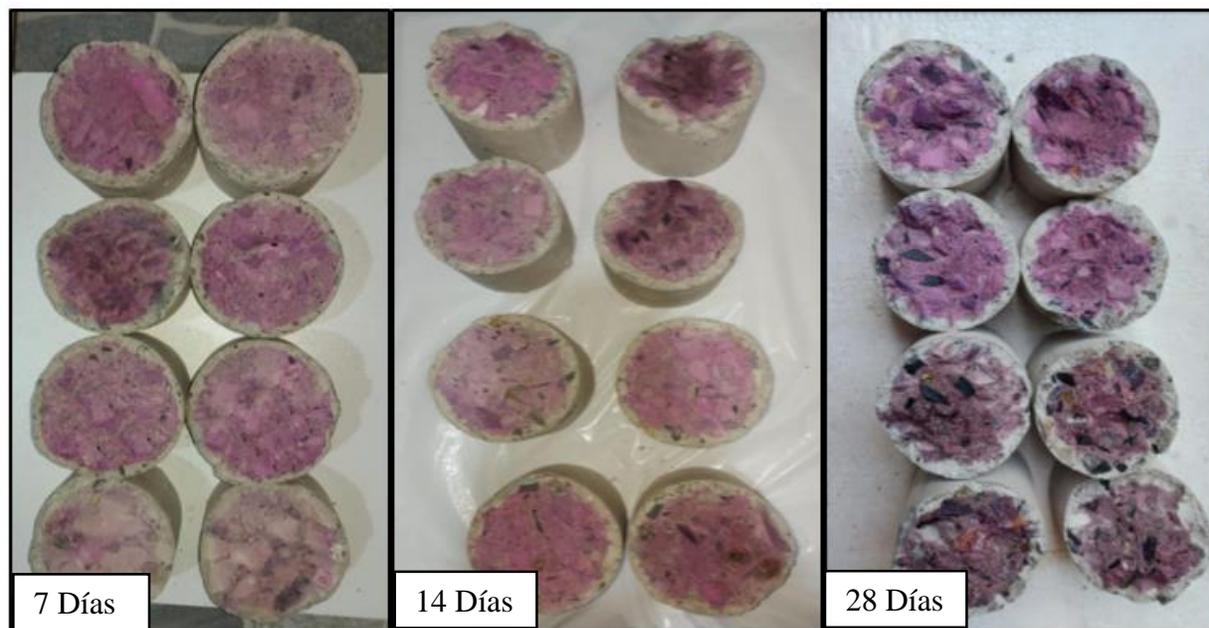


Figura 51: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Ajuajuyoc”

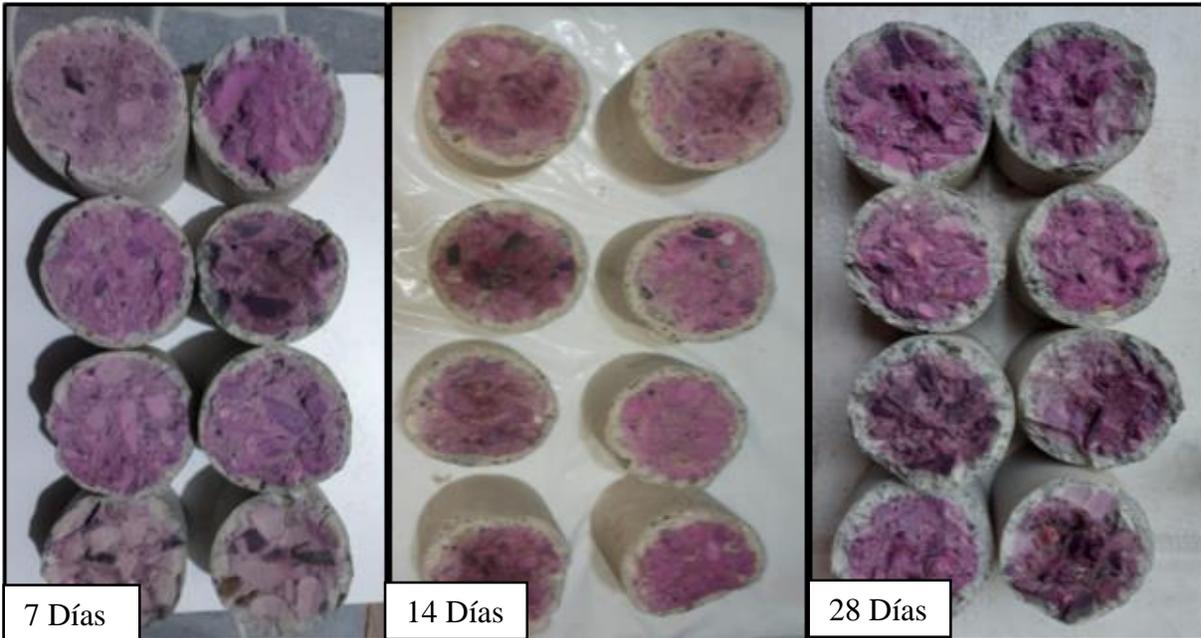


Figura 52: Avance de frente de carbonatación para el concreto con agua de diseño “Pintobamba”

3.5.10.3 Toma de datos

Se presenta el siguiente formato conteniendo los datos obtenidos de la carbonatación artificial durante los 3 periodos de exposición al dióxido de carbono.



Tabla 46 Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 7 días

<p align="center">Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p>													
<p align="center">"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."</p>													
<p>Ensayo: Profundidad de carbonatación.</p>													
<p>Fecha: 26/12/2021</p>													
<p>Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.</p>													
<p align="center">Datos de ensayo</p>													
<p>Norma: RILEM CPC - 18 Tiempo de curado: 28 días. Periodo de Carbonatación: 7 días.</p>													
<p align="center">Desagregado de carbonatación acelerada</p>													
Item	Diám sup. (cm)	Profundidad de carbonatación								Min	Máx	Xc prom. (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	5.3	6.2	6.8	8	5.2	4.9	7.2	8.8				
	2/3	5.8	6.5	7.4	6.6	5.1	6.9	6.1	8.0				
P-C-2	1/3	2.9	3	6.4	8	6.6	5.9	5.9	6.35				
	2/3	3.0	4.7	7.2	7.3	6.3	6.1	5.9	6.1				
P-C-3	1/3	6.1	6.7	7.8	6.3	6.6	7.8	7.1	4.5				
	2/3	6.4	7.3	7.1	6.5	7.2	6.2	7.5	5.8				
P-C-4	1/3	4.8	5.3	7.0	7.4	6.1	6.2	6.7	6.6				
	2/3	5.0	6.2	7.2	6.8	6.2	6.4	6.5	6.6				
A-C-1	1/3	4.4	3.2	0.1	3.3	1.5	2.6	1.9	1.9				
	2/3	3.8	1.7	1.7	2.4	2.1	2.3	2.3	1.9				
A-C-2	1/3	4	3.4	6	5.4	5.1	4	3.4	4.4				
	2/3	3.7	4.7	5.7	5.3	4.6	4.2	3.7	3.9				
A-C-3	1/3	4.2	9.1	6.7	3.6	5.6	5.6	5.7	5				
	2/3	6.7	7.9	5.2	4.6	5.6	5.3	5.7	5.4				
A-C-4	1/3	4.3	5.2	4.3	4.1	4.1	4.1	3.7	3.8				
	2/3	4.8	4.8	4.2	4.1	4.1	3.9	3.9	3.7				
Q-C-1	1/3	3.0	3.0	3.7	4.1	4.4	4.0	1.9	0.1				
	2/3	3.0	3.4	3.9	4.3	4.2	2.0	3.0	1.0				
Q-C-2	1/3	4.3	3.6	3.0	1.8	3.4	5.9	7.2	4.4				
	2/3	3.9	3.3	2.4	2.6	4.6	5.1	6.5	5.8				



Q-C-3	1/3	1.6	0.0	1.0	5.0	2.6	0.1	2.0	1.0				
	2/3	0.8	0.5	3.0	3.8	1.3	0.5	1.0	1.5				
Q-C-4	1/3	5.9	0.0	0.0	1.0	0.0	3.0	5.3	1.0				
	2/3	3.0	0.0	0.5	0.5	1.5	2.0	4.2	3.2				

Tabla 47: Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 14 días

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil													
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."													
Ensayo: Profundidad de carbonatación.													
Fecha: 26/12/2021													
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.													
Datos de ensayo													
Norma: : RILEM CPC - 18													
Tiempo de curado: : 28 días.													
Periodo de Carbonatación: : 14 días.													
Desagregado de carbonatación acelerada													
Item	Diám sup. (cm)	Profundidad de carbonatación								Min.	Máx.	Xc prom (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	5	4.2	4.2	5.5	6.1	8.1	4.9	6.1				
	2/3	4.6	4.2	4.9	5.8	7.1	7.1	6.5	5.5				
P-C-2	1/3	7.1	9.1	8.3	8.3	8.5	6.6	6	7.7				
	2/3	8.1	8.7	8.3	8.4	7.6	7.2	6.3	6.9				
P-C-3	1/3	7.1	6	7	6.4	5	7.1	6.6	7.3				
	2/3	6.6	6.5	6.7	5.7	6.1	7.2	6.9	7.0				
P-C-4	1/3	6.1	6.7	5.4	6.5	8.5	6.3	9.8	8.9				
	2/3	6.4	6.1	6.0	7.5	7.4	7.6	8.1	9.4				
A-C-1	1/3	1.8	5.4	3.5	2.6	7.2	4.2	9.3	4.1				
	2/3	3.6	4.5	3.1	4.9	5.7	4.2	6.8	6.7				
A-C-2	1/3	7.8	7.7	5.9	6.2	3.4	5.6	1.2	4.1				
	2/3	7.8	6.8	6.1	4.8	4.5	4.9	3.4	2.7				
A-C-3	1/3	6.6	5.5	5.7	6.4	4.6	7	5.8	9.5				
	2/3	6.1	5.6	6.1	5.5	5.8	8.3	6.4	7.7				



A-C-4	1/3	7.1	7.2	5.7	9.4	10.2	8.0	7.4	7.8				
	2/3	7.2	6.5	7.6	9.8	9.1	7.9	7.7	7.6				
Q-C-1	1/3	1.6	1.3	3.0	3.1	2.4	3.2	3.0	1.8				
	2/3	1.5	2.2	3.1	2.8	2.8	2.5	3.1	2.4				
Q-C-2	1/3	2.3	3.7	3.8	4.5	5.3	6.4	5.6	3.3				
	2/3	2.3	3.6	3.7	4.8	5.2	6.2	5.6	3.3				
Q-C-3	1/3	4.8	4.0	4.0	5.4	2.1	4.4	3.0	2.4				
	2/3	4.4	4.0	4.7	3.8	3.3	3.4	3.7	2.7				
Q-C-4	1/3	5.3	1.4	1.0	2.3	3.9	1.1	2.2	1.8				
	2/3	3.4	1.2	1.7	3.1	2.5	1.5	1.7	2.0				

Tabla 48: Toma de datos para la medición de la profundidad de carbonatación con un periodo de carbonatación de 28 días

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil													
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."													
Ensayo: Profundidad de carbonatación.													
Fecha: 26/12/2021													
Autor: Jorge Martin Rojas Bejar.													
Datos de ensayo													
Norma: : RILEM CPC - 18													
Tiempo de curado: : 28 días.													
Periodo de Carbonatación: : 14 días.													
Desagregado de carbonatación acelerada													
Item	Diám sup. (cm)	Profundidad de carbonatación								Min.	Máx.	Xc prom (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	10.9	11.3	8.7	5.9	6.7	7.5	6.1	5.4				
	2/3	11.1	10.0	7.3	6.3	7.1	6.5	6.8	5.8				
P-C-2	1/3	8.0	10.0	10.8	7.5	9.9	10.3	8.4	9.5				
	2/3	9.0	10.4	9.2	8.7	10.1	9.9	9.4	9.0				
P-C-3	1/3	9.6	10.3	10.6	10.5	9.6	9.9	12.4	11				
	2/3	10.0	10.5	10.6	10.1	9.8	10.5	11.2	11.7				
P-C-4	1/3	6.6	6.2	10.5	5.6	9.1	7.7	6.7	8.4				
	2/3	6.4	8.4	8.1	7.4	8.4	8.1	7.2	7.6				



A- C-1	1/3	11.6	13.3	8.7	8.1	9.1	13.6	9.2	8.2				
	2/3	12.5	11.0	8.4	8.6	11.4	10.9	11.4	8.7				
A- C-2	1/3	7	7.2	8.2	6.9	3.3	6.7	4.5	8.6				
	2/3	7.1	7.7	7.6	5.1	5.0	7.7	5.6	6.6				
A- C-3	1/3	7.7	4.7	9.3	11	11.2	13.3	7.2	6.1				
	2/3	6.2	7.0	10.2	11.1	12.3	9.7	10.3	6.7				
A- C-4	1/3	6.5	8.1	6.9	7.6	8.3	8.0	5.3	10.8				
	2/3	7.3	7.5	7.3	8.0	8.2	9.4	6.7	8.1				
Q- C-1	1/3	5.6	8.0	8.1	3.3	4.9	3.6	3.2	7.0				
	2/3	6.8	8.1	5.7	4.1	4.3	5.3	3.4	5.1				
Q- C-2	1/3	1.0	4.9	1.1	4.0	4.4	4.9	3.6	3.2				
	2/3	3.0	3.0	2.6	4.2	4.7	4.1	4.3	3.4				
Q- C-3	1/3	6.5	5.7	4.1	2.9	4.6	0.1	2.4	5.0				
	2/3	6.1	4.9	3.5	3.8	2.4	2.6	1.3	3.7				
Q- C-4	1/3	8.8	5.1	5.9	6.4	5.4	4.7	4.7	6.6				
	2/3	7.0	5.5	6.2	5.9	5.1	5.7	4.7	5.7				

3.6. Procedimientos de análisis de datos

3.6.1 Agregado fino

3.6.1.1 Granulometría de agregado fino

3.6.1.1.1 Procesado

Para el posterior procesado de datos empleamos las siguientes formulas:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Pasante} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

$$\% \text{ Agregado fino mejorado} = \% \text{ Pasante A} * \% \text{ Proporción A} + \% \text{ Pasante B} * \% \text{ Proporción B}$$

3.6.1.1.2 Diagramas y tablas

Con los datos del peso retenido en cada tamiz se procede a calcular su porcentaje respectivo, para luego hallar el porcentaje retenido acumulado y finalmente el porcentaje pasante acumulado.

Por lo cual se emplea del formato donde también se observa la gráfica de la curva granulométrica de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma



Tabla 49: Granulometría de agregado fino tipo "A"

Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Límites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
N°8	2.360	3.65	0.42	0.42	99.58	80	100
N°16	1.180	289.52	33.24	33.66	66.34	50	85
N°30	0.600	226.35	25.98	59.64	40.36	25	60
N°50	0.300	163.89	18.81	78.46	21.54	5	30
N°100	0.150	107.85	12.38	90.84	9.16	0	10
N°200	0.075	66.28	7.61	98.45	1.55	-	-
Fondo		13.54	1.55	100.00	0.00	-	-
Σ		871.08	100.00				

Con el porcentaje de material pasante se grafica la curva granulométrica.

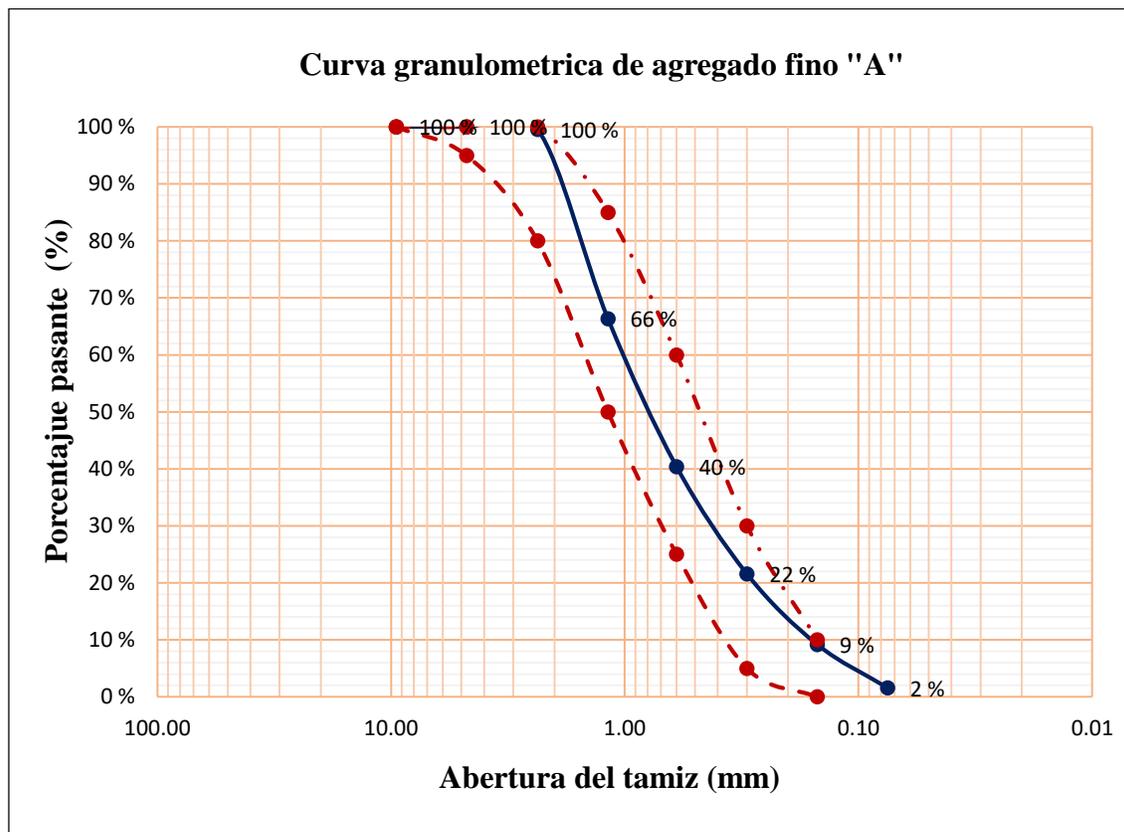


Figura 53: Curva granulométrica de agregado fino tipo "A"



Realizamos el mismo análisis de cálculo para el agregado “B”.

Tabla 50: Granulometría de agregado fino tipo “B”

Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Límites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.750	20.31	2.43	2.43	97.57	95	100
N°8	2.360	305.45	36.52	38.95	61.05	80	100
N°16	1.180	229.61	27.46	66.41	33.59	50	85
N°30	0.600	124.87	14.93	81.34	18.66	25	60
N°50	0.300	98.76	11.81	93.15	6.85	5	30
N°100	0.150	43.12	5.16	98.30	1.70	0	10
N°200	0.075	8.21	0.98	99.28	0.72	-	-
Fondo		5.98	0.72	100.00	0.00	-	-
Σ		836.31	100.00				

Con el porcentaje de material pasante se grafica la curva granulométrica.

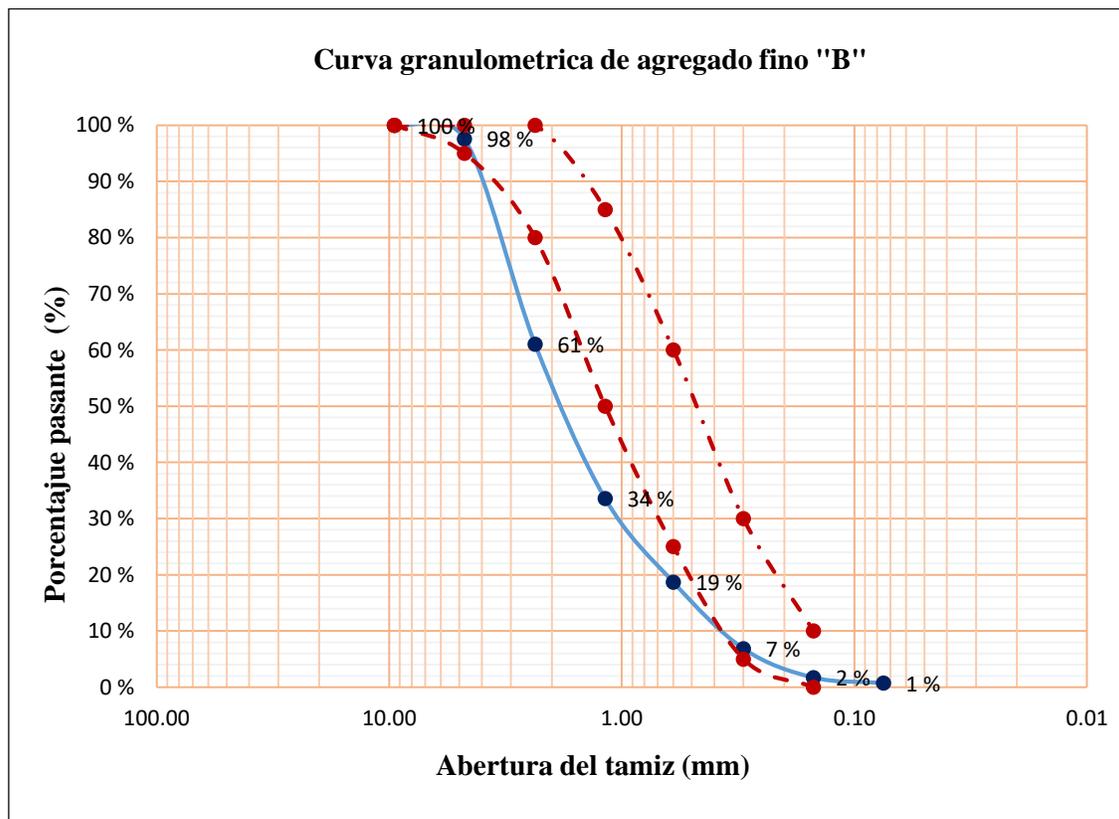


Figura 54: Curva granulométrica de agregado fino tipo “B”



Con los datos obtenidos de ambas curvas granulométricas se lleva a cabo la combinación de agregados.

