

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE
LOS MATERIALES**



**“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN
HORMIGONES DE 35 MPA CON AGUA DE AMASADO
VARIANDO SU PH”**

Elaborado Por:

UNIV. VALDEZ SANCHEZ MIGUEL ANGEL

SEMESTRE I - 2021

Tarija - Bolivia

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE
LOS MATERIALES

“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN
HORMIGONES DE 35 MPA CON AGUA DE AMASADO
VARIANDO SU PH”

Elaborado Por:

UNIV. VALDEZ SANCHEZ MIGUEL ANGEL

En la Asignatura:

CIV 502 - PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

SEMESTRE I - 2021

Tarija - Bolivia

El Docente y Tribunal evaluador del proyecto de Ingeniería Civil, no se solidarizan con los términos, la forma, modos y las expresiones empleadas en la elaboración del proyecto, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

PENSAMIENTO

“La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad”

Julio Verne

AGRADECIMIENTOS

Escoger correctamente las palabras adecuadas para poder expresar mis agradecimientos hacia todas aquellas personas que me ayudaron y contribuyeron a mi desarrollo académico son más complicadas de lo que aparenta...

Primeramente, agradecer a mis padres Angel y Cristina por brindarme su cariño, apoyarme en cada paso de mi vida desde el momento que nací, inculcándome valores y hacer un gran esfuerzo en todo momento para que pueda desarrollarme académicamente. Así mismo agradecer a mi hermano Javier y hermanas Madelin y Anahi por apoyarme en cada momento.

A mis abuelos, Arturo y Natividad por brindarme su cariño y al igual que mis padres inculcarme valores y apoyar mi desarrollo académico.

A mis abuelos Abelardo y Cayetana que me apoyan desde el cielo.

A mis tíos, Paola, Mariela, Hugo, Roberto, María, José, Aníbal, Fabiola y familia en general por apoyarme, guiarme y confiar en mí en cada paso que doy.

A mis compañeros y amigos, con los cuales en conjunto aprendimos, socializamos, nos divertimos, lloramos y nos alegramos, frente a toda adversidad y circunstancia.

Este recorrido es de todos nosotros...

este logro es tan mío como de ustedes, gracias.

INDICE

<i>ÉTICA DE AUTORÍA</i>	<i>i</i>
<i>PENSAMIENTO</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>iii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>iv</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>1</i>
<i>ANTECEDENTES</i>	<i>1</i>
1.1. El Problema.....	<i>2</i>
1.1.1. Planteamiento	<i>2</i>
1.1.2. Formulación.....	<i>2</i>
1.1.3. Sistematización	<i>3</i>
1.2. Objetivos	<i>3</i>
1.2.1. General.....	<i>3</i>
1.2.2. Específicos	<i>3</i>
1.3. Justificación.....	<i>4</i>
1.3.1. Académica.....	<i>4</i>
1.3.2. Técnica.....	<i>4</i>
1.3.3. Social.....	<i>5</i>
1.4. Alcance	<i>5</i>
1.5. Hipótesis	<i>5</i>
<i>CAPÍTULO II</i>	<i>6</i>
<i>FUNDAMENTO TEÓRICO</i>	<i>6</i>
2.1. Generalidades de los Hormigones.....	<i>6</i>
2.1.1. Antecedentes Históricos del hormigón.....	<i>6</i>
2.1.2. Principales Características de los Hormigones.....	<i>10</i>
2.1.2.1. Propiedades del hormigón endurecido.....	<i>14</i>

