

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA
ADICIÓN DE SUPERPLASTIFICANTE Y MICROSÍLICE”**

Por:

APARICIO ALMAZAN LUIS FERNANDO

Trabajo de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II -2025

TARIJA -BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN
DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA
ADICIÓN DE SUPERPLASTIFICANTE Y MICROSÍLICE”**

Por:

APARICIO ALMAZAN LUIS FERNANDO

Trabajo de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II -2025

TARIJA -BOLIVIA

AGRADECIMIENTOS

Dedico el presente documento a mis padres, Fidel Aparicio y Máxima Almazan Romero, quienes han sido el ejemplo más claro de superación, esfuerzo y trabajo duro. Han sido el pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme confianza, oportunidades y recursos para lograrlo.

A mis hermanos Reimar, Marcelo y Lisbeth, por su apoyo incondicional.

A mis amigos, quienes me brindaron su colaboración, tiempo y palabras de aliento durante el desarrollo de este proyecto. Su apoyo fue fundamental para culminar con éxito esta etapa.

Este recorrido es de todos nosotros... este logro es tan mío como de ustedes. ¡Gracias!

ÍNDICE
CAPÍTULO I
ANTECEDENTES

1.1	Introducción	1
1.2	El problema	3
1.2.1	Planteamiento	3
1.2.2	Formulación	3
1.2.3	Sistematización	4
1.3	Objetivos	4
1.3.1	General	4
1.3.2	Específicos	4
1.4	Justificación.....	5
1.4.1	Académica.....	5
1.4.2	Técnica	5
1.4.3	Social.....	6
1.5	Alcance.....	6
1.6	Hipótesis.....	7

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1	Introducción	8
2.2	Definición de hormigón de alta resistencia.	9
2.2.1	Aplicaciones:.....	11
2.2.2	Ventajas y desventajas del uso de hormigones de alta resistencia.	13
2.3	Principales Características del Hormigón	13
2.3.1	Propiedades del hormigón en estado fresco	15
2.3.1.1	Trabajabilidad.....	16
2.3.1.2	Revenimiento, asentamiento o caída.....	17
2.3.1.2.1	Factores que influyen en el revenimiento	18
2.3.1.3	Cohesión.....	19
2.3.1.4	Homogeneidad	19

2.3.2	Propiedades del hormigón en estado endurecido	20
2.3.2.1	Resistencia a la compresión	20
2.3.2.1.1	Factores que intervienen en la resistencia del hormigón	22
2.4	Componentes del hormigón	23
2.4.1	El cemento portland	23
2.4.1.1	Propiedades del cemento	24
2.4.1.2	Tipos de cemento Portland.....	25
2.4.1.3	Cemento Fancesa IP-40.....	26
2.4.1.4	Propiedades del cemento fancesa IP-40.....	27
2.4.2	Los agregados.....	27
2.4.2.1	Clasificación de los Agregados	27
2.4.2.2	Agregado grueso.	28
2.4.2.3	Agregado fino.....	28
2.4.3	Agua de amasado	28
2.4.4	Aditivos	29
2.4.4.1	Clasificación de los aditivos.....	29
2.4.4.2	Aditivo Súperplastificante.....	30
2.4.4.3	Efecto en las propiedades del hormigón	32
2.4.4.3.1	Incremento en el asentamiento:.....	33
2.4.4.4	Características y propiedades del aditivo usado.....	33
2.4.5	Adiciones Minerales.....	33
2.4.5.1	Microsílices	34
2.4.5.1.1	Mecanismo de acción	35
2.4.5.1.2	Clasificación.....	35
2.4.5.1.3	Empleo en el hormigón	36
2.4.5.2	Características y propiedades de la microsilíce usado	36
2.5	Características que deben reunir los materiales	36
2.5.1	Cemento	37
2.5.2	Aditivos y Adiciones	37
2.5.3	Agua	37

