



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DISEÑO DEL
PAVIMENTO RÍGIDO CON ÁRIDOS PROVENIENTES DE LAS
CUENCAS DE LOS RÍOS PAUTE Y JUBONES INCORPORANDO
ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: JUAN ESTEBAN ALBARRACÍN BOLAÑOS

JINSOP MARCELO CAÑARTE SARANGO

DIRECTOR: ING. CIV. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA, M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO
RÍGIDO CON ÁRIDOS PROVENIENTES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS
PAUTE Y JUBONES INCORPORANDO ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: JUAN ESTEBAN ALBARRACÍN BOLAÑOS

JINSOP MARCELO CAÑARTE SARANGO

DIRECTOR: ING. CIV. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA, M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

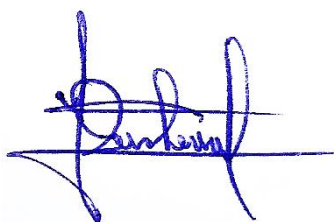
2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Juan Esteban Albarracín Bolaños, Jinsop Marcelo Cañarte Sarango, portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0150612584** y N°. **0705604924** Declaramos ser los autores de la obra: **“Evaluación de las propiedades de diseño del pavimento rígido con áridos provenientes de las cuencas de los ríos Paute y Jubones incorporando aditivo hiperplastificante”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **19 de marzo del 2023**



F:

Juan Esteban Albarracín Bolaños

C.I. 0105612584



F:

Jinsop Marcelo Cañarte Sarango

C.I. 0705604924

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el trabajo de titulación presente en este documento, fue desarrollado por los estudiantes: Juan Esteban Albarracín Bolaños y Jinsop Marcelo Cañarte Sarango, bajo mi guía y supervisión.



.....
Ing. Francisco José Darquea Córdova, M.Sc.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, en especial a mi mami Nelly, por ser una persona indispensable y fundamental en cada aspecto de mi desarrollo personal. Con todo mi esfuerzo a mis padres, por encaminarme a cumplir mis metas y guiarme de manera ejemplar. Con todo mi cariño a mi tía Pao, mi modelo de rectificación y valentía. Con todo mi amor a la mujer que aceptó acompañarme el resto de mi vida, por su apoyo incondicional y ser mi refugio de inspiración. Y por último a Harry 🍄 por su lealtad y por haberme elegido para ser su mejor amigo.

Juan Esteban

Este logro se lo dedico principalmente a mis padres, los cuales desde mis primeros años de vida me han apoyado incondicionalmente en el estudio, gracias a ellos y su esfuerzo hoy por hoy puedo cumplir esta meta propuesta con anterioridad. De igual forma, quiero agradecer a mis dos hermanos, los que considero piezas fundamentales en la culminación de mi carrera universitaria, a pesar que hemos pasado por momentos difíciles y sobre todo de zozobra nunca nos hemos rendido, con la esperanza de no parar y seguir adelante para poder cumplir algunos objetivos que todavía tenemos en mente.

Jinsop Marcelo

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, fuente de fortaleza y energía inagotable, por estar siempre presente en mi vida y en todos mis proyectos. Agradezco el sacrificio de mis padres: María Fernanda, por su fortaleza y tenacidad; y Juan Alfredo, quien desde mi infancia me impulsó a perseguir este sueño y me ha brindado su respaldo absoluto. A la universidad y sus docentes, especialmente quiero reconocer el valioso aporte de la ingeniera Paola Delgado y los ingenieros Francisco Darquea, Marcos González y Juan Monge, quienes han compartido su experiencia para alcanzar los objetivos de este estudio. A mi compañero Jinsop, por su ayuda para culminar este logro.

Juan Esteban

Agradezco con todo el alma y corazón a mi familia y a los que considero parte de ella. Primeramente, a mis padres Franklin Cañarte y Mariana Sarango, quienes a pesar de los años que han pasado para poder obtener este título universitario, han tenido paciencia y me han apoyado en mis altos y bajos. Por otra parte, agradezco a mis dos hermanos, Betty Cañarte quién me ha enseñado e inculcado el valor de la familia y a mi hermano mayor Roberto Cañarte, quién fue como un segundo padre para mí desde el colegio hasta la universidad, el cual me enseñó a valorar mi vida. Agradezco a cada una de las personas que estuvo conmigo desde el principio hasta el final, a mis amigos más cercanos quienes de una u otra manera me han brindado su apoyo moral, a los docentes del laboratorio de suelos en Ricaurte quienes nos dieron algunas ideas para poder concluir de manera exitosa los ensayos respectivos. Al Ing. Francisco Darquea, quien en base a sus conocimientos nos supo guiar paso a paso en nuestro trabajo de titulación. Y por último quiero agradecer a mi compañero de tesis Juan Albarracín con el cual formamos una buena dupla para poder terminar de forma rápida nuestra tesis.

Jinsop Marcelo

RESUMEN

Existe una limitación en la aplicación de aditivos para el diseño de hormigón, debido principalmente a la falta de estudios y capacitación sobre su manipulación. La presente investigación surge de la necesidad de evaluar la calidad y costo de producción de una losa de pavimento rígido, por lo tanto, su objetivo es comparar los resultados de diseño de hormigón tradicional y con la incorporación del aditivo hiperplastificante, utilizando materiales provenientes de los ríos Paute y Jubones para determinar el porcentaje óptimo de reducción de agua en cada árido. Se utilizaron 54 probetas de hormigón en total en los ensayos, 27 con cada tipo de material agregado, siendo 9 para la mezcla patrón y 18 para la mezcla con aditivo.

Los resultados de la caracterización indicaron que el árido proveniente del río Jubones presenta una porosidad superior, con un valor del 4.17%, en comparación con el árido del río Paute, cuya porosidad es de 2.83%. Respecto a la inclusión del aditivo al diseño de hormigón, se determinó que el porcentaje óptimo de reducción de agua es del 15% para el material del río Paute y 25% para el material del río Jubones, logrando resultados satisfactorios con valores promedio de resistencias máximas a compresión de 322 kgf/cm² y 326.5 kgf/cm², respectivamente. La calidad del concreto para pavimento rígido está sujeto al tipo de agregados utilizados, y aunque los áridos con alta absorción de líquidos pueden disminuir la resistencia del concreto, el uso de aditivo plastificante mejora la adherencia y aumenta la resistencia.

Palabras clave: pavimento rígido, hormigón, agregados, aditivo hiperplastificante, resistencia a compresión.

ABSTRACT

There is a need for more admixtures for concrete design, mainly due to the need for studies and training on their handling. The present research arises from the need to evaluate the quality and cost of production of a rigid pavement slab. Therefore, its objective is to compare the results of traditional concrete design with the incorporation of the hyper-plasticizing additive, using materials from the Paute and Jubones rivers to determine the optimum percentage of water reduction in each aggregate. Fifty-four concrete test tubes were used in the tests, 27 with each type of aggregate material, 9 for the standard mix, and 18 for the combination with admixture.

The characterization results indicated that the aggregate from the Jubones river has a higher porosity, with a value of 4.17%, compared to the aggregate from the Paute river, whose porosity is 2.83%. Regarding the inclusion of the additive in the concrete design, it was determined that the optimum percentage of water reduction is 15% for the material from the Paute River and 25% for the material from the Jubones River, achieving satisfactory results with average maximum compressive strengths of 322 kgf/cm² and 326.5 kgf/cm², respectively. The quality of rigid pavement concrete is subject to the type of aggregates used. Although aggregates with high liquid absorption may decrease the strength of the concrete, the use of plasticizing admixture improves the bond and increases the strength.

Keywords: rigid pavement, concrete, aggregates, hyper-plasticizing admixture, compressive strength.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
CAPITULO I.....	15
1 GENERALIDADES	15
1.1 Introducción.....	15
1.2 Formulación del problema.....	16
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II	20
2 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes	20
2.1.1 A nivel internacional	20
2.1.2 A nivel nacional.....	21
2.2 Bases teórico – científicas.....	23
2.2.1 Pavimento.....	23
2.2.2 Pavimento rígido.....	23
2.2.2.1 Método AASHTO	24
2.2.2.2 Método PCA.....	24
2.2.3 Hormigón hidráulico	24
2.2.4 Componentes del hormigón	25
2.2.4.1 Cemento Portland.....	25
2.2.4.2 Clasificación del cemento Portland	25
2.2.4.3 Agregados.....	26
2.2.4.4 Agua.....	27
2.2.5 Clasificación de los áridos	27
2.2.5.1 Áridos naturales.....	27
2.2.5.1.1 Rocas ígneas.....	28

2.2.5.1.2	Rocas sedimentarias	28
2.2.5.1.3	Rocas metamórficas	28
2.2.5.2	Áridos reciclados.....	28
2.2.5.3	Áridos artificiales.....	28
2.2.6	Propiedades de los agregados	29
2.2.6.1	Granulometría	29
2.2.6.1.1	Especificación granulométrica para áridos finos	29
2.2.6.1.2	Especificación granulométrica para áridos gruesos.....	30
2.2.6.2	Módulo de finura	31
2.2.6.3	Tamaño máximo del árido	31
2.2.6.4	Tamaño nominal máximo	32
2.2.6.5	Masa unitaria (peso volumétrico)	32
2.2.6.6	Densidad	32
2.2.6.6.1	Densidad de volumen en estado seco	32
2.2.6.6.2	Densidad aparente	33
2.2.6.6.3	Densidad de volumen en estado SSS	33
2.2.6.7	Capacidad de absorción	33
2.2.6.8	Contenido de humedad.....	34
2.2.6.9	Forma de partículas y textura superficial.....	34
2.2.6.10	Abrasión	35
2.2.7	Propiedades del hormigón.....	35
2.2.7.1	Estado fresco	35
2.2.7.1.1	Consistencia	35
2.2.7.1.2	Trabajabilidad.....	36
2.2.7.1.3	Uniformidad.....	36
2.2.7.1.4	Fraguado.....	36
2.2.7.2	Estado endurecido	36
2.2.8	Diseño de mezcla de hormigón.....	36
2.2.8.1	Método ACI.....	36
2.2.8.2	Método Fuller-Thompson	37
2.2.9	Aditivos del concreto	38
2.2.9.1	Requisitos en la norma para empleo de aditivos	38
2.2.9.2	Clasificación de aditivos	39
2.2.9.3	Razones de empleo.....	39
2.2.9.4	Aditivo reductor de agua o plastificante	40
2.2.9.5	Aditivo superplastificante	40
2.2.9.6	Aditivo hiperplastificante.....	41
CAPÍTULO III.....		43
3	METODOLOGÍA Y ESTUDIO EXPERIMENTAL.....	43

3.1	Caracterización de los materiales.....	43
3.1.1	Cemento.....	43
3.1.2	Agua.....	43
3.1.3	Materiales áridos	43
3.1.3.1	Geología utilizada	43
3.1.3.1.1	Santa Isabel.....	43
3.1.3.1.2	Paute.....	44
3.1.3.2	Muestreo.....	45
3.1.3.3	Análisis granulométrico del árido fino	47
3.1.3.3.1	Granulometría del árido fino de Paute	47
3.1.3.3.2	Granulometría del árido fino de Santa Isabel	48
3.1.3.4	Análisis granulométrico del árido grueso	50
3.1.3.4.1	Granulometría del árido grueso de Paute.....	51
3.1.3.4.2	Granulometría del árido grueso de Santa Isabel	52
3.1.3.5	Ajuste de la curva granulométrica (Método Fuller – Thompson).....	53
3.1.3.6	Contenido de humedad natural	56
3.1.3.7	Capacidad de absorción	56
3.1.3.8	Peso específico	56
3.1.3.9	Abrasión	60
3.1.4	Aditivo hiperplastificante.....	61
3.2	Diseño de la mezcla.....	61
3.2.1	Metodología de diseño de la mezcla patrón	61
3.2.1.1	Análisis de la resistencia requerida	62
3.2.1.2	Selección del asentamiento	63
3.2.1.3	Tamaño máximo del agregado.....	64
3.2.1.4	Estimación de la cantidad de agua	64
3.2.1.5	Relación agua/cemento	66
3.2.1.6	Cantidad de cemento	67
3.2.1.7	Proporciones de los agregados.....	67
3.2.1.7.1	Porcentaje y volumen de agregado fino	69
3.2.1.7.2	Porcentaje y volumen de agregado grueso	69
3.2.1.8	Dosificación de elementos que componen la mezcla de hormigón.....	69
3.2.1.9	Corrección por humedad	72
3.2.1.10	Dosificación óptima de los elementos que conforman el hormigón.....	73
3.2.2	Diseño de mezcla de hormigón agregando porcentajes de aditivo.	74
3.2.3	Ejecución de ensayos en laboratorio	75
3.2.3.1	Proceso de elaboración de probetas.....	76
3.2.3.2	Curado de las muestras obtenidas	78

3.2.4	Ensayo de resistencia de las probetas.....	79
	CAPÍTULO IV	81
4	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	81
4.1	Análisis de resultados	82
4.1.1	Ensayos de resistencia de las probetas con áridos de Paute	82
4.1.1.1	Ensayo de resistencia a compresión del diseño de mezcla patrón	82
4.1.1.2	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 100% de agua	83
4.1.1.3	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 85% de agua	84
4.1.1.4	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 75% de agua	85
4.1.1.5	Promedio de resistencias a compresión con áridos de Paute	86
4.1.1.6	Discusión de resultados de los ensayos de resistencia a compresión	87
4.1.2	Ensayos de resistencia de las probetas con áridos de Santa Isabel	88
4.1.2.1	Ensayo de resistencia a compresión del diseño de mezcla patrón	88
4.1.2.2	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 100% de agua	89
4.1.2.3	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 85% de agua	90
4.1.2.4	Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 75% de agua	91
4.1.2.5	Promedio de resistencias a compresión con áridos de Santa Isabel	92
4.1.2.6	Discusión de resultados de los ensayos de resistencia a compresión	93
4.1.3	Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos a compresión con áridos de Paute y Santa Isabel.....	94
4.1.4	Análisis de costos	95
4.1.4.1	Áridos de Paute.....	95
4.1.4.2	Áridos de Santa Isabel.....	99
4.1.4.3	Resumen y comparación de costos obtenidos	103
4.2	Conclusiones	104
4.3	Recomendaciones.....	106
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geología de Santa Isabel.	44
Figura 2. Geología de Paute	45
Figura 3. Cuarteo sobre una superficie firme limpia y nivelada.	46
Figura 4. Curva granulométrica agregado fino – Paute (TMN 3/8”).	48
Figura 5. Curva granulométrica agregado fino – Santa Isabel (TMN 3/8”).	49
Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso – Paute (TMN 1 1/2”).	51
Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso – Santa Isabel (TMN 1 1/2”).	53
Figura 8. Curva Granulométrica Ajustada– Paute (Método Fuller - Thompson).	55
Figura 9. Curva Granulométrica Ajustada– Santa Isabel (Método Fuller - Thompson).	55
Figura 10. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado fino.	57
Figura 11. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado fino.	57
Figura 12. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado grueso.	59
Figura 13. Determinación del peso en estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado grueso.	59
Figura 14. Asentamiento obtenido para el diseño de mezcla patrón con áridos de Paute.	63
Figura 15. Gráfica de distribución de materiales Fuller - Thompson.	68
Figura 16. Proceso de mezclado de materiales para el diseño de la mezcla de hormigón.	78
Figura 17. Grupo de probetas en la piscina de almacenamiento para muestras de hormigón.	79
Figura 18. Ensayos de rotura (Maquina de compresión).	80
Figura 19. Curva resistencia – tiempo, de las relaciones a/c en los diseños de mezcla patrón, Paute. ..	82
Figura 20. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 100% de agua, Paute.	83
Figura 21. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 85% de agua, Paute.	84
Figura 22. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 75% de agua, Paute.	85
Figura 23. Curva resistencia – tiempo, promedio de diseños con aditivo, Paute.	86
Figura 24. Curva resistencia – tiempo, de las relaciones a/c en los diseños de mezcla patrón, Santa Isabel.	88
Figura 25. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 100% de agua, Santa Isabel.	89
Figura 26. Curva resistencia – tiempo, d diseños con aditivo y 85% de agua, Santa Isabel.	90
Figura 27. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 75% de agua, Santa Isabel.	91
Figura 28. Curva resistencia – tiempo, promedio de diseños con aditivo, Santa Isabel.	92
Figura 29. Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos con porcentajes de aditivos y mezcla patrón, con áridos de Paute y Santa Isabel.	94
Figura 30. Comparativa de costos obtenidos	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificación granulométrica, según la abertura del tamiz en áridos finos.	30
Tabla 2. Especificación granulométrica, según la abertura del tamiz en árido grueso.	30
Tabla 3. Especificación granulométrica, requisitos de gradación para áridos gruesos.	31
Tabla 4. Datos técnicos del aditivo Sika ViscoCrete 4100	42
Tabla 5. Requisitos de gradación del árido fino.	47
Tabla 6. Granulometría del agregado fino de Paute.....	47
Tabla 7. Límites del agregado fino Paute según la Norma NTE INEN 872.	48
Tabla 8. Granulometría del agregado fino de Santa Isabel	49
Tabla 9. Límites del agregado fino Santa Isabel según la Norma NTE INEN 872.	49
Tabla 10. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.....	50
Tabla 11. Requisitos de gradación del árido grueso.	50
Tabla 12. Granulometría del árido grueso de Paute.....	51
Tabla 13. Límites del Agregado Grueso de Paute según la Norma NTE INEN 872.....	52
Tabla 14. Granulometría del agregado grueso de Santa Isabel	52
Tabla 15. Límites del Agregado Grueso de Santa Isabel según la Norma NTE INEN 872.	53
Tabla 16. Método Fuller – Thompson Ajuste Granulometría– Paute.	54
Tabla 17. Método Fuller – Thompson Ajuste Granulometría– Santa Isabel.	54
Tabla 18. Contenido de humedad natural de los áridos.	56
Tabla 19. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Paute.	58
Tabla 20. Peso específico y capacidad de absorción - Agregado fino de Paute.	58
Tabla 21. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Santa Isabel.	58
Tabla 22. Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino – Santa Isabel.	58
Tabla 23. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute.	59
Tabla 24. Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute.	59
Tabla 25. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Santa Isabel.	60
Tabla 26. Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso – Santa Isabel.	60
Tabla 27. Desgaste de material, Santa Isabel y Paute (Maquina de los Ángeles).	60
Tabla 28. Resistencia promedio a la compresión, cuando no se tiene desviación estándar.	62
Tabla 29. Asentamientos recomendados para hormigones con y sin aditivo plastificante.	63
Tabla 30. Cantidad de agua requerida en función de la tipología y tamaño máximo del agregado.	65
Tabla 31. Modificaciones sobre el contenido de agua.	65
Tabla 32. Relación entre f'_{cr} y (A/C). Vibración normal.	66
Tabla 33. Distribución de los pesos para la dosificación del diseño de mezcla de hormigón – Paute... ..	70
Tabla 34. Distribución de los pesos para la dosificación del diseño de mezcla de hormigón – Santa Isabel.	71
Tabla 35. Aporte por humedad de los componentes para el diseño de mezcla de hormigón – Paute....	72
Tabla 36. Aporte por humedad de los componentes para el diseño de mezcla de hormigón – Santa Isabel.	73
Tabla 37. Dosificación óptima de componentes ajustados por humedad para la mezcla de hormigón – Paute.	73
Tabla 38. Dosificación óptima de componentes ajustados para la mezcla de hormigón – Santa Isabel.	74
Tabla 39. Dosificación de los componentes para la mezcla con aditivo– Paute.	74
Tabla 40. Dosificación de los componentes para la mezcla con aditivo – Santa Isabel.	75
Tabla 41. Distribución de probetas para los ensayos realizados de la mezcla patrón.....	75
Tabla 42. Distribución de probetas de la mezcla patrón según el tiempo de ensayo.....	75
Tabla 43. Distribución de probetas para los ensayos realizados de la mezcla con aditivo.	76

Tabla 44. Distribución de probetas de la mezcla con aditivo según el tiempo de ensayo.	76
Tabla 45. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño Patrón con áridos de Paute.	82
Tabla 46. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 100% de agua, Paute.	83
Tabla 47. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 85% de agua, Paute.	84
Tabla 48. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 75% de agua, Paute.	85
Tabla 49. Promedio de resultados ensayos a compresión de diseños con aditivo, Paute.	86
Tabla 50. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño Patrón con áridos de Santa Isabel.	88
Tabla 51. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 100% de agua, Santa Isabel.	89
Tabla 52. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 85% de agua, Santa Isabel.	90
Tabla 53. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 75% de agua, Santa Isabel.	91
Tabla 54. Promedio de resultados ensayos a compresión de diseños con aditivo, Santa Isabel.	92
Tabla 55. Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos con porcentajes de aditivos y mezcla patrón, con áridos de Paute y Santa Isabel.	94
Tabla 56. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=307 \text{ kg/cm}^2$ con áridos de Paute.	95
Tabla 57. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=307 \text{ kg/cm}^2$ con áridos de Paute, transporte a Santa Isabel.	96
Tabla 58. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=322 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Paute.	97
Tabla 59. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=322 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Paute, transporte a Santa Isabel.	98
Tabla 60. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=265 \text{ kg/cm}^2$ con áridos de Santa Isabel.	99
Tabla 61. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=265 \text{ kg/cm}^2$ con áridos de Santa Isabel, transporte a Santa Isabel.	100
Tabla 62. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=326.5 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Santa Isabel.	101
Tabla 63. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=326.5 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Santa Isabel, transporte a Santa Isabel.	102
Tabla 64. Resumen del análisis de costos obtenidos.	103

CAPITULO I

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

El crecimiento de las ciudades y el desarrollo de la industria son directamente proporcionales a la movilidad humana y por lo tanto dependen de la infraestructura del sistema vial (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018). El diseño incorrecto de infraestructuras viales y el uso de controladores de tráfico ineficientes son las principales causas que han ocasionado que varias ciudades del mundo presenten problemas serios de transporte (Colvile, Hutchinson, & Warren, 2001). Cuenca es una de las ciudades más importantes del Ecuador y el incremento desatado de su parque automotor, exige que las características para los diseños de pavimentos asimilen mayores exigencias que logren satisfacer proyecciones futuras.

Las propiedades físicas de la mezcla de concreto utilizado para el diseño de losas de pavimento rígido dependen del tipo de agregado, agua y ligante (por lo general, cemento), siendo los principales aspectos que afectan directamente su trabajabilidad en estado fresco y su resistencia final. Las deformaciones que sufren los caminos y carreteras bajo las cargas del tráfico pueden ser más evidentes en zonas lluviosas. Por esta razón se han realizado investigaciones con el objetivo de proporcionar nuevas técnicas que mejoren las propiedades físico-mecánicas del concreto. Un ejemplo son los hormigones permeables, cuyas características permiten el paso de agua a través de su estructura. Sin embargo, dicha característica afecta su resistencia (Mancheno & Salazar, 2021).

Cuando se diseña una mezcla de hormigón hidráulico utilizando áridos porosos, cuya característica es su alta absorción de líquido, aumenta la porosidad y permeabilidad en el resultado final del hormigón (Neville & Brooks, 1992). Es importante recalcar que la infraestructura vial, así como la gran mayoría de obras civiles, precisan realizar su fase constructiva por etapas. Por esta razón, el concreto requiere un tratamiento especial para lograr

un resultado adecuado. El uso de aditivos permite unir concreto monolíticamente (Condori & Palacios, 2021). Según el American Concrete Institute (ACI-116) se puede considerar como aditivos a las sustancias diferentes al cemento, minerales, agregados y fibras, incorporadas al concreto en un volumen menor al 5% del peso del cemento. Un aditivo plastificante aumenta la adherencia entre las partículas ya que reduce la relación agua/cemento, además de disminuir la absorción con lo cual se obtiene menor permeabilidad y se genera mayor resistencia (Huamán & Llanos, 2019).