2.1.3.	Clasificación de Hormigones -----	15
2.1.3.1.	Hormigones estructurales-----	15
2.1.3.2.	Hormigones No estructurales -----	18
2.1.4.	Factores que inciden en la resistencia del hormigón -----	18
2.2.	Agua -----	24
2.2.1.	Características físicas y químicas del agua -----	24
2.2.2.	Potencial de hidrogeno (pH)-----	26
2.2.3.	Características del agua para Hormigones-----	28
2.3.	Áridos-----	29
2.3.1.	Agregado Grueso (Grava)-----	31
2.3.2.	Agregado Fino (Arena)-----	31
2.4.	Cemento Portland-----	32
2.4.1.	Composición Química del Cemento Portland-----	33
2.4.2.	Clasificación del Cemento Portland -----	34
2.4.3.	Resistencia Mecánica del Cemento Portland-----	35
2.5.	Aditivo-----	36
2.5.1.	Aditivo Súper – Plastificante o Súperfluidificante -----	36
2.5.2.	Sika Viscocrete 5 -800-----	37
2.6.	Dosificación -----	40
2.6.1.	Dosificación ACI 211.1 -----	41
2.6.1.1.	Experiencia en diseño de mezclas-----	43
2.6.1.2.	Condiciones de colocación (asentamiento) -----	43
2.6.1.3.	Estimación del contenido de aire atrapado-----	44
2.6.1.4.	Estimación la cantidad de agua (A)-----	45
2.6.1.5.	Estimación la relación agua / cemento (A/C)-----	45
2.6.1.6.	Contenido de cemento (C)-----	46
2.6.1.7.	Volumen de agregados-----	46
2.7.	Modificación del pH del agua-----	47
2.8.	Determinación de la resistencia a compresión-----	50

2.9.	Presupuestos -----	50
2.9.1.	Precio unitario -----	51
<i>CAPÍTULO III-----</i>		<i>53</i>
<i>ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE HORMIGONES CON AGUA A DIFERENTES PH ----</i>		<i>53</i>
3.1.	Elaboración de hormigón de 35 Mpa -----	53
3.2.	Modificación del pH del agua-----	55
3.2.1.	Análisis y modificación del agua para un pH = 5 (Acido) -----	55
3.2.2.	Análisis y modificación del agua para un pH = 6 (Acido) -----	57
3.2.3.	Análisis del agua para un pH = 7 (Neutro) -----	58
3.2.4.	Análisis y modificación del agua para un pH = 8 (Base)-----	59
3.2.5.	Análisis y modificación del agua para un pH = 9 (Base)-----	61
3.3.	Elaboración de probetas-----	62
3.4.	Rotura de probetas -----	62
3.4.1.	Probetas elaboradas con un pH = 5 (acido)-----	63
3.4.2.	Probetas elaboradas con un pH = 6 (acido)-----	65
3.4.3.	Probetas elaboradas con un pH = 7 (neutro)-----	66
3.4.4.	Probetas elaboradas con un pH = 8 (base) -----	68
3.4.5.	Probetas elaboradas con un pH = 9 (base) -----	70
<i>CAPÍTULO IV-----</i>		<i>74</i>
<i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS-----</i>		<i>74</i>
4.1.	Análisis y comparación de la variabilidad en la resistencia a compresión -----	74
4.1.1.	Tabulación de valores representativos -----	74
4.1.2.	Curva característica pH vs Resistencia-----	74
4.1.3.	Incidencia del control térmico en el proceso de curado de probetas -----	82
4.1.4.	Variación de la resistencia -----	83
4.2.	Análisis de precio unitario-----	85
4.3.	Aplicación mediante la elaboración de probetas con aguas naturales-----	87
4.3.1.	Probetas elaboradas con agua de la comunidad de “El Puente” -----	87

4.3.1.1. Elaboración y medición del pH-----	87
4.3.1.2. Rotura de probetas-----	90
4.3.1.3. Valores representativos -----	91
4.3.1.4. Verificación de resultados-----	91
4.3.2. Probetas elaboradas con agua de la comunidad de “Entre Rios”-----	94
4.3.2.1. Elaboración y medición del pH-----	94
4.3.2.2. Rotura de probetas-----	96
4.3.2.3. Valores representativos -----	97
4.3.2.4. Verificación de resultados-----	97
4.4. Contrastación de hipótesis-----	100
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> -----	<i>102</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i> -----	<i>104</i>
<i>ANEXOS</i> -----	<i>I</i>
<i>ANEXO A</i> -----	<i>II</i>
A.1. Tabla de valores de Cossalt-----	II
<i>ANEXO B</i> -----	<i>III</i>
B.1. Lugar de procedencia de los áridos-----	III
B.2. Áridos Extraídos y Caracterización de los materiales -----	IV
<i>ANEXO C</i> -----	<i>XIII</i>
C.1. Dosificación -----	XIII
<i>ANEXO D</i> -----	<i>XVI</i>
D.1. Fotografías de modificación del agua-----	XVI
<i>ANEXO E</i> -----	<i>XVIII</i>
E.1. Dosificación, hormigonado y curado de probetas-----	XVIII
<i>ANEXO F</i> -----	<i>XXII</i>
F.1. Rotura de probetas -----	XXII