Tabla 51: Granulometría de agregado fino “mejorado”

Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Límites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.750	20.31	2.51	2.51	97.49	95	100
N°8	2.360	128.02	15.80	18.30	81.70	80	100
N°16	1.180	119.29	14.72	33.02	66.98	50	85
N°30	0.600	196.25	24.22	57.24	42.76	25	60
N°50	0.300	213.99	26.41	83.65	16.35	5	30
N°100	0.150	100.88	12.45	96.10	3.90	0	10
N°200	0.075	26.44	3.26	99.36	0.64	-	-
Fondo		5.19	0.64	100.00	0.00	-	-
Σ		810.37	100.00				

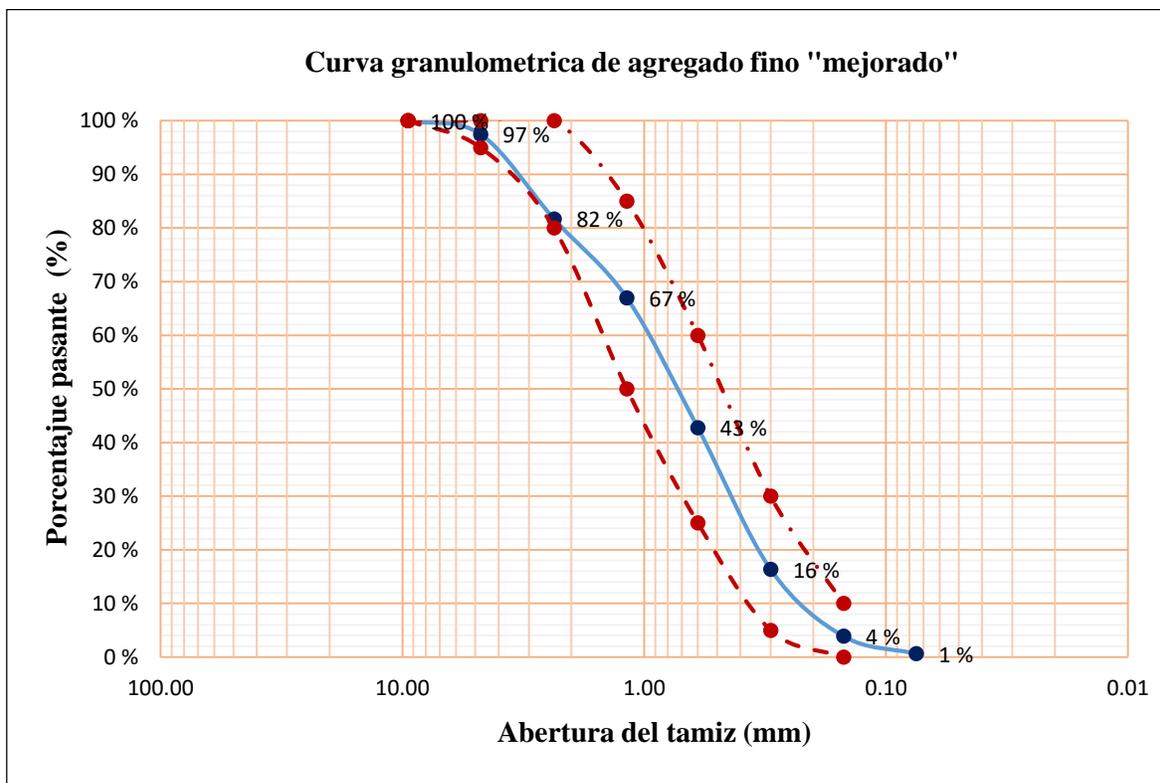


Figura 55: Curva granulométrica de agregado fino “mejorado”



3.6.1.1.3 Análisis de la prueba

Satisfactoriamente, luego de realizar la combinación de canteras (A y B) para agregado fino en un porcentaje adecuado el resultado de dicha combinación fue positiva, debido a que se cumplió con los parámetros establecidos por la norma.

3.6.1.2 Modulo de fineza en agregado fino

3.6.1.2.1 Procesado

Se calcula con la sumatoria de los retenidos acumulados de los tamices divididos entre 100

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retenidos acumulados (3/8", \#4, \#8, \#16, \#30, \#50 y \#100)}}{100}$$

$$M.F. (\text{agregado mejorado}) = M.F.A * \% \text{Proporción "A"} + M.F.B * \% \text{Proporción "B"}$$

3.6.1.2.2 Diagramas y tablas

Con los datos obtenidos en la tabla se halló su módulo de fineza como se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 52: Modulo de fineza de agregado fino tipo “A”, “B” y “mejorado”

Agregado "A"			Agregado "B"			Agregado "mejorado"		
Tamiz	Retenido acumulado (%)	M.F. "A"	Tamiz	Retenido acumulado (%)	M.F. "B"	Tamiz	Retenido acumulado (%)	M.F. "mejorado"
3/8"	0.00	2.63	3/8"	0.00	3.81	3/8"	0.00	2.91
N°4	0.00		N°4	2.43		N°4	2.51	
N°8	0.42		N°8	38.95		N°8	18.30	
N°16	33.66		N°16	66.41		N°16	33.02	
N°30	59.64		N°30	81.34		N°30	57.24	
N°50	78.46		N°50	93.15		N°50	83.65	
N°100	90.84		N°100	98.30		N°100	96.10	

3.6.1.2.3 Análisis de prueba

Con lo observado en la tabla, se obtuvo un módulo de fineza de 2.91, cabe recalcar que para hallar el módulo de fineza de nuestro agregado fino “mejorado” se empleó una proporción adecuada. Este módulo de fineza comprende entre los parámetros de 2.50 y 3.00.



3.6.1.3 Peso específico de agrado fino

3.6.1.3.1 Procesamiento

Se emplean las siguientes formulas:

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)}$$

$$P_{eSSS} = \frac{500}{(V - V_a)}$$

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$$

$$Abs (\%) = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100$$

3.6.1.3.2 Diagramas y tablas

Tabla 53: Peso específico del agregado fino y su absorción

Descripción	Simb.	M-1	M-2	M-3	Und.
Volumen de fiola.	V	500.00	500.00	500.00	cm ³
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola.	Wfs	683.20	682.10	683.20	g.
Peso de la arena superficialmente seca más peso de la fiola más peso del agua.	Wfsa	998.00	998.00	998.00	g.
Peso de la arena seca.	W _o	489.61	490.38	490.00	g.
Peso del agua añadida.	V _a	314.80	315.90	314.80	g.
					Promedio
Peso específico de masa.	P_{em}	2.64 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³	2.65 gr/cm ³	2.65 gr/cm ³
Peso específico de masa saturado con superficie seca.	P_{eSSS}	2.70 gr/cm ³	2.72 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³	2.71 gr/cm ³
Peso específico aparente.	P_{ea}	2.80 gr/cm ³	2.81 gr/cm ³	2.80 gr/cm ³	2.80 gr/cm ³
Absorción.	Ab	2.12 %	1.96 %	2.04 %	2.04 %

3.6.1.3.3 Diagramas y tablas

El peso específico del agregado fino resultado del peso seco de muestra en el aire entre el peso de la muestra saturada superficialmente seca menos el peso en el agua de la muestra saturada, donde



obtuvimos 2.65 gr/cm³ de peso específico y una absorción de 2.04% en promedio respectivamente a las 3 muestras analizadas.

3.6.1.4 Contenido de humedad de agregado fino

3.6.1.4.1 Procesamiento

Se emplea la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_o - W}{W} * 100$$

3.6.1.4.2 Diagramas y tablas

Tabla 54: Contenido de humedad de agregado fino

Datos de ensayo					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		R-1	R-2	R-3	
Peso del recipiente.		15.48	15.44	15.90	gr
Peso de la muestra seca más recipiente.		57.06	62.9	63.95	gr
Peso de la muestra húmeda más recipiente.		57.66	63.77	64.74	gr
Peso de la muestra seca.	W	41.58	47.46	48.05	gr
Peso de la muestra húmeda.	W _o	42.18	48.33	48.84	gr
Contenido de humedad por muestra		1.44	1.83	1.64	%
Contenido de humedad promedio		1.640 %			

3.6.1.4.3 Análisis de prueba

El contenido de humedad se obtuvo a partir del promedio de tres muestras de nuestro agregado fino, obteniendo un valor de 1.64%.

3.6.2 Agregado grueso

3.6.2.1 Granulometría de agregado grueso

3.6.2.1.1 Procesamiento

Se emplearon las siguientes formulas

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Pasante} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$



3.6.2.1.2 Diagramas y tablas

Tabla 55: Granulometría de agregado grueso

Tamiz	Abertura (mm.)	Peso (g.)	Porcentaje de peso retenido	Porcentaje acumulado		Límites (%)	
				Retenido (%)	Pasante (%)	Inferior	Superior
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	80	100
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	80	100
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	80	100
3/4"	19.000	170.83	19.61	19.61	80.39	80	100
1/2"	12.500	1304.07	149.71	149.71	-49.71	80	100
3/8"	9.500	394.07	45.24	194.95	-94.95	50	85
#4	4.750	25.54	2.93	197.88	-97.88	25	60
#8	2.360	0.00	0.00	197.88	-97.88	5	30
#16	1.180	0.00	0.00	197.88	-97.88	0	10
#50	0.300	0.00	0.00	197.88	-97.88	-	-
#200	0.075	0.00	0.00	197.88	-97.88	-	-
Fondo		0.00	0.00	197.88	0.00	-	-
Σ		1894.5	217.49				

Con el porcentaje de material pasante se grafica la curva granulométrica.

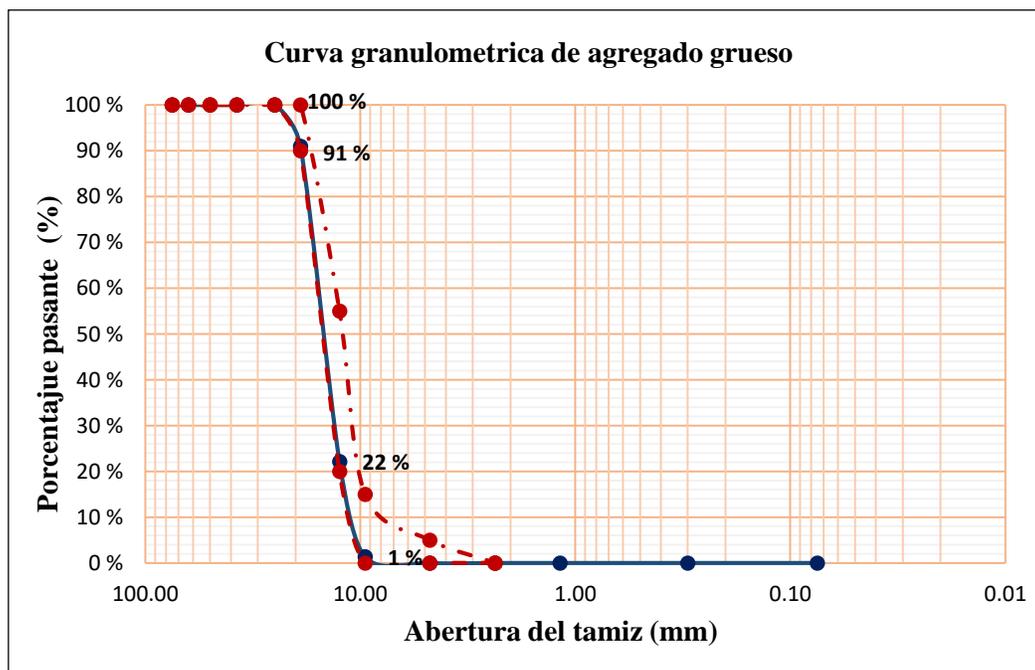


Figura 56: Curva granulométrica de agregado grueso



3.6.2.1.3. Análisis de prueba

Nuestro agregado grueso cumple con los parámetros de la norma.

3.6.2.2. Peso unitario del agregado grueso

3.6.2.2.1. Procesamiento

Se emplean las siguientes formulas:

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

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

3.6.2.2.2. Procesamiento

Con los datos obtenidos en los ensayos se realiza el cálculo y se obtuvo el peso unitario suelto y compactado de nuestro agregado grueso.

Tabla 56: Peso unitario suelto de agregado grueso

Peso unitario suelto (PUS)					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T	7370	7370	7370	gr
Volumen del recipiente	V	3268.63	3268.63	3268.63	cm ³
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G	11606	11593	11602	gr
Peso de la muestra suelta.	Ws	4236	4223	4232	gr
Peso unitario suelto	PUS	1.30	1.29	1.29	g/cm³
Peso unitario suelto promedio (g/cm³)	PUS	1.29			g/cm³
Peso unitario suelto promedio (kg/cm³)	PUS	1294.22			kg/m³

Tabla 57: Peso unitario compactado de agregado grueso

Peso unitario compactado (PUC)					
Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		P1	P2	P3	
Peso del recipiente.	T	7370	7370	7370	gr
Volumen del recipiente	V	3268.63	3268.63	3268.63	cm ³
Peso de la muestra suelta más recipiente.	G	12215	12223	12218	gr
Peso de la muestra suelta.	Ws	4845	4853	4848	gr
Peso unitario compactado	PUC	1.48	1.48	1.48	g/cm³



Peso unitario compactado promedio (g/cm ³)	PUC	1.48	g/cm ³
Peso unitario compactado promedio (g/cm ³)	PUC	1483.39	kg/m ³

3.6.2.2.3. Análisis de prueba

El peso unitario suelto y compactado del agregado grueso es el resultado del peso de la muestra suelta o compactada entre el volumen del recipiente, teniendo así un resultado de 1.29 gr/cm³. y 1.48 gr/cm³. Respectivamente. Como es lógico el peso unitario suelto resulta menor al peso unitario compactado.

3.6.2.3. Peso específico de agregado grueso

3.6.2.3.1. Procesamiento

Para obtener el peso específico y absorción del agregado grueso se utilizan las siguientes formulas:

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)}$$

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

$$Abs (\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

3.6.2.3.2 Diagramas y tablas

Se muestra la siguiente tabla con los datos obtenidos del ensayo y los resultados después de operar con las formulas antes presentadas.

Tabla 58: Peso específico de agregado grueso

Descripción	Simb.	Cantidad	Und.
Peso de la canastilla.	Wc	500.00	cm ³
Peso de la muestra seca en el aire.	A	2594.00	g.
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.	B	2608.00	g.



Peso en el agua de la muestra saturada.	C	1589.00	g.
Peso específico de masa.	Pem	2.546 gr/cm ³	
Peso específico de masa saturado con superficie seca.	PeSS S	2.56 gr/cm ³	
Peso específico aparente.	Pea	2.58 gr/cm ³	
Absorción.	Ab	0.5397 %	

3.6.2.3.3. Análisis de prueba

El peso específico del agregado grueso resulta del peso seco de muestra en el aire entre el peso de la muestra saturada superficialmente seca menos el peso en el agua de la muestra saturada, donde se obtuvo 2.55 de peso específico y una absorción de 0.54%.

3.6.2.4. Contenido de humedad de agregado grueso

3.6.2.4.1. Procesamiento

Para obtener el contenido de humedad en porcentaje, se utilizará la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_o - W}{W} * 100$$

3.6.2.4.2. Diagramas y tablas

La humedad resulta de la diferencia del peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca entre el peso de la muestra seca.

Tabla 59: Contenido de humedad de agregado grueso

Descripción	Simb.	Cantidad			Und.
		R-1	R-2	R-3	
Peso del recipiente.		14.59	15.82	15.23	gr
Peso de la muestra seca más recipiente.		94.23	94.43	93.85	gr
Peso de la muestra húmeda más recipiente.		94.24	94.45	93.86	gr
Peso de la muestra seca.	W	79.64	78.61	78.62	gr
Peso de la muestra húmeda.	W _o	79.65	78.63	78.63	gr
Contenido de humedad por muestra.		0.01	0.03	0.01	%
Contenido de humedad promedio :		0.02 %			



3.6.2.4.3. Análisis de prueba

El contenido de humedad obtenido de nuestro agregado grueso es de 0.02%, se debe tener en cuenta que la humedad presente en los agregados es muy susceptible a variaciones por la temperatura y humedad del ambiente.

3.6.3. Diseño de mezcla por el método ACI (American Concrete Institute)

3.6.3.1. Datos para el diseño de mezcla:

- Cemento
 - Tipo IP
 - Marca: Yura
 - Peso específico: 2.85 g/cm³
 - Peso por bolsa 42.5
- Agua
 - Agua proveniente de la ciudad de Quillabamba.
 - Agua proveniente del centro poblado de Ajuajuyoc.
 - Agua proveniente del centro poblado de Pintobamba.
- Asentamiento 3” a 4”
- Resistencia especificada (f'_c): 210 kg/cm²

3.6.3.2. Procesamiento

1. Selección de la resistencia requerida (f'_{cr})

En nuestro caso no contamos con un registro de ensayo previos por lo que usamos la siguiente tabla:

Tabla 60: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión MPa.	Resistencia promedio requerida a la compresión
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 5.0$



Así mismo, nuestro diseño de mezcla patrón tiene una resistencia especificada de 210 kg/cm², por lo cual:

$$f'_{cr} = f'_c + 85 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 295 \text{ kg/cm}^2$$

- Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)

De acuerdo con la Granulometría de agregado grueso, tenemos:

$$TMN = 3/4''$$

- Selección del asentamiento

De acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 61: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipos de construcción	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados.	3''	1''
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura.	3''	1''
Vigas y muros reforzados.	4''	1''
Columnas de edificios.	4''	1''
Pavimentos y losas.	3''	1''
Concreto ciclópeo.	2''	1''

$$\text{Asentamiento} = 3'' \text{ a } 4''$$

- Selección el volumen unitario de agua de diseño

De acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 62: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire

Slump	Tamaño máximo del agregado							
	3/8''	1/2''	3/4''	1''	1 1/2''	2''	3''	4''
Concreto sin aire incorporado								



1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Para determinar el contenido de agua, en función del TMN del agregado grueso y el asentamiento.

TMN es 3/4" y asentamiento de 3" a 4", tenemos:

$$\text{Contenido de agua} = 205 \text{ lt/m}^3$$

5. Selección del contenido de aire atrapado

De acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 63: Contenido de aire atrapado

TMN Agregado grueso	Aire atrapado (%)
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5

Para determinar el contenido de aire atrapado se consideró el TMN del agregado grueso. Entonces:

El TMN de agregado grueso es 3/4". Por lo cual:

$$\text{Aire atrapado} = 2.0\%$$

6. Selección de la relación agua/cemento:

El cual se da por resistencia o por durabilidad, para la presente investigación corresponde por "resistencia".

De acuerdo con la siguiente tabla considerando que el concreto no presenta aire incorporado se obtuvo lo siguiente:



Tabla 64: Relación agua/cemento.

f'c (kg/cm2)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

$f'_{cr} = 295 \text{ kg/cm}^2$. Extrapolando tenemos:

$$250 \quad 0.62$$

$$295 \quad X$$

$$300 \quad 0.55$$

$$X = 0.62 + \frac{0.55 - 0.62}{300 - 250} * (295 - 250)$$

$$X = 0.557$$

7. Cálculo del contenido de cemento:

Determinamos dividiendo el contenido de agua, entre la relación a/c.