Debido a la deficiencia de estudios, en nuestro medio es común percibir la creencia errónea que el alto costo de los aditivos no justifica su uso (Rodríguez, 2018). El presente proyecto de investigación, analiza la influencia en diferentes materiales áridos más comunes en la provincia del Azuay como son los provenientes de las cuencas del río Jubones y del río Paute, en las propiedades mecánicas para elaborar un diseño de mezcla de concreto rígido para pavimento, mediante el beneficio de incorporar el aditivo comercial hiperplastificante de alto rango, con lo cual se pretende reducir la absorción de agua, para así evaluar los resultados a través de un análisis costo-beneficio.

1.2 Formulación del problema

La extracción y traslado de materiales pétreos es parte fundamental en la industria de la construcción. El agotamiento escalonado de los recursos naturales, agregado al aumento de pandemias, catástrofes, paros nacionales, entre otros obstáculos que generan déficit social y económico, demuestran que resulta cada vez más evidente ingeniar alternativas para cumplir los requerimientos establecidos sin dejar de considerar la demanda futura (Montero & Vanegas, 2017).

Los caminos son artífices primordiales para el correcto desarrollo de las sociedades ya que permiten la expansión, la comunicación y el intercambio de bienes y servicios. Sin embargo, su uso constante desemboca en un limitado periodo de vigencia, puesto que, luego de un periodo

determinado de tiempo desde que empieza su servicio presentará grietas que obstaculizan el tránsito vehicular. El uso del concreto es prácticamente imprescindible en cualquier obra civil y para obtener resultados más significativos es fundamental experimentar nuevos productos que mejoren sus características (Rodríguez, 2018).

Los aditivos han evolucionado de la mano del cemento y su diversificación ha logrado que se pueda caracterizar por sus múltiples usos y para todo tipo de propósito. Lamentablemente la falta de investigaciones respecto a su incorporación en el concreto, no permite que su uso se extienda en nuestro medio, sin dejar de generar dudas sobre su correcta manipulación e inversión realizada (Huamán & Llanos, 2019).

1.3 Justificación

Existe un crecimiento notable de la demanda de tráfico, como también un incremento de cargas por eje permisible en vehículos, es por tal motivo que se requiere una mayor calidad de pavimento rígido, donde exista una buena adherencia entre el agregado y el mismo, con el simple propósito de cumplir las expectativas esperadas por el diseñador (Pérez, S. P. M., Llamo, R. E. V., & Ramírez, W. R. V., 2021).

Lastimosamente el funcionamiento de algunas de las obras viales que existen en el país no son las óptimas, ya que las capas de rodadura tienen problemas de calidad y de durabilidad, produciendo un deterioro prematuro en las calzadas, generando los llamados “baches” ocasionado por la disgregación de los componentes del pavimento rígido. Todos estos problemas traen consigo accidentes de tránsito, congestión vehicular, gastos en mantenimiento y reparación vehicular; por tal razón con la implementación de aditivos promotores de adherencia se busca tener mezclas asfálticas mucho más estables y duraderas (Curco Arrieta, C. I., & León Lincango, B. S., 2013).

El hormigón como tal es uno de los materiales que más se utiliza dentro del ámbito de la construcción, por la misma razón se debe hacer hincapié en comprender su funcionalidad, como

reducir errores durante la construcción de alguna obra y maximizar su durabilidad (Benítez Rodríguez, 2018).

Los aditivos como tal no son componentes primordiales de la mezcla de concreto, a comparación del cemento, agua y agregados, sin embargo, presentan la ventaja de potenciar las cualidades del concreto, no solo mejorando sus propiedades, sino también agregando otras nuevas. La gran mayoría de personas desconocen que al usar aditivos contribuyen a la rentabilidad al disminuir el consumo del cemento (Gutiérrez, J. M. R., & Camargo, C. T., 2021).

Esta investigación se justifica porque es necesario corroborar mediante el diseño de una losa de pavimento rígido, la calidad y el precio de producción que se obtiene al escoger entre la cantera perteneciente a la cuenca del río Paute y la del río Jubones. Para ello se debe tomar los áridos de ambos lugares y realizar los ensayos correspondientes. Una vez realizado el diseño se podrá obtener un análisis comparativo de la resistencia del hormigón y demostrar su resultado costo-beneficio, además se concluirá si los costos de producción son factibles para incorporar el uso del mismo (Pérez, S. P. M., Llamo, R. E. V., & Ramírez, W. R. V., 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo para un diseño de pavimento rígido convencional utilizando áridos tomados de las cuencas del río Jubones y Paute pertenecientes a la provincia del Azuay y la variación de resultados aplicando un aditivo hiperplastificante específico.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los materiales áridos de las cuencas del río Jubones y Paute de acuerdo a sus propiedades físicas, mecánicas y litológicas.
- Diseñar los hormigones patrones para cada uno de los áridos analizados
- Determinar el porcentaje óptimo de aditivo en las mezclas para cada árido.
- Comparar la resistencia que genera el aditivo especificado al ser mezclado con el pavimento rígido con una losa de concreto para pavimento rígido tradicional.
- Concluir los resultados mediante un análisis costo-beneficio en su producción para determinar la factibilidad del uso del aditivo en el diseño de pavimento rígido.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 A nivel internacional

(De la Cruz, 2018), en su investigación denominada “Análisis Comparativo de Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Aplicando Aditivo Superplastificante Y Reductor De Agua En Pavimento Rígido, Calle Tumbes Sur, Cercado De Chiclayo, Lambayeque”, Universidad César Vallejo; tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo de un concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ aplicando aditivo superplastificante y reductor de agua SIKA MENT 290 N, en pavimento rígido, con un asentamiento de rango 4” – 6” usando cemento portland, para lo cual se empezó con un diseño de un concreto patrón, el cual sirvió de base principal para la obtención del concreto con la incorporación del aditivo utilizado. Como resultado principal se llegó a obtener que el costo de este concreto es menor al del concreto normal, además el concreto patrón con un 1.4 % de aditivo superplastificante es el que mejor resultados obtiene siendo este el más económico.

(Rodríguez, 2018), en su investigación titulada “Beneficios al Incorporar Aditivo Plastificante e Incorporador de Aire en el Concreto en la ejecución de proyectos de pistas y veredas del distrito de Vicco – Pasco”, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; cuyo objetivo fue determinar los beneficios al aplicar un Aditivo plastificante además de un incorporador de Aire en la mezcla del concreto en la consumación de proyectos de veredas o pistas Los principales resultados fueron sobre la compresión que tuvo desenlace optimo en cuanto a la incorporación del aditivo, pues el resultado fue del mínimo de 280 kg/cm^2 , promedio de 293 kg/cm^2 y máximo 315kg/cm^2 . Se concluyó que el resultado de la investigación es positivo pues se demostró superioridad ante la resistencia en las especificaciones técnicas de concreto en pavimentos, además que se tuvo proyectos más duraderos con pocas deficiencias y menor costo.

(Huamán & Llanos, 2019), en su investigación titulada “Evaluación de las Propiedades del Concreto con Aditivos Superplastificantes Sikament-290N y Chemament 400 en Pavimentos Rígidos”, Lambayeque, Universidad Señor de Sipán; tuvo como objetivo de investigación evaluar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido añadiendo aditivos superplastificantes con la finalidad de demostrar la eficiencia y ventaja de su empleo. Como resultados principales y conclusiones esta investigación promueve el uso de los aditivos superplastificantes en la ejecución de obras, demostrando su calidad y mayor vida útil de la estructura del pavimento.

(Bernal, 2017), en su tesis “Optimización de la resistencia a compresión del concreto, elaborado con cementos tipo I y aditivos superplastificantes”, Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca; nos describe el problema de la no utilización de aditivos conlleva a un mayor uso de cemento y agua y con ello un mayor costo por m³ de concreto, si además de no usar aditivos y no llevamos un control de los agregados tenemos como resultado una baja calidad en el concreto con costos muy elevados, el objetivo es optimizar la resistencia a compresión del concreto, elaborado con cementos tipo I y aditivos superplastificantes. La conclusión describe que al emplear aditivos superplastificantes en una proporción de 1.00 % del peso del cemento en la elaboración de concreto, el mayor incremento de resistencia a la compresión se logró combinando aditivo superplastificantes Sika Plast 1000 con cemento Pacasmayo tipo I.

2.1.2 A nivel nacional

(Campoverde & Muñoz, 2015), en su investigación titulada “Estudio experimental del uso de diferentes aditivos como plastificantes reductores de agua en la elaboración de hormigón y su influencia en la propiedad de resistencia a la compresión”, Universidad de Cuenca, el objetivo de la investigación fue analizar y evaluar diferentes marcas de aditivos plastificantes y retardantes de agua en las propiedades del concreto, utilizando áridos provenientes de una compañía específica y agua potable de la ciudad de Azogues. Los resultados indicaron que el diseño de mezcla de concreto patrón logró una resistencia a la compresión del 108.20%,

mientras que el uso del aditivo SIKA 100 N aumentó la resistencia a 130.19%, una diferencia del 21.99% con respecto al concreto patrón. El aditivo FLUDEX ROAD tuvo un resultado deficiente, produciendo solo el 3.25% del concreto patrón, mientras que el aditivo ADITEC SF 106 obtuvo un 18.85% de mejora en la resistencia a la compresión. En conclusión, se lograron diseños de mezcla de concreto con características adecuadas en cuanto a la reducción de agua y la resistencia a la compresión, superando las expectativas.

(Salinas, 2019), en su investigación titulada “Análisis de la influencia del tipo de agregados pétreos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón producido con la aplicación de súper e hiper-plastificantes”, Universidad Católica de Cuenca; tuvo como objetivo determinar la influencia la arena de sílice, cuarzo y piedra de río, como agregados pétreos en las propiedades físicomecánicas de tres tipos de hormigón con diferentes resistencias $f'c=210$ kg/cm², $f'c=500$ kg/cm² y $f'c=750$ kg/cm². A estos tres diseños de mezclas se aplicaron aditivos (reductores de agua) tales como: ViscoCrete 20HE (superplastificante), ViscoCrete 4100 (hiperplastificante) y Sika Ment N-100 (Superplastificante) y se concluyó que el aditivo Sika Viscocrete-4100 produjo la mayor resistencia en las pruebas de humedad constante a los 28 días para los tres especímenes: 292, 603.33 y 777 kg/cm².

(Labanda & Rodríguez, 2020), en su tesis denominada “Evaluación de la sensibilidad de los aditivos Sika, en hormigones y morteros producidos con cemento GU, LC3, LC2 y humo de Sílice”, Universidad Estatal Península de Santa Elena; cuyo objetivo fue evaluar la sensibilidad de los aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU (AL-044-3) en las propiedades reológicas, físico-mecánicas de hormigones y morteros utilizando Cemento GU, LC3, LC2, Humo de Sílice en diferentes condiciones de mezclado. El diseño de investigación fue experimental, por lo que se realizaron 6 tipos de diseño de hormigón con diferentes tipos de cemento, analizando su comportamiento con la adicción de dos aditivos Sikaplast 9100 CU(AL-044-2) y Sikaplast 9100 CU(AL-044-3). Como conclusión principal se obtuvo que la muestra con mayor resistencia de compresión en hormigón y mortero para los dos tipos de

aditivos estudiados SikaPlast 9100 CU(AL-0044-2) y SikaPlast 9100 CU(AL-0044-3) es el que contiene el 100% del cemento LC3, superando a las demás dosificaciones y a la muestra patrón. (Garate, 2022), en su artículo científico titulado “Análisis de la relación costo/resistencia para hormigones estructurales con el uso de aditivos, y cálculo de su sostenibilidad mediante herramientas de análisis de ciclo de vida”, Universidad de Cuenca; cuyo objetivo principal fue determinar el diseño de hormigón más óptimo con diferentes porcentajes de plastificante para mejorar sus características físico mecánicas como, la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y asentamiento; el consumo energético, la producción de CO₂ y el costo de producción. Se diseñó un hormigón de 250 kg/cm² mediante la norma ACI (ACI 318, 2008), luego se implementó aditivos de rango medio, alto y superplastificantes siendo éstos: Plastocrete 161HE, Sikament HE200 y Viscocrete 4100 respectivamente, dosificados con el porcentaje medio y máximo según especificaciones técnicas de cada aditivo. Se concluye que con el uso de los súper plastificantes como el Viscocrete 4100 se logra el hormigón más óptimo, pues es el más recomendable en cuanto resistencia, consumo energético, producción de CO₂, asentamiento, conductividad y costo.

2.2 Bases teórico – científicas

2.2.1 Pavimento

Elemento de infraestructura vial compuesta por capas, las cuales están sobrepuestas al terreno natural. Dichas capas se encuentran constituidas por una o más materiales que brindan resistencia necesaria para soportar cargas que son producidas por el paso vehicular o peatonal. Los materiales que son utilizados con frecuencia en la creación de un pavimento son los rocosos, el hormigón y mezclas asfálticas (Camacho & Ibagué, 2018).

2.2.2 Pavimento rígido

Tipo de pavimento compuesto por una losa de concreto hidráulico que se coloca sobre la subrasante o una capa de material llamada sub base. Debido a su alta rigidez y coeficiente de

elasticidad, los esfuerzos se distribuyen ampliamente en la zona del concreto hidráulico (Camacho & Ibagué, 2018). A continuación, se detallan los métodos de diseño para pavimentos rígidos.

2.2.2.1 Método AASHTO

El método American Association of State Highway and Transportation Officials tiene su origen en el ensayo vial ASSHTO (1950-1960) realizado en Ottawa, Estados Unidos, en el cual se basó en el desgaste que presentaban las vías. La finalidad de este método es encontrar el espesor de losa necesaria para poder garantizar un pavimento con nivel de desempeño eficaz en toda la vida útil del pavimento (Minchán Lezcano, 2019).

2.2.2.2 Método PCA

El Método Portland Cement Association se publicó en 1933 a través de la Portland Cement Association, donde se dio a conocer la metodología para el diseño de espesores de losas que fueran capaces de resistir las cargas de tráfico en carreteras de hormigón, caminos y calles. Cabe mencionar que, si el espesor es más de lo necesario el pavimento tendrá un excelente servicio con bajos costos en mantenimiento, pero la inversión será alta. Por tal razón que se busca encontrar el espesor mínimo que pueda equilibrar todos los aspectos antes mencionados (Coral Chalco, 2017).

2.2.3 Hormigón hidráulico

El hormigón hidráulico es una mezcla cuidadosamente dosificada de cemento Portland, arena gruesa, arena fina, agua y aditivos químicos que, en su estado original, tiene una consistencia moldeable y puede ser adaptado a cualquier forma. Una vez que se endurece, adquiere características similares a las de una piedra artificial y exhibe propiedades mecánicas notables (Crespo Crespo, 2018).

2.2.4 Componentes del hormigón

2.2.4.1 Cemento Portland

El cemento Portland es uno de los materiales más importantes en la construcción. Se presenta como un polvo molido muy fino que, al mezclarse con agua, tiene la capacidad de fraguar y endurecer, convirtiéndose en un aglomerante hidráulico (Otero Rodríguez, 2021).

Es importante destacar que el proceso de fabricación del cemento Portland implica calentar una mezcla compuesta por piedra caliza, arcilla, marga, minerales de hierro o arena a una temperatura de alrededor de 1450°C, con el fin de producir el Clinker. Después, se mezcla este material con pequeñas cantidades de sulfato de calcio y finalmente se muele para crear el cemento (Otero Rodríguez, 2021).

Se le atribuye al inglés Joseph Aspdin el descubrimiento del cemento Portland, quien en 1824 lo patentó y le dio ese nombre en honor a las piedras naturales de Portland, Inglaterra. Desde ese momento, este material ha experimentado importantes avances y mejoras a lo largo del tiempo (Crespo, 2018).

2.2.4.2 Clasificación del cemento Portland

En la actualidad, existen diversos tipos de cemento Portland que han sido desarrollados con variaciones tanto físicas como químicas durante su producción con el fin de cumplir con condiciones específicas que son demandadas por los usuarios. El ASTM C150 posee una clasificación del cemento, la cual es adoptada por la Norma Ecuatoriana INEN NTE 150 (NTE INEN-ISO 150, 2014). A continuación, se presentan los diferentes tipos de cemento:

TIPO I: es empleado para uso general donde no se necesiten otros tipos de propiedades, es decir, que no es sujeto a especificaciones. Se lo puede utilizar en pavimentos y aceras, tanques, puentes, edificios de hormigón armado, alcantarillas, tuberías de agua, etc.

TIPO II: se lo utiliza cuando se desea una resistencia moderada a los sulfatos o un calor moderado de hidratación.

TIPO III: provee una alta resistencia en un período temprano, en un intervalo de una semana o menos.

TIPO IA, IIA, IIIA: estos comparten semejanza con respecto a la composición de los tipos I, II, y III, respectivamente.

TIPO IV: la principal característica de este producto es su bajo calor de hidratación.

TIPO V: tiene una alta resistencia a los sulfatos.

En el año 2011 el INEN establece la NTE 2380, clasificando los cementos de la siguiente manera:

Tipo GU: es de uso general, donde no es necesario características diferentes.

Tipo HE: tiene una alta resistencia inicial.

Tipo MS: posee una moderada resistencia hacia los sulfatos.

Tipo HS: tiene una alta resistencia a los sulfatos.

Tipo MH: su característica principal es que tiene un moderado calor de hidratación.

Tipo LH: bajo calor de hidratación.

2.2.4.3 Agregados

Se denomina agregados a los materiales sólidos que inicialmente son considerados inertes, pero cuyas características físicas, térmicas y en ocasiones químicas, pueden influir en la calidad y rendimiento del material (Chicaiza Gómez, 2020).

Para obtener una mezcla de concreto óptima, es esencial que los agregados sean sólidos, resistentes y limpios, sin impurezas o partículas finas que puedan afectar su calidad y

rendimiento. Los agregados representan alrededor del 70 al 80 por ciento del volumen total del concreto y se clasifican en dos categorías principales: finos y gruesos. El agregado fino puede ser arena natural o piedra triturada, y sus partículas deben ser lo suficientemente pequeñas para pasar por el tamiz de 3/8 de pulgada. Por otro lado, los agregados gruesos tienen tamaños que varían entre 3/8 y 1.5 pulgadas de diámetro (Crespo, 2018).

2.2.4.4 Agua

En la construcción, el agua es un componente fundamental para crear concreto, ya que actúa como un agente aglutinante en la mezcla. Es importante utilizar agua potable o agua que no tenga sabor u olor al preparar el concreto. Sin embargo, es posible utilizar otras fuentes de agua no potable si cumplen con ciertos requisitos específicos (Canto Clemente, 2019)

Para el curado, es de gran importancia la suministración de agua para poder asegurar la hidratación continua del cemento mientras se esté realizando el fraguado (Crespo, 2018).

2.2.5 Clasificación de los áridos

Se denominan áridos de construcción a la materia prima granular que está constituida por diversos materiales y minerales, dentro de la ingeniería cumple un rol fundamental (Herrera Herbert, 2018). A continuación, se dará a conocer la clasificación de los mismos:

2.2.5.1 Áridos naturales

Estos elementos minerales se pueden obtener en la corteza terrestre, los cuales han sido sometidos a procesos mecánicos y se encuentran principalmente en las graveras. Se utilizan equipos mecánicos para extraerlos adecuadamente. (Herrera Herbert, 2018). Los áridos naturales se sub clasifican en los siguientes grupos:

2.2.5.1.1 Rocas ígneas

Estas rocas se forman en la corteza terrestre cuando el magma se enfría y se solidifica, lo que da lugar a la cristalización de los minerales y la interconexión de las partículas que conforman la roca.

2.2.5.1.2 Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se originan a partir de la desintegración de otras rocas, cuyos fragmentos son llevados por la acción del agua, aire o hielo, y posteriormente se acumulan gracias a la fuerza de la gravedad, formando depósitos sedimentarios.

2.2.5.1.3 Rocas metamórficas

Este tipo de rocas se originan a partir de rocas preexistentes, las cuales sometidas cambios físicos y químicos, como la variación de temperatura y presión, lo que conlleva a una reestructuración y modificación de la composición mineral de la roca original (Herrera Herbert, 2018).

2.2.5.2 Áridos reciclados

Estos áridos son obtenidos a partir del reciclaje y procesamiento de los residuos de construcción. Actualmente, su uso representa menos del 1% del consumo total de agregados. Estos materiales reciclados se emplean para la producción de ladrillos, tejas y mezclas de hormigón (Jiménez Estrella, 2016).

2.2.5.3 Áridos artificiales

Son áridos que se generan a partir de los desechos que resultan de la actividad industrial, como las cenizas volantes o las escorias de la industria siderúrgica. Sin embargo, su uso es limitado debido a que se desconocen sus beneficios y aplicaciones potenciales (Jiménez Estrella, 2016).

2.2.6 Propiedades de los agregados

La normativa ecuatoriana, especifica los ensayos básicos que deben realizarse para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material.

2.2.6.1 Granulometría

Se define como granulometría al proceso de categorizar las partículas del agregado por su tamaño. Se realiza al traspasar el material por una serie de tamices, agrupados de manera vertical en forma descendente, con el de mayor abertura en la parte superior. Los tamices son mallas de alambre cuya abertura filtra el tamaño máximo del agregado.

La granulometría es un proceso esencial para el diseño del hormigón ya que proporciona datos para generar la curva granulométrica, determinar el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso (Huamán & Llanos, 2019). Estos resultados intervienen en las proporciones respectivas de los agregados, así como en la relación de agua-cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto (Mancheno & Salazar, 2021).

La normativa ecuatoriana en vigencia indica que los áridos deben satisfacer las exigencias granulométricas establecidas en la Tabla 803-2.1. de la MOP 01-F 2002, en cumplimiento a la norma INEN 696:2011.

2.2.6.1.1 Especificación granulométrica para áridos finos

Según la normativa ASTM-C33 (INEN 696) el tamizado de los agregados finos se debe realizar por la siguiente serie de mallas.

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa %
3/8"	9.52	100
#4	4.76	95-100
#8	2.38	80-100
#16	1.19	50-85
#30	0.58	25-60

#50	0.3	10-30
#100	0.15	2-10
#200	0.07	

Tabla 1. Especificación granulométrica, según la abertura del tamiz en áridos finos.

Fuente: ASTM-C33. Especificación Normalizada para Agregados en el Hormigón.

2.2.6.1.2 Especificación granulométrica para áridos gruesos

El tamizado del agregado grueso se debe realizar por la siguiente serie de mallas.

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa %
2"	50.8	100
1 ½"	38	95-100
1"	25.4	-
¾"	19	35-70
½"	12.5	-
⅜"	9.5	10-30
#4	4.76	0-5

Tabla 2. Especificación granulométrica, según la abertura del tamiz en árido grueso.

Fuente: ASTM-C33. Especificación Normalizada para Agregados en el Hormigón.

La normativa además establece trece parámetros principales para clasificar el agregado grueso y se detalla en la siguiente tabla.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		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	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---

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

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Tabla 3. Especificación granulométrica, requisitos de gradación para áridos gruesos.

Fuente: INEN 872:2011 (Pág. 6)

2.2.6.2 Módulo de finura

El módulo de finura se define como el valor representativo de la granulometría del respectivo agregado y se obtiene mediante la suma de los porcentajes acumulativos de agregado retenido en cada uno de los tamices de la serie de Tyler, a partir del tamiz #100 hasta el tamaño máximo que se encuentre, y dividiendo la suma para cien (Huamán & Llanos, 2019).

Según la normativa el módulo de finura debe ser un valor entre 2.3 y 3.1 con tolerancia de dos décimas. Mientras mayor sea el módulo de finura más gruesa será el tamaño de la partícula (Pantoja, 2019).

Con un módulo de finura menor a 2.5 se obtiene un hormigón difícil de compactar debido a su consistencia espesa. Por el contrario, un módulo de finura igual o mayor a 3.0 genera mejor trabajabilidad y mayor resistencia a compresión (De la Cruz, 2018).

2.2.6.3 Tamaño máximo del árido

El tamaño máximo de árido es aquel valor de abertura del tamiz por el que debe pasar el 100% de la muestra (Manchenco & Salazar, 2021). Mientras el tamaño del árido sea mayor, se ocupará una menor cantidad de agua para obtener la consistencia necesaria, puesto que la superficie específica de los áridos será menor; por lo tanto, podrá reducirse la cantidad de cemento, obteniendo un hormigón más económico para la misma resistencia (Velasquez, 2011).