2.5.4	Los agregados.....	38
2.5.4.1	Agregado grueso	38
2.5.4.2	Agregado fino.....	39
2.5.5	Relación agua cemento (A/C)	40
2.6	Diseño de mezclas.....	41
2.6.1	Dosificación ACI-211.1	41
2.6.1.1	Experiencia en diseño de mezclas.....	42
2.6.1.2	Revenimiento	42
2.6.1.3	Estimación la cantidad de agua	43
2.6.1.4	Estimación del contenido de aire atrapado.....	44
2.6.1.5	Estimación la relación agua / cemento (A/C)	44
2.6.1.6	Contenido de cemento (C)	44
2.6.1.7	Agregados	44
2.7	Normativas a utilizar en el procedimiento experimental.	46

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Descripción de la metodología.....	47
3.1.1	Variables.....	47
3.1.2	Población y Muestra.....	48
3.2	Fase I: Recolección de los materiales	51
3.3	Fase II Ensayos de caracterización de los materiales en laboratorio	52
3.3.1	Ensayos de laboratorio de cemento	52
3.3.2	Características del Agregado fino	53
3.3.2.1	Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	53
3.3.2.2	Determinación de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino .	54
3.3.2.3	Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	54
3.3.3	Características del Agregado Grueso	55
3.3.3.1	Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	55
3.3.3.2	Determinación de Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso....	56

3.3.3.3	Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	56
3.3.3.4	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles.....	57
3.4	Fase III: Elaboración de la mezcla, curado y ensayo de los hormigones....	57
3.4.1	Dosificación Hormigón patrón.....	57
3.4.2	Dosificación con aditivo Superplastificante.....	58
3.4.3	Dosificación con aditivo Superplastificante y la adición de microsílice	59
3.4.4	Relación agua-cemento finales (A/C)	60
3.4.5	Elaboración de muestras en laboratorio	61
3.4.5.1	Aparatos y equipos.....	61
3.4.5.2	Muestras	62
3.4.5.3	Preparación de materiales.	62
3.4.5.4	Procedimiento de elaboración de muestras en laboratorio.....	62
3.4.6	Curado de probetas cilíndricas de hormigón.....	66
3.4.7	Ensayo de roturas de probetas a Compresión (Falla con almohadillas).....	67
3.4.7.1	Resultados Ensayo de roturas de probetas a Compresión.....	68
3.4.7.1.1	Hormigón patrón	68
3.4.7.1.2	Hormigón con aditivo superplastificante	69
3.4.7.1.3	Hormigón con aditivo superplastificante más la adición de microsílice	71

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Características físicas y mecánicas de las muestras.....	73
4.1.1	Agregados	73
4.1.2	Hormigón en estado fresco.....	76
4.1.3	Hormigón en estado Endurecido	79
4.1.3.1	Hormigón patrón	79
4.1.3.2	Resultado del análisis estadístico de la resistencia a compresión ...	79

4.2	Evaluación de los resultados	85
4.2.1	Materiales.....	85
4.2.1.1	Cemento	85
4.2.1.2	Agregados	85
4.2.1.3	Aditivo	85
4.2.2	Hormigón estado fresco	88
4.2.2.1	Relación agua cemento	88
4.2.2.2	Asentamiento.....	88
4.2.2.3	Trabajabilidad y consistencia.....	90
4.2.2.4	Cohesión.....	90
4.2.3	Hormigón endurecido.....	91
4.3	Análisis de costos.....	92
4.3.1	Cemento	92
4.3.2	Agregados	92
4.3.3	Aditivo	93
4.3.4	Agua	93
4.3.5	Hormigón	94
4.4	Contrastación de hipótesis	96

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	98
5.2	Recomendaciones.....	103

Bibliografía

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Matriz P.C.E.S.

ANEXO B: Reporte de laboratorio para cemento portland con puzolana.

ANEXO C: Hoja técnica Sika Viscocrete – 5-800.

ANEXO D: Hoja técnica Sika Fume.

ANEXO E: Caracterización de los agregados.

ANEXO F: Diseño de mezclas de prueba hormigón patrón.

ANEXO G: Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probetas de hormigón según norma ASTM C39.

ANEXO H: Criterio de aceptación para resistencia de compresión H-35, según proyecto de norma NB 1225001.

ANEXO I: Análisis estadístico de resultados de ensayo de resistencia a la compresión.

ANEXO J: Análisis de precios unitarios.