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Relación a/c (respecto a } f'_{cr})}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{205}{0.557}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 368.043 \text{ kg}$$

Entonces:

$$\text{Factor cemento} = \frac{368.043}{42.5}$$

$$\text{Factor cemento} = 8.660 \text{ bls}$$

8. De acuerdo a la siguiente tabla ubicamos el módulo de fineza del agregado fino que es 2.91 y con el TMN del agregado grueso (3/4").



Tabla 65: La relación entre el peso seco compactado y sin compactar será

Relación entre peso seco con y sin compactar del agregado grueso, por unidad de volumen del concreto.						
TMN Tamaño máximo nominal, agregado grueso		Módulo de fineza del agregado fino				
		2.4	2.6	2.8	3	Und.
3/8"	9.55 mm	0.5	0.48	0.46	0.44	m3
1/2"	12.5mm	0.59	0.57	0.55	0.53	m3
3/4"	19.00 mm	0.66	0.64	0.62	0.6	m3
1"	25.00 mm	0.71	0.69	0.67	0.65	m3
1 1/2"	37.50 mm	0.76	0.74	0.72	0.7	m3
2"	50.00 mm	0.78	0.76	0.74	0.72	m3
3"	75.00 mm	0.81	0.79	0.77	0.75	m3
6"	150.00 mm	0.87	0.85	0.83	0.81	m3

Si: Peso unitario del agregado grueso seco compactado es: 1483.49 kg/m³

$$2.80 \quad 0.62$$

$$2.91 \quad X$$

$$3.00 \quad 0.60$$

$$X = 0.62 + \frac{0.60 - 0.62}{3.00 - 2.80} * (2.91 - 2.80)$$

$$X = 0.609$$

La relación entre el peso seco compactado y sin compactar será:

$$\frac{b}{b_0} = 0.609 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, hallamos el peso del agregado grueso:

$$\text{Peso del agregado grueso} = \frac{b}{b_0} * PUC (\text{Agregado grueso})$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.609 \text{ kg} * 1483.39 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = 903.384 \text{ kg}$$



9. Calculo de la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino

Para ello debemos considerar la siguiente formula

$$Volumen (m3) = \frac{Peso}{Peso\ específico}$$

Tabla 66: Volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino

Material	Peso	Peso específico	Volumen (m3)
Cemento (kg)	368.043	2850.000	0.129
Agua (kg)	205.000	1000.000	0.205
Aire (kg)	2.000		0.020
Agregado grueso (kg)	903.384	2546.000	0.354
Total			0.708

10. Calculo de contenido de agregado fino

Se tomó en cuenta la siguiente formula:

$$Volumen\ de\ agregado\ fino\ (m3) = 1 - volumen\ absoluto(m3)$$

$$Volumen\ de\ agregado\ fino\ (m3) = 1 - 0.708$$

$$Volumen\ de\ agregado\ fino\ (m3) = 0.292\ m3$$

11. Calculo del peso en estado seco del agregado fino:

$$Peso\ seco\ del\ A.F.\ (m3)$$

$$= (Paso\ N^{\circ}10)(m3) * Peso\ específico\ aparente\ A.F.\ (kg/m3)$$

$$Peso\ seco\ del\ A.F.\ (m3) = 0.292\ m3 * 2803.00\ kg/m3$$

$$Peso\ seco\ del\ A.F.\ (m3) = 818.47\ kg$$

12. Presentación del diseño en estado seco

Tabla 67: Diseño de mezclas en estado seco

Material	Peso seco
Cemento (kg)	368.043
Agua (lt)	205.000
Aire (%)	2.000
Agregado grueso (kg)	903.384



Agregado fino (kg)	818.470
--------------------	---------

13. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados

- Peso de los agregados húmedos:

$$\begin{aligned} \text{Peso humedo Agregado (Grueso o fino)}(kg) \\ = \text{Peso (kg)} * \text{Contenido de humedad}(\%) \end{aligned}$$

$$\text{Peso humedo A. G. (kg)} = 903.384 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.02}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo A. G. (kg)} = 903.564 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ$$

$$\text{Peso humedo A. F. (kg)} = 818.470 \text{ kg} * \left(1 + \frac{1.64}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo A. F. (kg)} = 831.890 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ$$

- Humedad Superficial

$$H.S. (\%) = \text{Contenido de humedad(Agregados)}\% - \text{Absorción } \%$$

$$H.S. \text{ Agregado grueso} = 0.02\% - 0.54\%$$

$$H.S. \text{ Agregado agregado grueso} = -0.511\%$$

$$H.S. \text{ Agregado fino} = 1.640\% - 2.04\%$$

$$H.S. \text{ Agregado fino} = -0.400\%$$

- Aporte de humedad de los agregados

$$\text{Aporte de humendad en A. G.} = 903.384 * (-0.511)\%$$

$$\text{Aporte de humendad en A. G.} = -4.616 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Aporte de humendad en A. F.} = 818.470 \text{ kg/m}^3 * -0.400\%$$

$$\text{Aporte de humendad en A. F.} = -3.273 \text{ l/m}^3$$

Por lo tanto, sumamos:

$$\begin{aligned} \text{Aporte de humedad de los agregados} = A.H. \text{ Agregado} + \\ \text{grueso} + A.H. \text{ Agregado fino} \end{aligned}$$

$$\text{Aporte de humedad de los agregados} = -4.616 \text{ l/m}^3 + (-3.273) \text{ l/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad de los agregados} = -7.889 \text{ l/m}^3$$

- Agua efectiva:

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ lt/m}^3 - (-7.889) \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 212.889 \text{ lt/m}^3$$



14. Presentación del diseño corregido por humedad

Tabla 68: Diseño de mezclas corregido

Material	Peso seco
Cemento (kg/m ³)	368.043
Agregado fino (kg/m ³)	831.890
Agregado grueso (kg/m ³)	903.564
Agua (lt/m ³)	212.889

15. Proporciones en peso para diseño de mezcla patrón

Tabla 69: Proporción en peso de diseño de mezcla

Material	Peso seco
Cemento (kg)	1.00
Agregado fino (kg)	2.26
Agregado grueso (kg)	2.45
Agua (lt)	24.58

16. Proporción por tanda o bolsa de cemento

Tabla 70: Proporción de diseño de mezclas por bolsa de cemento

Material	Peso seco
Cemento (kg/bolsa)	42.50
Agregado fino (kg/bolsa)	96.05
Agregado grueso (kg/bolsa)	104.13
Agua (lt/bolsa)	24.58

3.6.3.3 Análisis de muestra

Con los datos de las características de los agregados, agua y cemento se realizó el diseño de mezcla con una relación de agua-cemento 0.557, donde se obtuvo un resultado final del diseño, además, se puede notar el déficit de agua efectiva por lo cual se debe aumentar hasta 212.889 litros/m³.



Este requerimiento se basó en la cantidad de briquetas, el total de las briquetas son 63 de los cuales se subdividen en 3 grupos, diferenciándose en el tipo de agua empleada.

3.6.4 Ensayo de consistencia

3.6.4.1 Procesamiento

Para obtener el asentamiento o SLUMP, simplemente se realiza el promedio aritmético de las mediciones realizadas en las mediciones.

$$\text{Asentamiento promedio (zona de procedencia)} = \frac{\text{Medición 01} + \text{Medición 02} + \text{Medición 03}}{3}$$

3.6.4.2 Diagramas y tablas

Para obtener el asentamiento se realizaron 3 mediciones en el ensayo de consistencia.

Tabla 71: SLUMP para el concreto de Quillabamba

Ensayo de consistencia en concreto de Quillabamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.70	7.80 cm
Medición 02	cm.	7.64	
Medición 03	cm.	8.08	

Tabla 72: SLUMP para el concreto de Ajuajuyoc

Ensayo de consistencia en concreto de Ajuajuyoc			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.65	7.92 cm
Medición 02	cm.	8.50	
Medición 03	cm.	7.62	

Tabla 73: SLUMP para el concreto de Pintobamba

Ensayo de consistencia en concreto de Pintobamba			
Descripción	Und.	Asentamiento	Promedio
Medición 01	cm.	7.67	7.79 cm
Medición 02	cm.	7.63	
Medición 03	cm.	8.07	



3.6.4.3 Diagramas y tablas

Para el concreto de Quillabamba se obtuvo un asentamiento de 7.80 cm., para el concreto de Ajuajuyoc un asentamiento de 7.92 cm. y para el concreto de Pintobamba se obtuvo un asentamiento de 7.79 cm. Si sabemos que el diseño de mezcla se realizó para un slump de 3” a 4”, los resultados se encuentran dentro lo establecido.

3.6.5 Ensayo de resistencia a la compresión de concreto carbonatado

3.6.5.1 Procesamiento

Para obtener la resistencia a la compresión de las briquetas de concreto se utilizan las siguientes formulas:

$$\text{Diámetro promedio} = \frac{D1 + D2 + D3 + D4}{4}$$

$$f'c = \frac{G}{\text{Área de la sección}}$$

$$f'c (\text{promedio}) = \frac{\sum_{i=1}^n a_1}{\text{Área de la sección}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'c_i - f'c (\text{promedio}))^2}{n - 1}}$$

3.6.5.2 Diagramas y tablas

Tabla 74: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 7 días

Item	Diámetro		Diám prom (cm)	Área		Área prom (cm ²)	G (kN)	f (kg- f/cm ²)	f'c prom (kg- f/cm ²)	σ
	Sup (cm)	Inf (cm)		Sup (cm ²)	Inf (cm ²)					
Q- R-1	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	157.42	16052.37	199.96	16.518
Q- R-2	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	184.7	18834.15	233.00	



Q-R-3	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	171.06	17443.26	216.38	
A-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	139.48	14223	174.75	9.9367
A-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	156.32	15940.2	194.50	
A-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	147.9	15081.6	182.77	
P-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	82.6	8422.854	103.48	14.568
P-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	106.56	10866.09	132.59	
P-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	94.58	9644.474	116.88	

Tabla 75: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 14 días

Item	Diámetro		Diám prom (cm)	Área		Área prom (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)	f'c prom (kg-f/cm ²)	σ
	Sup (cm)	Inf (cm)		Sup (cm ²)	Inf (cm ²)					
Q-R-4	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	165.64	16890.58	210.40	32.364
Q-R-5	10.09	10.15	10.12	80.44	80.44	80.44	209.02	21314.1	264.98	
Q-R-6	10.10	10.13	10.11	80.32	80.32	80.32	163.48	16670.32	207.56	
A-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	136.86	13955.83	171.46	15.036
A-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	142.82	14563.58	177.71	
A-R-6	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	120.66	12303.89	149.11	
P-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	98.48	10042.16	123.38	12.921
P-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	79.68	8125.097	99.14	
P-R-6	10.19	10.27	10.23	82.19	82.19	82.19	95.94	9783.155	119.02	



Tabla 76: Resistencia a la compresión de concreto carbonatado por un periodo de 28 días

Item	Diámetro		Diám prom (cm)	Área		Área prom (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)	f'c prom (kg-f/cm ²)	σ
	Sup (cm)	Inf (cm)		Sup (cm ²)	Inf (cm ²)					
Q-R-7	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	215.48	21972.84	273.71	35.805
Q-R-8	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	177.96	18146.87	224.50	
Q-R-9	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	161.32	16450.06	204.06	
A-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	133.96	13660.12	167.83	1.2714
A-R-8	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	133.1	13572.42	165.61	
A-R-9	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	134.04	13668.27	165.64	
P-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	72.12	7354.192	90.35	25.417
P-R-8	10.12	10.17	10.15	80.83	80.83	80.83	83.1	8473.84	104.83	
P-R-9	10.15	10.27	10.21	81.87	81.87	81.87	112.24	11445.29	139.79	

Tabla 77: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada

Resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada (kg/cm ²)			
Periodo de exposición (días)	Agua de diseño		
	Quillabamba	Ajuajuyoc	Pintobamba
7	216.45	184.01	117.65
14	227.65	166.09	113.85
28	234.09	166.36	111.66

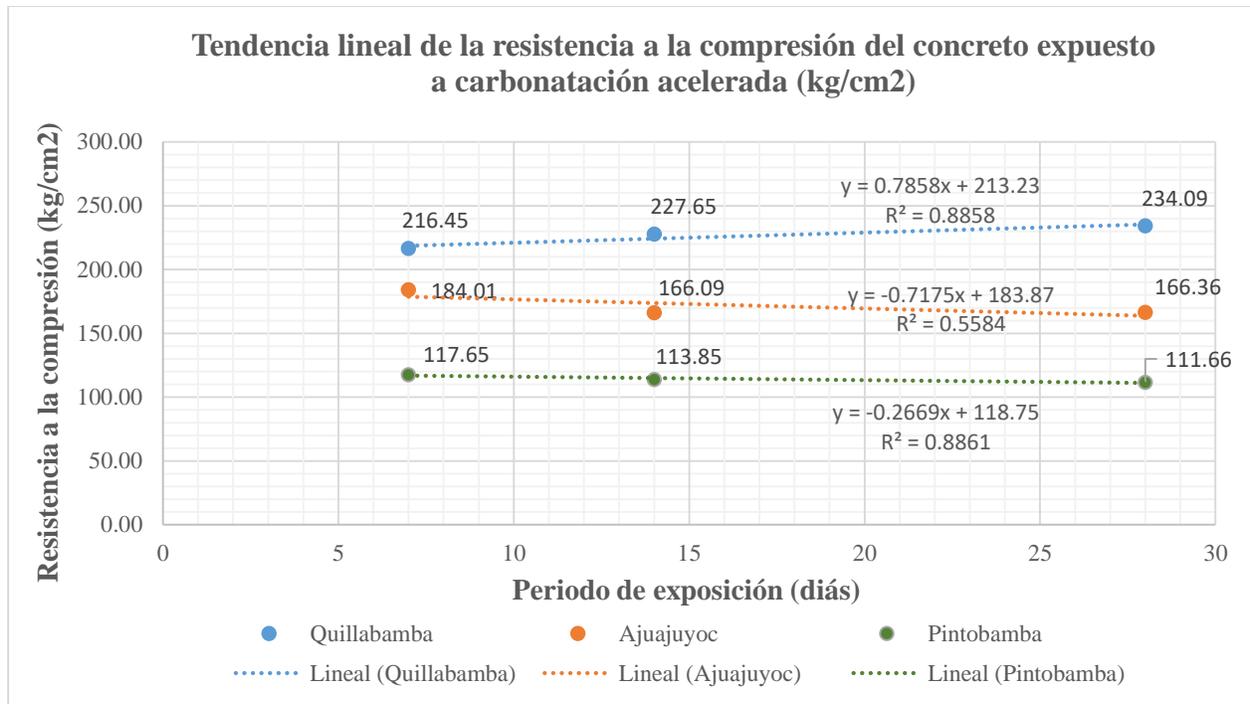


Figura 57: Tendencia lineal de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada

3.6.7 Ensayo de penetración de la carbonatación artificial

3.6.7.1 Procesamiento

Para obtener la penetración de la carbonatación artificial en las briquetas de concreto se utilizan las siguientes formulas.

$$Xc \text{ (promedio)} = \frac{\sum_{i=1}^n Xc_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xc_i - Xc \text{ (promedio)})^2}{n - 1}}$$

Conocida la carbonatación artificial (Xc) por cada periodo y por su agua de diseño, se realiza el análisis mediante la regresión logarítmica y potencial.

3.6.7.1.1 Distribución logarítmica

Para obtener la ecuación de la carbonatación artificial se utilizó la regresión logarítmica, para calcular los coeficientes de la ecuación se utiliza las siguientes formulas:



$$b = \frac{n * \Sigma(\text{Ln}(t) * X_c) - \Sigma(\text{Ln}(t)) * \Sigma X_c}{n * \Sigma(\text{Ln}(t))^2 - (\Sigma \text{Ln}(t))^2}$$

$$a = \frac{\Sigma X_c}{n} - \frac{b * \Sigma \text{Ln}(t)}{n}$$

La ecuación logarítmica de la carbonatación en función del tiempo (t) se presentaría de la siguiente forma:

$$X_c = b * \text{Ln}(t) + a$$

Conociendo la ecuación logarítmica de la carbonatación, reemplazamos en la ecuación original y despejamos el coeficiente de carbonatación artificial (K_c)

$$X_c = K_c * \sqrt{t}$$

$$K_c = \frac{b * \text{Ln}(t) + a}{\sqrt{t}}$$

3.6.7.1.2 Distribución potencial

Para obtener la ecuación de la carbonatación artificial también se utilizó la regresión potencial, para calcular los coeficientes de la ecuación se utiliza las siguientes formulas:

$$B = \frac{n * \Sigma(\text{Log}(t) * \text{Log}(X_c)) - \Sigma \text{Log}(t) * \Sigma \text{Log}(X_c)}{n * \Sigma(\text{Log}(t))^2 - (\Sigma \text{Log}(t))^2}$$

$$A = 10^{\frac{\Sigma \text{Log}(X_c) - B * \Sigma \text{Log}(t)}{n}}$$

La ecuación potencial de la carbonatación artificial (X_c) en función del tiempo (t) se presentaría de la siguiente forma:

$$X_c = A * t^B$$

Conociendo la ecuación potencial de la carbonatación, reemplazamos en la ecuación original y despejamos el coeficiente de carbonatación artificial (K_c)

$$X_c = K_c * \sqrt{t}$$

$$K_c = \frac{A * t^B}{\sqrt{t}}$$



3.6.7.2 Diagramas y tablas

Tabla 78: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 7 días

Item	Diám sup (cm)	Profundidad de carbonatación								Min.	Máx.	Xc prom (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	5.3	6.2	6.8	8	5.2	4.9	7.2	8.8	4.9	8.8	6.54	1.15
	2/3	5.8	6.5	7.4	6.6	5.1	6.9	6.1	8.0	5.05	8		
P-C-2	1/3	2.9	3	6.4	8	6.6	5.9	5.9	6.35	2.9	8	5.73	1.56
	2/3	3.0	4.7	7.2	7.3	6.3	6.1	5.9	6.1	2.95	7.3		
P-C-3	1/3	6.1	6.7	7.8	6.3	6.6	7.8	7.1	4.5	4.5	7.8	6.67	0.83
	2/3	6.4	7.3	7.1	6.5	7.2	6.2	7.5	5.8	5.8	7.45		
P-C-4	1/3	4.8	5.3	7.0	7.4	6.1	6.2	6.7	6.6	4.8	7.4	6.31	0.74
	2/3	5.0	6.2	7.2	6.8	6.2	6.4	6.5	6.6	5.0	7.2		
A-C-1	1/3	4.4	3.2	0.1	3.3	1.5	2.6	1.9	1.9	0.1	4.4	2.31	1.01
	2/3	3.8	1.7	1.7	2.4	2.1	2.3	2.3	1.9	1.7	3.8		
A-C-2	1/3	4	3.4	6	5.4	5.1	4	3.4	4.4	3.4	6.0	4.46	0.82
	2/3	3.7	4.7	5.7	5.3	4.6	4.2	3.7	3.9	3.7	5.7		
A-C-3	1/3	4.2	9.1	6.7	3.6	5.6	5.6	5.7	5	3.6	9.1	5.73	1.35
	2/3	6.7	7.9	5.2	4.6	5.6	5.3	5.7	5.4	4.6	7.9		
A-C-4	1/3	4.3	5.2	4.3	4.1	4.1	4.1	3.7	3.8	3.7	5.2	4.18	0.42
	2/3	4.8	4.8	4.2	4.1	4.1	3.9	3.9	3.7	3.7	4.8		
Q-C-1	1/3	3.0	3.0	3.7	4.1	4.4	4.0	1.9	0.1	0.1	4.4	3.06	1.24
	2/3	3.0	3.4	3.9	4.3	4.2	2.0	3.0	1.0	1.0	4.3		
Q-C-2	1/3	4.3	3.6	3.0	1.8	3.4	5.9	7.2	4.4	1.8	7.2	4.23	1.53
	2/3	3.9	3.3	2.4	2.6	4.6	5.1	6.5	5.8	2.4	6.5		
Q-C-3	1/3	1.6	0.0	1.0	5.0	2.6	0.1	2.0	1.0	0.0	5.0	1.61	1.38
	2/3	0.8	0.5	3.0	3.8	1.3	0.5	1.0	1.5	0.5	3.8		
Q-C-4	1/3	5.9	0.0	0.0	1.0	0.0	3.0	5.3	1.0	0.0	5.9	1.93	1.94
	2/3	3.0	0.0	0.5	0.5	1.5	2.0	4.2	3.2	0.0	4.2		