2.2.6.4 Tamaño nominal máximo

Es un parámetro que influye en el diseño de la mezcla ya que da una característica del tamaño promedio que tendrá el árido. Se determina como el valor de abertura del tamiz por el cual pasa la mayoría en porcentaje del agregado y solo es retenido de un 5% a un 15% (Mancheno & Salazar, 2021).

2.2.6.5 Masa unitaria (peso volumétrico)

Se define como la relación entre la masa seca del material y su volumen contenido en un recipiente específico. Este valor depende de la composición del material, incluyendo la forma y textura de sus partículas.

2.2.6.6 Densidad

La densidad se puede definir como la capacidad que tienen las partículas para desplazarse en un medio. Físicamente se calcula como el cociente de la relación entre la masa y el volumen (Almeida & Trujillo, 2017). Un material árido de baja densidad indica alta porosidad y elevada capacidad de absorción por lo que disminuye su resistencia (Gomez, 2014).

Los diferentes materiales áridos, dependiendo de su porosidad, cuyos espacios pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de líquido, por lo que se obtiene así una serie de estados de humedad y densidad, que son valores importantes al momento de diseñar la mezcla (Crespo, 2018).

2.2.6.6.1 Densidad de volumen en estado seco

También se la denomina como densidad absoluta y se puede definir como el cociente entre la masa sólida del agregado (M_s) y el volumen del material sólido excluyendo sus poros permeables y vacíos entre partículas (V_s).

2.2.6.6.2 Densidad aparente

Se puede definir como el cociente entre la masa sólida del agregado (M) y el volumen utilizado por los agregados, incluyendo los poros permeables y vacíos entre partículas (Va).

2.2.6.6.3 Densidad de volumen en estado SSS

Es la relación entre la masa sólida del agregado en estado saturado superficialmente seco (M_{sss}) y el volumen del material sólido cuyos poros están en estado saturado (V_{sss}).

2.2.6.7 Capacidad de absorción

La capacidad de absorción es el porcentaje de humedad que requiere el árido para pasar de un estado seco a su estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) por lo que se relaciona con la capacidad del agregado para absorber agua (Mancheno & Salazar, 2021). Se utiliza para calcular los cambios del árido debido al agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas (INEN, 2010). Generalmente los áridos con mayores absorciones requieren grandes cantidades de agua si el hormigón se mezcla en condiciones relativamente secas (Pantoja, 2019).

El procedimiento para la obtención de la absorción se detalla en la normativa INEN 856 para el agregado fino y en la INEN 857 para el agregado grueso. Consiste en saturar tanto el agregado fino como el grueso por un tiempo de 24 horas, luego se debe dejar el material en estado SSS y posteriormente secar a una temperatura de 110°C en el horno. A continuación, se expone la fórmula para obtener la capacidad de absorción.

$$CA(\%) = \frac{Ma - Mh}{Mh} * 100$$

Donde:

CA(%): Capacidad de absorción expresada en porcentaje.

Ma: masa de agregado es estado saturado superficie seca (g).

Mh: masa seca al horno (g).

2.2.6.8 Contenido de humedad

Se denomina como contenido de humedad de los áridos al porcentaje de agua que contiene el material al momento de realizar la fundición. Es imprescindible obtener mediante cálculos su valor para especificar la varianza que debe tener el agua en la mezcla y así controlar con mayor exactitud la relación agua/cemento (Mancheno & Salazar, 2021).

En la normativa vigente se especifica el procedimiento para realizar el cálculo del contenido de humedad y se puede encontrar en INEN 862. A continuación, se detalla la fórmula.

$$CH(\%) = \frac{Ms - Mh}{Mh} * 100$$

Donde:

CH(%): Contenido de humedad expresada en porcentaje.

Ms: masa de agregado de agregado en estado natural (g).

Mh: masa seca al horno (g).

2.2.6.9 Forma de partículas y textura superficial

La forma de las partículas y la textura de la superficie de los áridos gruesos y finos, tienen mayor influencia en las propiedades del hormigón fresco, sobre las propiedades del hormigón endurecido. Las partículas alargadas, angulosas o de textura rugosa requieren más agua y mayor cantidad de cemento para proporcionar la fuerza de unión entre la pasta de cemento y el agregado que los áridos compactos, redondeados y lisos (De la Cruz, 2018).

La resistencia del hormigón endurecido aumentará proporcionalmente a mayor angularidad del agregado grueso, por lo que se deben evitar las partículas de agregado grueso planas o alargadas. Las partículas de agregado fino redondeadas ofrecen mejores características en la trabajabilidad plástica del concreto (Crespo, 2018).

2.2.6.10 Abrasión

Es un indicador para la calidad del agregado ya que permite obtener la dureza mediante el desgaste que sufren las partículas (Pantoja, 2019). Según la normativa INEN NTE 861, este ensayo se realiza únicamente en partículas superiores a 19mm, en un artefacto denominado máquina de los Ángeles. En su tambor rotatorio se colocan las piezas esféricas y el árido para producir mediante choque durante 500 revoluciones, desgaste en su interior. Finalmente se tamiza el material y se realiza el cálculo con la fórmula descrita a continuación. La norma INEN 872 impone como máximo una pérdida del 50%.

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

Donde:

D(%): Valor de degradación expresado en porcentaje.

B: masa inicial del árido (g).

C: masa de la muestra retenida en el tamiz de 1.70mm, después del ensayo (g).

2.2.7 Propiedades del hormigón

2.2.7.1 Estado fresco

2.2.7.1.1 Consistencia

Es la capacidad del hormigón en estado fresco para deformarse y moldearse según la forma establecida, ya sea un encofrado o molde, se conoce como trabajabilidad. Esta propiedad está influenciada por varios factores, como el contenido de agua, el tipo de cemento utilizado y el tamaño y forma de los agregados. (González Petro, 2022). El ensayo que se realiza para poder obtener la consistencia del hormigón es mediante el cono de Abrams, con la finalidad de cuantificar su asentamiento. Cabe recalcar que dicho ensayo está estandarizado bajo la NTE INEN 1578 o su equivalente ASTM C 143.

2.2.7.1.2 *Trabajabilidad*

Es la capacidad que puede presentar una mezcla de hormigón en estado fresco para ser manipulado, mezclado, transportado y vaciado en un destino final (González Petro, 2022).

2.2.7.1.3 *Uniformidad*

Es una propiedad importante que debe mantenerse durante la mezcla, colocación y compactación del hormigón para asegurar una distribución homogénea de las propiedades físicas y mecánicas. Sin embargo, esta uniformidad puede verse afectada por fenómenos como la exudación y segregación (González Petro, 2022).

2.2.7.1.4 *Fraguado*

Es el proceso en el cual el hormigón experimenta una transformación química y física que lo lleva del estado líquido al estado sólido, otorgándole resistencia y durabilidad. Durante este proceso, el cemento se combina con el agua para crear compuestos sólidos y cristalinos que unen los agregados y el agua, formando una masa sólida y firme (González Petro, 2022).

2.2.7.2 Estado endurecido

Respecto al hormigón que ha pasado 28 días, se realizan ensayos de compresión, tracción y flexión, pero su resistencia a la compresión es la más importante (Crespo Crespo, 2018). Para determinar la resistencia a compresión se realiza testigos cilíndricos o prismáticos y se someten a una carga axial comprimiendo el elemento hasta su falla. Este método está descrito en la norma INEN NTE 1576 referente a la ASTM C31M.

2.2.8 Diseño de mezcla de hormigón

2.2.8.1 Método ACI

El método del American Concrete Institute es el más conocido para la fabricación de mezclas de concreto puesto que mantiene los respectivos estándares apropiados. El Comité 211 se basa

en tablas para poder obtener valores de materiales que son necesarios para fabricar un metro cubico de hormigón. Para este método se calcula los porcentajes de cemento, agua, aire, como también de los agregados gruesos, con la finalidad de obtener el volumen absoluto y peso seco del agregado fino (Cáceres Silupu, 2021).

2.2.8.2 Método Fuller-Thompson

En el año de 1907 Fuller y Thompson seleccionaron mediante una fórmula matemática, una curva granulométrica continua con el objetivo de proporcionar adecuadamente los áridos del hormigón (Bolivar, 1987). Para obtener una óptima compacidad y docilidad se aplica la ecuación de la curva granulométrica de Fuller y Thompson, la cual es:

$$y = 100(d/D)^m$$

Donde:

y=porcentaje retenido en cada tamiz de abertura d;

d=abertura del tamiz en mm; m=0,5;

D=tamaño máximo del agregado.

Este método se lo utiliza siempre y cuando el agregado no cumpla con la “regla ASTM C 33”. Cabe mencionar que las dosis manejadas son superiores a 300 kg de cemento por metro cúbico de hormigón, como también áridos gruesos en un rango de 3/4” y 2” (Cáceres Silupu, 2021). Una de las variables para el diseño es el módulo de finura del agregado fino, cuyo valor se lo consigue sumando el porcentaje total retenido en los tamices y dividido para 100 (Arellano Castillo, 2018).

Es recomendable utilizar el método Fuller-Thompson en las siguientes condiciones:

- La cantidad de cemento que se tiene que incluir supera los 300 kgf.
- El armado de la estructura no da las garantías necesarias.

- El tamaño máximo del agregado es menor de 2" \pm 3/4".
- Los agregados son preferiblemente de forma redonda.

2.2.9 Aditivos del concreto

El ACI define como aditivo a cualquier sustancia que se incorpora a la mezcla del concreto, aparte del material cementante, agregados, minerales y fibras, que no supere el 5% del peso del cemento. El INEN describe al aditivo como un producto químico que se introduce en la mezcla de mortero o concreto, antes o después de realizar la mezcla y que produce mejoras en sus propiedades (INEN, 2015).

Normalmente se añaden uno o varios aditivos a la mezcla del hormigón con la intención de:

- Alterar sus propiedades permitiendo que se acomoden a las necesidades de la obra.
- Facilitar la trabajabilidad al momento de manipular la mezcla.
- Mantener un rendimiento eficaz en el diseño, transporte, y colocación de la mezcla.
- Generar resultados rentables por la variación de proporciones de los materiales (Rodríguez, 2018).

2.2.9.1 Requisitos en la norma para empleo de aditivos

El uso de aditivos en nuestro país debe cumplir la Norma (NEC, 2011), basada en el (ACI, 2014) que indica:

- Aditivos reductores y modificadores para tiempo de fraguado: ASTM C494
- Aditivos plastificantes para estimular la fluidez: ASTM C1017
- Aditivos para incorporación de aire: ASTM C260
- Aditivos inhibidores de la corrosión: ASTM C1582

2.2.9.2 Clasificación de aditivos

La cantidad de aditivos comerciales que se producen hoy en día genera cierta dificultad para clasificarlos genéricamente o de acuerdo al uso que le pueda dar cada persona debido a que, aunque generalmente especifiquen en su venta sus características esenciales, pueden modificar una o más propiedades del hormigón (Rodríguez, 2018). Sin embargo, su composición de materiales permite que puedan catalogarse de acuerdo a la recomendación ACI o según la Norma ASTM C494 que indica la siguiente lista de clasificación:

- TIPO A: Reductores de agua.
- TIPO B: Retardadores de fragua.
- TIPO C: Acelerantes.
- TIPO D: Reductores de agua-retardadores de fragua.
- TIPO E: Reductores de agua - acelerantes.
- TIPO F: Súper Reductores de agua.
- TIPO F: Súper reductores de agua - acelerantes.

2.2.9.3 Razones de empleo

Se puede recalcar las siguientes razones principales para el uso de aditivos en el hormigón en estado fresco:

- Reducir la cantidad de agua sin alterar la relación A/C.
- Mejorar la trabajabilidad.
- Modificar el tiempo del fraguado inicial.
- Modificar la velocidad y/o magnitud de la exudación.
- Minimizar expansiones y/o segregación de partículas.

- Facilitar el bombeo y colocación de la mezcla.
- Permitir el transporte adecuado del hormigón en estado fresco evitando perder sus características.

En el caso del concreto en estado endurecido se pueden mencionar las siguientes razones:

- Reducción del calor de hidratación
- Variación de la velocidad de desarrollo para alcanzar la resistencia óptima.
- Disminución de la permeabilidad y capilaridad.
- Aumentar resistencia mecánica y durabilidad.
- Mejorar su adherencia en el acero o en el hormigón antiguo.
- Controlar la corrosión (De la Cruz, 2018) y (Rodríguez, 2018).

2.2.9.4 Aditivo reductor de agua o plastificante

Es posible catalogar a un Aditivo reductor de agua o plastificante cuando permite incrementar el asentamiento de la mezcla sin la necesidad de añadir más líquido, o que permite mantener el asentamiento reduciendo la cantidad de agua en la mezcla (Salinas, 2019). A los aditivos que superan la reducción de agua desde 12% y cumplen los requisitos de la Norma ASTM C494 es posible reconocerlos como de alto rango (NTE 0694, 2010).

2.2.9.5 Aditivo superplastificante

En las obras civiles y construcciones en general, es necesario trabajar con sistemas que garanticen fluidez en la mezcla y procuren realizar menor inversión de energía para su consolidación. Se puede conseguir mayor fluidez cuando se reduce la cantidad de contacto entre partículas, esto se puede realizar al incrementar la cantidad del agua o reduciendo el proceso químico de atracción entre partículas mediante el uso de superplastificante (Sika, 2014).

Los aditivos superplastificantes además de generar mayor resistencia mejorando la fluidez y trabajabilidad de la mezcla, permiten reducir la cantidad de agua y cemento por lo tanto aportan en la economía de la obra (Huamán & Llanos, 2019).

2.2.9.6 Aditivo hiperplastificante

Los polycarboxilatos son una nueva generación de plastificantes, su sistema permite reducir la proporción hasta tres veces con los superplastificantes tradicionales y obtener resultados eficaces. Los polycarboxilatos generan fuerzas repulsivas electrostáticas o estéricas entre las partículas del cemento. Su eficacia depende del grado de absorción, proporción de moléculas absorbidas, espesor y porcentaje de superficie cubierta del polímero (Sika, 2014).

Según (Sika Ecuatoriana S.A., 2019), Sika Viscocrete 4100 es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con polímeros polycarboxilatos de tecnología Sika Viscocrete. Diseñados para cumplir con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494.

El uso de aditivo Sika Viscocrete 4100 es recomendable pues según estudios comparativos supera en resistencia, consumo energético, producción de CO₂-e, asentamiento, conductividad y costo a otros aditivos similares (Garate, 2022) y (Salinas, 2019).

Entre sus principales características técnicas se puede mencionar las siguientes:

- Proporciona mayor plasticidad con altos asentamientos.
- Permite reducir el agua hasta 45% con altas dosificaciones.
- Facilita la trabajabilidad por más de una hora y controla el tiempo de fraguado normal.
- Mantiene la cohesión evitando la segregación y/o sangrado.

Su dosificación depende tanto de los requerimientos técnicos específicos de la obra como del tipo de agregado y las condiciones ambientales de la zona. (Sika Ecuatoriana S.A., 2019) recomienda usar una proporción entre 0.19% a 0.9% del peso del cemento

Datos Técnicos	
Tipo	Policarboxilato modificado en base acuosa
Aspecto	Líquido translucido
Densidad	≈ 1.1 gr/cc
PH	≈ 4
Almacenamiento	12 meses en su envase original, bien sellado y bajo techo
Presentación	Tambores de 230 Kg y al granel

Tabla 4. Datos técnicos del aditivo Sika ViscoCrete 4100

Fuente: (Sika Ecuatoriana S.A., 2019) y (Salinas, 2019)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA Y ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización de los materiales

Los materiales que intervienen para el diseño de mezclas de hormigón son: cemento, agua, árido fino y grueso, para el caso del proyecto provenientes de las cuencas del río Jubones y Paute, y el aditivo especificado.

3.1.1 Cemento

Para las muestras realizadas en el laboratorio de materiales se empleó el cemento Atenas Tipo GU para las muestras. Este cemento está formulado para ser utilizado en cualquier tipo de construcción, ya que cumple con los estándares requeridos por la normativa NTE INEN 2380 y sobresale por las características de resistencia, desempeño y durabilidad.

3.1.2 Agua

El agua que brinda el laboratorio de suelos de la UCACUE ubicado en el cantón Cuenca da cumplimiento con los criterios establecidos por la normativa INEN 1855, que indica que el agua debe ser transparente y tener un aspecto limpio, sin presencia de aceites, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan perjudicar el hormigón.

3.1.3 Materiales áridos

3.1.3.1 Geología utilizada

3.1.3.1.1 *Santa Isabel*

En esta región se identifican varias secuencias de origen volcanoclástico que abarcan desde el Paleógeno hasta el Mioceno Inferior. Estas secuencias incluyen el Grupo Saraguro (compuesto por las formaciones La Paz y Jubones), la formación Santa Isabel y la formación Jacapa (Sánchez Pontón, 2018). Estas formaciones están en contacto con vulcano-sedimentos y

sedimentos que se generaron de forma diacrónica durante la formación de las cuencas intramontanas. Es importante destacar que el material utilizado en nuestros ensayos fue extraído de un depósito aluvial, que es el predominante en el río Jubones (Sánchez Pontón, 2018).

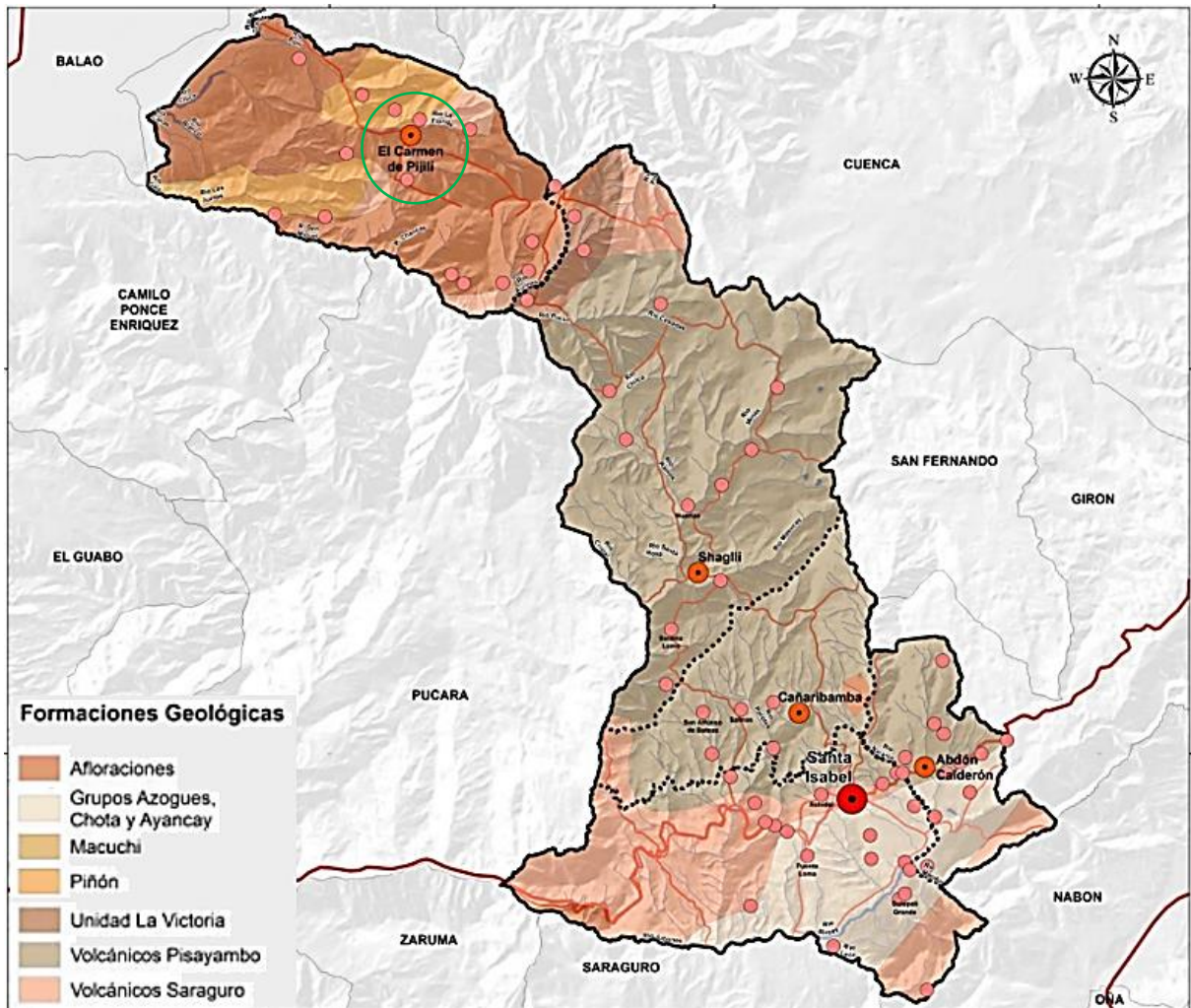


Figura 1. Geología de Santa Isabel.

Fuente: (GAD Santa Isabel, AME, 2020).

3.1.3.1.2 Paute

El material extraído del río Paute se encuentra en una zona que abarca las formaciones de Azogues, Yunguilla y Biblián, donde las rocas metamórficas predominan (Consortio PDOT Paute, 2018). A pesar de que el material geológico del cantón Paute es conocido por ser duro y estable, en la actualidad está perdiendo esta cualidad debido a procesos naturales y antropogénicos de erosión y meteorización. Debido a la degradación geológica, los depósitos presentes en la zona son principalmente coluviales y aluviales (Consortio PDOT Paute, 2020).

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FORMACIÓN GEOLÓGICA	ÁREA (HA)	%
PT	Agglomerado, lava.	F. Tarqui	5.189,97	19,73
KP CY	Arenisca	F. Yunguilla	112,20	0,42
K7	Argilita	F. Yunguilla	24,66	0,09
MPIY	Bentomita	F. Azogues	98,65	0,37
Da	Deposito aluvial		690,92	2,56
Dc	Deposito coluvial		763,82	2,90
Dc	Derrumbe		138,12	0,51
PMTpq	Esquisitos de el Pan	Serie Paute	4.071,40	15,08
gd	Granodiorita		20,90	0,08
ML	Localmente conglomerado de base	F. Loyola	8,48	0,03
J P	Meta - volcanicas de San Francisco	Serie Paute	14.277,45	52,90
L	Meta-andesita, filita (meta-volcanicos, Sanfrancisco)	Serie Paute	6,55	0,02
M B	Piroplasticos	F. Bilbao	219,64	0,81
QU	Tablas de Gualaceo		1.251,19	4,64
gt	Tilita	Tilita	73,41	0,27
MM	Vetas carbón	F. Mangan	22,85	0,08
TOTAL			26.990,19	100

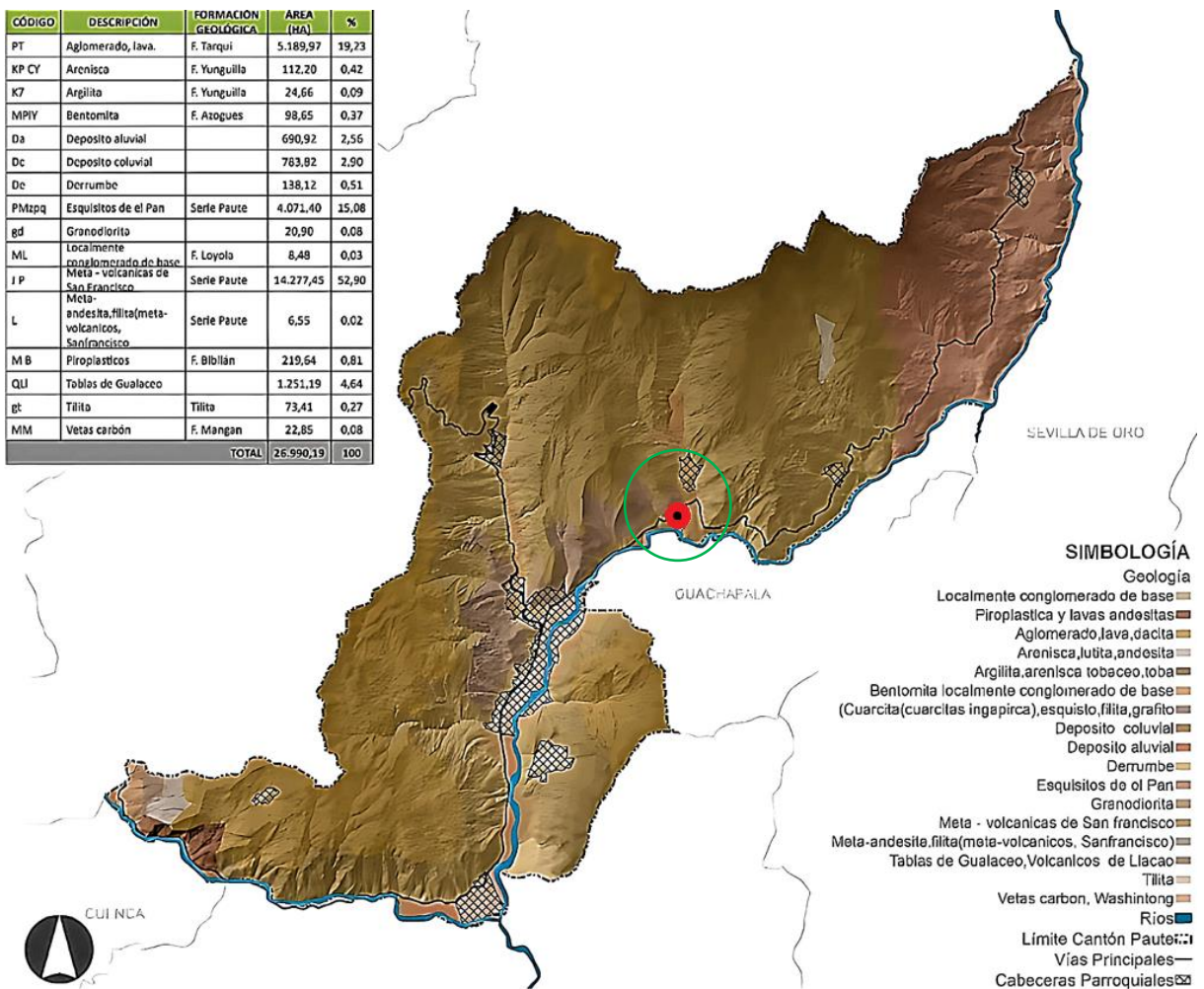


Figura 2. Geología de Paute

Fuente: (Consortio PDOT Paute, 2020).