ANEXO K: Reporte fotográfico.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ventajas y desventajas de la aplicación del hormigón de alta resistencia.....	13
Tabla 2.	Consistencia de los hormigones.....	17
Tabla 3.	Valores de coeficiente KN	22
Tabla 4.	Clasificación y composición de los cementos	26
Tabla 5.	Clasificación de aditivos químicos, según ASTM C494	30
Tabla 6.	Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para la desviación estándar	42
Tabla 7.	Revenimientos recomendados para diferentes tipos de estructuras.....	43
Tabla 8.	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado	43
Tabla 9.	Dependencia entre la relación A/C y la resistencia compresión	44
Tabla 10.	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón (b/bo).....	45
Tabla 11.	Cantidades de los elementos de mezcla	45
Tabla 12.	Lista de los ensayos aplicados	46
Tabla 13.	Resultado promedio del análisis granulométrico del agregado fino y módulo de fineza.	53
Tabla 14.	Resultados de los pesos unitarios compactados del agregado fino.....	54
Tabla 15.	Resultados de pesos específicos del agregado fino y su porcentaje de absorción.....	55
Tabla 16.	Resultado promedio del análisis granulométrico del agregado grueso..	55
Tabla 17.	Resultados de los pesos unitarios del agregado grueso	56
Tabla 18.	Resultados de pesos específicos del agregado grueso y su porcentaje de absorción.....	57
Tabla 19.	Resultados ensayo desgaste mediante máquina de los ángeles	57
Tabla 20.	Resultado dosificación de hormigón patrón para 1 m ³	58
Tabla 21.	Porcentajes de reducción de agua logrado con diferentes % de aditivo superplastificante.....	58

Tabla 22.	Presentación del diseño en estado seco para 1 m ³ de Hormigón con diferentes % de aditivo superplastificante.....	59
Tabla 23.	Porcentajes de reducción de agua logrado con diferentes % de aditivo superplastificante más adición de microsilíce	59
Tabla 24.	Presentación del diseño en estado seco para 1 m ³ de Hormigón con diferentes % de aditivo superplastificante más la adición de microsilíce	60
Tabla 25.	Correcciones de la relación A/C con la incorporación de diferentes % de aditivo superplastificante	60
Tabla 26.	Correcciones de la relación A/(C+M) con la incorporación combinada en diferentes % de superplastificante y microsilíce	61
Tabla 27.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón patrón.....	68
Tabla 28.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (0.5%).....	69
Tabla 29.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (1.0%).....	69
Tabla 30.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (1.5%).....	70
Tabla 31.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (2.0%).....	70
Tabla 32.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (0.5%) + microsilíce (2.5%)	71
Tabla 33.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (1.0%) + microsilíce (5.0%)	71
Tabla 34.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (1.5%) + microsilíce (7.5%)	72
Tabla 35.	Resultado de resistencia a compresión del hormigón con superplastificante (2.0%) + microsilíce (10.0%)	72
Tabla 36.	Análisis granulométrico agregado fino.....	73
Tabla 37.	Características físicas del agregado fino.....	74
Tabla 38.	Análisis granulométrico agregado grueso.....	74