Tabla 79: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 14 días

Item	Diám sup (cm)	Profundidad de carbonatación								Min.	Máx.	Xc prom (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	5	4.2	4.2	5.5	6.1	8.1	4.9	6.1	4.2	8.1	5.61	1.17
	2/3	4.6	4.2	4.9	5.8	7.1	7.1	6.5	5.5	4.2	7.1		
P-C-2	1/3	7.1	9.1	8.3	8.3	8.5	6.6	6	7.7	6	9.1	7.68	0.92
	2/3	8.1	8.7	8.3	8.4	7.6	7.2	6.3	6.9	6.3	8.7		
P-C-3	1/3	7.1	6	7	6.4	5	7.1	6.6	7.3	5	7.3	6.56	0.62
	2/3	6.6	6.5	6.7	5.7	6.1	7.2	6.9	7.0	5.7	7.2		
P-C-4	1/3	6.1	6.7	5.4	6.5	8.5	6.3	9.8	8.9	5.4	9.8	7.28	1.33
	2/3	6.4	6.1	6.0	7.5	7.4	7.6	8.1	9.4	6.0	9.4		
A-C-1	1/3	1.8	5.4	3.5	2.6	7.2	4.2	9.3	4.1	1.8	9.3	4.84	1.93
	2/3	3.6	4.5	3.1	4.9	5.7	4.2	6.8	6.7	3.1	6.8		
A-C-2	1/3	7.8	7.7	5.9	6.2	3.4	5.6	1.2	4.1	1.2	7.8	5.17	1.92
	2/3	7.8	6.8	6.1	4.8	4.5	4.9	3.4	2.7	2.7	7.8		
A-C-3	1/3	6.6	5.5	5.7	6.4	4.6	7	5.8	9.5	4.6	9.5	6.40	1.21
	2/3	6.1	5.6	6.1	5.5	5.8	8.3	6.4	7.7	5.5	8.3		
A-C-4	1/3	7.1	7.2	5.7	9.4	10.2	8.0	7.4	7.8	5.7	10.2	7.88	1.20
	2/3	7.2	6.5	7.6	9.8	9.1	7.9	7.7	7.6	6.5	9.8		
Q-C-1	1/3	1.6	1.3	3.0	3.1	2.4	3.2	3.0	1.8	1.3	3.2	2.48	0.64
	2/3	1.5	2.2	3.1	2.8	2.8	2.5	3.1	2.4	1.5	3.1		
Q-C-2	1/3	2.3	3.7	3.8	4.5	5.3	6.4	5.6	3.3	2.3	6.4	4.35	1.29
	2/3	2.3	3.6	3.7	4.8	5.2	6.2	5.6	3.3	2.3	6.2		
Q-C-3	1/3	4.8	4.0	4.0	5.4	2.1	4.4	3.0	2.4	2.1	5.4	3.75	0.91
	2/3	4.4	4.0	4.7	3.8	3.3	3.4	3.7	2.7	2.7	4.7		
Q-C-4	1/3	5.3	1.4	1.0	2.3	3.9	1.1	2.2	1.8	1.0	5.3	2.24	1.17
	2/3	3.4	1.2	1.7	3.1	2.5	1.5	1.7	2.0	1.2	3.4		



Tabla 80: Penetración de la carbonatación artificial por un periodo de exposición de 28 días

Item	Diám sup (cm)	Profundidad de carbonatación								Mín.	Máx.	Xc prom (mm)	σ
		Angulo al eje de carbonatación											
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°				
P-C-1	1/3	10.9	11.3	8.7	5.9	6.7	7.5	6.1	5.4	5.4	11.3	7.71	2.03
	2/3	11.1	10.0	7.3	6.3	7.1	6.5	6.8	5.8	5.75	11.1		
P-C-2	1/3	8.0	10.0	10.8	7.5	9.9	10.3	8.4	9.5	7.5	10.8	9.37	0.92
	2/3	9.0	10.4	9.2	8.7	10.1	9.9	9.4	9.0	8.7	10.4		
P-C-3	1/3	9.6	10.3	10.6	10.5	9.6	9.9	12.4	11	9.6	12.4	10.50	0.77
	2/3	10.0	10.5	10.6	10.1	9.8	10.5	11.2	11.7	9.75	11.7		
P-C-4	1/3	6.6	6.2	10.5	5.6	9.1	7.7	6.7	8.4	5.6	10.5	7.63	1.22
	2/3	6.4	8.4	8.1	7.4	8.4	8.1	7.2	7.6	6.4	8.4		
A-C-1	1/3	11.6	13.3	8.7	8.1	9.1	13.6	9.2	8.2	8.1	13.6	10.29	1.88
	2/3	12.5	11.0	8.4	8.6	11.4	10.9	11.4	8.7	8.4	12.5		
A-C-2	1/3	7	7.2	8.2	6.9	3.3	6.7	4.5	8.6	3.3	8.6	6.54	1.45
	2/3	7.1	7.7	7.6	5.1	5.0	7.7	5.6	6.6	5.0	7.7		
A-C-3	1/3	7.7	4.7	9.3	11	11.2	13.3	7.2	6.1	4.7	13.3	8.99	2.52
	2/3	6.2	7.0	10.2	11.1	12.3	9.7	10.3	6.7	6.2	12.3		
A-C-4	1/3	6.5	8.1	6.9	7.6	8.3	8.0	5.3	10.8	5.3	10.8	7.73	1.23
	2/3	7.3	7.5	7.3	8.0	8.2	9.4	6.7	8.1	6.7	9.4		
Q-C-1	1/3	5.6	8.0	8.1	3.3	4.9	3.6	3.2	7.0	3.2	8.1	5.40	1.74
	2/3	6.8	8.1	5.7	4.1	4.3	5.3	3.4	5.1	3.4	8.1		
Q-C-2	1/3	1.0	4.9	1.1	4.0	4.4	4.9	3.6	3.2	1.0	4.9	3.51	1.19
	2/3	3.0	3.0	2.6	4.2	4.7	4.1	4.3	3.4	2.6	4.7		
Q-C-3	1/3	6.5	5.7	4.1	2.9	4.6	0.1	2.4	5.0	0.1	6.5	3.71	1.75
	2/3	6.1	4.9	3.5	3.8	2.4	2.6	1.3	3.7	1.3	6.1		
Q-C-4	1/3	8.8	5.1	5.9	6.4	5.4	4.7	4.7	6.6	4.7	8.8	5.82	1.05
	2/3	7.0	5.5	6.2	5.9	5.1	5.7	4.7	5.7	4.7	7.0		



3.6.7.2.1 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Quillabamba

Tabla 81: Agua de diseño “Quillabamba” y concentración de CO2

Agua de diseño "Quillabamba"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	2.71
14	0.038	3.20
28	0.077	4.61

Concentración de CO2	4%
----------------------	----

A. Distribución logarítmica

Tabla 82: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”

Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"				
t años	Xc (mm)	Ln(t)	Ln(t)*Xc	(Ln(t))^2
0.019	2.71	-3.95	-10.71	15.63
0.038	3.20	-3.26	-10.45	10.63
0.077	4.61	-2.57	-11.84	6.59
Σ	10.52	-9.78	-33.00	32.86

n	3
b	1.3722
a	7.9826



Se presenta en la ecuación logarítmica de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: “Xc” es la carbonatación artificial en milímetros y “t” es el tiempo en años.

$$Xc = 1.3722Ln(t) + 7.9826$$

Se muestra la tendencia de la carbonatación artificial, generada a partir de los datos recolectados en el ensayo que se presentan en la Tabla 81.

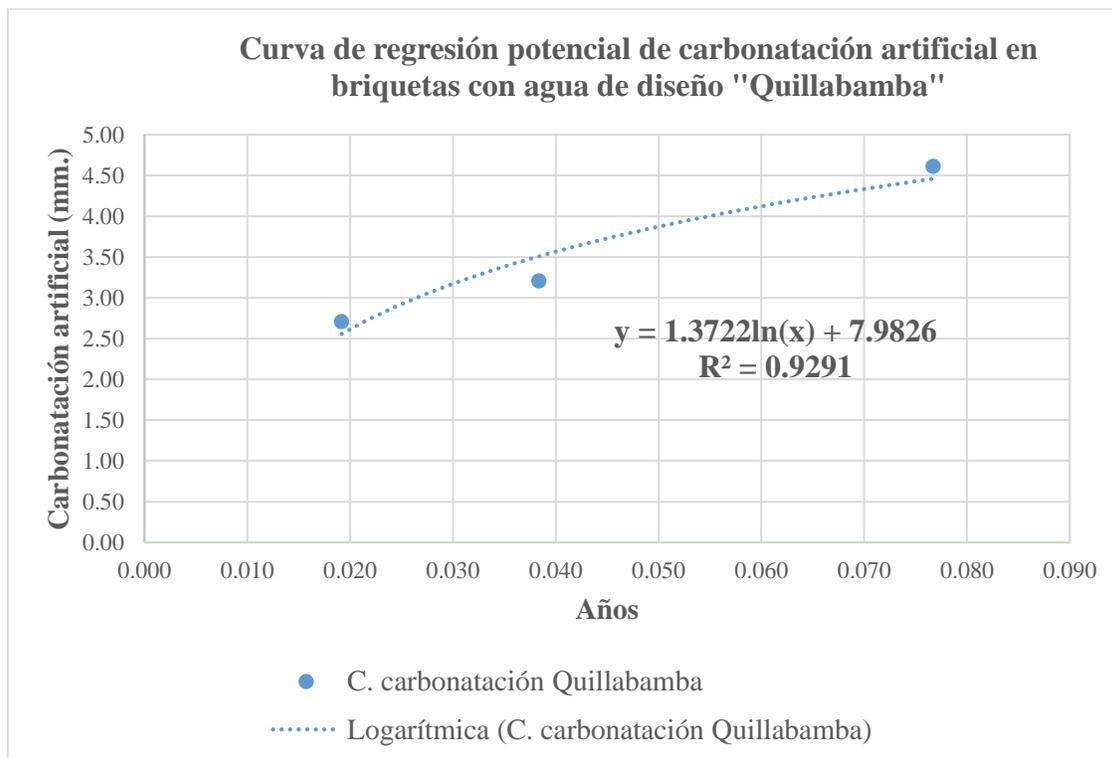


Figura 58: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Quillabamba”



B. Distribución potencial

Tabla 83: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"

Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"					
t años	Xc (mm)	Log(t)	Log(Xc)	Log(t)*Log(Xc)	(Log(t))^2
0.019	2.71	-1.72	0.43	-0.74	2.95
0.038	3.20	-1.42	0.51	-0.72	2.01
0.077	4.61	-1.12	0.66	-0.74	1.24
Σ	10.52	-4.25	1.60	-2.20	6.20

n	3
B	0.3837
A	11.9550

Se presenta en la ecuación potencial de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: "Xc" es la carbonatación artificial en milímetros y "t" es el tiempo en años.

$$Xc = 11.955 * t^{0.3837}$$

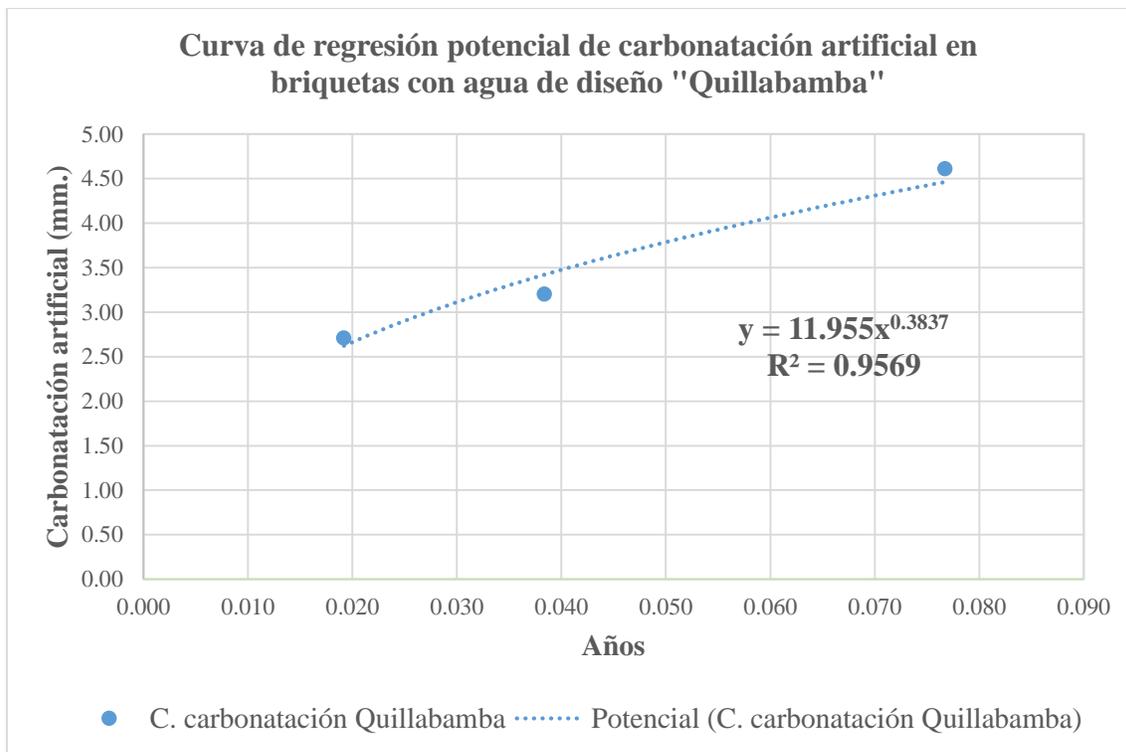


Figura 59: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"

3.6.7.2.2 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Ajuajuyoc

Tabla 84: Agua de diseño "Ajuajuyoc" y concentración de CO2

Agua de diseño "Ajuajuyoc"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	4.17
14	0.038	6.07
28	0.077	8.39

Concentración de CO2	4%
----------------------	----



A. Distribución logarítmica

Tabla 85: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"				
t años	Xc (mm)	Ln(t)	Ln(t)*Xc	(Ln(t))^2
0.019	4.17	-3.95	-16.48	15.63
0.038	6.07	-3.26	-19.80	10.63
0.077	8.39	-2.57	-21.54	6.59
Σ	18.63	-9.78	-57.82	32.86

n	3
b	0.0810
a	6.4732

Se presenta en la ecuación logarítmica de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: “Xc” es la carbonatación artificial en milímetros y “t” es el tiempo en años.

$$Xc = 3.043Ln(t) + 16.1319$$

Se muestra la tendencia de la carbonatación artificial, generada a partir de los datos recolectados en el ensayo que se presentan en la Tabla 84.

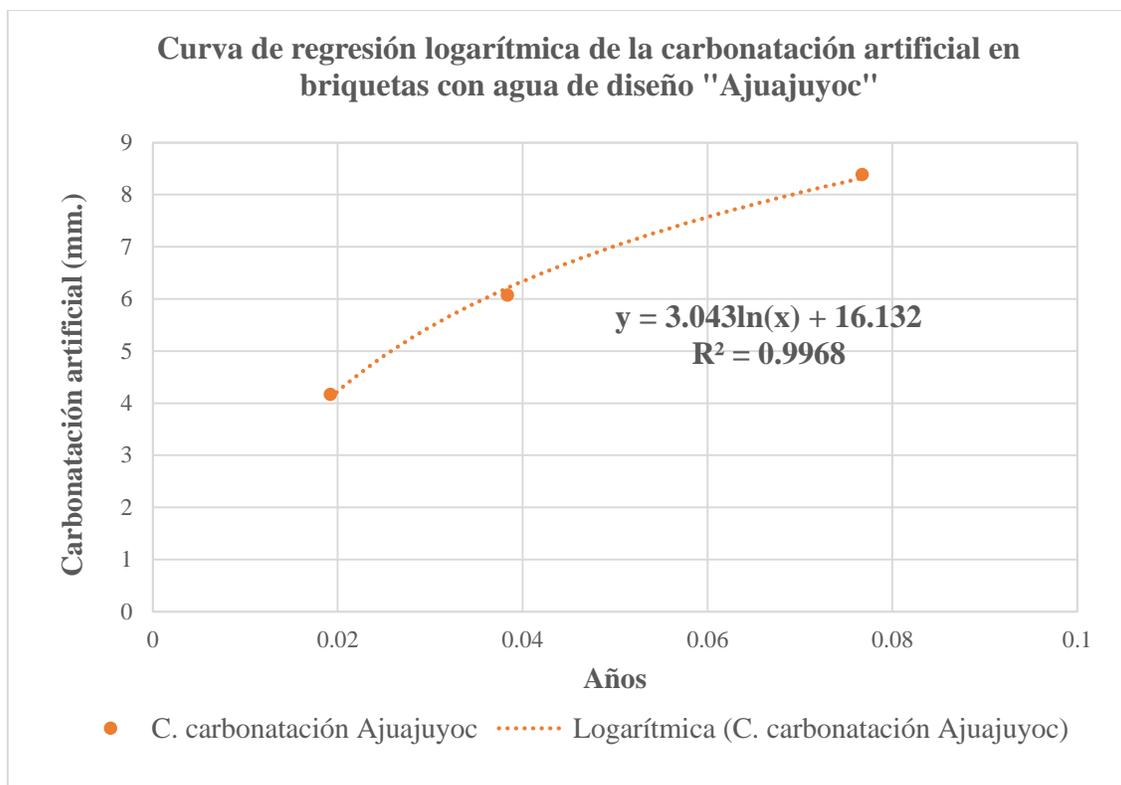


Figura 60: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"

B. Distribución potencial

Tabla 86: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"

Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"					
t años	Xc (mm)	Log(t)	Log(Xc)	Log(t)*Log(Xc)	(Log(t))^2
0.019	4.17	-1.72	0.62	-1.06	2.95
0.038	6.07	-1.42	0.78	-1.11	2.01
0.077	8.39	-1.12	0.92	-1.03	1.24
Σ	18.63	-4.25	2.33	-3.20	6.20



n	3
B	0.0120
A	6.2036

Se presenta en la ecuación potencial de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: “Xc” es la carbonatación artificial en milímetros y “t” es el tiempo en años.

$$Xc = 30.887 * t^{0.5043}$$

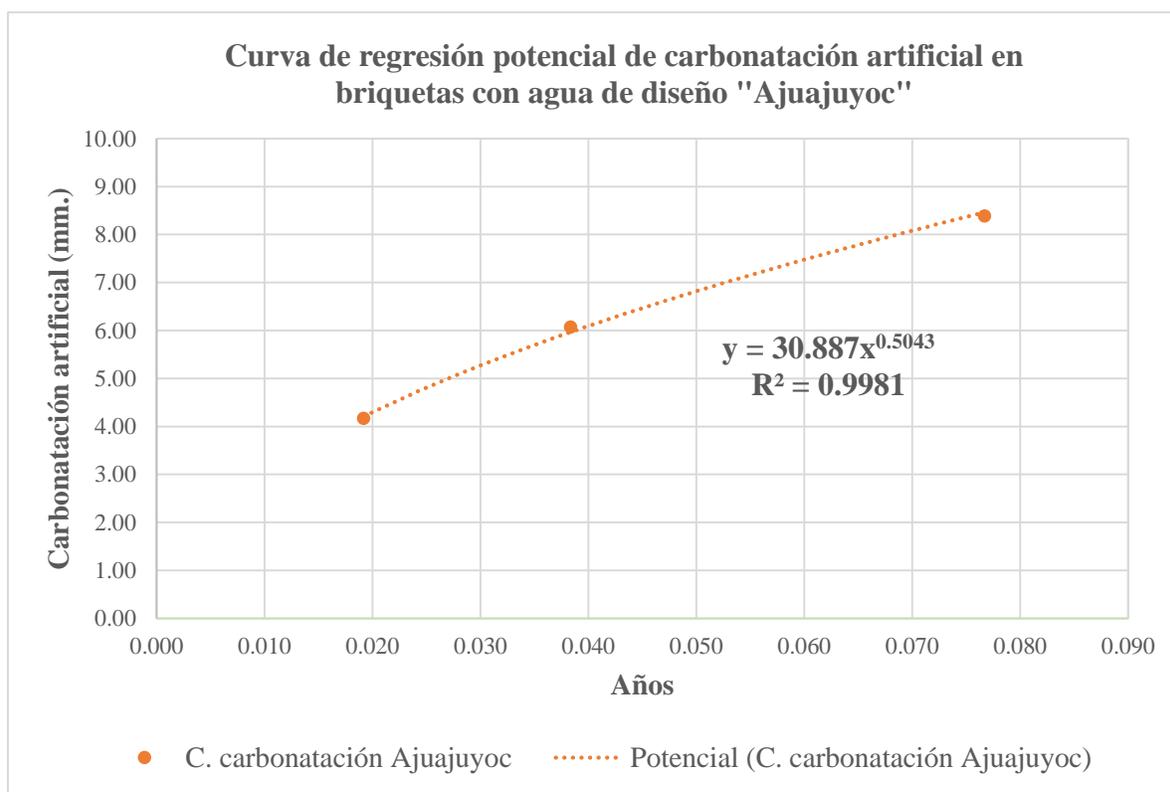


Figura 61: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Fuente: Propia



3.6.7.2.3 Análisis de carbonatación artificial con agua de diseño de Pintobamba

Tabla 87: Agua de diseño "Pintobamba" y concentración de CO2

Agua de diseño "Pintobamba"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	6.31
14	0.038	6.78
28	0.077	8.80

Concentración de CO2	4%
----------------------	----

A. Distribución logarítmica

Tabla 88: Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"

Regresión logarítmica de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"				
t años	Xc (mm)	Ln(t)	Ln(t)*Xc	(Ln(t))^2
0.019	6.31	-3.95	-24.95	15.63
0.038	6.78	-3.26	-22.12	10.63
0.077	8.80	-2.57	-22.60	6.59
Σ	21.90	-9.78	-69.67	32.86

n	3
b	0.0478
a	7.4547



Se presenta en la ecuación logarítmica de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: “ X_c ” es la carbonatación artificial en milímetros y “ t ” es el tiempo en años.

$$X_c = 1.7983Ln(t) + 13.1627$$

Se muestra la tendencia de la carbonatación artificial, generada a partir de los datos recolectados en el ensayo que se presentan en la Tabla 87.