3.1.3.2 Muestreo

El agregado que se utilizó para poder realizar las muestras de laboratorio se obtuvo de dos canteras diferentes. Los agregados de Santa Isabel se obtuvieron de un depósito de materiales localizado en el centro del cantón Girón, donde la grava y la arena provienen de una cantera de la cuenca del río Jubones. Para el caso de los agregados de Paute, se las obtuvo en una ferretería del centro de la misma ciudad. Cabe mencionar que se adquirió suficiente agregado tanto fino, como grueso, para poder realizar los ensayos de una manera correcta y así evitar contratiempos en caso de tener que volver a fundir las muestras en el laboratorio.

La NTE INEN 2566 tiene como objetivo guiar con respecto a la reducción de muestras grandes de áridos, los cuales al final tendrán dimensiones apropiadas para el respectivo ensayo. Para nuestro ensayo utilizamos el Método B de Cuarteo y se lo hizo de forma manual. Dicho método explica que se puede realizar siguiendo los pasos tanto del numeral 6.2.1.1 o 6.2.1.2 o una combinación entre los dos, para nuestro ensayo optamos escoger el primer numeral.

El numeral 6.2.1.1, dice lo siguiente: “Colocar la muestra original en una superficie plana, limpia y sólida sin pérdida o adición accidental de material extraño. Agitar completamente la muestra volteándola más de tres veces y después formar una pila cónica con toda la muestra, colocando cada cucharada encima de la anterior. Aplanar con cuidado la pila cónica hasta obtener un espesor y diámetro uniformes, presionando la punta de la pala para que cada cuarto contenga la composición original del material. El diámetro puede ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Dividir la masa aplanada en cuatro partes iguales con una pala o paleta y retirar dos cuartos opuestos diagonalmente, incluyendo todo el material fino y limpiar los espacios vacíos. Continuar mezclando y dividiendo el material restante hasta alcanzar el tamaño deseado de la muestra.” (NTE INEN 2566, 2010).

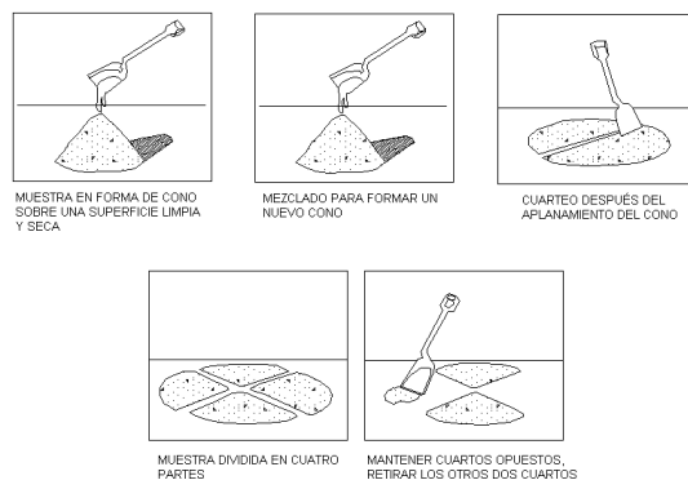


Figura 3. Cuarteo sobre una superficie firme limpia y nivelada.

Fuente: NTE INEN 2566.

3.1.3.3 Análisis granulométrico del árido fino

Cuando se habla de áridos finos nos referimos a la arena natural, arena elaborada, como también a una mezcla entre ambas. La norma NTE INEN 872 con respecto al análisis granulométrico para los finos nos da la siguiente tabla de requisitos:

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa (%)
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

Tabla 5. Requisitos de gradación del árido fino.

Fuente: NTE INEN 872.

Como se puede observar a continuación tanto los agregados finos de Paute como de Santa Isabel no cumplen con los límites de porcentaje de material como especifica la NTE INEN 872.

3.1.3.3.1 Granulometría del árido fino de Paute

En la tabla 7 se detalla la granulometría del árido fino obtenido. Como se puede verificar a continuación, en la tabla 8 y su respectiva grafica de la figura 4, el material no cumple con los limite especificados en la normativa NTE INEN 872.

TAMIZ Nº	ABERTURA mm	PESO RET. GR.	RET. ACUM. GR.	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
3/8"	9,52	33	33	2,80%	2,80%	97,20%
Nº4	4,76	74	107	6,28%	9,08%	90,92%
8	2,38	161	268	13,66%	22,73%	77,27%
16	1,19	289	557	24,51%	47,24%	52,76%
30	0,580	286	843	24,26%	71,50%	28,50%
50	0,3	216,5	1059,5	18,36%	89,86%	10,14%
100	0,15	97	1156,5	8,23%	98,09%	1,91%
200	0,07	16,5	1173	1,40%	99,49%	0,51%
FONDO		6	1179	0,51%	100%	0%
TOTAL		1179		100%		

Tabla 6. Granulometría del agregado fino de Paute

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

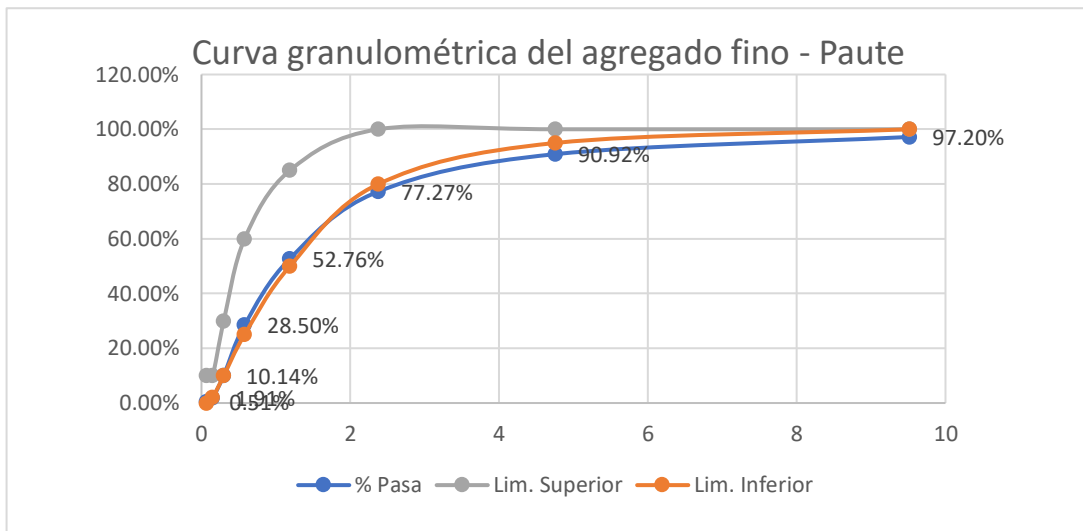


Figura 4. Curva granulométrica agregado fino – Paute (TMN 3/8”).

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante - PAUTE	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Límite Superior	Límite Inferior
9,5	97,20	100	100
4,76	90,92	100	95
2,38	77,27	100	80
1,19	52,76	85	50
0,59	28,50	60	25
0,297	10,14	30	5
0,149	1,91	10	0

Tabla 7. Límites del agregado fino Paute según la Norma NTE INEN 872.

Fuente: NTE INEN 872.

3.1.3.3.2 Granulometría del árido fino de Santa Isabel

La granulometría del árido fino obtenido de Santa Isabel se detalla en la tabla 9. Como se puede constatar en la tabla 10 y su respectiva grafica de la figura 5, el material no cumple con los limite especificados en la normativa NTE INEN 872.

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	mm	gr	gr	RETENIDO	RET. ACUM	PASA
3/8"	9,52	6	6	0,43%	0,43%	99,57%
Nº4	4,76	239	245	17,22%	17,65%	82,35%
8	2,38	486	731	35,01%	52,67%	47,33%
16	1,19	274	1005	19,74%	72,41%	27,59%
30	0,580	156	1161	11,24%	83,65%	16,35%
50	0,3	118	1279	8,50%	92,15%	7,85%
100	0,15	62,5	1341,5	4,50%	96,65%	3,35%
200	0,07	23	1364,5	1,66%	98,31%	1,69%
FONDO		23,5	1388	1,69%	100%	0%
TOTAL		1388		100%		

Tabla 8. Granulometría del agregado fino de Santa Isabel

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

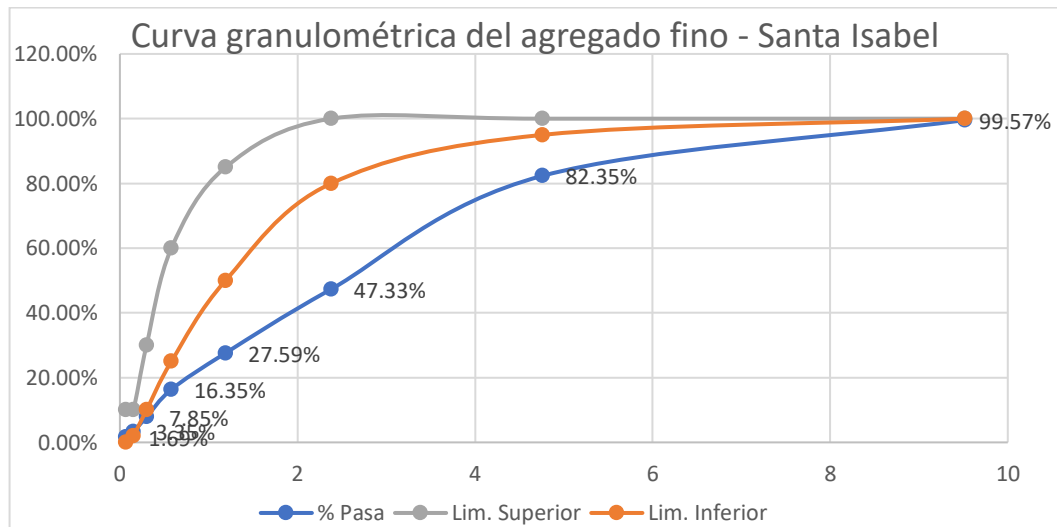


Figura 5. Curva granulométrica agregado fino – Santa Isabel (TMN 3/8”).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante – SANTA ISABEL	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Límite Superior	Límite Inferior
9,5	99,57	100	100
4,76	82,35	100	95
2,38	47,33	100	80
1,19	27,59	85	50
0,59	16,35	60	25
0,297	7,85	30	5
0,149	3,35	10	0

Tabla 9. Límites del agregado fino Santa Isabel según la Norma NTE INEN 872.

Fuente: NTE INEN 872.

3.1.3.4 Análisis granulométrico del árido grueso

Para el análisis del agregado grueso, la especificación granulométrica se encuentra ligada directamente al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado. La siguiente tabla expone la cantidad de muestra mínima para realizar el ensayo de granulometría de un árido grueso de acuerdo al tamaño máximo nominal. En nuestro caso el TMN es de ¾" (19mm) para los áridos de las dos fuentes de materiales.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,0	15
50	20
63	35
75	60
90	100

Tabla 10. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.

Fuente: NTE INEN 696.

A partir del tamaño máximo nominal que presentan las dos muestras (¾"), la INEN NTE 872 plantea los siguientes requerimientos a cumplir:

Tamiz INEN	PORCENTAJE QUE PASA
25,4 mm	100
19,0 mm	90 a 100
12,7 mm	20 a 55
9,53 mm	0 a 10
4,75 mm	0 a 5

Tabla 11. Requisitos de gradación del árido grueso.

Fuente: NTE INEN 872.

Como se puede observar a continuación tanto los agregados gruesos de Paute como de Santa Isabel no cumplen con los límites de porcentaje de material como especifica la NTE INEN 872.

3.1.3.4.1 Granulometría del árido grueso de Paute

A continuación, en la tabla 13 se da a conocer la granulometría obtenida del árido grueso de Paute, como también se presenta en la tabla 14 para verificar si cumple los requerimientos granulométricos que dice la NTE INEN 872.

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	mm	gr	gr	RETENIDO	RET. ACUM	PASA
2"	50,8	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,1	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,4	44,5	44,5	0,59%	0,59%	99,41%
3/4"	19,00	616	660,5	8,20%	8,79%	91,21%
1/2"	12,700	2234	2894,5	29,74%	38,53%	61,47%
3/8"	9,53	1407	4301,5	18,73%	57,26%	42,74%
#4	4,75	3024,5	7326	40,26%	97,52%	2,48%
FONDO		186	7512	2,48%	100,00%	0%
TOTAL		7512		100%	3,03	

Tabla 12. Granulometría del árido grueso de Paute

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

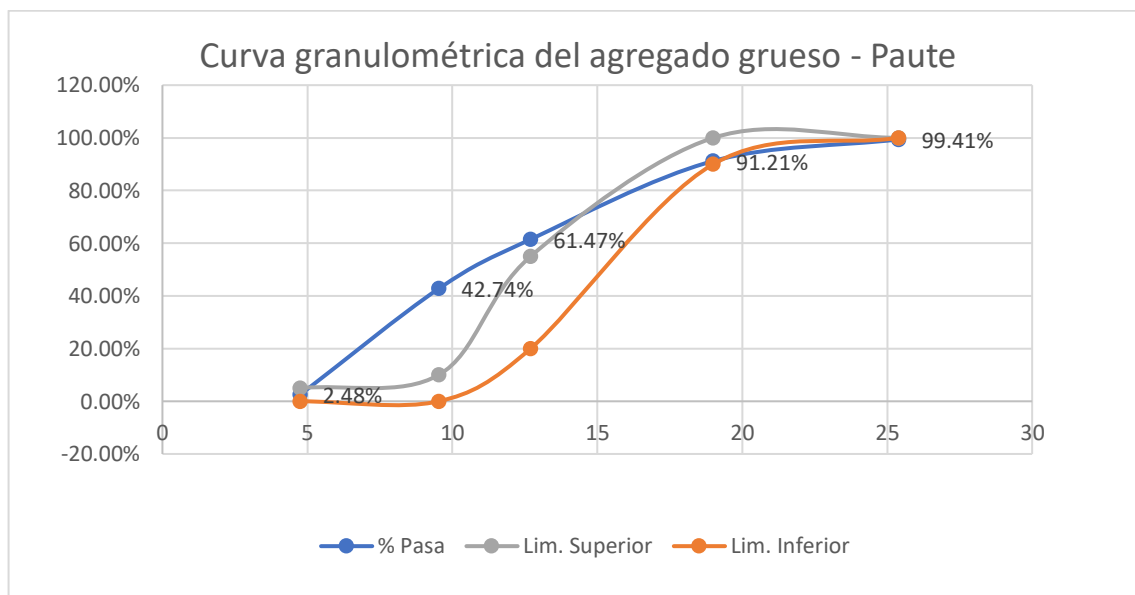


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso – Paute (TMN 1 1/2”).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante - PAUTE	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Lim. Superior	Lim. Inferior
25,4	99.41	100	100
19	91.21	100	90
12,7	61.47	55	20
9,53	42.74	10	0
4,75	2.48	5	0

Tabla 13. Límites del Agregado Grueso de Paute según la Norma NTE INEN 872.

Fuente: NTE INEN 872.

3.1.3.4.2 Granulometría del árido grueso de Santa Isabel

A continuación, en la tabla 15 se da a conocer la granulometría del árido grueso que se obtuvo de Santa Isabel, como también se presenta en la tabla 16 para observar si cumple los requerimientos granulométricos que dice la NTE INEN 872.

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	mm	gr	gr	RETENIDO	RET. ACUM	PASA
2"	50,8	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,1	0	0	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25,4	43,5	43,5	0,58%	0,58%	99,42%
3/4"	19,00	3205	3248,5	42,67%	43,24%	56,76%
1/2"	12,700	3795,5	7044	50,53%	93,77%	6,23%
3/8"	9,53	383	7427	5,10%	98,87%	1,13%
#4	4,75	70,5	7497,5	0,94%	99,81%	0,19%
FONDO		14,5	7512	0,19%	100,00%	0%
TOTAL		7512		100%		

Tabla 14. Granulometría del agregado grueso de Santa Isabel

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

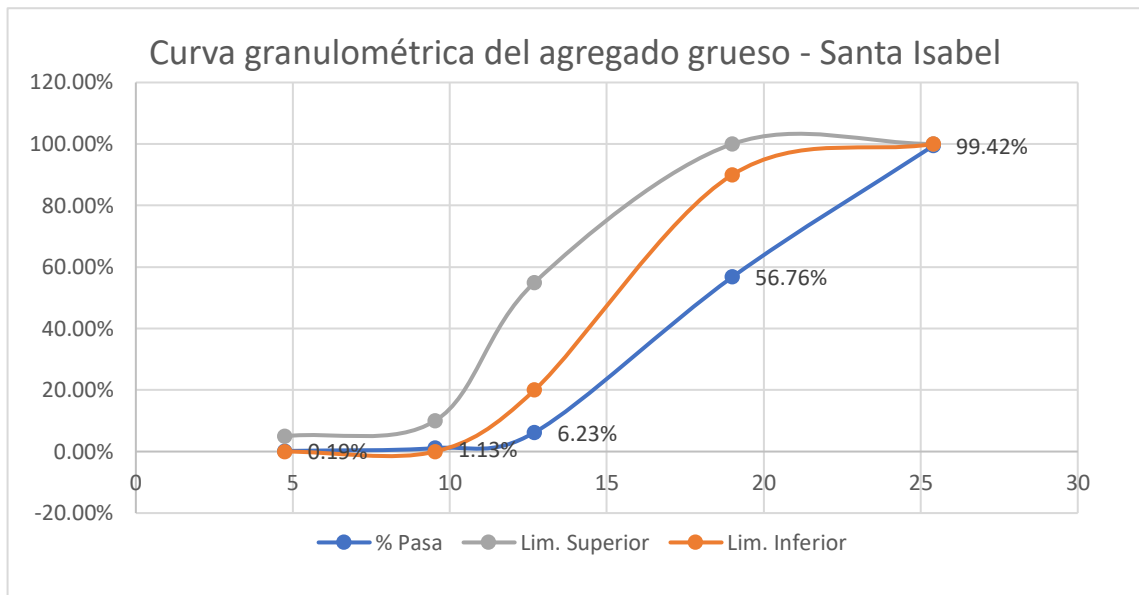


Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso – Santa Isabel (TMN 1 1/2”).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Tamiz	Porcentaje de Material Pasante – SANTA ISABEL	Porcentaje Pasante NTE INEN 872	
		Lim. Superior	Lim. Inferior
25,4	92.42	100	100
19	56.76	100	90
12,7	6.23	55	20
9,53	1.13	10	0
4,75	0.19	5	0

Tabla 15. Límites del Agregado Grueso de Santa Isabel según la Norma NTE INEN 872.

Fuente: NTE INEN 872.

3.1.3.5 Ajuste de la curva granulométrica (Método Fuller – Thompson)

Debido a que los resultados del análisis granulométrico tanto de Paute como de Santa Isabel no cumple con lo especificado en la Norma NTE INEN 872, resultó imprescindible realizar un ajuste mediante el método Fuller – Thompson con la finalidad de desarrollar un diseño de hormigón mejorado, donde los agregados cumplan con lo que plantea el ACI acerca de la granulometría de los mismos. Las siguientes tablas exponen los ajustes realizados en la granulometría de los materiales áridos siguiendo el método descrito por Fuller – Thompson.

TAMIZ	FULLER - THOMPSON	TOTAL
38,1	100	100
25,4	81,65	99,646
20	72,45	94,726
12,5	57,28	76,882
9,5	49,93	64,524
4,8	35,49	37,856
2,4	25,1	30,908
1,2	17,75	21,104
0,6	12,55	11,4
0,3	8,87	4,056
0,15	6,27	0,764
0,07	4,29	0,204

Tabla 16. Método Fuller – Thompson Ajuste Granulometría– Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

TAMIZ	FULLER - THOMPSON	TOTAL
38,1	100	100
25,4	81,65	99,652
20	72,45	74,056
12,5	57,28	43,738
9,5	49,93	40,506
4,8	35,49	33,054
2,4	25,1	18,932
1,2	17,75	11,036
0,6	12,55	6,54
0,3	8,87	3,14
0,15	6,27	1,34
0,07	4,29	0,676

Tabla 17. Método Fuller – Thompson Ajuste Granulometría– Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

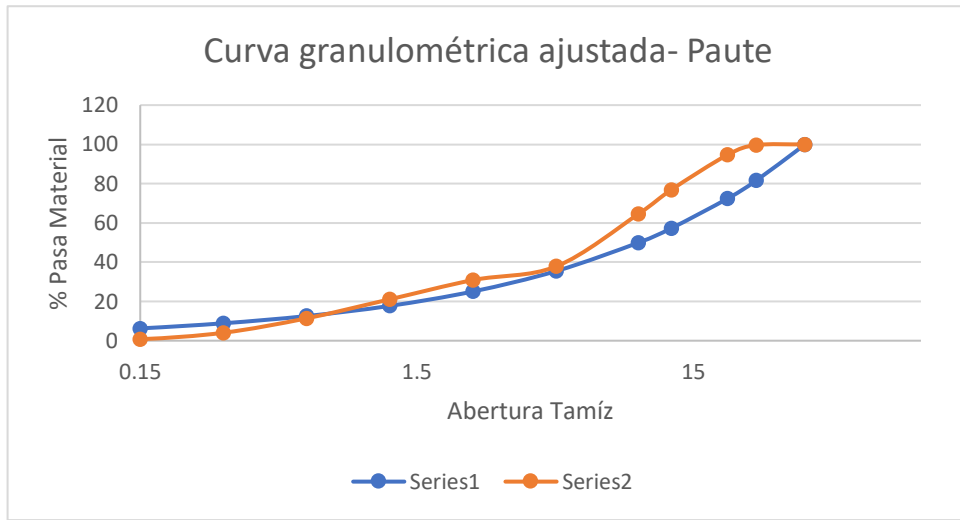


Figura 8. Curva Granulométrica Ajustada– Paute (Método Fuller - Thompson).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

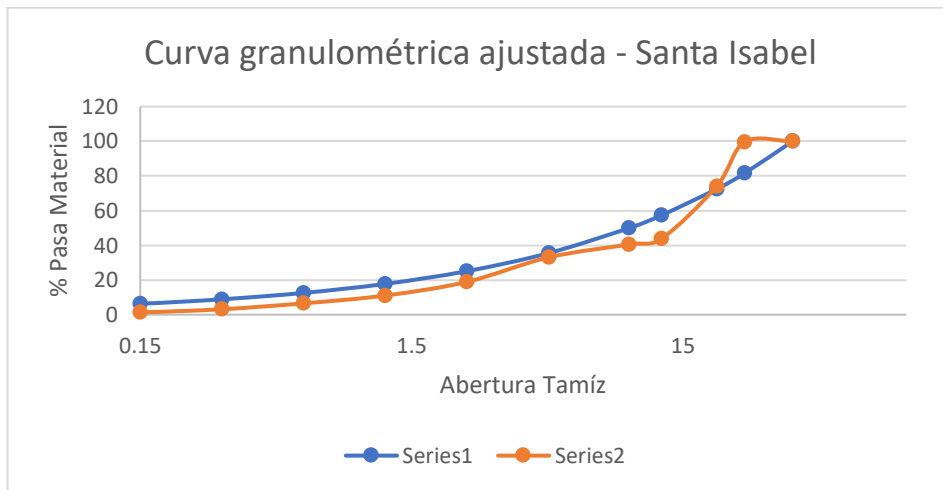


Figura 9. Curva Granulométrica Ajustada– Santa Isabel (Método Fuller - Thompson).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Tal como se aprecia en las gráficas previas, los resultados obtenidos a través del método de Fuller-Thompson son satisfactorios, lo que posibilita la adaptación de la curva granulométrica de Paute y Santa Isabel para satisfacer los requerimientos y emplearlos en la elaboración del diseño de la mezcla.