<i>ANEXO G</i>	XXV
G.1. Efectos en el agua de curado	XXV
<i>ANEXO H</i>	XXVI
H.1. Análisis exploratorio de datos.....	XXVI
H.1.1. Descriptivos:	XXVI
H.1.2. Gráficos Q-Q Normal.....	XXXII
H.1.3. Gráficos Q-Q Normal sin tendencia	XXXVIII
H.1.4. Diagramas de cajas.....	XLIII
H.1.5. Pruebas de normalidad.....	XLIII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puente de Souillac.....	8
Figura 2. Bote de Hormigón Armado (Joseph Louis Lambot).....	9
Figura 3. Esquema de Integración del Hormigón.....	11
Figura 4. Efecto de la relación A/C en la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días.....	20
Figura 5. Variación del contenido de cemento con el tamaño máximo del agregado para diversas resistencias a la compresión.	21
Figura 6. La escala de medida del pH	26
figura 7. Diagrama de flujo Dosificación ACI 221.1	42
figura 8. Diagrama de flujo modificación aguas Ácidas	48
figura 9. Diagrama de flujo modificación aguas Básicas.....	49
Figura 10. Solución madre de Ácido Fosfórico + agua con pH = 2.33.....	56
Figura 11. Agua modificada con pH = 5	56
Figura 12. Solución madre de Ácido Fosfórico + agua con pH = 2.33.....	57
Figura 13. Agua modificada con pH = 6	58
Figura 14. Agua natural con pH = 7.....	59
Figura 15. Solución madre soda caustica + agua con pH = 12.....	60
Figura 16. Agua modificada con pH = 7,81	60
Figura 17. Solución madre soda caustica + agua con pH = 12.....	61
Figura 18. Agua modificada con pH = 9,01	62
figura 19. Efectos del agua modificada sobre el agua de curado y las probetas	73
figura 20. Curva pH de agua Vs Resistencia (Mpa) a 7 días.....	75
figura 21. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH básicos a 7 días	76
figura 22. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días.....	77
figura 23. Curva pH de agua Vs Resistencia (Mpa) a 221 días.....	79
figura 24. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH básicos a 221 días	81
figura 25. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días.....	82
figura 26. Agua Natural "El Puente" con pH=6,33	87
figura 27. Superficie espumada en muestra de agua natural "El Puente".....	88

figura 28. Medición de Solidos Totales Disueltos (TDS) "El Puente".....	89
figura 29. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días.....	92
figura 30. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días.....	93
figura 31. Agua Natural "Entre Rios" con pH=6,17.....	94
figura 32. Medición de Solidos Totales Disueltos (TDS) "Entre Rios"	95
figura 33. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 7 días.....	98
figura 34. Curva de ajuste pH Vs Resistencia (Mpa) para pH ácidos a 221 días.....	99
figura 35. Ubicación de planta separadora de áridos "Charajas".....	III
figura 36. Banco de material grava y arena.....	IV
figura 37. Lavado de los materiales a utilizar.....	IV

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Incremento aproximado promedio de la resistencia a la compresión del hormigón con el tiempo	24
Tabla 2. Sustancias Disueltas Admisibles en el Agua.....	29
Tabla 3. Composición química del Cemento Portland.....	33
Tabla 4. Clasificación del Cemento Portland según la norma EHE-08.....	34
Tabla 5. Clasificación del Cemento Portland según la norma A.S.T.M.	34
Tabla 6. Categorías estandarizadas de la resistencia de los Cementos.....	35
Tabla 7. Especificaciones Físicas de los Cementos.....	35
Tabla 8. Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para la desviación estándar.....	43
Tabla 9. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.....	44
Tabla 10. Contenido de aire atrapado.....	44
Tabla 11. Cantidad de agua de amasado	45
Tabla 12. Relación agua/cemento.....	45
Tabla 13. Volumen de Agregado Grueso / Volumen Unitario concreto (b/bo)	46
Tabla 14. Cantidades de los elementos de mezcla.....	47
Tabla 15. Característica de los Agregados	53
Tabla 16. Características del Aditivo	53
Tabla 17. Características del Diseño	54
Tabla 18. Cantidades de los elementos de diseño	54
Tabla 19. Proporciones de la mezcla de Hormigón.....	54
Tabla 20. Datos y estadística de probetas para pH = 5 (ácido) a 7 días	63
Tabla 21. Datos y estadística de probetas para pH = 5 (ácido) a 221 días	64
Tabla 22. Datos y estadística de probetas para pH = 6 (ácido) a 7 días	65
Tabla 23. Datos y estadística de probetas para pH = 6 (ácido) a 221 días	66
Tabla 24. Datos y estadística de probetas para pH = 7 (neutro) a 7 días.....	67
Tabla 25. Datos y estadística de probetas para pH = 7 (neutro) a 221 días.....	68
Tabla 26. Datos y estadística de probetas para pH = 8 (base) a 7 días.....	69
Tabla 27. Datos y estadística de probetas para pH = 8 (base) a 221 días.....	70