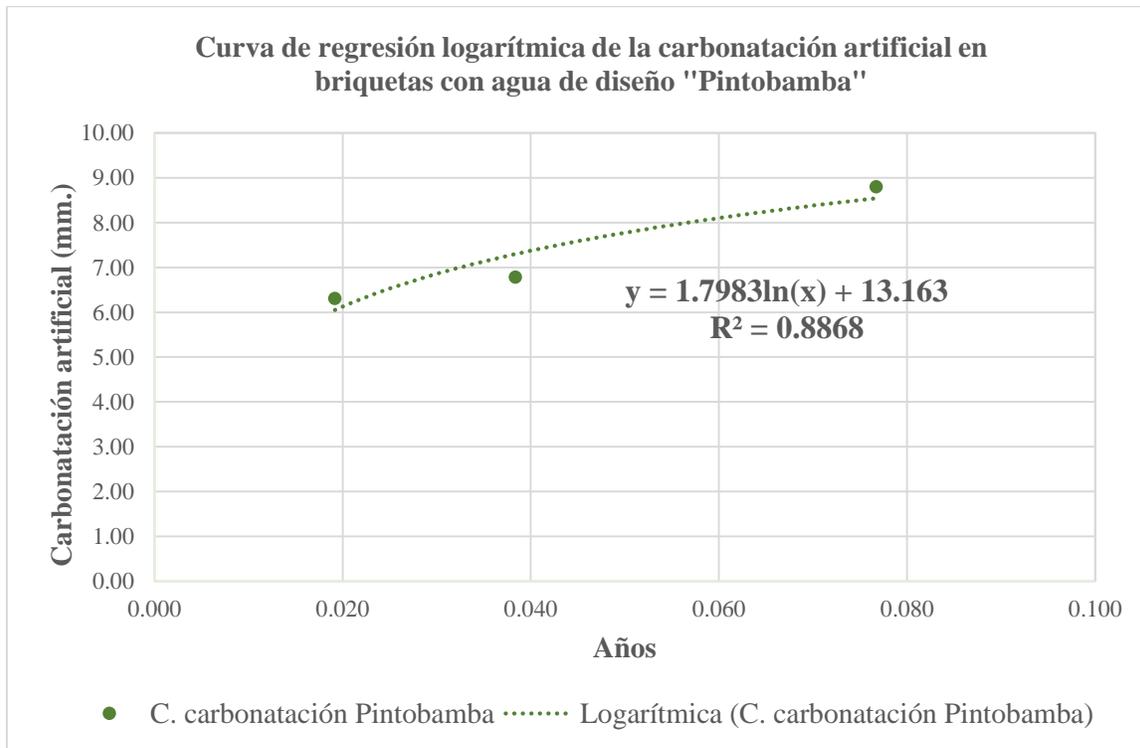


Figura 62: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño “Pintobamba”



B. Distribución potencial

Tabla 89: Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"

Regresión potencial de carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"					
t años	Xc (mm)	Log(t)	Log(Xc)	Log(t)*Log(Xc)	(Log(t))^2
0.019	6.31	-1.72	0.80	-1.37	2.95
0.038	6.78	-1.42	0.83	-1.18	2.01
0.077	8.80	-1.12	0.94	-1.05	1.24
Σ	21.90	-4.25	2.58	-3.60	6.20

n	3
B	0.0057
A	7.3586

Se presenta en la ecuación potencial de la carbonatación artificial del concreto con agua de diseño de Quillabamba, donde: "Xc" es la carbonatación artificial en milímetros y "t" es el tiempo en años.

$$Xc = 7.3586 * t^{0.0057}$$

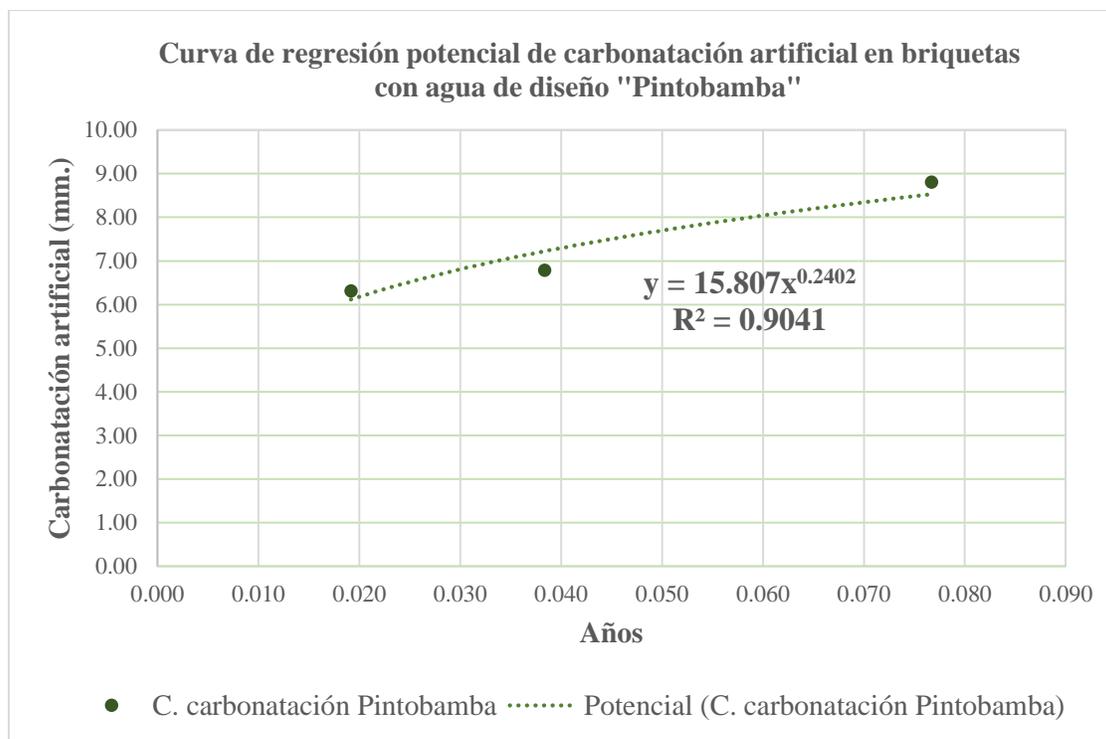


Figura 63: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"

3.6.7.3 Análisis de la prueba

Para obtener la ecuación de la carbonatación artificial se realizó el análisis mediante una regresión logarítmica y potencial para los tres tipos de agua de diseño.

El coeficiente de correlación para la regresión logarítmica del concreto elaborado con agua de Quillabamba 0.92 y para la regresión potencial resultado 0.95, valores muy próximos a 1, podemos decir que las ecuaciones son útiles para generar pronósticos.

El coeficiente de correlación para la regresión logarítmica del concreto elaborado con agua de Ajuajuyoc 0.99 y para la regresión potencial resultado 0.99, valores muy próximos a 1, podemos decir que las ecuaciones son útiles para generar pronósticos.

El coeficiente de correlación para la regresión logarítmica del concreto elaborado con agua de Pintobamba 0.88 y para la regresión potencial resultado 0.90, valores muy próximos a 1, podemos decir que las ecuaciones son útiles para generar pronósticos.



Si comparamos los resultados de la carbonación artificial generados de las ecuaciones presentadas, para tiempos cortos los valores se asemejan mucho, sin embargo, para tiempos largos los resultados se alejan; con la ecuación potencial se tiene un crecimiento continuo y con la ecuación logarítmica el crecimiento tiende a disminuir rápidamente y llegar a ser casi cero.

3.6.8 Determinación de la velocidad de carbonatación acelerada

3.6.8.1 Procesamiento

Para obtener la velocidad de carbonatación empleamos las siguientes formulas:

A. Distribución logarítmica:

$$Kc = \frac{b * Ln(t) + a}{\sqrt{t}}$$

B. Distribución potencial:

$$Kc = \frac{A * t^B}{\sqrt{t}}$$

Donde Kc representa el coeficiente de carbonatación y por tanto la velocidad de penetración (mm/año).

3.6.8.2 Diagramas y tablas

3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Quillabamba”

A. Distribución logarítmica

Tabla 90: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Quillabamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Quillabamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	2.71	18.46
14	0.038	3.20	17.91
28	0.077	4.61	16.10



B. Distribución potencial

Tabla 91: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Quillabamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Quillabamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	2.71	18.93
14	0.038	3.20	17.47
28	0.077	4.61	16.11

3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Ajuajuyoc”

A. Distribución logarítmica

Tabla 92: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Ajuajuyoc"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	4.17	44.43
14	0.038	6.07	31.70
28	0.077	8.39	26.47

B. Distribución potencial

Tabla 93: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Ajuajuyoc"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	4.17	42.72



14	0.038	6.07	30.46
28	0.077	8.39	26.18

3.6.8.2.1 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Pintobamba”

A. Distribución logarítmica

Tabla 94: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Pintobamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Pintobamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	6.31	52.46
14	0.038	6.78	37.27
28	0.077	8.80	26.47

B. Distribución potencial

Tabla 95: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Pintobamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Pintobamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	6.31	51.95
14	0.038	6.78	36.88
28	0.077	8.80	26.18



Capítulo IV: Resultados

4.1 Resistencia a la compresión del concreto carbonatado con diferentes aguas de diseño

En la siguiente tabla se presenta los valores de la resistencia a la compresión promedio del concreto carbonatado aceleradamente con agua de diseño de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba; y su respectivo tiempo de exposición a carbonatación acelerada.

Tabla 96: Resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada

Resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada (kg/cm²)			
Periodo de exposición (días)	Agua de diseño		
	Quillabamba	Ajuajuyoc	Pintobamba
7	216.45	184.01	117.65
14	227.65	166.09	113.85
28	234.09	166.36	111.66

En la tabla 96 se presenta la tendencia de la resistencia a la compresión promedio del concreto carbonatado aceleradamente con agua de diseño de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba; y su respectivo tiempo de exposición a carbonatación acelerada.

Además, se observa un aumento en la resistencia a la compresión del concreto fabricado con agua de Quillabamba y una disminución de los concretos de Ajuajuyoc y Pintobamba.

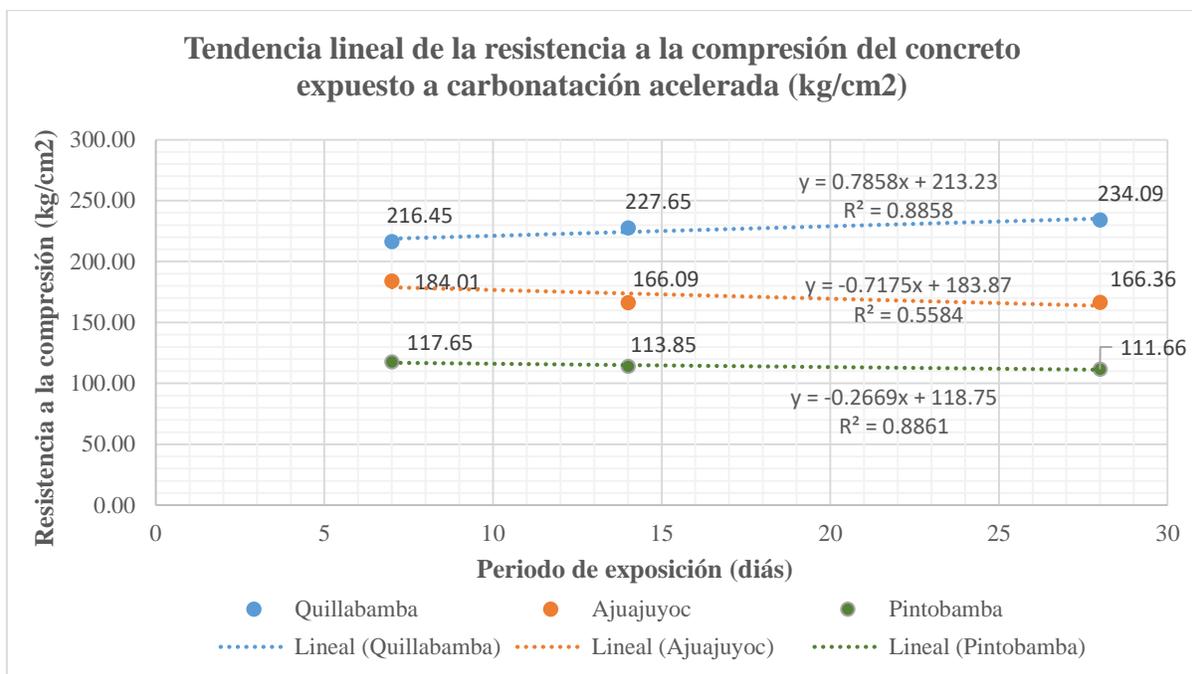


Figura 64: Evolución de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada

En la figura 65, se observa la evolución de la resistencia a la compresión de los concretos de Quillabamba Ajuajuyoc y Pintobamba evaluados en 3 periodos diferentes (7, 14 y 28 días), además se muestran las ecuaciones de la recta correspondiente para cada sector; indicando una pendiente positiva para el concreto de Quillabamba (0.7858) y negativa para los concretos de Ajuajuyoc (-0.7175) y Pintobamba (-0.2669).

El coeficiente de determinación (R²) nos indica que para el caso de los sectores de Quillabamba (88.58%) y Pintobamba (88.61%) son valores fiables debido a su cercanía al 100 %; en el caso de Ajuajuyoc (55.84 %) representa en disminución de la fiabilidad de datos, debido a que se observa una disminución de la resistencia a la compresión en el día 7 (184.01 kg/cm²) al día 14 (166.09kg/cm²), sin embargo, en el día 28 (166.36 kg/cm²) se observó un ligero incremento de la resistencia a la compresión.

4.2 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Quillabamba

En la siguiente tabla se muestra los valores promedio de la carbonatación artificial (X_c) del concreto con agua diseño procedente de Quillabamba y su respectivo tiempo de exposición.



Tabla 97: Agua de diseño “Quillabamba”

Agua de diseño "Quillabamba"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	2.71
14	0.038	3.20
28	0.077	4.61

En la tabla 97, se observó que el avance de profundidad de carbonatación aumenta significativamente en los primeros 7 días (0.019 años) de exposición (2.71 mm.), en el segundo periodo de prueba del día 14 (0.038 años) se cuenta con un incremento de 0.49 mm. (3.20 mm.), sin embargo, en el día 28 aumenta la profundidad de carbonatación a 1.41mm. (4.61 mm.).



A. Distribución logarítmica

$$X_c = 1.3722\ln(t) + 7.9826$$

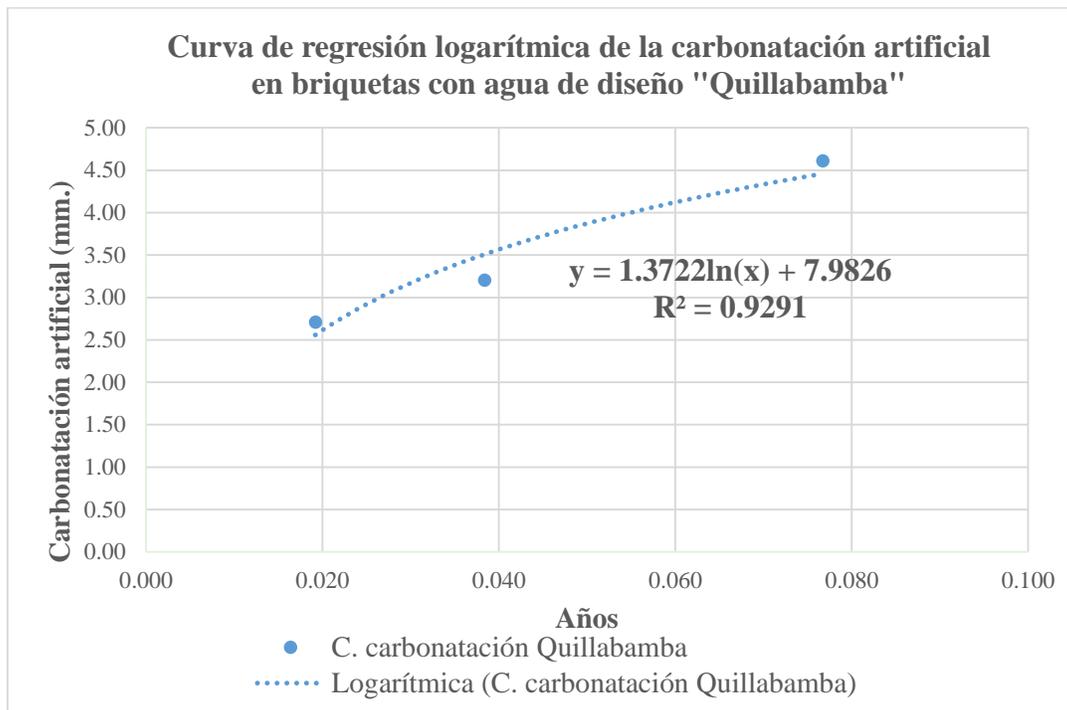


Figura 65: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"

En la figura 67, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de logarítmica que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $1.3722\ln(t)$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Quillabamba, dio un valor de 92.91%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión logarítmica en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

B. Distribución potencial

$$X_c = 11.955 * t^{0.3837}$$

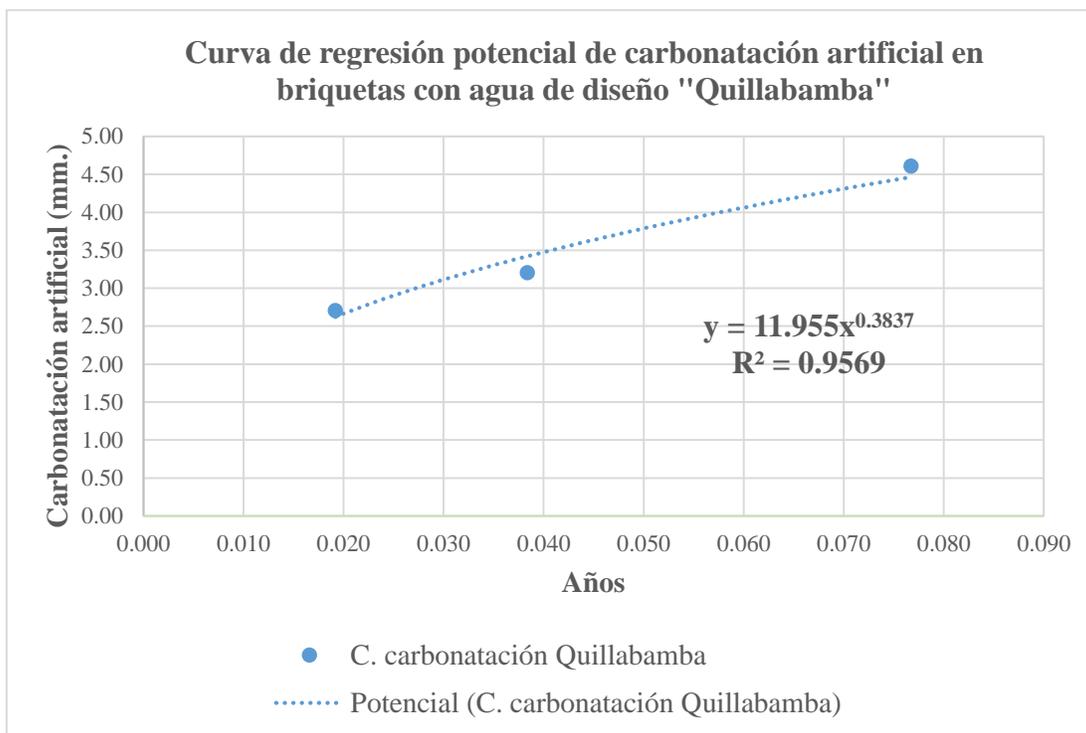


Figura 66: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Quillabamba"

En la figura 68, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $x^{0.3837}$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Quillabamba, dio un valor de 95.69%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

4.3 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Ajuajuyoc

En la siguiente tabla se muestra los valores promedio de la carbonatación artificial (X_c) del concreto con agua diseño procedente de Ajuajuyoc y su respectivo tiempo de exposición.