3.1.3.6 Contenido de humedad natural

El contenido de humedad de los agregados se calculó siguiendo el método de ensayo establecido por la norma NTE INEN 862, la cual tiene como finalidad definir el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de árido, no solo se refiere a la humedad superficial del árido, sino también a la humedad contenida en poros del mismo. Dicha norma nos brinda los pasos que necesitamos seguir y también menciona los equipos necesarios para poder cumplir los cálculos.

Los resultados de la humedad obtenida en los áridos tanto de Paute como de Santa Isabel se especifican en la siguiente tabla:

Zonas	%Humedad	
	Arena	Grava
Paute	2.26	1.14
Santa Isabel	5.85	2.75

Tabla 18. Contenido de humedad natural de los áridos.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.1.3.7 Capacidad de absorción

Este es un factor crucial en el proceso de diseño de mezclas de concreto, puesto que nos permite establecer la cantidad total de volumen necesaria para llevar a cabo el diseño de la mezcla. Una vez obtenida la absorción, se logra determinar con exactitud la cantidad de agua que se necesita para el diseño de la mezcla de concreto. Cabe mencionar que, en este proceso, no se toman en cuenta los poros de los áridos, ya que estos se encuentran en estado de saturación.

3.1.3.8 Peso específico

El peso específico de los agregados fino y grueso es un factor importante en la fabricación del hormigón, ya que por lo general los agregados representan alrededor del 60 a 70% del volumen total de la mezcla, y su participación influye significativamente en las propiedades del concreto.

Es necesario controlar cuidadosamente la densidad de los agregados para asegurar la producción de una mezcla de concreto de alta calidad y garantizar una adecuada resistencia.

Para los ensayos respectivos se tomó como guía la NTE INEN 856, la cual se centra precisamente para los agregados finos, como también se usó la NTE INEN 857, donde se detalla el proceso respectivo para agregados gruesos. En la figura 10 se puede observar los pasos que se realizó para poder encontrar el estado saturado seco (SSS) de nuestro agregado fino.



Figura 10. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado fino.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

A continuación, se puede observar en la figura 11 el procedimiento que se realizó para poder establecer el volumen del agregado fino en su periodo saturado superficialmente seco.

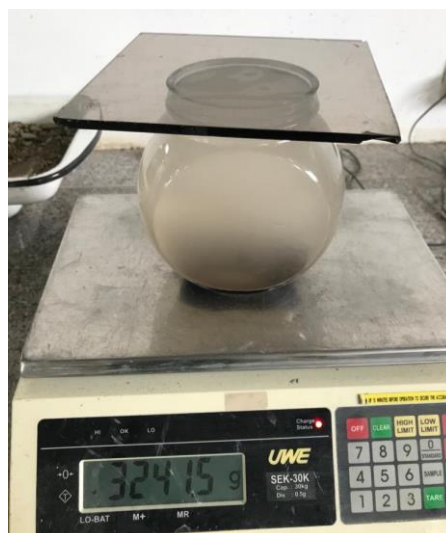


Figura 11. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado fino.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

A continuación, se presenta la tabla 20 donde se detallan las variables permiten calcular el peso específico, como también absorción de los áridos finos originarios de Paute. Los resultados que se consiguió en el laboratorio de suelos se presentan en la tabla 21:

VARIABLES	VALOR
A.- Peso del material saturado superficialmente seco [gr]	200,00
B.- Peso del picnómetro + Agua + Material [gr.]	3243,50
C.- Peso del picnómetro + Agua [gr.]	3121,00
D.- Peso del material seco [gr.]	194,50

Tabla 19. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DESCRIPCIÓN	FORMULA	VALOR
Peso Específico Neto (Bulk)	$D/(C+A-B)=$	2,51
Peso Esp. Saturado Superficialmente Seca (SSS)	$A/(C+A-B)=$	2,58
Peso Específico Aparente	$D/(D+C-B)=$	2,70
Porcentaje de Absorción	$A-D/D*100=$	2.83

Tabla 20. Peso específico y capacidad de absorción - Agregado fino de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

De la misma manera a continuación se presentan los resultados para los áridos de Santa Isabel:

VARIABLES	VALOR
A.- Peso del material saturado superficialmente seco [gr]	200.000
B.- Peso del picnómetro + Agua + Material [gr.]	3241,50
C.- Peso del picnómetro + Agua [gr.]	3121,00
D.- Peso del material seco [gr.]	192,00

Tabla 21. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE)

DESCRIPCIÓN	FORMULA	VALOR
Peso Específico Neto	$D/(C+A-B)=$	2,42
Peso Esp. Saturado Superficialmente Seca (SSS)	$A/(C+A-B)=$	2, 52
Peso Específico Aparente	$D/(D+C-B)=$	2,69
Porcentaje de Absorción	$A-D/D*100=$	4,17

Tabla 22. Peso específico y capacidad de absorción del agregado fino – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Se utilizó la NTE INEN 857 para conseguir tanto los pesos específicos y la capacidad de absorción del agregado grueso estudiado. En la figura 12 se da a conocer el procedimiento que se realizó para poder encontrar el estado SSS de nuestro agregado grueso.



Figura 12. Determinación del estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado grueso.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).



Figura 13. Determinación del peso en estado saturado superficialmente seco (SSS) del agregado grueso.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Los resultados que se logró obtener con respecto al peso específico, como también de la capacidad de absorción del agregado grueso del río Paute se lo muestra en las siguientes tablas:

VARIABLES	VALOR
A.- Peso del material saturado superficialmente seco [gr]	425,00
B.- Peso del picnómetro + Agua + Material [gr.]	3361,00
C.- Peso del picnómetro + Agua [gr.]	3121,00
D.- Peso del material seco [gr.]	410,50

Tabla 23. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DESCRIPCION	FÓRMULA	VALOR
Peso Específico Neto (Bulk)	$A/(B-C)=$	2,22
Peso Esp. Saturado Superficialmente Seca (SSS)	$B/(B-C)=$	2,30
Peso Específico Aparente	$A/(A-C)=$	2,41
Porcentaje de Absorción	$(B-A/A)*100=$	3,53

Tabla 24. Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

De igual forma, las tablas a continuación son los resultados de los ensayos correspondientes del peso específico y absorción del árido grueso de Santa Isabel.

VARIABLES	VALOR
A.- Peso del material saturado superficialmente seco [gr]	384,50
B.- Peso del picnómetro + Agua + Material [gr.]	3356,00
C.- Peso del picnómetro + Agua [gr.]	3121,00
D.- Peso del material seco [gr.]	371,00

Tabla 25. Variables - Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	VALOR
Peso Específico Neto (Bulk)	$A/(B-C)=$	2,48
Peso Esp. Saturado Superficialmente Seca (SSS)	$B/(B-C)=$	2,57
Peso Específico Aparente	$A/(A-C)=$	2,73
Porcentaje de Absorción	$(B-A/A)*100=$	3,64

Tabla 26. Peso específico y capacidad de absorción del agregado grueso – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.1.3.9 Abrasión

El ensayo de resistencia a la degradación por abrasión del agregado grueso se realizó en base a la normativa NTE INEN 860. Antes de realizar el ensayo se determinó la granulometría del material y los datos necesarios para realizar el procedimiento en la máquina de los Ángeles. Con el tamaño máximo del agregado de 1 1/2” tanto del árido de Paute como de Santa Isabel se procedió a tomar una muestra de 1250 ± 25 de material retenido en cada tamiz. Según la Norma Técnica Ecuatoriana el desgaste máximo del árido no debe superar el 50% del total de material sometido al ensayo. Tanto los áridos de Paute como de Santa Isabel cumplen el requerimiento con el porcentaje de desgaste que se expone en la siguiente tabla:

Material	Degradación
Árido Santa Isabel	25,53 %
Árido Paute	21,13 %

Tabla 27. Desgaste de material, Santa Isabel y Paute (Máquina de los Ángeles).

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.1.4 Aditivo hiperplastificante

Se obtuvo el aditivo hiperplastificante Sika ViscoCrete 4100 especificado para este estudio mediante un envase de muestra proporcionado por la empresa Sika. Se procedió a revisar sus características comprobando que se encuentre en un estado correcto para su incorporación en los diseños de mezcla.

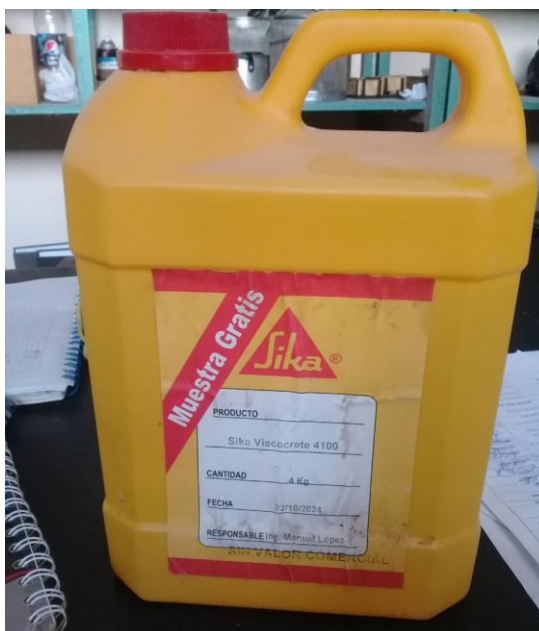


Figura 14. Muestra de aditivo utilizado en la investigación

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2 Diseño de la mezcla

3.2.1 Metodología de diseño de la mezcla patrón

Los diferentes áridos utilizados para el proyecto no cumplen con las propiedades granulométricas especificadas para realizar el diseño de mezcla según el método American Concrete Institute (ACI), por lo cual se decidió ajustar la proporción óptima de los agregados mediante la curva granulométrica según el método Fuller – Thompson.

El diseño de la siguiente investigación es de carácter experimental, por lo que se procedió a evaluar mediante ensayos de laboratorio las propiedades del hormigón para pavimento rígido utilizando dos de los principales materiales áridos de nuestro medio, provenientes de las

cuencas de los Ríos Paute y Jubones, para así emitir una comparación entre sus parámetros y determinar que material posee mejores características.

Este proyecto estudia la construcción de hormigón aplicable en pavimento rígido, por lo tanto se debe obtener una resistencia mínima a compresión de 280 kgf/cm² (NEVI-12 - MTOP, 2013). Con la ejecución de los ensayos es posible obtener un diseño de mezcla de concreto patrón para cada uno de los diferentes agregados de Paute y Santa Isabel, con la relación óptima de Agua-Cemento que genere mayor resistencia, con el objetivo de incorporar el aditivo especificado.

Se realizaron las operaciones necesarias comprobadas mediante una hoja de cálculo en la herramienta Excel, con el objetivo de obtener un diseño de mezcla inicial con resistencia mínima a la compresión de 300 kgf/cm² utilizando las proporciones adecuadas de los materiales áridos tanto de la cuenca del río Paute como del río Jubones.

3.2.1.1 Análisis de la resistencia requerida

La resistencia de diseño según el Método Fuller – Thompson es igual al método ACI 318-08 que determina la resistencia requerida por medio de la desviación estándar de la muestra. Puesto que esta investigación no cuenta con ensayos de resistencia en obra para calcular el factor de desviación estándar, es necesario utilizar los valores descritos en la siguiente tabla para especificar la resistencia de diseño requerida (f'_{cr}) con su respectivo factor de mayoración.

Resistencia especificada f'_c (kgf/cm ²)	Resistencia requerida f'_{cr} (kgf/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_c + 84$
$f'_c > 350$	$f'_c + 98$

Tabla 28. Resistencia promedio a la compresión, cuando no se tiene desviación estándar.

Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento.

Según la tabla se determinó la resistencia de diseño requerida $f'_{cr} = 384$ kgf/cm², que será utilizada para los respectivos cálculos de diseño para la mezcla.

3.2.1.2 Selección del asentamiento

El valor recomendado para el asentamiento depende de la finalidad del uso del concreto. La siguiente tabla expresa los valores recomendados para producir hormigones utilizando plastificante y sin el uso del mismo.

Hormigón Elaborado sin Aditivo	
Asentamiento	5.0 – 10.0 cm
Hormigón Elaborado con Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango	
Asentamiento antes de añadir aditivo	2.5 – 5.0 cm

Tabla 29. Asentamientos recomendados para hormigones con y sin aditivo plastificante.

Fuente: ACI 211 4R-93 “Guía para la selección de las proporciones de hormigón de Alta Resistencia Hormigón con cemento Portland y cenizas volantes.”

El valor del asentamiento escogido para el diseño de pavimento rígido en el presente proyecto es de 5cm con una tolerancia de ± 1 .

Las siguientes ilustraciones exponen los asentamientos obtenidos en el diseño de mezcla de hormigón en el laboratorio, tanto con el uso de áridos de las cuencas de los Ríos de Paute como de Santa Isabel.



Figura 14. Asentamiento obtenido para el diseño de mezcla patrón con áridos de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).



Figura 15. Asentamiento obtenido para el diseño de mezcla patrón con áridos de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.1.3 Tamaño máximo del agregado

Para este proyecto donde se requiere específicamente la elaboración de probetas cilíndricas, el tamaño máximo del agregado depende específicamente de la granulometría realizada. El valor del tamaño máximo del agregado es de 1 ½” debido a que es el tamiz más pequeño por donde pasó el 100% de material tanto de la cuenca del río Paute como de la cuenca del río Jubones.

3.2.1.4 Estimación de la cantidad de agua

Para estimar la proporción de agua necesaria en la mezcla se utilizó el método recomendado por Fuller – Thompson. La siguiente tabla especifica que el valor de la cantidad de agua depende del tamaño máximo del agregado y su tipología (canto rodado o triturado). Para este proyecto utilizamos áridos triturados y tamaño máximo de 3/2” tanto para los agregados de Paute como de Santa Isabel, por lo que se obtuvo el valor de 181 litros de agua.

Tamaño Máximo del Agregado mm (pulg)	Canto Rodado (litros)	Árido Triturado (litros)
12,7 (1/2")	199	214
19,1 (3/4")	184	199
25,4 (1")	178	193
38,1 (3/2")	166	181
50,8 (2")	157	172
76,2 (3")	148	163
152,4 (6")	131	145

Tabla 30. Cantidad de agua requerida en función de la tipología y tamaño máximo del agregado.

Fuente: Método Fuller-Thomson (Bolivar, 1987).

La siguiente tabla expone las correcciones que se deben realizar para modificar el valor seleccionado en la tabla 31, en caso de que varíen las condiciones especificadas.

Cambio de Condición	Modificaciones en la Cantidad de Agua
Por cada 25 mm de aumento o disminución del asentamiento	$\pm 3\%$
Arenas trituradas	+ 6,8%
Hormigones poco trabajables	- 3,6%

Tabla 31. Modificaciones sobre el contenido de agua.

Fuente: Método Fuller-Thomson (Bolivar, 1987).

En el caso específico del proyecto adicionamos 6.8% al valor seleccionado, por lo que la cuantía corregida de agua para el diseño de la mezcla es de 193.3 litros. El volumen de agua necesario para producir 1 metro cúbico de hormigón se calculó dividiendo la cuantía corregida entre el peso específico del agua.

$$\text{Volumen de agua, m}^3 = \frac{\text{Cuantía de agua (kg)}}{\text{Peso específico del agua (kg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen de agua, m}^3 = \frac{193.3 \text{ kg}}{1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = 0,193$$

3.2.1.5 Relación agua/cemento

Este punto coincide con lo especificado en el Método ACI cuyo valor depende de la resistencia requerida calculada y se expone en la siguiente tabla.

F'cr (28 días)	Relación a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	0,35
450	0,38	0,31

Tabla 32. Relación entre f'cr y (A/C). Vibración normal.

Fuente: American Concrete Institute (ACI).

Puesto que el valor específico no se encuentra en la tabla es necesario interpolar para obtener la relación Agua/Cemento.

$$\left(\frac{A}{C}\right) = 0,48 + \left(\frac{0,43 - 0,48}{400 - 350}\right) * (384 - 350) = 0,45$$

Debido a las variaciones generadas al utilizar los áridos especificados en este proyecto experimental, se decidió analizar el comportamiento del hormigón patrón con dos valores adicionales de relación (agua/cemento) diferentes a la obtenida en el cálculo teórico. Se utilizó el valor que obtuvo la resistencia más alta en los ensayos a compresión para continuar los diseños de mezcla con incorporación de aditivo y realizar las comparaciones de resultados.

3.2.1.6 Cantidad de cemento

Para calcular la cantidad de cemento se utilizó la siguiente ecuación especificada en el ACI, que divide la cantidad de agua corregida entre la relación agua/cemento.

$$\text{Cuantía de cemento (C), kg} = \frac{\text{Cuantía de agua (A), kg}}{(A/C)}$$

$$\text{Cuantía de cemento (C), kg} = \frac{193,3 \text{ kg}}{0,42}$$

$$\text{Cuantía de cemento (C)} = 460,23 \text{ kg}$$

Para obtener la cantidad de cemento que se emplea para producir 1 metro cúbico de hormigón se utilizó el método de volumen absoluto.

$$\text{Volumen de cemento, m}^3 = \frac{\text{Peso del cemento, kg}}{\text{Peso específico del cemento (kg/m}^3)}$$

$$\text{Volumen de cemento, m}^3 = \frac{460,23 \text{ kg}}{2926,829 \text{ (kg/m}^3)} = 0,157$$

3.2.1.7 Proporciones de los agregados

Para realizar el diseño de mezcla utilizado en esta investigación se requirió analizar la gráfica granulométrica descrita en el método de Fuller – Thompson. La gráfica se distribuye introduciendo las aberturas de cada tamiz en el eje las abscisas, mientras se incorporan los datos del porcentaje que pasa por cada tamiz en el eje de las ordenadas.

El método utilizado para calcular el porcentaje y el peso de los agregados a mezclar se obtuvo según el Método por los Módulos de Finura, basado en operaciones matemáticas que permitieron la obtención de la combinación óptima de los agregados utilizados. A continuación, se resume el procedimiento.

3.2.1.7.1 Porcentaje y volumen de agregado fino

Una vez realizado el cálculo para obtener el porcentaje ideal que pasa el tamiz N°4 y conocido el volumen absoluto, se utilizó el método matemático descrito por Fuller que plantea la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de volumen óptimo del árido fino para el diseño de mezcla de hormigón y su respectivo volumen para producir 1 metro cúbico de hormigón.

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} \times 100$$

$$\text{Vol. agregado fino, (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. total de agregados, (m}^3\text{)}$$

Donde:

α : % de volumen del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.

3.2.1.7.2 Porcentaje y volumen de agregado grueso

Una vez conocido el porcentaje óptimo de árido fino el procedimiento para calcular el porcentaje de agregado grueso y su respectivo volumen se reduce a las siguientes ecuaciones.

$$\beta = 100 - \alpha$$

$$\text{Vol. agregado grueso, (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. total de agregados, (m}^3\text{)}$$

Donde:

β : % de volumen del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

3.2.1.8 Dosificación de elementos que componen la mezcla de hormigón

Las siguientes tablas expone la dosificación de los componentes necesarios para el diseño de la mezcla de hormigón tanto de los áridos de Paute como de Santa Isabel.

Volumen absoluto de materiales por m3 de hormigón (PAUTE)	
Cemento =	0.157 m3
Agua =	0.193 m3
Aire =	0 m3
Agregados =	0.650 m3
Porcentaje de volumen de los agregados	
A: % de agregado fino que pasa el tamiz N°4	90.92 %
B: % de agregado grueso que pasa el tamiz N°4	2.48 %
d: Abertura de la malla del tamiz N°4	4.76 mm
T.M: Tamaño máximo del agregado grueso	38.1 mm
C: % ideal que pasa el tamiz N°4	35.35 %
α : % de volumen del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.	37.16 %
β : % de volumen del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.	62.84 %
Volumen absoluto de agregados por m3 de hormigón	
Agregado Fino =	0.242 m3
P. Específico SSS. Ag. Fino =	2.580 g/cm3
Agregado Grueso =	0.408 m3
P. Específico SSS. Ag. Grueso =	2.300 g/cm3
Peso Seco por m3	
Cemento =	460.23 Kg
Agregado Fino =	623.21 Kg
Agregado Grueso =	939.43 Kg
Agua =	193.3 Lt
rango 2200 - 2400	2216.16 OK

Tabla 33. Distribución de los pesos para la dosificación del diseño de mezcla de hormigón – Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Volumen absoluto de materiales por m3 de hormigón (SANTA ISABEL)	
Cemento =	0.157 m3
Agua =	0.193 m3
Aire =	0 m3
Agregados =	0.650 m3
Porcentaje de volumen de los agregados	
A: % de agregado fino que pasa el tamiz N°4	82.35 %
B: % de agregado grueso que pasa el tamiz N°4	0.19 %
d: Abertura de la malla del tamiz N°4	4.76 mm
T.M: Tamaño máximo del agregado grueso	38.1 mm
C: % ideal que pasa el tamiz N°4	35.35 %
α : % de volumen del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.	42.79 %
β : % de volumen del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.	57.21 %
Volumen absoluto de agregados por m3 de hormigón	
Agregado Fino =	0.278 m3
P. Específico SSS. Ag. Fino =	2.520 g/cm3
Agregado Grueso =	0.372 m3
P. Específico SSS. Ag. Grueso =	2.570 g/cm3
Peso Seco por m3	
Cemento =	460.23 Kg
Agregado Fino =	700.90 Kg
Agregado Grueso =	955.70 Kg
Agua =	193.3 Lt
rango 2200 - 2400	2310.12 OK

Tabla 34. Distribución de los pesos para la dosificación del diseño de mezcla de hormigón – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.1.9 Corrección por humedad

Antes de realizar el pesaje de los materiales necesarios para el diseño de mezcla de hormigón, fue necesario realizar la corrección por humedad de los agregados fino y grueso, con el objetivo de prevenir un exceso de agua por el contenido de humedad de los áridos. A continuación, se exponen las fórmulas utilizadas para realizar los ajustes.

$$W_w = W_s * \left(\frac{\%w - \%abs}{100} \right)$$

Donde:

W_w : Aporte de humedad (agua) incluido en el agregado.