Tabla 28. Datos y estadística de probetas para pH = 9 (base) a 7 días.....	71
Tabla 29. Datos y estadística de probetas para pH = 9 (base) a 221 días.....	72
Tabla 30. Valores Representativos de las muestras de probetas a diferentes pH.....	74
Tabla 31. Precio Unitario "Hormigón confeccionado en obra 35 Mpa (350 Kg/cm ²)".....	86
Tabla 32. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "El Puente" a 7 días ..	90
Tabla 33. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "El Puente" a 221 días	90
Tabla 34. Valores representativos, muestra "El puente"	91
Tabla 35. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "Entre Rios" a 7 días.	96
Tabla 36. Datos y estadística de probetas, agua natural, comunidad "Entre Rios" a 221 días	96
Tabla 37. Valores representativos, muestra "Entre Rios"	97
Tabla 38. Valores Representativos de probetas a diferentes pH	100
Tabla 39. Análisis Físico Químico del Agua Potable en la Ciudad de Tarija.....	II
Tabla 40. Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la Desviación Estándar	XIII
Tabla 41. Cantidad de agua requerida	XIII
Tabla 42. Cantidad de aire atrapado.....	XIV
Tabla 43. Relación agua / cemento.....	XIV
Tabla 44. Vol. Agr. Grueso / Vol. Unitario concreto (b/bo)	XV
Tabla 45. Estadística descriptiva pH= 5.....	XXVII
Tabla 46. Estadística descriptiva pH= 6.....	XXVIII
Tabla 47. Estadística descriptiva pH= 7.....	XXIX
Tabla 48. Estadística descriptiva pH= 8.....	XXX
Tabla 49. Estadística descriptiva pH= 9.....	XXXI
Tabla 50. Resumen de procesamiento de datos.....	XXXII
Tabla 51. Gráfico Q-Q normal pH=5 (221 Días)	XXXIII
Tabla 52. Gráfico Q-Q normal pH=5 (7 Días)	XXXIII
Tabla 53. Gráfico Q-Q normal pH=6 (221 Días)	XXXIV
Tabla 54. Gráfico Q-Q normal pH=6 (7 Días)	XXXIV
Tabla 55. Gráfico Q-Q normal pH=7 (221 Días)	XXXV

Tabla 56. Gráfico Q-Q normal pH=6 (7 Días)	XXXV
Tabla 57. Gráfico Q-Q normal pH=8 (221 Días)	XXXVI
Tabla 58. Gráfico Q-Q normal pH=8 (7 Días)	XXXVI
Tabla 59. Gráfico Q-Q normal pH=9 (221 Días)	XXXVII
Tabla 60. Gráfico Q-Q normal pH=9 (7 Días)	XXXVII
Tabla 61. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=5 (221 días).....	XXXVIII
Tabla 62. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=5 (7 días).....	XXXVIII
Tabla 63. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=6 (221 días).....	XXXIX
Tabla 64. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=6 (7 días).....	XXXIX
Tabla 65. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=7 (221 días).....	XL
Tabla 66. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=7 (7 días).....	XL
Tabla 67. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=8 (221 días).....	XLI
Tabla 68. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=8 (7 días).....	XLI
Tabla 69. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=9 (221 días).....	XLII
Tabla 70. Gráfico Q-Q normal sin tendencia de Mpa pH=9 (7 días).....	XLII
Tabla 71. Diagrama de caja.....	XLIII
Tabla 72. Pruebas de normalidad	XLIV