Tabla 98: Agua de diseño "Ajuajuyoc"

Agua de diseño "Ajuajuyoc"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	4.17
14	0.038	6.07
28	0.077	8.39

En la tabla 98, se observó que el avance de profundidad de carbonatación aumenta significativamente en los primeros 7 días (0.019 años) de exposición (4.17 mm.), en el segundo periodo de prueba del día 14 (0.038 años) se cuenta con un incremento de 1.90 mm. (6.07 mm), sin embargo, en el día 28 aumenta la profundidad de carbonatación a 2.32 mm. (8.39 mm.).



A. Distribución logarítmica

$$X_c = 3.043Ln(t) + 16.1319$$

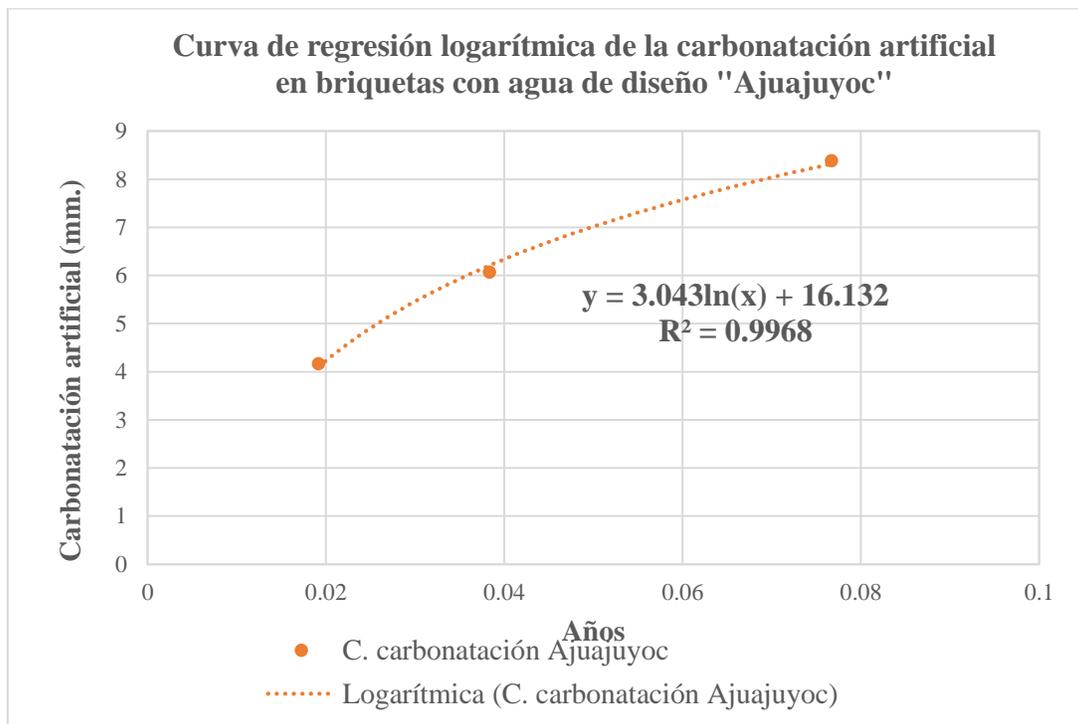


Figura 67: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"

En la figura 69, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de logarítmica que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $3.043ln(t)$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Ajuajuyoc, dio un valor de 99.68%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión logarítmica en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.



B. Distribución potencial

$$X_c = 30.887 * t^{0.5043}$$

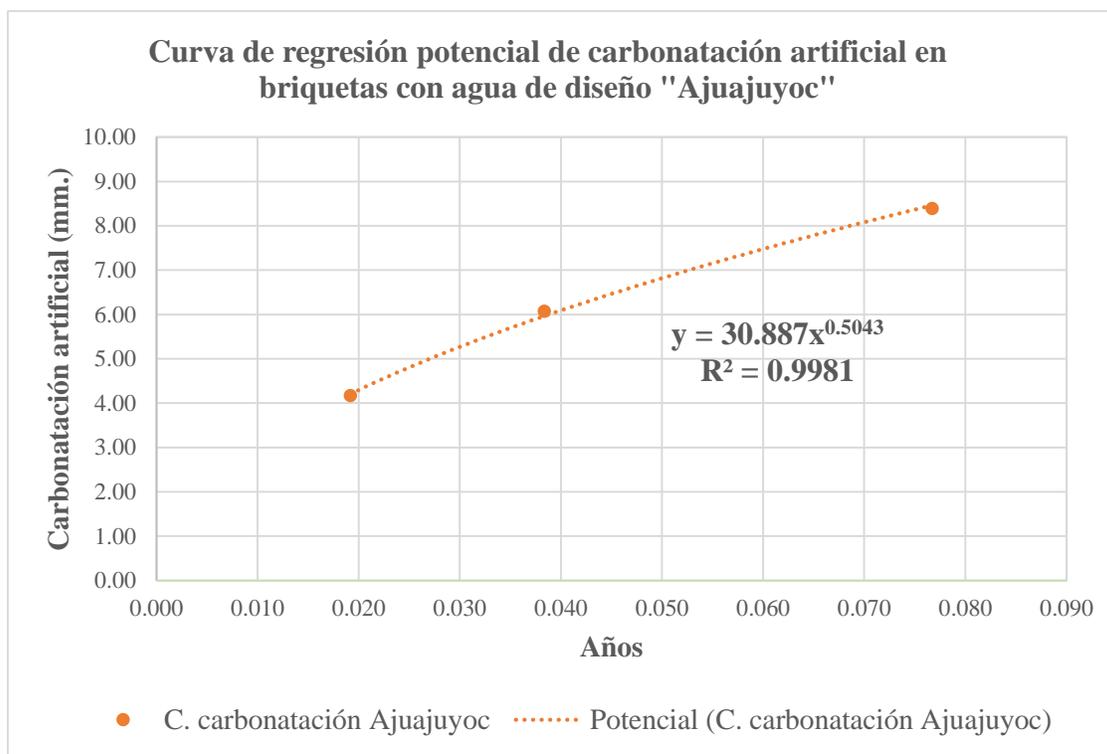


Figura 68: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Ajuajuyoc"

En la figura 70, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $x^{0.5043}$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Ajuajuyoc, dio un valor de 99.81%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

4.4 Carbonatación acelerada del concreto con agua de diseño procedente de Pintobamba

En la siguiente tabla se muestra los valores promedio de la carbonatación artificial (X_c) del concreto con agua de diseño procedente de Quillabamba y su respectivo tiempo de exposición.



Tabla 99: Agua de diseño "Pintobamba"

Agua de diseño "Pintobamba"		
t (días)	t años	Xc (mm)
7	0.019	6.31
14	0.038	6.78
28	0.077	8.80

En la tabla 99, se observó que el avance de profundidad de carbonatación aumenta significativamente en los primeros 7 días (0.019 años) de exposición (6.31mm.), en el segundo periodo de prueba del día 14 (0.038años) se cuenta con un incremento de 0.47 mm. (6.78 mm), sin embargo, en el día 28 aumenta la profundidad de carbonatación a 2.02 mm. (8.80 mm.).

A. Distribución logarítmica

$$X_c = 1.7983Ln(t) + 13.1627$$

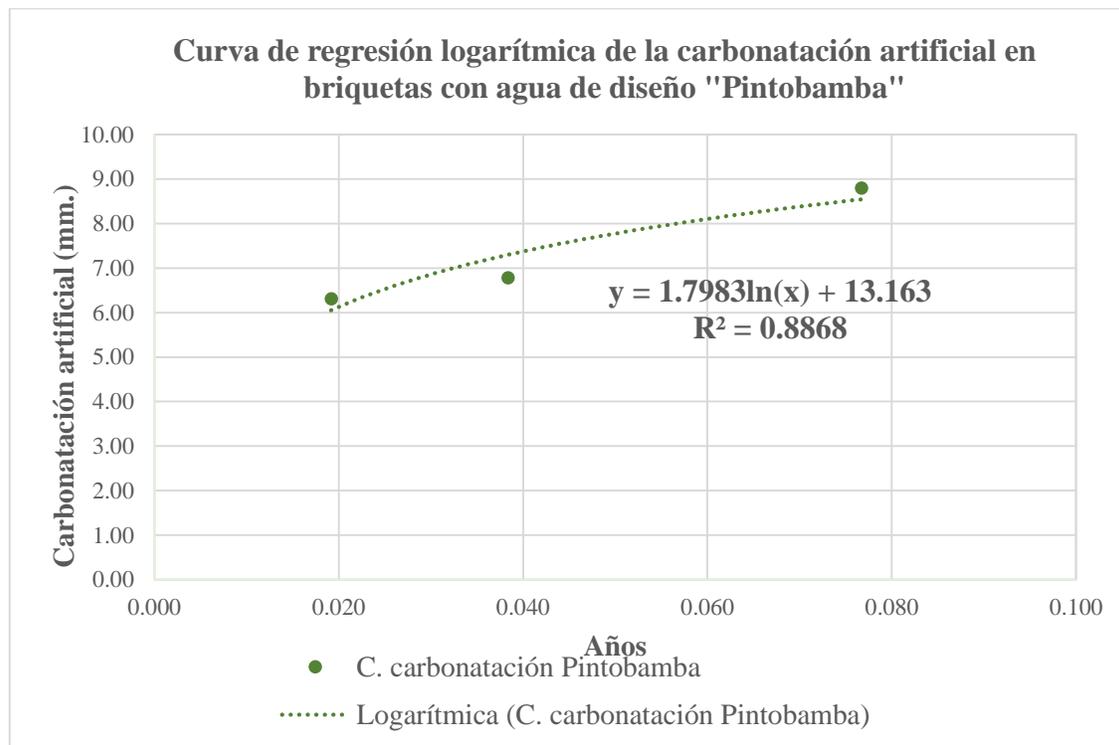


Figura 69: Curva de regresión logarítmica de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"

En la figura 69, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de logarítmica que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $1.79831ln(t)$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Pintobamba, dio un valor de 88.68%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión logarítmica en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.



B. Distribución potencial

$$X_c = 7.3586 * t^{0.0057}$$

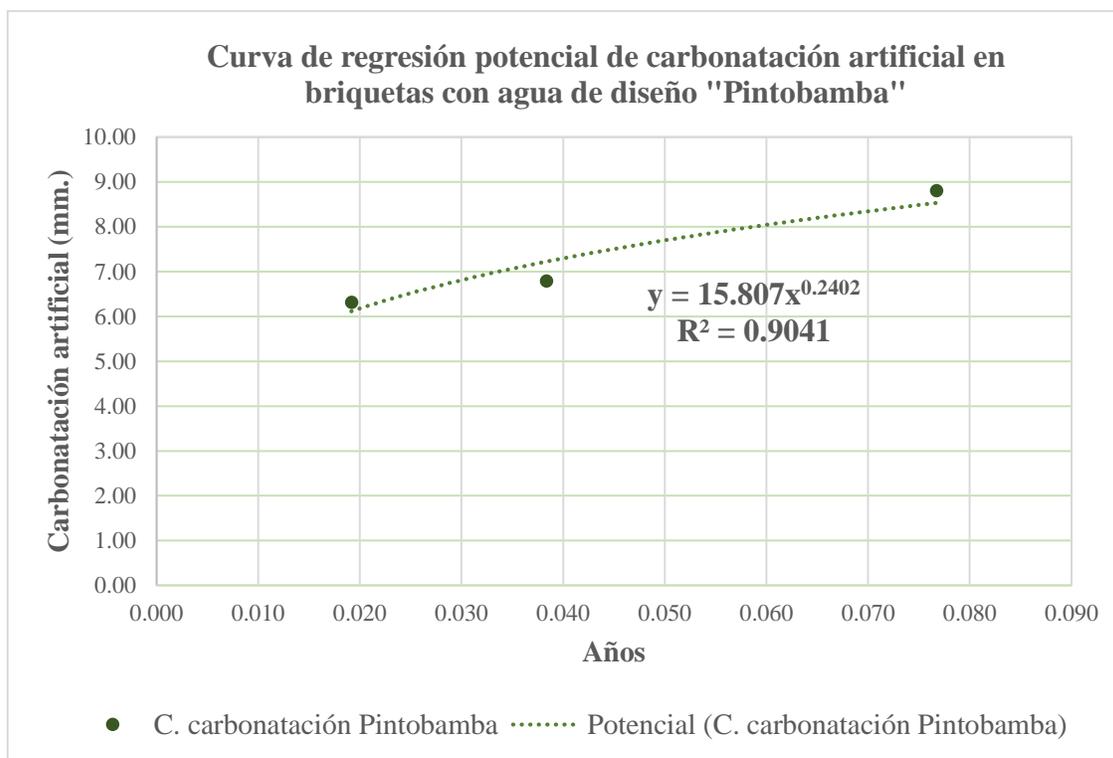


Figura 70: Curva de regresión potencial de la carbonatación artificial en briquetas con agua de diseño "Pintobamba"

En la figura 72, se muestran los puntos de intersección entre el avance del frente carbonatado (mm) y el tiempo (años). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = X_c$ " (profundidad de carbonatación) y como variable dependiente a " $x^{0.0057}$ " (tiempo de exposición medido en años).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R^2), que para el sector de Quillabamba, dio un valor de 90.41%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.



4.5 Resumen de penetración de carbonatación

Tabla 100: Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición

Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición				
Procedencia de agua	Periodo de exposición			Und. días
	7	14	28	
Quillabamba	2.71	4.17	6.31	mm
Ajuajuyoc	3.20	6.07	6.78	mm
Pintobamba	4.61	8.39	8.80	mm

En la tabla 100, se observó que el resumen general del avance de profundidad de carbonatación para los periodos de 7, 14 y 28 días según al agua de cada sector.

4.6 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Quillabamba”

A. Distribución logarítmica

Tabla 101: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Quillabamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Quillabamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	2.71	18.46
14	0.038	3.20	17.91
28	0.077	4.61	16.10

En la tabla 101, se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución logarítmica, resulto ser de 18.46 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 17.91 mm/año.



Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 16.10 mm/año.

B. Distribución potencial

Valores de Kc potencial con agua de diseño “Quillabamba”

Tabla 102: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Quillabamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Quillabamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	2.71	18.93
14	0.038	3.20	17.47
28	0.077	4.61	16.11

En la tabla 102, se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución potencial, resultado ser de 18.93 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 17.47 mm/año.

Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 16.11 mm/año.

4.7 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Ajuajuyoc”

A. Distribución logarítmica

Tabla 103: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Ajuajuyoc"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	4.17	44.43



14	0.038	6.07	31.70
28	0.077	8.39	26.47

En la tabla 103, se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución logarítmica, resulto ser de 44.43 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 31.70 mm/año.

Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 26.47 mm/año.

B. Distribución potencial

Tabla 104: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Ajuajuyoc”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Ajuajuyoc"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	4.17	42.72
14	0.038	6.07	30.46
28	0.077	8.39	26.18

En la tabla 104, se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución potencial, resulto ser de 42.72 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 30.46 mm/año.

Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 26.18 mm/año.



4.8 Velocidad de carbonatación con agua de diseño “Pintobamba”

A. Distribución logarítmica

Tabla 105: Valores de Kc logarítmico con agua de diseño “Pintobamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Pintobamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Logarítmico) (mm/año)
7	0.019	6.31	52.46
14	0.038	6.78	37.27
28	0.077	8.80	26.47

En la tabla 105 se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución logarítmica, resulto ser de 52.46 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 37.27 mm/año.

Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 26.47 mm/año.

B. Distribución potencial

Tabla 106: Valores de Kc potencial con agua de diseño “Pintobamba”

Velocidad de carbonatación para el Agua de diseño "Pintobamba"			
t (días)	t años	Xc (mm)	Kc (Potencial) (mm/año)
7	0.019	6.31	51.95
14	0.038	6.78	36.88
28	0.077	8.80	26.18



En la tabla 105, se observó que la velocidad de carbonatación, hallada con el coeficiente de carbonatación artificial con la ecuación de distribución potencial, resulto ser de 51.95 mm/año (día 7), en el segundo periodo de prueba (día 14) se observó una disminución de la velocidad llegando a ser 36.88 mm/año.

Por último, para el último periodo de prueba (día 28) la disminución de velocidad de carbonatación es constante llegando a un valor de 26.18 mm/año.

4.9 Relación de la resistencia a la compresión frente a la carbonatación

A. Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"

Tabla 107: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"

Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"		
Tiempo (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Avance de carbonatación artificial "Xc" (mm)
7	216.45	2.71
14	227.65	3.20
28	234.09	4.61

En la tabla 107, se observó el comportamiento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial para el sector de Quillabamba.

En el primer periodo de prueba (día 7), se observó la resistencia a la compresión patrón del concreto carbonatado (216.45 kg/cm²), además del valor patrón de avance de carbonatación artificial "Xc" (2.71 mm), en el segundo periodo de prueba (día 14), se observó un incremento de la resistencia a la compresión (227.65 kg/cm²), también ocurrió un incremento en el avance de carbonatación artificial (3.20 mm).



Por último, en el tercer periodo de prueba (día 28), se mantuvo el constante incremento de la resistencia a la compresión (234.09 kg/cm²), además del incremento del avance de carbonatación artificial (4.61 mm).

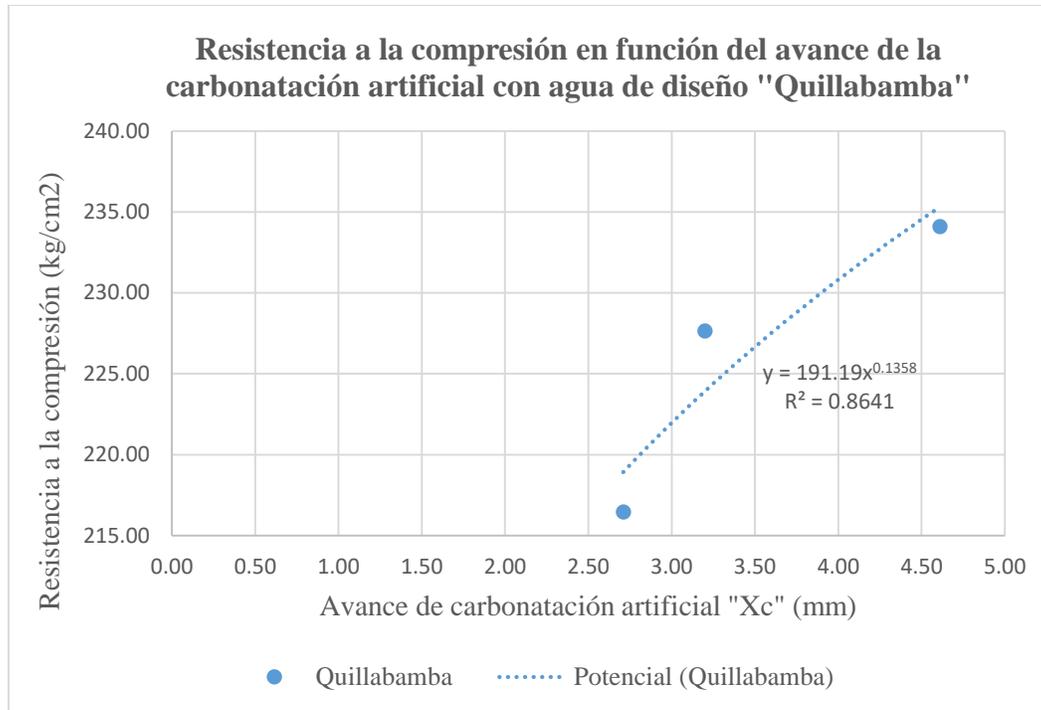


Figura 71: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Quillabamba"

En la figura 73, se muestran los puntos de intersección entre la resistencia a la compresión del concreto carbonatado (kg/cm²) y el avance de carbonatación artificial (mm). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es “ $y = f'c \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ ” (resistencia a la compresión) y como variable dependiente a “ $x^{0.1358} = Xc$ ” (avance de carbonatación artificial)

También, destaca la fiabilidad de la formula con el coeficiente de determinación (R²), que para el sector de Ajuajuyoc, dio un valor de 86.41%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

Por último, resalta la pendiente positiva (0.1358) que nos brinda un análisis predictivo en cuanto al incremento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial.



B. Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"

Tabla 108: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"

Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"		
Tiempo (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Avance de carbonatación artificial "Xc" (mm)
7	184.01	4.17
14	166.09	6.07
28	166.36	8.39

En la tabla 108, se observó el comportamiento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial para el sector de Ajuajuyoc.

En el primer periodo de prueba (día 7), se observó la resistencia a la compresión patrón del concreto carbonatado (184.01 kg/cm²), además del valor patrón de avance de carbonatación artificial "Xc" (4.17 mm), en el segundo periodo de prueba (día 14), se observó una disminución de la resistencia a la compresión (166.09 kg/cm²), sin embargo, el avance de carbonatación artificial incremento (6.07 mm).

Por último, en el tercer periodo de prueba (día 28), se observó un leve incremento de la resistencia a la compresión (166.36 kg/cm²), además del constante incremento del avance de carbonatación artificial (8.39 mm).

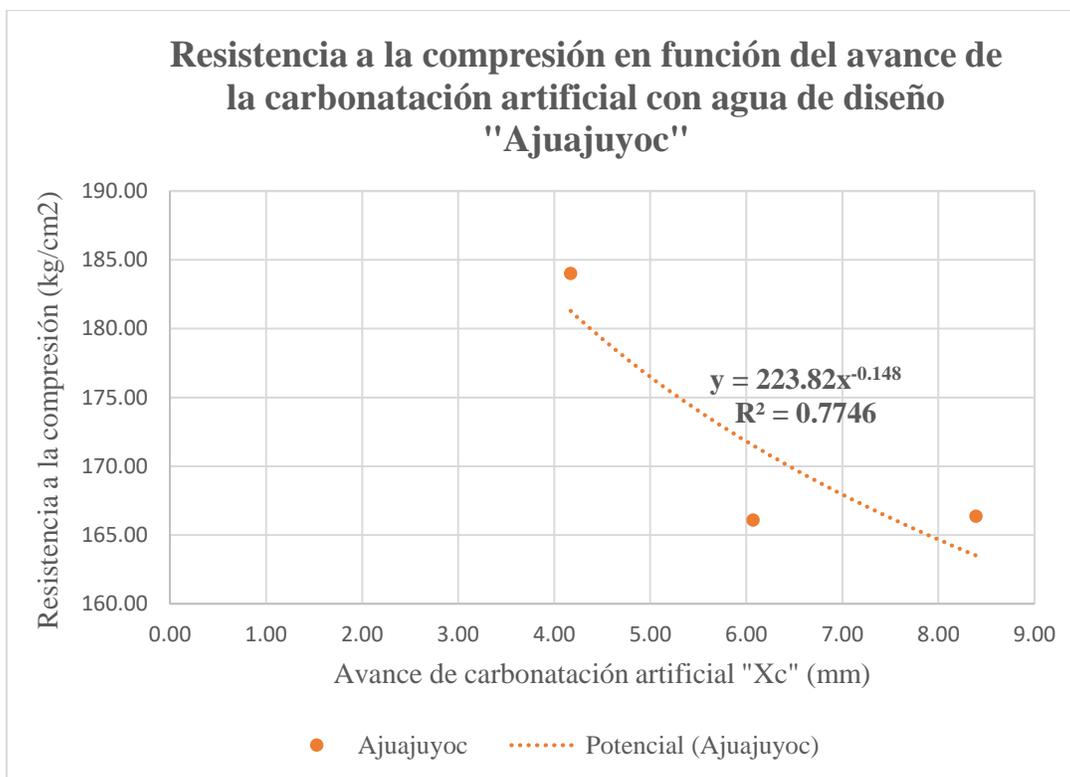


Figura 72: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Ajuajuyoc"

En la figura 74, se muestran los puntos de intersección entre la resistencia a la compresión del concreto carbonatado (kg/cm²) y el avance de carbonatación artificial (mm). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es “ $y = f'c \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ ” (resistencia a la compresión) y como variable dependiente a “ $x^{-0.148} = Xc$ ” (avance de carbonatación artificial).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R²), que para el sector de Ajuajuyoc, dio un valor de 77.46 %; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

Por último, resalta la pendiente negativa (-0.148) que nos brinda un análisis predictivo en cuanto al incremento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial.



C. Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"

Tabla 109: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"

Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"		
Tiempo (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Avance de carbonatación artificial "Xc" (mm)
7	117.65	6.31
14	113.85	6.78
28	111.66	8.80

En la tabla 109, se observó el comportamiento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial para el sector de Pintobamba.

En el primer periodo de prueba (día 7), se observó la resistencia a la compresión patrón del concreto carbonatado (117.65 kg/cm²), además del valor patrón de avance de carbonatación artificial "Xc" (6.31 mm), en el segundo periodo de prueba (día 14), se observó una disminución de la resistencia a la compresión (113.85 kg/cm²), sin embargo, el avance de carbonatación artificial incremento (6.78 mm).

Por último, en el tercer periodo de prueba (día 28), se mantuvo el descenso de la resistencia a la compresión (111.66 kg/cm²), además del constante incremento del avance de carbonatación artificial (8.80 mm).

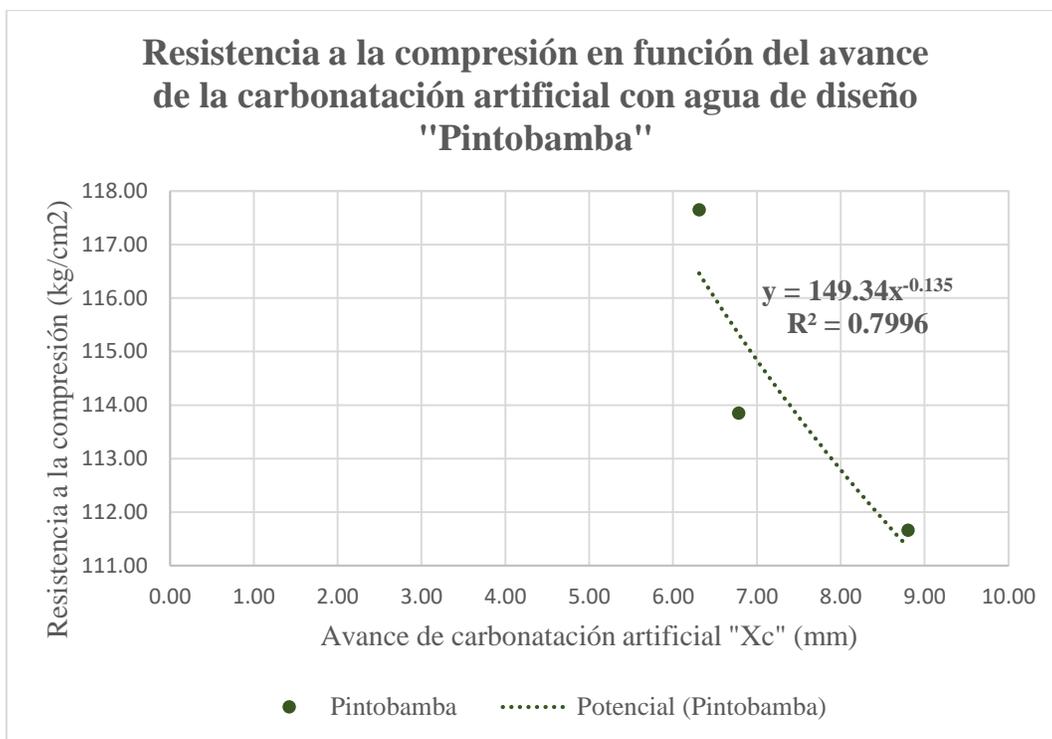


Figura 73: Resistencia a la compresión en función del avance de la carbonatación artificial con agua de diseño "Pintobamba"

En la figura 75, se muestran los puntos de intersección entre la resistencia a la compresión del concreto carbonatado (kg/cm²) y el avance de carbonatación artificial (mm). También se observa la ecuación de la curva de regresión potencial que nos indica el carácter predictivo del ensayo donde la variable independiente es " $y = f'c \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ " (resistencia a la compresión) y como variable dependiente a " $x^{-0.135} = Xc$ " (avance de carbonatación artificial).

También, destaca la fiabilidad de la fórmula con el coeficiente de determinación (R²), que para el sector de Ajuajuyoc, dio un valor de 86.41%; esto implica que es un indicador aceptable para el empleo de la fórmula de regresión potencial en su carácter predictivo debido a su cercanía al 100%.

Por último, resalta la pendiente negativa (-0.135) que nos brinda un análisis predictivo en cuanto al incremento de la resistencia a la compresión frente al avance de carbonatación artificial.



Capítulo V: Discusión

a) Contraste de resultados con referentes de marco teórico

Discusión N°1

a.1. ¿Cómo intermedian los aspectos teóricos indicados y considerados en la presente investigación?

Respecto a lo sostenido por (Aguilar & Villacorta, 2017), los concretos elaborados con una relación $a/c = 0.55$; en los primeros periodos de exposición las resistencias no tuvieron una variación significativa; en nuestro caso la relación a/c fue de 0.557, sin embargo, por cómo se observa en la tabla N° 70, los valores de la resistencia a la compresión presentan tendencias ascendentes y descendentes respectivamente.

Por otro, contrastando las ecuaciones de la figura N°57 se obtuvo un valor de pendiente de 0.78 de la resistencia a la compresión del sector de Quillabamba, logrando así asemejar con el resultado de (Mosqueira Ramírez, 2019); sin embargo, por los sectores de Ajuajuyoc y Pintobamba se observa una tendencia decreciente de la resistencia a la compresión de -0.72 y -0.26 respectivamente.

Además, tomando en consideración la información teórica presentada en el transcurso del desarrollo de esta investigación se establecen diferentes causas que contribuyen a la propagación de la carbonatación; en la tabla N°1, N°2 y N°3 se observa de forma resumida como la profundidad de la carbonatación aumenta ya que depende netamente de la concentración de CO_2 , la porosidad de las muestras además de la humedad relativa presente en la zona de estudio que según la tabla N° 1 la humedad relativa en Quillabamba es de 79% y por lo que sostiene (Catari Falcón, 2021) que nos indica que la humedad relativa ideal para la formación de la carbonatación es de 50% a 60% además de que causa la disminución del pH.

b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

Discusión N°2

b.1. ¿Por qué la velocidad de carbonatación del concreto elaborado con agua de Quillabamba es menor a la velocidad de carbonatación de concretos elaborados con agua de Ajuajuyoc y agua de Pintobamba?

Esto se debe a que la velocidad de carbonatación está directamente relacionada con el avance de carbonatación X_c por lo cual, la resistencia al avance de carbonatación que



presenta el concreto elaborado con agua de Quillabamba implica una velocidad de avance (kc) menor frente a los periodos de 7 14 y 28 días. Además, como se observa en las tablas 94 y 95; se contó con los dos tipos de ecuaciones (logarítmico y potencial), que nos brindan resultados de velocidades que no varían significativamente.

c) Comentario de la demostración de la hipótesis

Discusión N°3

c.1. ¿En base a los resultados obtenidos se logra demostrar la hipótesis general de la investigación?

Tomando en cuenta la hipótesis tanto general se logra demostrar la hipótesis planteada, debido a que por lo expuesto en la tabla 89 la resistencia a la compresión que se obtuvo supera en gran medida a la resistencia a la compresión de concretos elaborados con aguas de Ajuajuyoc y Pintobamba, esto debido a que la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua de Quillabamba presenta una tendencia ascendente durante los periodos de ruptura; sin embargo, los concretos elaborados con aguas de Quillabamba y Pintobamba, presentan una tendencia claramente descendente durante los periodos de ruptura.

d) Aporte de la investigación

Discusión N°4

d.1. ¿Cuál viene a ser el aporte de la investigación realizada?

La incorporación de formas de medición de la profundidad de carbonatación que nos permitió observar cómo afecta el CO₂ en una concentración de 4% además de calcular la velocidad de carbonatación para los sectores estudiados.

Las ecuaciones logarítmica y potencial, nos ayudaran a encontrar el comportamiento de la carbonatación para el tiempo que consideremos, así podríamos tomar acciones para detener esta patología y poder evitar que esta llegue a afectar al acero de refuerzo, siempre y cuando el concreto tenga las características y condiciones de exposición mencionadas, esto debido a que el comportamiento de la carbonatación de los concretos es único según al tipo de ambiente en el que se desarrolla.

Por otro lado, la fabricación de una cámara de carbonatación acelerada, que nos permite crear un ambiente que favorece la velocidad de penetración del CO₂ en las muestras; además de simular un ambiente aislado y térmico.



e) Incorporación de temas nuevos

Discusión N°5

e.1. ¿Por qué se recolecto muestras de agua de las bocatomas respectivas y no de una pileta común de cada sector?

Debido a que se busca no contaminar la muestra por la red de tuberías que abastece cada sector, además de que la potabilización del agua en los reservorios representaría otra variable a investigar.

Discusión N°6

e.2. ¿Por qué se realizó ensayos físico- químicos del agua de cada sector?

Se realizó los ensayos físico- químicos para observar y comparar si las muestras se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma, además de buscar el valor del pH de cada sector.

Además, esto implica analizar otros componentes que puedan afectar a la carbonatación del concreto.



Glosario

Absorción: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

Acidez: Propiedad que tiene una disolución de reaccionar como un ácido.

Aglomerante: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

Alcalino: Sustancia de compuesto químico que tiene carácter básico

Calor de hidratación: Cantidad de calor que fue producido durante los procesos de fraguado y endurecimiento, debido a las reacciones fisicoquímicas.

Carbonatación: Reacción química en la que el hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono y forma carbonato cálcico insoluble.

Concentración: En una disolución, relación que existe entre la cantidad de sustancia disuelta y la del disolvente.

Consistencia: Movilidad relativa o capacidad para fluir del concreto, mortero o grout frescos. (Véanse también revenimiento y trabajabilidad).

Corrosión: Deterioro del metal por la reacción química, electroquímica o electrolítica.

Cuarteo: Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra.

Curado: Mantenimiento de contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el concreto durante un periodo definido después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseada.

Durabilidad: Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

Fenolftaleína: es un compuesto orgánico, utilizado como indicador de PH. Es incoloro en un medio ácido y tiene un tono rosado en un medio básico.

Fraguado: Fenómeno químico que consiste en el endurecimiento de las cales, cementos y yesos, sin que puedan ablandarse nuevamente.



Hidratación: Es la reacción entre el cemento hidráulico y el agua, a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto.

Humedad relativa: Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

Oxidación: Transformación de los metales en óxido al entrar en contacto con el oxígeno.

Partes por millón (ppm): Unidad química equivalente a la cantidad en masa del soluto que hay en un millón de unidades de masa de la solución.

Permeabilidad: Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna

pH: Es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución.

Plasticidad: Propiedad de la pasta, concreto fresco que determina su trabajabilidad, resistencia a deformación o facilidad de moldeo.

Porosidad: Medida de espacios vacíos en un material.

Slump: Determinación del asentamiento del concreto fresco.

Tamaño máximo: Menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

Tamaño máximo nominal: Menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.



Conclusiones

Conclusión general

No se logró demostrar parcialmente con la hipótesis general que indica: **“La evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba demuestran una tendencia de disminución en su magnitud respectiva.”**, de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla siguiente tabla resumen:

Tabla 110: Resumen de la resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada

Resistencia a la compresión del concreto expuesto a carbonatación acelerada (kg/cm ²)			
Periodo de exposición (días)	Agua de diseño		
	Quillabamba	Ajuajuyoc	Pintobamba
7	216.45	184.01	117.65
14	227.65	166.09	113.85
28	234.09	166.36	111.66

Se puede observar que la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con agua de Quillabamba muestran una tendencia ascendente durante los periodos de prueba realizados, sin embargo, en los sectores de Ajuajuyoc y Pintobamba la tendencia es descendente; para entender esta diferencia citamos los resultados del análisis físico químicos de las muestras de agua de los 3 sectores, en donde destaca lo siguiente:

- El sector de Quillabamba presenta un nivel menor de pH (6.8) en comparación a Ajuajuyoc (7.2) y Pintobamba (7.1), debido a la pérdida de alcalinidad del concreto ocasionada por la carbonatación los valores de pH registrados influyen en el desarrollo de la carbonatación.
- En el primer periodo de prueba (día 7), el sector de Quillabamba cuenta con una resistencia a la compresión de 216.45 kg/cm², para el segundo periodo de prueba (día 14) la resistencia a la compresión se incrementó a 227.65 kg/cm², por último, en el tercer periodo de prueba (día 28) la resistencia a la compresión fue de 234.09.



- En el primer periodo de prueba (día 7), el sector de Ajuajuyoc cuenta con una resistencia a la compresión de 184.01 kg/cm², para el segundo periodo de prueba (día 14) la resistencia a la compresión se incrementó a 166.09 kg/cm², por último, en el tercer periodo de prueba (día 28) la resistencia a la compresión fue de 166.36 kg/cm².
- En el primer periodo de prueba (día 7), el sector de Pintobamba cuenta con una resistencia a la compresión de 117.65 kg/cm², para el segundo periodo de prueba (día 14) la resistencia a la compresión se incrementó a 113.85 kg/cm², por último, en el tercer periodo de prueba (día 28) la resistencia a la compresión fue de 111.66 kg/cm².

Por ello, se concluye que el pH del agua de Quillabamba (6.8) induce una mayor resistencia al esfuerzo de compresión además de una mayor resistencia a la profundidad de carbonatación en comparación de los valores de pH de agua encontrados en Ajuajuyoc (7.2) y Pintobamba (7.1).

Además, se sostiene que el comportamiento de la carbonatación acelerada y la variación del pH del agua de mezclado y curado infieren en la resistencia a la compresión del concreto, debido a que altera las propiedades tanto químicas al modificar la reacción de hidratación y el comportamiento de la carbonatación, además de las propiedades físicas que es el reflejo final en cuanto a la resistencia de diseño esperada.

Conclusión específica N°1

Se logró demostrar con la sub- hipótesis N°2 “**Los valores de pH de las aguas cumplen con el parámetro admisible por la NTP.**”, respecto al pH del agua de los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba mediante los ensayos físico químicos del agua se obtuvieron los siguientes valores:

- Para Quillabamba se cuenta con un pH de 6.8.
- Para Ajuajuyoc se cuenta con un pH de 7.2.
- Para Pintobamba se cuenta con un pH de 7.1.

La NTP 339.070 establece una tolerancia de 5.5 a 8.0, por lo cual cumple en todos los sectores y permite su empleo en la fabricación y el curado del concreto.



Conclusión específica N°2

Se logró demostrar la sub- hipótesis N°3 “**Los resultados de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta mayor resistencia a la compresión**”, debido a que Quillabamba presenta los siguientes valores de resistencia a la compresión:

Tabla 111: Tabla resumen de resistencia a la compresión

Periodo de ensayo (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Quillabamba	Ajuajuyoc	Pintobamba
7	216.45	184.01	117.65
14	227.65	166.09	113.85
28	234.09	166.36	111.66

Por ello se concluye que el sector de Quillabamba presenta mayores valores de resistencia a la compresión en comparación a Ajuajuyoc y Pintobamba.

Conclusión específica N°3

Se logró demostrar la sub- hipótesis N°4 “**Los resultados de la evaluación comparativa con respecto a la profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta menores valores de profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína.**”, con respecto a la evaluación de profundidad de carbonatación acelerada se presenta el siguiente cuadro resumen:



Tabla 112: Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición

Resumen de la profundidad de carbonatación a diferentes periodos de exposición				
Procedencia de agua	Periodo de exposición			Und.
	7	14	28	días
Quillabamba	2.71	4.17	6.31	mm
Ajuajuyoc	3.20	6.07	6.78	mm
Pintobamba	4.61	8.39	8.80	mm

Por otro lado, se presenta el cuadro resumen para la evaluación comparativa de la velocidad de carbonatación acelerada:

Tabla 113: Velocidad de carbonatación artificial promedio

Velocidad de carbonatación artificial promedio			
Sector	Ecuación logarítmica (mm/año)	Ecuación potencial (mm/año)	Promedio (mm/año)
Quillabamba	17.49	17.50	17.50
Ajuajuyoc	34.2	33.12	33.66
Pintobamba	38.73	38.34	38.5

Observando las tablas 112 y 113, se comprueba la afirmación de la hipótesis que indica que el sector de Quillabamba presenta menores valores de profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína.