W_s : Peso seco del agregado.

$\%w$: Porcentaje de contenido de humedad del agregado.

$\%abs$: Porcentaje de absorción del agregado.

Posteriormente se determinó el aporte de humedad tanto del agregado grueso como del agregado fino y se procedió a realizar el ajuste del agua con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua efectiva} = \text{Peso del agua} - \text{Aporte de humedad de los agregados}$$

Las siguientes tablas exponen los cálculos realizados en los materiales tanto de Paute como de Santa Isabel y su respectivo ajuste de agua efectiva.

Aporte humedad agregado fino	-3.55 Ltr/m ³
Aporte humedad agregado grueso	-22.45 Ltr/m ³
Aporte humedad de los agregados	-26.00 Ltr/m ³
Agua efectiva	219.3 Ltr/m ³

Tabla 35. Aporte por humedad de los componentes para el diseño de mezcla de hormigón – Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Aporte humedad agregado fino	11.78	Ltr/m3
Aporte humedad agregado grueso	-8.51	Ltr/m3
Aporte humedad de los agregados	3.27	Ltr/m3
Agua efectiva	190.0	Ltr/m3

Tabla 36. Aporte por humedad de los componentes para el diseño de mezcla de hormigón – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.1.10 Dosificación óptima de los elementos que conforman el hormigón

Finalmente se realizó el ajuste por humedad tanto del agregado fino como del grueso, obteniendo los siguientes resultados corregidos que se utilizaron para el diseño de mezcla del hormigón patrón. La fórmula utilizada para el ajuste es la misma para ambos tipos de agregados y se describe a continuación.

$$Wh = Ws * \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

Donde:

Wh: Peso del agregado ajustado por humedad.

Ws: Peso seco del agregado.

%w: Porcentaje de contenido de humedad del agregado.

Las siguientes tablas exponen las dosificaciones por metro cubico ajustadas y utilizadas para realizar el diseño de mezcla en el laboratorio. Es posible corroborar que la dosificación de componentes es óptima, puesto que la sumatoria de sus valores está dentro del rango aceptable.

Pesos ajustados de los componentes por m3 de hormigón (Paute)	
Cemento =	460.23 Kg
Agregado Fino =	637.29 Kg
Agregado Grueso =	950.14 Kg
Agua =	219.30 Kg
rango 2200 - 2400	2266.96 OK

Tabla 37. Dosificación óptima de componentes ajustados por humedad para la mezcla de hormigón – Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Pesos ajustados de los componentes por m³ de hormigón (Santa Isabel)	
Cemento =	460.23 Kg
Agregado Fino =	741.90 Kg
Agregado Grueso =	981.98 Kg
Agua =	190.0 Kg
rango 2200 - 2400	2374.14 OK

Tabla 38. Dosificación óptima de componentes ajustados para la mezcla de hormigón – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/s (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.2 Diseño de mezcla de hormigón agregando porcentajes de aditivo.

Un objetivo de la presente investigación fue diseñar la mezcla con el aditivo Sika ViscoCrete 4100, por lo que se repitió un proceso similar para el cálculo de los componentes utilizados para el hormigón patrón. Se realizó la sustitución en respectivos porcentajes de la cantidad de agua en la mezcla patrón por aditivo, según las indicaciones de la Norma y las especificaciones técnicas del fabricante. La dosis utilizada para esta investigación fue de 0.9% del peso del cemento, tal como se especifica en la ficha técnica del producto. Con objetivo de discutir los resultados se diseñó la mezcla incorporando el aditivo con tres porcentajes de agua distintos los cuales fueron de: 100%, 85% y 75%, de acuerdo al peso inicial de agua en la mezcla patrón.

Las siguientes tablas describen las dosificaciones utilizadas para los diseños de mezcla mediante la incorporación de aditivo, tanto con los agregados de Paute como de Santa Isabel.

DOSIFICACIÓN POR M³ DE HORMIGÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA MEZCLA CON ADITIVO (PAUTE)				
COMPONENTE (Kg)	H. PATRÓN	PORCENTAJE DE AGUA		
		100%	85%	75%
Agua	219.30	219.30	186.41	164.48
Cemento	460.23	460.23	460.23	460.23
Aditivo	0	4.14	4.14	4.14
Agregado Fino	637.29	637.29	637.29	637.29
Agregado Grueso	950.14	950.14	950.14	950.14

Tabla 39. Dosificación de los componentes para la mezcla con aditivo– Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DOSIFICACIÓN POR M3 DE HORMIGÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA MEZCLA CON ADITIVO (SANTA ISABEL)				
COMPONENTE (Kg)	H. PATRÓN	PORCENTAJE DE AGUA		
		100%	85%	75%
Agua	190.30	190.30	161.76	142.73
Cemento	460.23	460.23	460.23	460.23
Aditivo	0	4.14	4.14	4.14
Agregado Fino	741.90	741.90	741.90	741.90
Agregado Grueso	981.98	981.98	981.98	981.98

Tabla 40. Dosificación de los componentes para la mezcla con aditivo – Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.3 Ejecución de ensayos en laboratorio

Las probetas cilíndricas de ensayos fueron suministradas en el laboratorio con medidas de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura. Con el objetivo de obtener resultados adecuados para el proyecto, se elaboraron 3 probetas de concreto con la relación Agua/Cemento calculada y 6 probetas adicionales, distribuidas como se indica en las siguientes tablas:

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS PARA LA MEZCLA PATRÓN				
FACTORES	% ADITIVO	% AGUA	ASENTA-MIENTO (cm)	Nº PROBETAS
PATRÓN A/C 0.42	0%	100%	5	3
PATRÓN A/C 0.45	0%	100%	6	3
PATRÓN A/C 0.48	0%	100%	7	3

Tabla 41. Distribución de probetas para los ensayos realizados de la mezcla patrón.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS REQUERIDAS PARA LOS ENSAYOS				
FACTORES	Nº PROBETAS			Nº PROBETAS
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	
Patrón A/C 0.42	1	1	1	3
Patrón A/C 0.45	1	1	1	3
Patrón A/C 0.48	1	1	1	3

Tabla 42. Distribución de probetas de la mezcla patrón según el tiempo de ensayo.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

Las siguientes tablas indican la distribución de las probetas utilizadas tras la incorporación de aditivo al diseño de mezcla patrón que obtuvo mejores resultados.

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS EN LA MEZCLA CON ADITIVO				
FACTORES	% ADITIVO	% AGUA	ASENTA- MIENTO (cm)	N° PROBETAS
DOSIFICACION DE ADITIVO	0.9%	100%	+10	6
	0.9%	85%	5	6
	0.9%	75%	2.5	6

Tabla 43. Distribución de probetas para los ensayos realizados de la mezcla con aditivo.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS REQUERIDAS PARA LOS ENSAYOS				
FACTORES	N° PROBETAS			N° PROBETAS
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	
100% de agua	2	2	2	6
85% de agua	2	2	2	6
75% de agua	2	2	2	6

Tabla 44. Distribución de probetas de la mezcla con aditivo según el tiempo de ensayo.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

El número de probetas utilizadas para los ensayos de la mezcla patrón son de 9, mientras que para los ensayos realizados incorporando aditivo a la mezcla se utilizaron 18 probetas, por lo que se utilizaron 27 probetas de hormigón con cada tipo de material agregado, ya que se emplearon materiales agregados de la cuenca del río Paute y de la cuenca del río Jubones el número total de probetas de ensayo utilizadas fue de 54.

3.2.3.1 Proceso de elaboración de probetas

La elaboración de probetas con los diferentes diseños de mezclas especificados se realizó en el laboratorio de materiales ubicado en el Centro de Investigación de la Universidad Católica de Cuenca. Cabe recalcar que los grupos de probetas con aditivo incorporado se realizaron después de conocer los resultados de resistencia de las probetas con el diseño de mezcla patrón. A continuación, se describe su procedimiento.

1. Mediante una brocha se engrasaron los moldes cilíndricos para el vaciado de la mezcla, con el objetivo de facilitar el desmolde de las probetas en estado endurecido transcurridas las 24 horas.
2. Se adecuó la bandeja de mezclado y se prepararon las herramientas (Cono de Abrams, bailejos, varilla de compactación, martillo, flexómetro y bandejas metálicas).
3. Luego se realizó el pesaje de los componentes necesarios para realizar la mezcla. Se efectuó el proceso encerando la balanza con la bandeja (o balde en el caso del agua) vacía y posteriormente agregando cada material para verificar su peso.
4. Antes de llevar a cabo el mezclado se realizó un leve humedecimiento con agua en la bandeja de mezclado, luego se colocaron los áridos y se mezclan. Posteriormente se colocó el material cementante y se procedió a mezclar durante 3 minutos los materiales ocupando bailejos, mientras se incorporó el agua restante junto con el aditivo. Transcurrido este tiempo se hizo una pausa para comprobar la consistencia de la mezcla y por último se mezclaron los materiales durante 2 minutos más.
5. Se procedió a humedecer el Cono de Abrams y se efectuó la comprobación del asentamiento colocando su diámetro superior hacia abajo en una bandeja. Luego se introdujo el hormigón en el cono mediante 3 capas, en las cuales se compactó con 25 golpes las 2 primeras capas y 15 golpes en la capa final, utilizando una varilla normalizada. Posteriormente luego de compactar se enrasó la capa final y se retiró el cono de manera vertical, evitando inclinaciones laterales. Finalmente se ubicó el cono de la misma manera junto al hormigón y por medio de la varilla en la parte superior, se midió la diferencia de desplazamiento entre la mezcla y la varilla.
6. Por último, se introdujo la mezcla en sus respectivos moldes, Se realizó la compactación en 3 capas de igual manera que en el proceso anterior. Luego de la última compactación

se enrasaron las probetas proporcionando una superficie lisa a las probetas de ensayo y se colocaron en un lugar fresco.

7. Para proceder a su desencofrado transcurridas 24 horas se desarmaron los moldes metálicos con las respectivas herramientas y se desprendieron cuidadosamente los especímenes de hormigón dejándolos listos para su curado.



Figura 16. Proceso de mezclado de materiales para el diseño de la mezcla de hormigón.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.3.2 Curado de las muestras obtenidas

Por motivo de espacio y de uso de moldes y herramientas compartidas en el laboratorio se procedió a realizar la elaboración de probetas en grupos de 9 cada día para garantizar su correcto curado. Una vez realizado el desencofrado de cada grupo de especímenes se procedieron a almacenar adecuadamente en la piscina para muestras del laboratorio de materiales de la Universidad.



Figura 17. Grupo de probetas en la piscina de almacenamiento para muestras de hormigón.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

3.2.4 Ensayo de resistencia de las probetas

Se realizaron los ensayos respectivos a compresión según lo establecido por la Norma NTE INEN 1573 mediante los equipos dispuestos en el laboratorio de materiales, con la supervisión de los docentes laboratoristas. Los ensayos de compresión se realizaron según lo planificado en el cronograma a los 7, 14 y 28 días, con el objetivo de obtener con mayor eficiencia los datos equivalentes al proceso de maduración de cada mezcla realizada. A continuación, se describe el procedimiento realizado.

1. Se procedió a realizar el ensayo en cada grupo de especímenes el día planificado.
2. Se retiraron los especímenes de la piscina y se ubicaron en un lugar fresco.
3. Se realizó su respectivo pesaje y se colocó con su cara endurecida hacia arriba, cuidadosamente alineado en el centro sobre la platina de la máquina de ensayo, debajo del bloque de carga esférico superior.
4. Se ingresaron las dimensiones del espécimen en el software de la máquina de ensayo y se configuró su velocidad de carga.
5. Finalmente, la máquina de ensayo aplicó la carga de compresión constantemente hasta que el espécimen demostró un patrón de falla definitivo y el indicador gráfico de la

maquina expuso una línea de decrecimiento. Cabe recalcar que no se debe apagar la máquina de ensayo mientras la carga haya decrecido hasta el 95% del valor de la carga máxima con el fin de garantizar la capacidad ultima del espécimen.

6. Se realizó el cálculo de la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la fuerza aplicada entre el área de la base del cilindro.



Figura 18. Ensayos de rotura (Maquina de compresión).

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como se pudo observar en el capítulo III mediante los resultados del análisis granulométrico, la arena y la grava tanto de Paute como de Santa Isabel no cumplieron con lo especificado en la Norma NTE INEN 872, por lo tanto, resultó imprescindible realizar un ajuste mediante el método Fuller – Thompson cuya finalidad fue proporcionar correctamente la cantidad de áridos y desarrollar un diseño de hormigón óptimo para los objetivos del proyecto.

Mediante los ensayos realizados en el laboratorio se pudo obtener una serie de datos que permitieron obtener una representación de la resistencia mecánica de los diferentes diseños de hormigón realizados, no obstante, los cálculos estadísticos y las comparativas nos permiten determinar los patrones que caracterizan su comportamiento ante la aplicación de cargas.

Con los ensayos realizados en los diseños de mezcla patrón se pudo evidenciar que la relación que obtuvo mayores resultados compresión tanto en los áridos de Paute como de Santa Isabel, por lo tanto, se utilizó dicha relación para continuar los procedimientos de diseño incorporando aditivo.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados con sus respectivas tablas y graficas comparativas.

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Ensayos de resistencia de las probetas con áridos de Paute

4.1.1.1 Ensayo de resistencia a compresión del diseño de mezcla patrón

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, $h = 200$ mm), MEZCLA PATRÓN						
PROBETA	RELACIÓN A/C (DISEÑO)	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
				(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
P1	0.42	05/12/2022	12/12/2022	7	14608	186
P2		05/12/2022	19/12/2022	14	21834	278
P3		05/12/2022	03/01/2023	28	24112	307
P4	0.45	05/12/2022	12/12/2022	7	11702	149
P5		05/12/2022	19/12/2022	14	20735	264
P6		05/12/2022	03/01/2023	28	22227	283
P7	0.48	05/12/2022	12/12/2022	7	10838	138
P8		05/12/2022	19/12/2022	14	19242	245
P9		05/12/2022	03/01/2023	28	21284	271

Tabla 45. Resultados Ensayo a Compresión de 7, 14 y 28 días del diseño Patrón con áridos de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

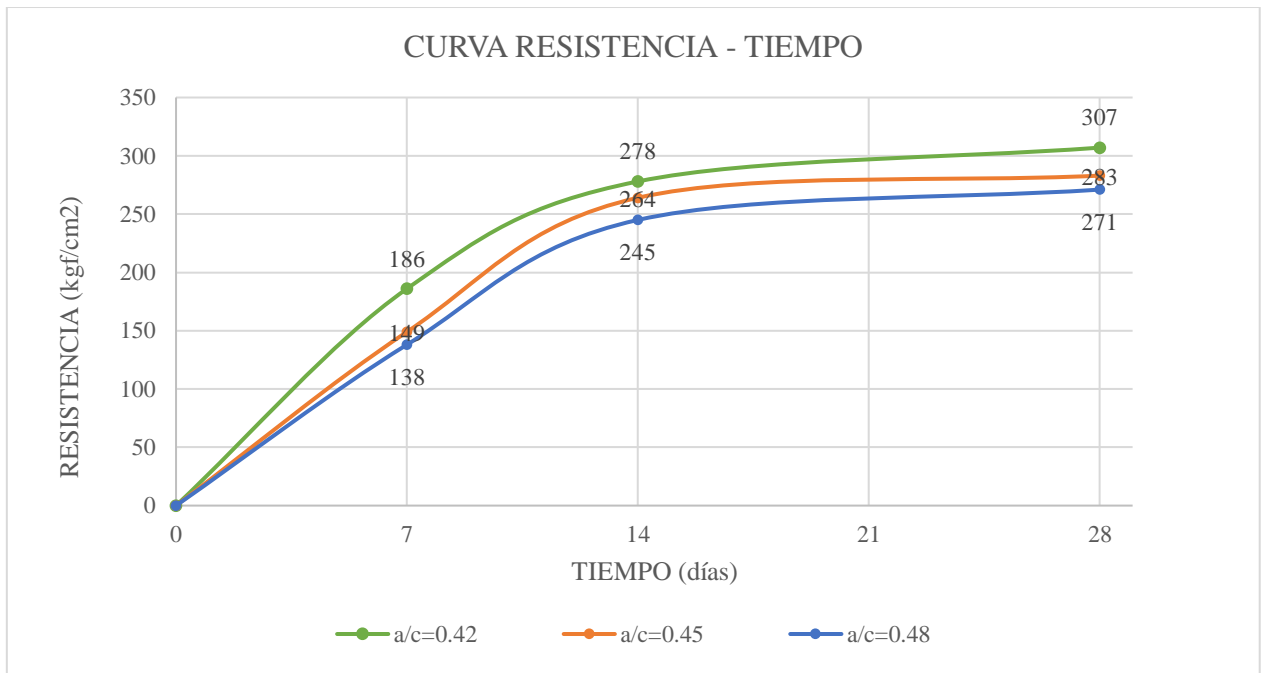


Figura 19. Curva resistencia – tiempo, de las relaciones a/c en los diseños de mezcla patrón, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.1.2 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 100% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 100% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
P10	21/12/2022	28/12/2022	7	12645	161
P11	21/12/2022	03/01/2023	14	17593	224
P12	21/12/2022	18/01/2023	28	19085	243
P13	21/12/2022	28/12/2022	7	13352	170
P14	21/12/2022	03/01/2023	14	18221	232
P15	21/12/2022	18/01/2023	28	20028	255

Tabla 46. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 100% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

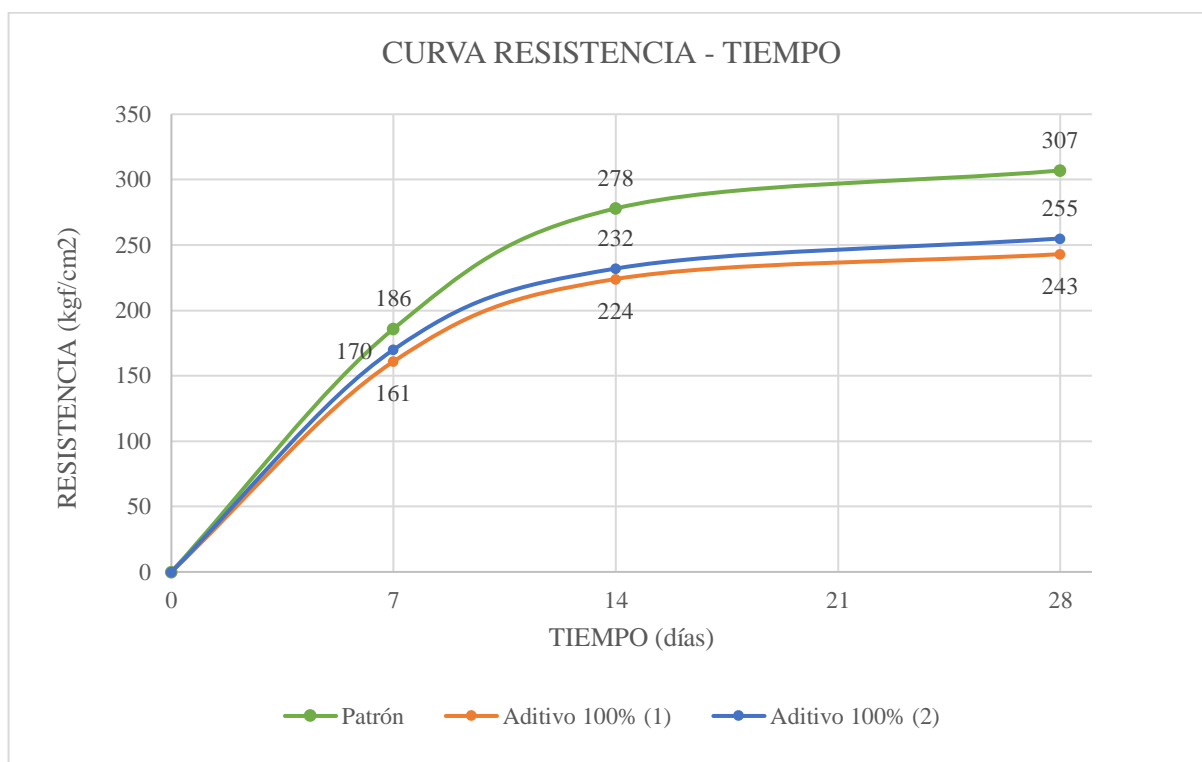


Figura 20. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 100% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.1.3 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 85% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 85% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
P16	21/12/2022	28/12/2022	7	17122	218
P17	21/12/2022	03/01/2023	14	24897	317
P18	21/12/2022	18/01/2023	28	25604	326
P19	21/12/2022	28/12/2022	7	16258	207
P20	21/12/2022	03/01/2023	14	23640	301
P21	21/12/2022	18/01/2023	28	24976	318

Tabla 47. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 85% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

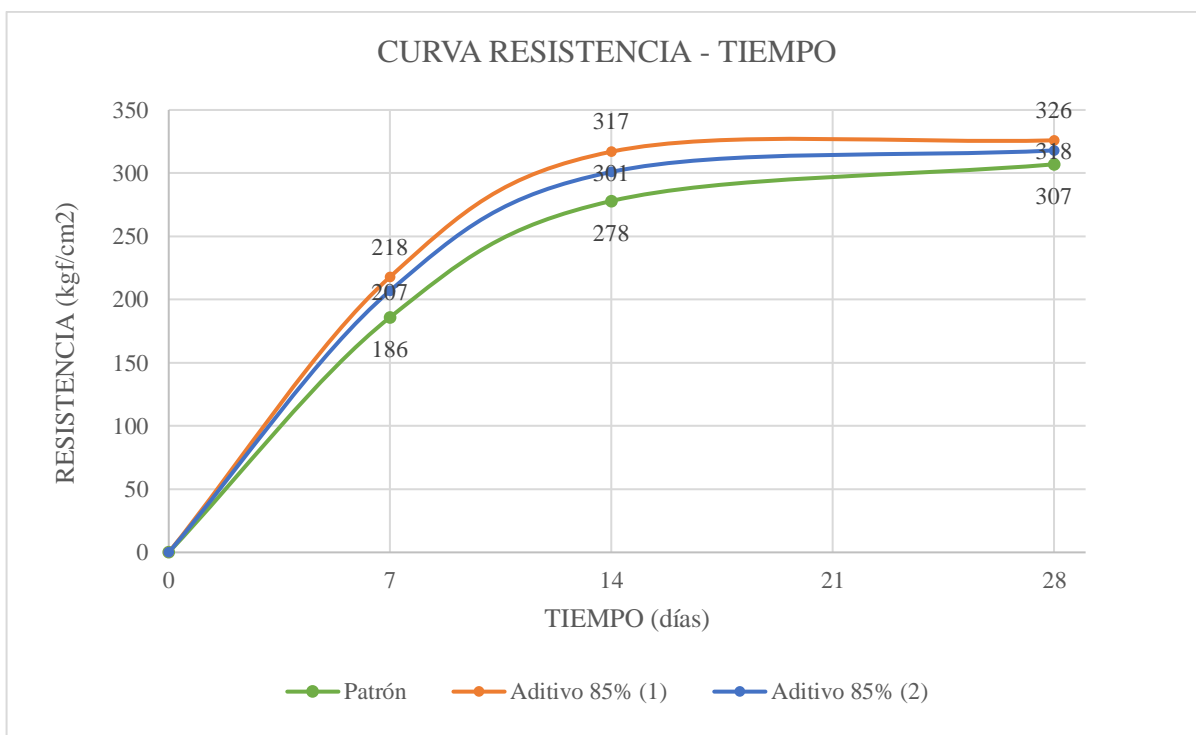


Figura 21. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 85% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.1.4 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 75% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 75% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
P10	21/12/2022	28/12/2022	7	14530	185
P11	21/12/2022	03/01/2023	14	19949	254
P12	21/12/2022	18/01/2023	28	21677	276
P13	21/12/2022	28/12/2022	7	13902	177
P14	21/12/2022	03/01/2023	14	18850	240
P15	21/12/2022	18/01/2023	28	20499	261

Tabla 48. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño con aditivo y 75% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