Tabla 39.	Características físicas del agregado grueso	75
Tabla 40.	Hormigón en estado fresco aditivo superplastificante	76
Tabla 41.	Hormigón en estado fresco aditivo superplastificante más adición de microsílice.....	78
Tabla 42.	Resistencia a compresión media en función del tiempo de curado del hormigón con superplastificante	80
Tabla 43.	Incremento de la resistencia a compresión en función tiempo de curado del hormigón con superplastificante	81
Tabla 44.	Resistencia a compresión media en función del tiempo de curado del hormigón con superplastificante más adición de microsílice	82
Tabla 45.	Incremento de la resistencia a compresión en función tiempo de curado del hormigón con superplastificante más adición de microsílice.....	83
Tabla 46.	Precio de materiales elementales	94
Tabla 47.	Análisis de costos de hormigón con aditivo superplastificante	95
Tabla 48.	Análisis de costos de hormigón con aditivo superplastificante más adición de microsílice	96
Tabla 49.	Porcentajes de incremento de la resistencia respecto al hormigón patrón.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de integración del hormigón.....	14
Figura 2.	Cono de Abrams y su uso para medir el asentamiento	17
Figura 3.	Cemento IP-40 superior	27
Figura 4.	Microsílice o Humo de Sílice	34
Figura 5.	Partículas de microsílice con microscopio eléctrico.....	34
Figura 6.	Efecto de la microsílice en la aureola de transición del agregado, comparación entre un concreto convencional y un concreto de alto desempeño	35
Figura 7.	Partículas de agregado grueso.....	39
Figura 8.	Partículas de agregado fino proveniente de Rio Tolomosa.....	40
Figura 9.	Relación entre variables independientes y dependientes en el diseño experimental.....	48
Figura 10.	Curva granulométrica y control granulométrico del agregado fino.....	53
Figura 11.	Curva y control granulométrico del Agregado Grueso	56
Figura 12.	Materiales pesados para la mezcla.....	63
Figura 13.	Mezcla inicial del aditivo superplastificante con la primera mitad del agua.....	63
Figura 14.	Estado inicial de la mezcla antes de agregar la mitad restante del agua	64
Figura 15.	Estado final de la mezcla con trabajabilidad adecuada.....	65
Figura 16.	Asentamiento mediante el cono Abrams	65
Figura 17.	Probetas cilíndricas vaciadas con hormigón.....	66
Figura 18.	Curado de probetas por inmersión	67
Figura 19.	Curva granulométrica agregado fino	74
Figura 20.	Curva granulométrica y control granulométrico.....	75
Figura 21.	Porcentaje de reducción de agua.....	77
Figura 22.	Asentamiento cono de Abrams	77
Figura 23.	Relación agua-cemento.....	77
Figura 24.	Porcentaje de reducción de agua.....	78
Figura 25.	Asentamiento cono de Abrams	78

Figura 26. Relación agua-cemento.....	79
Figura 27. Evolución de la resistencia a compresión en función del tiempo de curado del hormigón con superplastificante	80
Figura 28. Incremento de la resistencia a la edad de 7 días Vs Porcentaje de superplastificante.....	81
Figura 29. Incremento de la resistencia a la edad de 14 días Vs Porcentaje de superplastificante.....	81
Figura 30. Incremento de la resistencia a la edad de 28 días Vs Porcentaje de superplastificante.....	82
Figura 31. Evolución de la resistencia a compresión en función del tiempo de curado del hormigón con superplastificante más adición de microsilíce.....	83
Figura 32. Incremento de la resistencia a la edad de 7 días Vs porcentaje de aditivo superplastificante más adición de microsilíce.....	84
Figura 33. Incremento de la resistencia a la edad de 14 días Vs porcentaje de aditivo superplastificante más adición de microsilíce.....	84
Figura 34. Incremento de la resistencia a la edad de 28 días Vs porcentaje de aditivo superplastificante más adición de microsilíce.....	85
Figura 35. Relación agua-cemento vs Resistencia a compresión modificado con superplastificante.....	86
Figura 36. Relación agua-cemento vs Resistencia a compresión modificado con superplastificante más microsilíce	86
Figura 37. Incremento de la resistencia vs la cantidad de aditivo superplastificante.....	87
Figura 38. Incremento de la resistencia vs cantidad de aditivo superplastificante más adición de microsilíce	88
Figura 39. Incremento del asentamiento Vs % Superplastificante.....	89
Figura 40. Incremento del asentamiento Vs % Superplastificante más microsilíce 90	
Figura 41. Resistencia a compresión de la mezcla patrón a los 28 días.....	91
Figura 42. Reducción de la demanda de agua Vs cantidad de superplastificante ...	93

Figura 43. Reducción de la demanda de agua Vs cantidad de superplastificante más microsílíce.....	94
Figura 44. Incremento de costos para 1m ³ de hormigón con aditivo superplastificante.....	95
Figura 45. Incremento de costos para 1m ³ de hormigón con aditivo superplastificante más adición de microsílíce.....	96
Figura 46. Incrementos de resistencia a los 28 días con superplastificante	98
Figura 47. Evolución de la resistencia en función del tiempo de curado.....	99
Figura 48. Incremento del asentamiento Vs % Superplastificante.....	100
Figura 49. Relación agua-material cementante corregida.....	101
Figura 50. Incremento de costos	102