Recomendaciones

Recomendación N°1

Se recomienda verificar la calidad de los componentes del concreto para minimizar la presencia de la carbonatación y así prevenir la corrosión del acero de refuerzo de nuestras estructuras.

Recomendación N°2

Se recomienda que para elementos estructurales ubicados en zonas que registren una humedad relativa entre 45% y 65% y haya una elevada concentración de CO₂, realizar el recubrimiento adecuado de los elementos estructurales debido a que de esta forma se lograría reducir el impacto de la carbonatación del concreto.

Recomendación N°3

Se recomienda realizar investigaciones sobre la carbonatación natural en periodos más extensos para poder establecer una comparación directa con la presente investigación, esto debido a la contribución del ambiente altamente húmedo que representa la zona de estudio.

Recomendación N°4

Se recomienda que para elementos estructurales ubicados en zonas que registren una humedad relativa entre 45% y 65% y haya una elevada concentración de CO₂, realizar un tarrajeo completo a todos los elementos estructurales que lleven acero de refuerzo.

Recomendación N°5

Se recomienda una evaluación con mayores periodos de exposición de CO₂ para tener mayor cantidad de datos y afinar las ecuaciones correspondientes.

Recomendación N°6

Se recomienda un análisis de sulfatos presentes en el agua, ya que estos influyen en la resistencia a la compresión.

Recomendación N°7

Se recomienda continuar esta investigación con un estudio de pH a las muestras de concreto carbonatado.



Referencias

- Abanto Castillo, F. (2009). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO (TEORIA Y PROBLEMAS)*. Lima: San Marcos.
- ASOCRETO. (1997). *Colección básica del concreto, tecnología y propiedades* (Segunda edición ed.). Colombia.
- ASTM C 566 - 97. (2004). *Método de Ensayo Normalizado para Determinar el Contenido de Humedad Total Evaporable de los Áridos por Secado*.
- ASTM C127-07. (2007).
- Broto, C. (2006). *Patologías de la construcción*.
- CESEL S.A. (2013). *Plan de Manejo Ambiental (PMA) del Proyecto "Instalación Central Térmica Quillabamba y Sistema de Transmisión Asociado Santa Ana, La Convención, Cusco"*. Lima: CESEL S.A. Obtenido de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/PMA%200%ELECTRICIDAD%20DEL%20PERU%20ELECTROPERU%20S.A/4.4.1%20Clima%20y%20Meteorolog%C3%ADa.pdf>
- Del Rosal, J. (2017). *Durabilidad y patología - CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA EN CONCRETO* (Vol. 6). México DF, México: Revista CYT.
- Domínguez Ramírez, N. (Mayo de 2013). *La adherencia en el concreto reforzado: breve revisión*. Recuperado el martes de Marzo de 2022, de Investigación y Ciencia: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67428815008>
- E. Harmsen, T. (2002). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO* (Tercera ed.). Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- E.060. (2009).
- Expansión. (2020). *Expansión/ Datosmacro.com*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/peru>
- Florentín Saldaña, M., & Granada Rojas, R. (2009). *PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EN LOS EDIFICIOS. PREVENCIÓN Y SOLUCIONES*. San Lorenzo: UNA.



- Galán Garcia, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO₂ con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- Garcés,, P., Climent, M., & Zornoza, E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado*. San Vicente del Raspeig.
- Heredia Avalos, S. (2005). EXPERIENCIAS SORPRENDENTES DE QUÍMICA CON INDICADORES DE pH CASEROS. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8.
- ICG. (2016). *Manual de la Construcción - Agenda Técnica*.
- Iloro, F., Sota, J., & Ortega, N. (2013). *Carbonatación acelerada de morteros: Influencia de las adiciones minerales y edad del curado*. João Pessoa.
- INEI. (2018). *Cusco*. Lima.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. *Revista Construcción y Tecnología*.
- Lopez Rodríguez, F., Rodriguez Rodriguez, V., Santa Cruz Astorqui, J., Torreño Gomez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2018). *MANUAL DE PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN*. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid. Obtenido de http://www.asturcons.org/docsnormativa/5891_1522.pdf
- M. Neville, A. (1999). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Medina Valtierra, J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂). *Conciencia Tecnológica*, 50.
- Mejía de Gutiérrez, Ruby, R., Rodríguez, C., Rodríguez, E., Torres, J., & Delvasto, S. (2009). *Concreto adicionado con metacaolín: Comportamiento a carbonatación y cloruros*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- N.T.P. 400.017. (2011).



- NTG-41017 h4. (s.f.). *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto.*
Guatemala: NTG.
- NTP 339.034. (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas* (Tercera ed.). Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.021. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* Lima: INACAL.
- NTP 400.022. (2013). Lima.
- NTP 400.037. (2014). *NTP 334.090* (Cuarta ed.). Lima, Perú: INDECOPI.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *TOPICOS DE TECNOLOGIA DE CONCRETO* (Segunda edición ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de Tecnología del Concreto en el Perú* (Segunda ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño.* Arequipa: UNSA.
- Quiroz Crespo, M., & Salamanca Osuna, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "Tecnología del Concreto".* Cochabamba, Bolivia: UMSS.
- Rivva Lopez, E. (2006). *Ataques al concreto.*
- Rivva López, E. (1992). *Tecnología del concreto Diseño de Mezclas.* Lima, Perú.
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto.* Lima: ACI Perú.
- Rivva López, E. (2006). *Durabilidad y Patología del concreto.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rojas, L. (2006). *Estudio de la durabilidad de estructuras antiguas de hormigón armado, con énfasis en la corrosión de las armaduras.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sampieri, R. H. (1999). *Metodología de la investigación.* Mexico D.F.: McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.



- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mexico.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO* (5ta ed.). Bogota, Colombia: SHANDAR EDITORES.
- TORRE C., A. (2004). *CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO PARA INGENIEROS CIVILES*. Lima: UNI.
- Traversa, L., Iloro, F., & Benito, D. (2013). DETERMINACIÓN MEDIANTE ENSAYOS TÉRMICOS DEL CO₂. *CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES*, 35. Obtenido de digital.cic.gba.gob.ar.
- Treviño Treviño, E. (1998). *Patología de las estructuras de concreto reforzado Reflexiones y Recomendaciones*. Monterrey, Nuevo Leon: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.
- UNITEST. (2021). *Ficha de recolección de datos en laboratorio*. Cusco: UNITEST.
- YURA. (2014). *MANUAL DE CONSTRUCCIÓN*. Lima, Perú.
- YURA. (2021). *Ficha Tecnica - IP Cemento Multiproposito*. Arequipa, Perú: YURA.



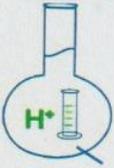
ANEXOS

Tabla 114: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cuál será la evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba 2021?	Evaluar comparativamente la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba 2021.	La evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba demuestran una tendencia de disminución en su magnitud respectiva.
FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICAS
¿Cómo resulta la evaluación comparativa de los valores de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?	Determinar si lo valores de pH los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba cumplen con el parámetro admisible por la NTP.	Los valores de pH de las aguas cumplen con el parámetro admisible por la NTP.
¿Cómo resulta la evaluación comparativa de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?	Determinar cómo resulta la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba.	Los resultados de la resistencia a la compresión entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta mayor resistencia a la compresión.
¿Cómo resulta la evaluación comparativa de la carbonatación acelerada usando fenolftaleína en los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba?	Evaluar y comparar la profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH de agua en la ciudad de Quillabamba 2021.	Los resultados de la evaluación comparativa con respecto a la profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína entre los concretos elaborados con diferentes niveles de pH obtenidos en los sectores de Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba indican que el sector de Quillabamba presenta menores valores de profundidad y velocidad de carbonatación acelerada usando fenolftaleína.



Tabla 115 Resultados del análisis fisicoquímico de agua para uso en concreto



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0600-21
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA PARA USO EN CONCRETO

SOLICITA : Jorge Martín Rojas Bejar

TESIS : "Evaluación Comparativa de la Resistencia a la Compresión a diferentes Niveles de pH de concretos expuestos a Carbonatación Acelerada usando fenolftaleína en la Ciudad de Quillabamba – Cusco"

DISTRITO : Santa Ana
PROVINCIA : La Convención
DEPARTAMENTO : Cusco
MUESTRA :

M₁: Quillabamba
M₂: Pintobamba
M₃: Ajuajuyoc

FECHA DE INFORME : 14/10/2021
RESULTADOS :

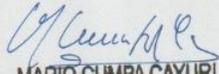
DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₁	M ₂	M ₃	TOLERANCIA	MÉTODO
Cloruros Cl ⁻	ppm	5	5	5	1000	NTP 339.076
Sulfatos SO ₄ ²⁻	ppm	14	35	25	1000	MTC 719
Conductividad Eléctrica	µS/cm	50	170	110	-	
pH		6.8	7.1	7.2	5.5 – 8.0	NTP 339.070
Sólidos en Suspensión	ppm	10	10	15	5000	
Alcalinidad Total HCO ₃ ⁻	ppm	20.7	55.4	63.1	1000	
Materia Orgánica	ppm	1	1	1	3.00	NTP 339.072
Sales de Magnesio (Mg ²⁺)	ppm	2	4	2		
Calcio (Ca ²⁺)	ppm	8	30	18		

NORMA: Manual de Ensayo de Materiales R.D. N°18-2016-MTC/14
METODO DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

CONCLUSION: Los valores encontrados de los parámetros que se indican se encuentran dentro de la tolerancia, por consiguiente, el agua es APTA para su uso en concreto.



MC QUIMICALAB
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
ADMINISTRACION
CIP. 238338



MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18100

Fuente: MC QUIMICALAB



Tabla 116: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado fino tipo "A"

GEOSOIL
Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO

MTC E 204 - 2000 / NTP 339.128:1999

ASTM C 33-03 / AASHTO T-27

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

Mallas	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	Fondo	Total
Peso Retenido (gr)	0.00	0.00	3.65	289.52	226.35	163.89	107.85	66.28	13.54	871.08

GEOSOIL
Soil Testing Lab

Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 117: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado fino tipo "B"

GEOSOIL
Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO										
MTC E 204 - 2000 / NTP 339.128:1999										
ASTM C 33-03 / AASHTO T-27										

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco"									
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru									
SOLICITANTE	Jorge Martín Rojas Bejar									
FECHA	13/10/2021									

Mallas	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	Fondo	Total
Peso Retenido (gr)	0.00	20.31	305.45	229.61	124.87	98.70	43.12	8.21	5.98	836.31

GEOSOIL
Soil Testing Lab

Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 118: Toma de datos para ensayo granulométrico de agregado grueso

GEOSOIL

Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO														
MTC E 204 - 2000 / NTP 339.128:1999														
ASTM C 33-03 / AASHTO T-27														

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleina en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

Mallas	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#50	#200	Fondo	Total
Peso Retenido (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.23	304.07	344.69	25.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1294.5

GEOSOIL
Soil Testing Lab

Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 119: Toma de datos para ensayo de peso unitario y vacíos del agregado grueso

GEOSOIL

Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

PESO UNITARIO Y VACIOS DEL AGREGADO GRUESO (VARILLADO)

MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021

AASHTO T-24 / ASTM C-128

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

DATOS DEL RECIPIENTE DE MEDIDA DEL AGREGADO GRUESO			
SIMBOLO	DESCRIPCION	UND	MOL DE
R	Peso del recipiente de medida para AG	gr	7370.00
D	Diametro interno del recipiente de medida para AG	cm	15.286
H	Altura del recipiente de medida para AG	cm	17.811
V	Volumen calibrado del recipiente de medida para AG	cm3	3268.63

DATOS DEL RECIPIENTE DE MEDIDA DEL AGREGADO GRUESO					
SIMBOLO	DESCRIPCION	UND	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
A+R	Peso de la muestra + Recipiente de mediad de AG	gr	12215.00	12223.00	12218
A	Peso de la muestra	gr	4845.00	4853.00	4848.00

GEOSOIL
Soil Testing Lab

Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 120: Toma de datos para ensayo de peso específico y absorción de agregado fino

GEOSOIL

Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

PESO ESPECIFICO Y ABSORSIÓN DEL AGREGADO FINO

MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021

AASHTO T-84 / ASTM C-128

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

Preparación de la muestra					
Símbolo	Descripción	Und	M-1	M-2	M3
V	Volumen de fiola	cm3	500.00	500.00	500.00
F	Peso de fiola	gr	186.98	186.98	186.98
B	Peso de fiola + Agua	gr	683.20	682.10	683.20
S	Peso de la muestra saturada con superficie seca	gr	500.00	500.00	500.00
C	Peso de la fiola + Agua + Muestra	gr	998.00	998.00	998.00

Despues de secado al horno de la muestra					
Símbolo	Descripción	Und	M-1	M-2	M3
R	Peso del recipiente	gr	148.32	27.85	125.45
A+R	Peso de la muestra seca + Recipiente	gr	637.93	578.23	615.45
A	Peso de la muestra seca	gr	489.4	490.38	490.00

GEOSOIL
Soil Testing Lab

Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 121: Toma de datos para ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso

GEOSOIL
Soil Testing Lab

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

PESO ESPECIFICO Y ABSORSIÓN DEL AGREGADO GRUESO

MTC E 205 - 2000 / NTP 400.021

AASHTO T-84 / ASTM C-128

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenoltaleína en la ciudad de
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

Preparación de la muestra					
Símbolo	Descripción	Und	M-1	M-2	M3
R	Peso del recipiente	gr	227.00	128.00	—
B+R	Peso del recipiente + Muestra SSS	gr	2935.00	2884.00	—
B+R	Peso de la muestra saturada con superficie seca	gr	2608.00	2696.00	—
C	Peso en el agua de la muestra saturada	gr	1529.00	1652.00	—

Despues de secado al horno de la muestra					
Símbolo	Descripción	Und	M-1	M-2	M3
R	Peso del recipiente	gr	227.00	128.00	—
A+R	Peso de la muestra seca + Recipiente	gr	2821.00	2870.00	—
A	Peso de la muestra seca	gr	2594.00	2682.00	—

GEOSOIL
Soil Testing Lab

.....
Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 122: Toma de datos para ensayo de contenido de humedad de agregado fino

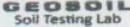


LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS PARA CARRETERAS

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO				
MTC E 108 - 2000 / NTP - 339.127				
ASTM - D2216				

PROYECTO	"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."
PROCEDENCIA	Quillabamba - Santa - Ana - La convencion - Cusco - Peru
SOLICITANTE	Jorge Martin Rojas Bejar
FECHA	13/10/2021

Preparación de la muestra				
Descripción	CAPSULA			
	M-1	M-2	M-3	UND
Peso de cápsula (gr)	17.48	15.44	15.90	gr
Peso de cápsula + muestra húmeda (gr)	57.06	62.90	63.95	gr
Peso de cápsula + muestra seca (gr)	57.60	63.77	64.74	gr
Peso de muestra seca (gr)	41.58	47.46	48.85	gr



Ing. Dante Quispe Vilca
CIP. 245571

Fuente: Geosoil Soil Testing Lab



Tabla 123: Toma de datos del primer periodo (7 días) de resistencia a la compresión.

Keremca S.A. <small>INGENIEROS & ARQUITECTOS</small>			Jr. Vilcabamba N° 30 A – Quillabamba RPM. #979663477 - RPC 979706357 Santa Ana – La Convención - Cusco					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."								
Ensayo : Resistencia a la compresión.								
Fecha : 26/12/2021								
Solicita : Jorge Martin Rojas Bejar.								
Datos de ensayo								
Norma : N.T.P. 339 - 34								
Tiempo de curado : 28 días.								
Testigo	Diámetro		Diámetro promedio (cm)	Área		Área promedio (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)
	Superior (cm)	Inferior (cm)		Superior (cm ²)	Inferior (cm ²)			
Q-R-1	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	157.42	16052.4
Q-R-2	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	184.7	18834.2
Q-R-3	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	171.06	17443.3
A-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	139.48	14223
A-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	156.32	15940.2
A-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	147.9	15081.6
P-R-1	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	82.6	8422.85
P-R-2	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	106.56	10866.1
P-R-3	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	94.58	9644.47



Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

Ing. Alexis Ancasi Garcia
GERENTE GENERAL

Fuente: Keremca S.A.



Tabla 124: Toma de datos del segundo periodo (14 días) de resistencia a la compresión.

Keremca S.A. <small>INGENIEROS & ARQUITECTOS</small>		Jr. Vilcabamba N° 30 A – Quillabamba RPM. #979663477 - RPC 979706357 Santa Ana – La Convención - Cusco						
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenoftaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."								
Ensayo : Resistencia a la compresión.								
Fecha : 02/01/2022								
Solicita : Jorge Martin Rojas Bejar.								
Datos de ensayo								
Norma : N.T.P. 339 - 34								
Tiempo de curado : 28 días.								
Testigo	Diámetro		Diámetro promedio (cm)	Área		Área promedio (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)
	Superior (cm)	Inferior (cm)		Superior (cm ²)	Inferior (cm ²)			
Q-R-4	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	165.64	16890.6
Q-R-5	10.09	10.15	10.12	80.44	80.44	80.44	209.02	21314.1
Q-R-6	10.10	10.13	10.11	80.32	80.32	80.32	163.48	16670.3
A-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	136.86	13955.8
A-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	142.82	14563.6
A-R-6	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	120.66	12303.9
P-R-4	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	98.48	10042.2
P-R-5	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	79.68	8125.1
P-R-6	10.19	10.27	10.23	82.19	82.19	82.19	95.94	9783.16



Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS

Ing. Alexis L. Ancast Garcia
GERENTE GENERAL

Fuente: Keremca S.A.



Tabla 125: Toma de datos del tercer periodo (28 días) de resistencia a la compresión.

Keremca S.A. <small>INGENIEROS & ARQUITECTOS</small>			Jr. Vilcabamba N° 30 A – Quillabamba RPM. #979663477 - RPC 979706357 Santa Ana – La Convención - Cusco					
"Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando Fenoltaleína en la ciudad de Quillabamba -Cusco 2021."								
Ensayo : Resistencia a la compresión.								
Fecha : 16/01/2022								
Solicita : Jorge Martin Rojas Bejar.								
Datos de ensayo								
Norma : N.T.P. 339 - 34								
Tiempo de curado : 28 días.								
Testig o	Diámetro		Diámetro promedio (cm)	Área		Área promedio (cm ²)	G (kN)	f (kg-f/cm ²)
	Superior (cm)	Inferior (cm)		Superio r (cm ²)	Inferior (cm ²)			
Q-R-7	10.11	10.11	10.11	80.28	80.28	80.28	215.48	21972.8
Q-R-8	10.14	10.15	10.15	80.83	80.83	80.83	177.96	18146.9
Q-R-9	10.13	10.14	10.13	80.62	80.62	80.62	161.32	16450.1
A-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	133.96	13660.1
A-R-8	10.2	10.23	10.22	81.95	81.95	81.95	133.1	13572.4
A-R-9	10.23	10.27	10.25	82.52	82.52	82.52	134.04	13668.3
P-R-7	10.17	10.19	10.18	81.39	81.39	81.39	72.12	7354.19
P-R-8	10.12	10.17	10.15	80.83	80.83	80.83	83.1	8473.84
P-R-9	10.15	10.27	10.21	81.87	81.87	81.87	112.24	11445.3



Keremca S.A.
INGENIEROS & ARQUITECTOS
Ing. Alexis Mancasi Garcia
GERENTE GENERAL

Fuente: Keremca S.A.



Tabla 126: Certificado de calibración.

PYS EQUIPOS
LABORATORIO DE METROLOGIA

Página : 3 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN **Número: 1373 / 21**
Certificate of calibration Number:

TRAZABILIDAD:

PATRÓN DE CALIBRACIÓN	CELDA DE CARGA	
Marca	PYS	
Serie N°	91	
Capacidad	200000 kg (nominal)	
INDICADOR DIGITAL	HIWEIGH	
Modelo	315-X5	
Serie N°	0332565	

La celda patrón empleada en la calibración mantiene la trazabilidad durante las mediciones realizadas a la máquina de ensayo ya que se encuentra trazada por el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Expediente: INF-LE 041-19

UNIDADES EMPLEADAS Sistema internacional de unidades

RECOMENDACIONES:

- 1- Es necesario implementar un programa de comprobación continua de la MAQUINA con patrones adecuados.
- 2- Se debe implementar un programa de aseo permanente para la MAQUINA. Esto con el fin de tratar de garantizar un correcto funcionamiento

FIRMAS AUTORIZADAS
Authorized signatures.

E.P.P. *Amed Castillo E.*

Revisado por: Eler Pozo S. Dpto Metrologia Calibrado por: Amed Castillo E. Técnico

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

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.

Fuente: Keremca S.A.