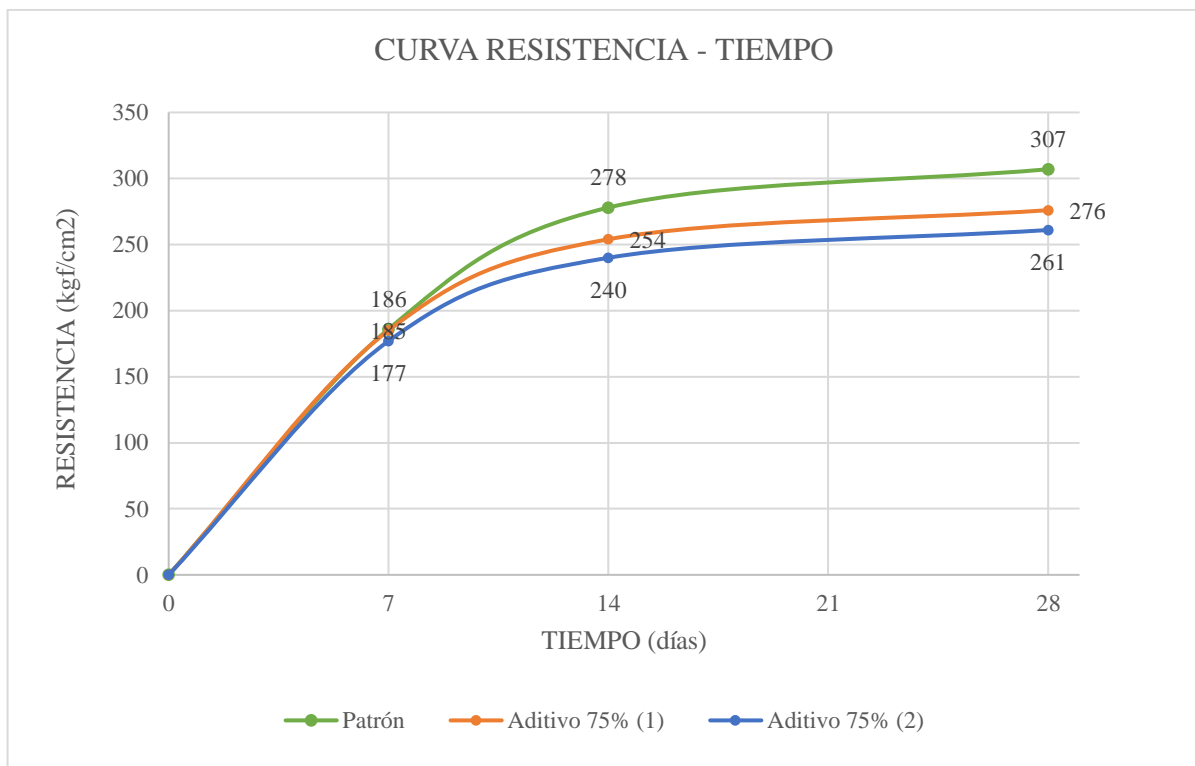


Figura 22. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 75% de agua, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.1.5 Promedio de resistencias a compresión con áridos de Paute

PORCENTAJE ADITIVO	EDAD	RESISTENCIA	PORCENTAJE DE DIFERENCIA	PROMEDIO DE RESISTENCIA
	(días)	(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)
100%	7	161	6%	165.5
		170		
	14	224	4%	228
		232		
	28	243	5%	249
		255		
85%	7	218	5%	212.5
		207		
	14	317	5%	309
		301		
	28	326	2%	322
		318		
75%	7	185	4%	181
		177		
	14	254	6%	247
		240		
	28	276	5%	268.5
		261		

Tabla 49. Promedio de resultados ensayos a compresión de diseños con aditivo, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

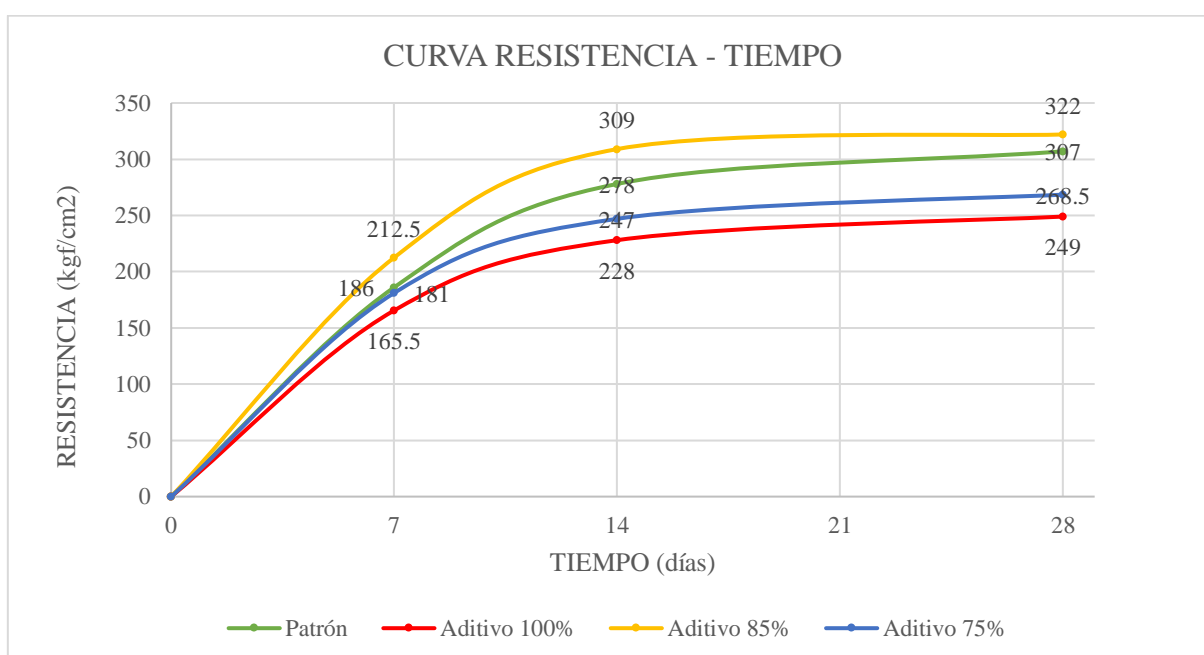


Figura 23. Curva resistencia – tiempo, promedio de diseños con aditivo, Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.1.6 Discusión de resultados de los ensayos de resistencia a compresión

Como se pudo evidenciar, se procedió a fabricar un hormigón para pavimento rígido con resistencia mínima a la compresión de 300 kgf/cm². Los cálculos permitieron obtener las proporciones adecuadas de los materiales y la relación agua/cemento de 0.45, sin embargo, con la finalidad de obtener resultados óptimos en la investigación, se decidió realizar ensayos adicionales con la relación de 0.48 que no suministró resultados favorables, y con la relación de 0.42 que proporcionó los mejores resultados en los ensayos a compresión como se puede visualizar en el punto 5.1.1, por lo tanto, se descartaron los diseños con las relaciones cuyos promedios no alcanzaron la resistencia mínima a la compresión establecida.

Como se puede evidenciar, los resultados de los ensayos a compresión generan graficas uniformes, comparables a la gráfica del diseño patrón. La mezcla con el porcentaje de aditivo sin reducir humedad, es decir con el 100% de la cantidad de agua de diseño, genera los resultados más bajos en los ensayos de compresión. Así también, utilizando un porcentaje de agua de 75% los primeros 7 días alcanzan una resistencia similar al diseño patrón, pero con el transcurso de tiempo se producen resultados insatisfactorios que no logran compararse ni con los resultados del diseño de la mezcla patrón.

El porcentaje de agua del 85% brindó resultados óptimos a la incorporación de aditivo con los materiales áridos de Paute, es decir reduciendo 15% de agua al diseño de la mezcla patrón. Como se puede evidenciar en el punto 4.1.1.3, ambos especímenes superan satisfactoriamente el valor de los ensayos de resistencia a compresión del diseño patrón desde los 7 días y aumentan su resistencia uniformemente hasta llegar a un máximo de 326 y 318 kgf/cm² que no supera la diferencia máxima establecida para cilindros de hormigón elaborados con la misma mezcla.

4.1.2 Ensayos de resistencia de las probetas con áridos de Santa Isabel

4.1.2.1 Ensayo de resistencia a compresión del diseño de mezcla patrón

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, $h = 200$ mm), MEZCLA PATRÓN						
PROBETA	RELACIÓN A/C	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
				(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
P1	0.42	05/12/2022	12/12/2022	7	13273	169
P2		05/12/2022	19/12/2022	14	18535	236
P3		05/12/2022	03/01/2023	28	20813	265
P4	0.45	05/12/2022	12/12/2022	7	10524	134
P5		05/12/2022	19/12/2022	14	14137	180
P6		05/12/2022	03/01/2023	28	15708	200
P7	0.48	05/12/2022	12/12/2022	7	9032	115
P8		05/12/2022	19/12/2022	14	12252	156
P9		05/12/2022	03/01/2023	28	13902	177

Tabla 50. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días del diseño Patrón con áridos de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

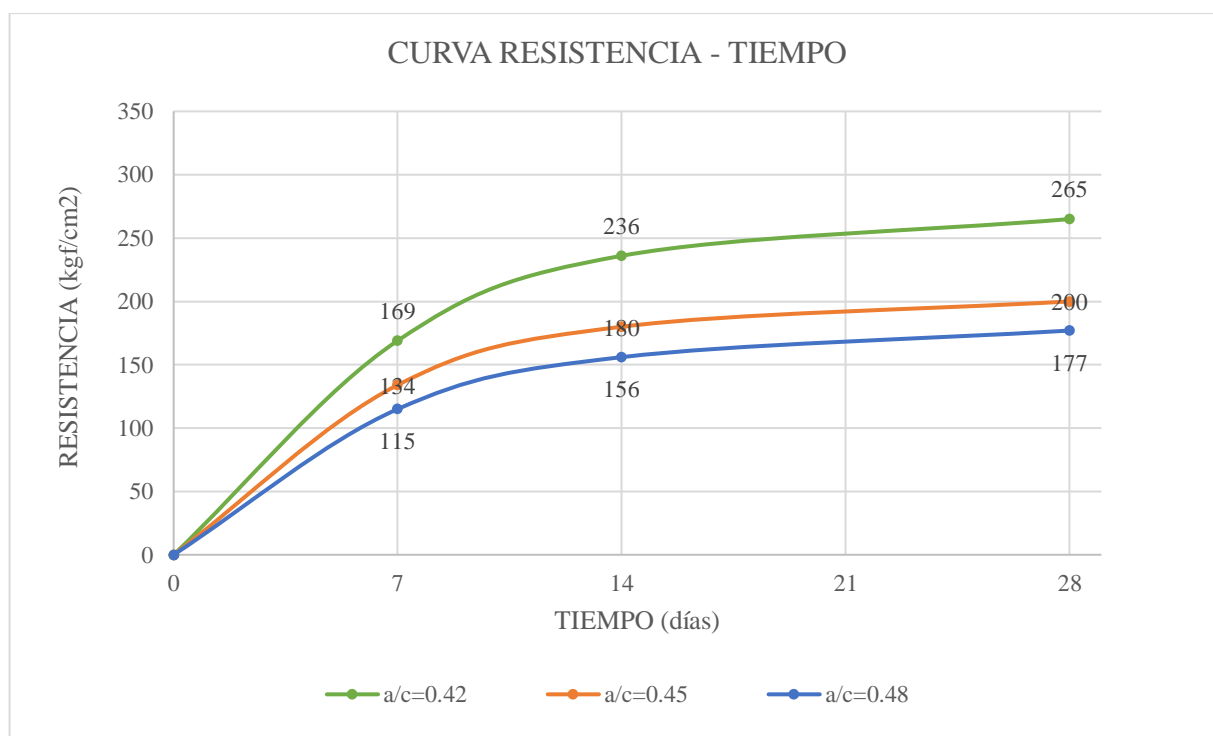


Figura 24. Curva resistencia – tiempo, de las relaciones a/c en los diseños de mezcla patrón, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.2.2 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 100% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 100% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
S10	04/01/2023	11/01/2023	7	9268	118
S11	04/01/2023	18/01/2023	14	14216	181
S12	04/01/2023	01/02/2023	28	15394	196
S13	04/01/2023	11/01/2023	7	8796	112
S14	04/01/2023	18/01/2023	14	13980	178
S15	04/01/2023	01/02/2023	28	16101	205

Tabla 51. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 100% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

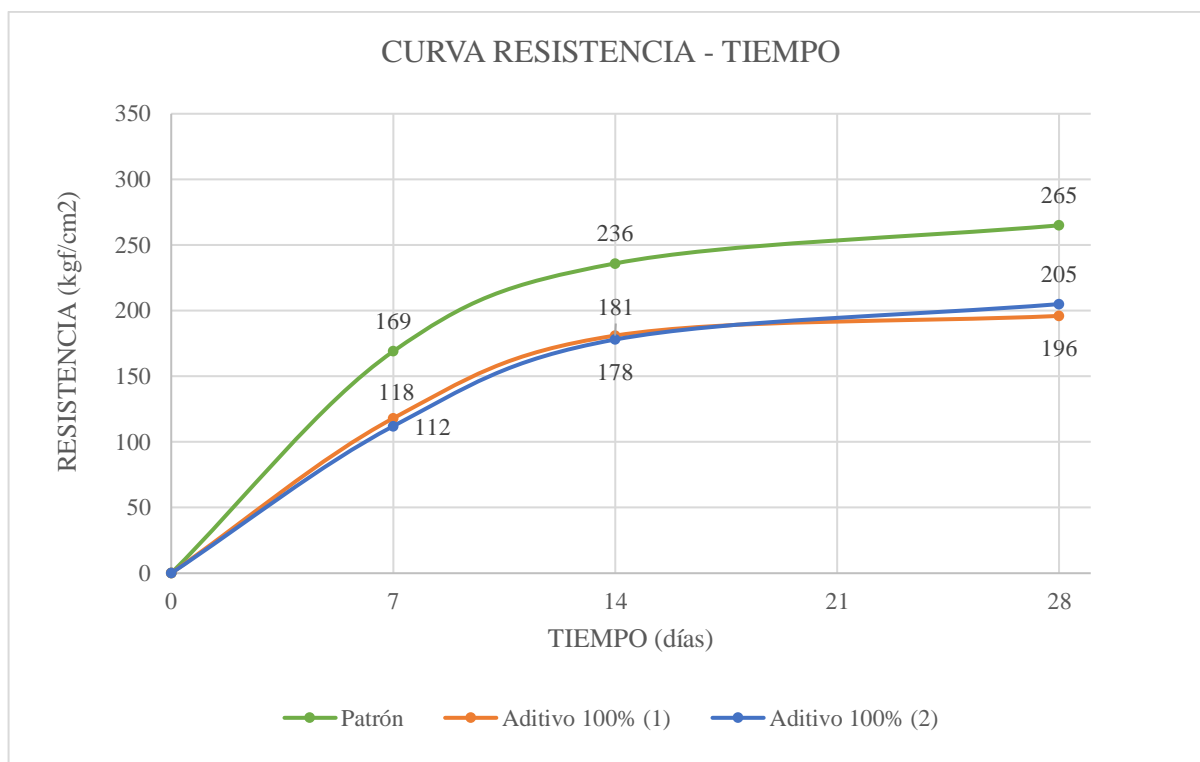


Figura 25. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 100% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.2.3 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 85% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 85% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
S16	04/01/2023	11/01/2023	7	13509	172
S17	04/01/2023	18/01/2023	14	15394	196
S18	04/01/2023	01/02/2023	28	17043	217
S19	04/01/2023	11/01/2023	7	12645	161
S20	04/01/2023	18/01/2023	14	14765	188
S21	04/01/2023	01/02/2023	28	16101	205

Tabla 52. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 85% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

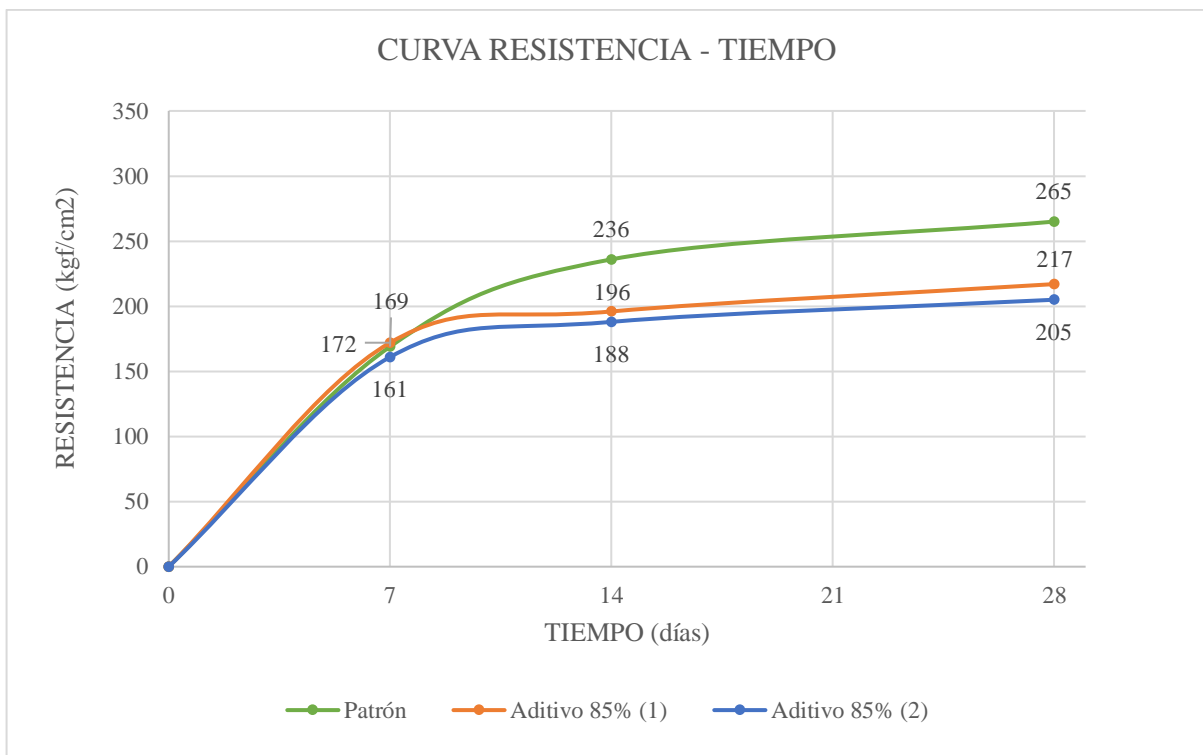


Figura 26. Curva resistencia – tiempo, d diseños con aditivo y 85% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.2.4 Ensayo de compresión del diseño con aditivo y 75% de agua

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS ($\varnothing = 100$ mm, h=200mm) ADITIVO + 75% DE AGUA					
PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD	MAX. FUERZA	RESISTENCIA
			(días)	(kgf)	(kgf/cm ²)
S22	04/01/2023	11/01/2023	7	15629	199
S23	04/01/2023	18/01/2023	14	24819	316
S24	04/01/2023	01/02/2023	28	26468	337
S25	04/01/2023	11/01/2023	7	14687	187
S26	04/01/2023	18/01/2023	14	23326	297
S27	04/01/2023	01/02/2023	28	24819	316

Tabla 53. Resultados Ensayo a Compresión de 7,14 y 28 días, diseño con aditivo y 75% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).



Figura 27. Curva resistencia – tiempo, diseños con aditivo y 75% de agua, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.2.5 Promedio de resistencias a compresión con áridos de Santa Isabel

PORCENTAJE ADITIVO	EDAD	RESISTENCIA	PORCENTAJE DE DIFERENCIA	PROMEDIO DE RESISTENCIA
	(días)	(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)
100%	7	118	5%	115
		112		
	14	181	2%	179.5
		178		
	28	196	5%	200.5
		205		
85%	7	172	6%	166.5
		161		
	14	196	4%	192
		188		
	28	217	6%	211
		205		
75%	7	199	6%	193
		187		
	14	316	6%	306.5
		297		
	28	337	6%	326.5
		316		

Tabla 54. Promedio de resultados ensayos a compresión de diseños con aditivo, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

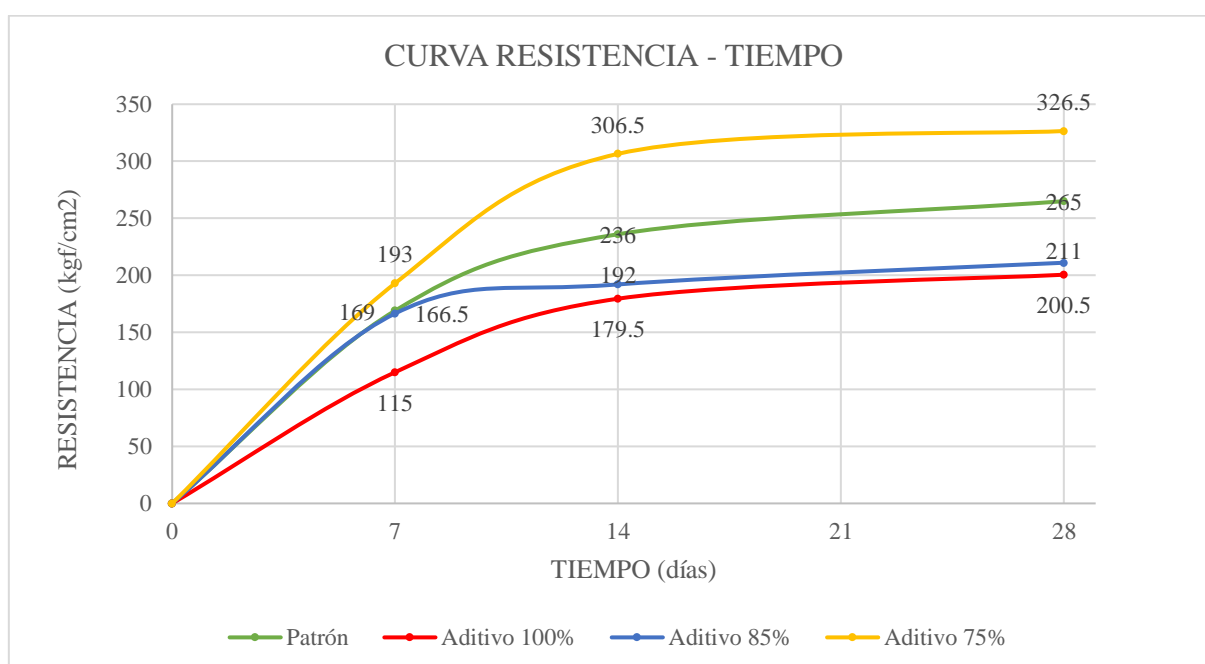


Figura 28. Curva resistencia – tiempo, promedio de diseños con aditivo, Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.2.6 Discusión de resultados de los ensayos de resistencia a compresión

De igual manera se procedió a fabricar un hormigón para pavimento rígido con los cálculos requeridos para obtener una resistencia mínima a la compresión de 300 kgf/cm² utilizando los materiales agregados de Santa Isabel. Aunque se llevó a cabo el procedimiento normalizado y similar al utilizado con los áridos de Paute, los resultados para los diseños de mezcla patrón fueron insatisfactorios ya que no alcanzaron la resistencia programada en los ensayos a compresión realizados. Sin embargo, se procedió a continuar la investigación utilizando el diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0.42, debido a que su resultado fue 28% mayor al diseño con la relación de 0.45.

Al incorporar el porcentaje de aditivo con la misma cantidad de agua que el diseño de mezcla patrón, es decir sin reducción de líquido, los resultados obtenidos fueron negativos, como se puede observar el promedio de resistencia alcanzado se asemeja al valor conseguido al utilizar la relación agua/cemento de 0.45 sin el uso de aditivo. Mientras tanto, cuando se incorporó el aditivo reduciendo 15% de agua, se puede evidenciar que se alcanzó una resistencia similar a los 7 días al diseño de mezcla patrón, pero con el transcurso de tiempo su resistencia expuso un importante declive que generó resultados insatisfactorios con valores promedio más próximos al diseño con aditivo sin reducción de agua que al diseño de mezcla patrón.

Los resultados que generaron una diferencia eficaz a la incorporación de aditivo con los materiales áridos de Santa Isabel, fueron los ensayos donde se utilizó el 75% de la cantidad de agua calculada en el diseño de la mezcla patrón. Como se puede observar en el punto 4.1.2.4 ambos especímenes elaborados aumentan su resistencia uniformemente, obteniendo valores que superan satisfactoriamente desde los 7 días al diseño de mezcla patrón, y alcanzando resistencias máximas de 337 y 316 kgf/cm², que no superan la diferencia máxima establecida en cilindros de hormigón elaborados con la misma mezcla de 6.6%.

4.1.3 Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos a compresión con áridos de Paute y Santa Isabel

PORCENTAJE DE AGUA	RESISTENCIA PROMEDIO A 28 DÍAS (kgf/cm ²)	
	PAUTE	SANTA ISABEL
100%	249	200.5
85%	322	211
75%	268.5	326.5
Diseño Patrón	307	265

Tabla 55. Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos con porcentajes de aditivos y mezcla patrón, con áridos de Paute y Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

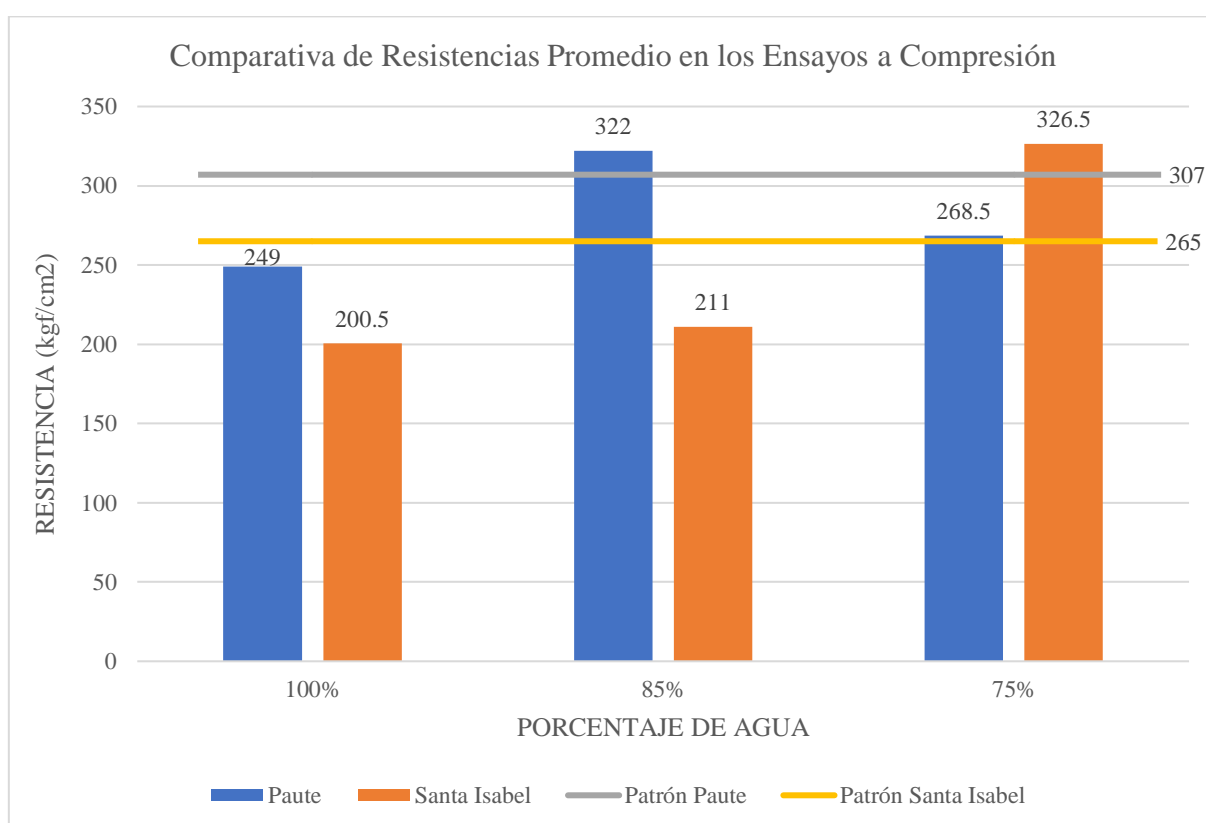


Figura 29. Comparativa de resistencias promedio obtenidas entre los ensayos con porcentajes de aditivos y mezcla patrón, con áridos de Paute y Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.1.4 Análisis de costos

4.1.4.1 Áridos de Paute

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=307$ kg/cm ²						UNIDAD: m ³
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Cuenca						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	8.00	4.05	32.40	0.80	25.92	
Maestro de obra	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
Técnico de obras civiles	1.00	4.33	4.33	0.80	3.46	
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.36	25.00	9.00		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.43	25.00	10.75		
Agua	m ³	0.22	0.42	0.09		
SUBTOTAL						98.94
TOTAL COSTOS DIRECTOS						138.04
INDIRECTOS					0.20	27.61
COSTO TOTAL DEL RUBRO						165.65

Tabla 56. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=307$ kg/cm² con áridos de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=307$ kg/cm ²					UNIDAD: m ³	
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Santa Isabel						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Peón		8.00	4.05	32.40	0.80	25.92
Maestro de obra		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
Técnico de obras civiles		1.00	4.33	4.33	0.80	3.46
Operador de equipo liviano		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.36	44.00	15.84		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.43	44.00	18.92		
Agua	m ³	0.22	0.42	0.09		
SUBTOTAL						113.95
TOTAL COSTOS DIRECTOS						153.04
INDIRECTOS					0.20	30.61
COSTO TOTAL DEL RUBRO						183.65

Tabla 57. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=307$ kg/cm² con áridos de Paute, transporte a Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=322$ kg/cm ² + Aditivo						UNIDAD: m ³
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Cuenca						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretetera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	8.00	4.05	32.40	0.80	25.92	
Maestro de obra	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
Técnico de obras civiles	1.00	4.33	4.33	0.80	3.46	
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.36	25.00	9.00		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.43	25.00	10.75		
Agua	m ³	0.19	0.42	0.08		
Aditivo Sika ViscoCrete 4100	kg	4.14	3.60	14.90		
SUBTOTAL					113.83	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					152.92	
INDIRECTOS					0.20	30.58
COSTO TOTAL DEL RUBRO					183.50	

Tabla 58. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=322$ kg/cm² mas aditivo con áridos de Paute.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=322 \text{ kg/cm}^2$ + Aditivo					UNIDAD: m ³	
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Santa Isabel						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concreteira 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Peón		8.00	4.05	32.40	0.80	25.92
Maestro de obra		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
Técnico de obras civiles		1.00	4.33	4.33	0.80	3.46
Operador de equipo liviano		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.36	44.00	15.84		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.43	44.00	18.92		
Agua	m ³	0.19	0.42	0.08		
Aditivo Sika ViscoCrete 4100	kg	4.14	3.60	14.90		
SUBTOTAL						128.84
TOTAL COSTOS DIRECTOS					167.93	
INDIRECTOS					0.20	33.59
COSTO TOTAL DEL RUBRO					201.52	

Tabla 59. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=322 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Paute, transporte a Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

4.1.4.2 Áridos de Santa Isabel

Se analiza el costo del hormigón con áridos de Santa Isabel sin aditivo, pese a que no llegó a la resistencia deseada, simplemente para poder emitir una comparación de valores.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=265$ kg/cm ²						UNIDAD: m ³
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Cuenca						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	8.00	4.05	32.40	0.80	25.92	
Maestro de obra	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
Técnico de obras civiles	1.00	4.33	4.33	0.80	3.46	
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.41	30.00	12.30		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.45	30.00	13.50		
Agua	m ³	0.19	0.42	0.08		
SUBTOTAL						104.98
TOTAL COSTOS DIRECTOS					144.07	
INDIRECTOS					0.20	28.81
COSTO TOTAL DEL RUBRO					172.88	

Tabla 60. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=265$ kg/cm² con áridos de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=265$ kg/cm ²					UNIDAD: m ³	
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Santa Isabel						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concreteira 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	8.00	4.05	32.40	0.80	25.92	
Maestro de obra	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
Técnico de obras civiles	1.00	4.33	4.33	0.80	3.46	
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.41	14.00	5.74		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.45	14.00	6.30		
Agua	m ³	0.19	0.42	0.08		
SUBTOTAL						91.22
TOTAL COSTOS DIRECTOS					130.31	
INDIRECTOS					0.20	26.06
COSTO TOTAL DEL RUBRO					156.37	

Tabla 61. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=265$ kg/cm² con áridos de Santa Isabel, transporte a Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f'c=326.5 \text{ kg/cm}^2$ + Aditivo						UNIDAD: m3
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Cuenca						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretetera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO	
Peón	8.00	4.05	32.40	0.80	25.92	
Maestro de obra	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
Técnico de obras civiles	1.00	4.33	4.33	0.80	3.46	
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.80	3.28	
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m3	0.41	30.00	12.30		
Agregado grueso (incluye transporte)	m3	0.45	30.00	13.50		
Agua	m3	0.14	0.42	0.06		
Aditivo Sika ViscoCrete 4100	kg	4.14	3.60	14.90		
SUBTOTAL						119.86
TOTAL COSTOS DIRECTOS					158.95	
INDIRECTOS					0.20	31.79
COSTO TOTAL DEL RUBRO					190.74	

Tabla 62. Análisis de costos de hormigón simple $f'c=326.5 \text{ kg/cm}^2$ mas aditivo con áridos de Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

RUBRO: Hormigón Simple $f_c=326.5$ kg/cm ² + Aditivo						UNIDAD: m ³
OBSERVACIONES: Transporte de agregados a zona céntrica de Santa Isabel						
DETALLES:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Concretera 1 saco	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Vibrador de manguera	hora	1.00	3.00	3.00	0.80	2.40
Herramienta menor	%MO	5% MO				1.63
SUBTOTAL						6.43
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	JORNAL/hr	PRECIO	RENDIMIENTO	COSTO
Peón		8.00	4.05	32.40	0.80	25.92
Maestro de obra		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
Técnico de obras civiles		1.00	4.33	4.33	0.80	3.46
Operador de equipo liviano		1.00	4.10	4.10	0.80	3.28
SUBTOTAL						32.66
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO		
Cemento Atenas Tipo GU 50kg	saco	10.00	7.91	79.10		
Agregado fino (incluye transporte)	m ³	0.41	14.00	5.74		
Agregado grueso (incluye transporte)	m ³	0.45	14.00	6.30		
Agua	m ³	0.14	0.42	0.06		
Aditivo Sika ViscoCrete 4100	kg	4.14	3.60	14.90		
SUBTOTAL						106.10
TOTAL COSTOS DIRECTOS						145.19
INDIRECTOS					0.20	29.04
COSTO TOTAL DEL RUBRO						174.23

Tabla 63. Análisis de costos de hormigón simple $f_c=326.5$ kg/cm² mas aditivo con áridos de Santa Isabel, transporte a Santa Isabel.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

4.1.4.3 Resumen y comparación de costos obtenidos

RESUMEN DE COSTOS OBTENIDOS		
DISEÑO DE HORMIGON	COSTO CON ÁRIDOS PAUTE (\$)	COSTO CON ÁRIDOS SANTA ISABEL (\$)
PATRÓN transporte a Cuenca	165.65	172.88
PATRÓN transporte a Santa Isabel	183.65	156.37
ADITIVO transporte a Cuenca	183.50	190.74
ADITIVO transporte a Santa Isabel	201.52	174.23

Tabla 64. Resumen del análisis de costos obtenidos.

Fuente: Elaborado por el propio autor/es.

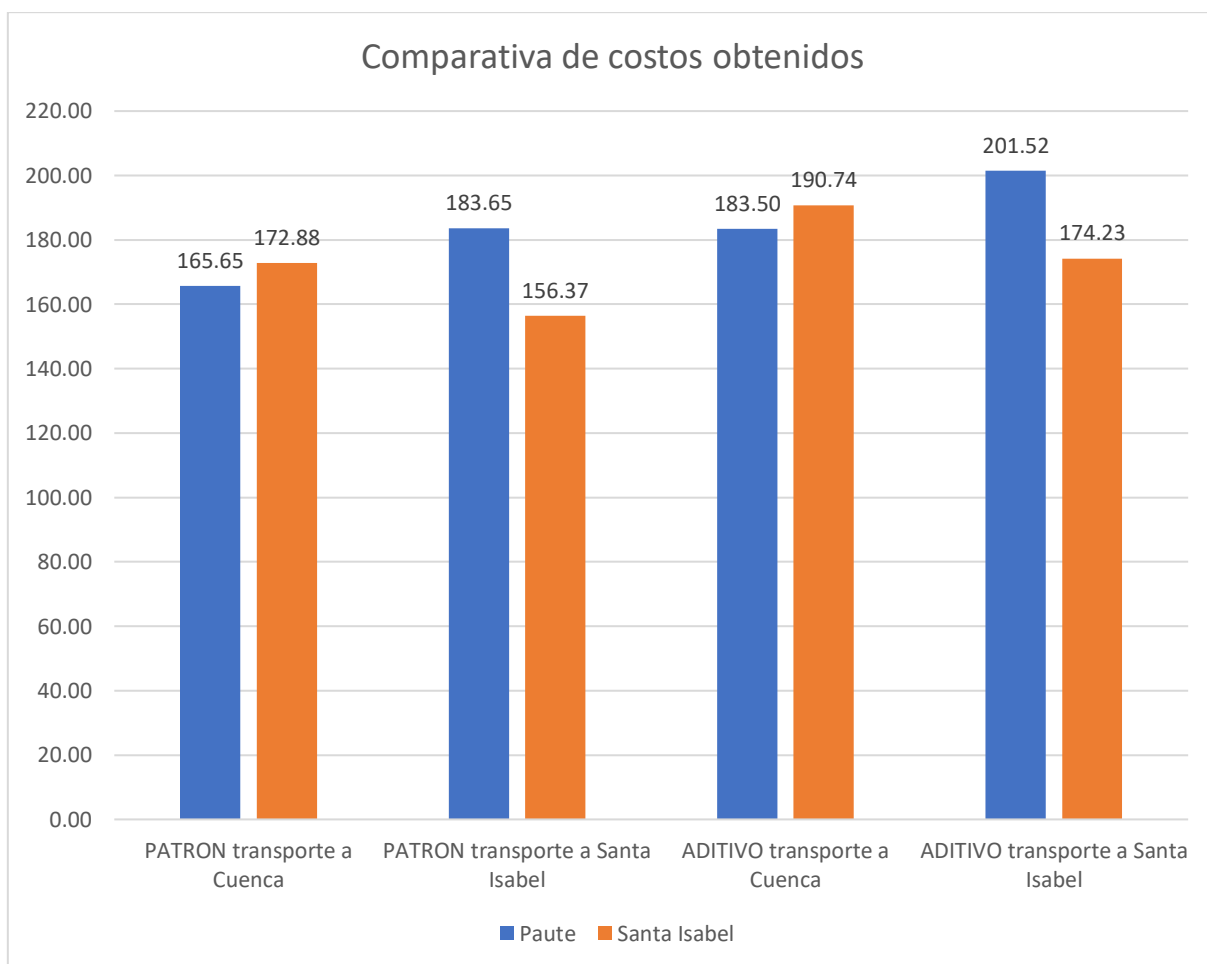


Figura 30. Comparativa de costos obtenidos

Fuente: Elaborado por el propio autor/es (Laboratorio de Suelos UCACUE).

4.2 Conclusiones

- Los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales áridos utilizados demostraron que el material proveniente de la cuenca del río Jubones presenta un grado de porosidad superior, por lo tanto, un mayor porcentaje de absorción con un valor de 4.17%, en comparación del material que proviene de la cuenca del río Paute cuyo porcentaje de absorción es de 2.83%. Los materiales del río Jubones también presentaron mayor contenido de humedad con valores de 5.85% en finos y 2.75% en gruesos, en comparación de los materiales del río Paute cuyos valores fueron de 2.26% y 1.14% respectivamente.
- En su estado natural, tanto el material obtenido del río Paute, como del río Jubones no cumplieron con los límites granulométricos establecidos para el diseño de la mezcla de hormigón mediante el método del ACI, por lo tanto, se realizó un ajuste mediante el Método Fuller- Thompson para producir una mezcla de hormigón aceptable para satisfacer los requisitos y utilizar los agregados en el diseño de la mezcla de hormigón.
- Se llevaron a cabo ensayos de diseño de hormigones patrones con ambos agregados con tres relaciones diferentes de agua y cemento, con sus respectivas proporciones. Los resultados de los ensayos de compresión demostraron que la relación óptima de agua y cemento que alcanzó los mejores resultados fue de 0.42. Por lo tanto, esta relación se utilizó para incorporar el aditivo y realizar las comparaciones correspondientes.
- Se procedió a determinar el porcentaje óptimo de aditivo en las mezclas reemplazando porcentajes de agua de los diseños de hormigones patrones por la cantidad de aditivo establecida del 0.9% del peso del cemento, tanto de los agregados de Paute como de Santa Isabel. Con dichos resultados se puede concluir que es indispensable y obligatoria la reducción de agua en la mezcla tradicional para lograr resultados óptimos con la incorporación del aditivo, ya que al incluir el 100% de agua en el diseño de mezcla más

la incorporación de aditivo se producen pérdidas de líquido en la base y/o evaporación, lo que no permite hidratar internamente de manera correcta la mezcla generando mayor porosidad que repercute en el fraguado apropiado y disminuye la resistencia.

- El diseño con materiales provenientes de Paute llegó a su porcentaje óptimo de reducción de agua del 15% proporcionando su resistencia máxima, pero al reducir 25% de agua disminuye su resistencia; a diferencia del material proveniente del río Jubones, que obtuvo un porcentaje óptimo de reducción de agua del 25% alcanzado su resistencia máxima con dicho valor, en consecuencia se puede corroborar que el desempeño óptimo del aditivo está en función de los parámetros que controlan la absorción y la humedad de los materiales por lo que al tener distinta litología presentaron interacciones diferentes al incorporar aditivo.
- La utilización de porcentajes óptimos de agua en el diseño de mezcla con aditivo incorporado, conduce a la obtención de resistencias superiores en comparación con las obtenidas en el hormigón para pavimento tradicional, tanto para los materiales extraídos del río Paute como para aquellos del río Jubones.
- Se puede concluir que resulta más rentable emplear el material proveniente del río Paute en la mezcla en el caso de no utilizar ningún aditivo, o utilizando el aditivo Sika ViscoCrete 4100 para el hormigón de una obra establecida en Paute, Cuenca o sus cercanías.
- En el caso de una obra con centro de gravedad cercano a Santa Isabel, es favorable utilizar el material proveniente del río Jubones y añadirle aditivo, ya que esto reduce el costo por metro cúbico a comparación de llevar material desde Paute.

4.3 Recomendaciones

- Se recomienda extender el análisis de caracterización de materiales agregados considerando el nivel de absorción, mediante el uso de aditivo con proporciones de agua en un rango similar a los valores óptimos identificados en el presente estudio.
- Se propone llevar a cabo un análisis comparativo entre varias marcas de aditivos que presenten características similares, dado que la industria se encuentra en un proceso continuo de innovación y desarrollo.
- Se sugiere llevar a cabo al menos tres muestras de probetas para cada ensayo, con el propósito de descartar los resultados que presenten una alta variabilidad en comparación con los otros dos.
- Se recomienda trabajar con aditivo cuando se requiera minimizar los defectos inherentes de los materiales pétreos, las cuales son originadas por sus características litológicas y de procedencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. En A. C. Institute. Michigan: Farmington.
- Almeida, J., & Trujillo, C. (2017). *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Benítez Rodríguez, D. (2018). *Elaboración de guías de ensayo para laboratorio de materiales y hormigón endurecido*. Quito: Bachelor's thesis.
- Bernal, D. (2017). *Optimización de la resistencia a compresión del concreto elaborado con cemento tipo I y aditivos superplastificantes*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Bolivar, O. (1987). *Guía Práctica para el Diseño de Mezclas de Hormigón*. Medellín.
- Cáceres Silupu, F. G. (2021). *Evaluación del mejor diseño de mezclas utilizando métodos ACI, Fuller y módulo de fineza en un concreto $F'C$ 210 y 280 KG/CM2*. Piura: Universidad César Vallejo.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A.
- Camacho, J., & Ibagué, P. (2018). *Diseño estructural de pavimento rígido de las vías urbanas en el municipio del espinal-Departamento del Tolima*. Universidad Cooperativa De Colombia.
- Campoverde, S., & Muñoz, D. (2015). *Estudio experimental del uso de diferentes aditivos como plastificantes reductores de agua en la elaboración de hormigón y su influencia en la propiedad de resistencia a la compresión*. Cuenca: Universidad De Cuenca.
- Carrión Sarmiento, S. M., & Guambaña Chérrez, R. S. (2018). *Diseño y elaboración de mezclas de hormigón con materiales reciclados*. Universidad de Cuenca.
- Canto Clemente, F. &. (2019). *Análisis comparativo de la resistencia de un concreto convencional $f'c=210$ kg/cm² utilizando el agua subterránea en el mezclado en el distrito de Acobamba-Huancavelica-2018*. Huancavelica.
- Chicaiza Gómez, N. F. (2020). *Análisis de la presencia de gas radiactivo radón en agregados pétreos de la provincia de Tungurahua y su incidencia en la construcción*. Ambato: Bachelor's thesis.
- Colvile, R., Hutchinson, J., & Warren, R. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 1537-1565.
- Condori, W., & Palacios, J. (2021). *Influencia del aditivo sikadur en gel para mejorar la adherencia en las propiedades mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm²*. Lima.
- Consortio PDOT Paute. (2018). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Paute*. Paute.

- Coral Chalco, R. A. (2017). *Automatización del diseño de pavimentos urbanos por el método de la Portland Cement Association (PCA) según el reglamento nacional de edificaciones–Huaraz–2016*. Huaraz.
- Crespo Crespo, J. E. (2018). *Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Curco Arrieta, C. I., & León Lincango, B. S. (2013). *Artículo Científico-Influencia de aditivos mejoradores de adherencia en la resistencia de hormigones asfálticos diseñados con agregados provenientes de las canteras de Pintag y Guallabamba*.
- De la Cruz, W. (2018). *Análisis Comparativo de Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Aplicando Aditivo Superplastificante Y Reductor De Agua En Pavimento Rígido*. Tumbes: Universidad César Vallejo.
- Garate, J. (2022). Análisis de la relación costo/resistencia para hormigones estructurales con el uso de aditivos, y cálculo de su sostenibilidad mediante herramientas de análisis de ciclo de vida. *UCUENCA*.
- Gomez, A. (2014). *Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera San Roque para $f'c$ 21 MPa*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- González Petro, M. J. (2022). *ncidencia de la granulometría y forma de las arenas en el hormigón en estado fresco y endurecido*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Gutiérrez, J. M. R., & Camargo, C. T. (2021). *Aditivos especiales para concreto reforzado: Mejoramiento de las propiedades físicas del conceto por medio de aditivos especializados*. (Vol. 12). Jóvenes en la Ciencia.
- Herrera Herbert, J. (2018). *Canteras de áridos y de minerales industriales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Huamán, E., & Llanos, L. (2019). *Evaluación de las Propiedades del Concreto con Aditivos Superplastificantes Sikament -290N y Chemament 400 en Pavimentos Rígidos*. Lambayeque: Universidad Señor de Sipán.
- INEN . (2010). NTE INEN 1 573:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. *NTE INEN 1 573:2010* , 1-14.
- INEN. (2010). NTE INEN 856: ÁRIDOS. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. *Instituto ecuatoriano de normalización*, 1 -15.
- INEN. (2010). NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. *Instituto ecuatoriano de normalización*, 1 - 14.
- INEN. (2015). NTE INEN 1762:2015-10 Hormigón. Definiciones y terminología. *Instituto ecuatoriano de normalización*, 1-10.

- Jiménez Estrella, C. A. (2016). “Estudio geológico- geotécnico del túnel de acceso a casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Minas - San Francisco. *Universidad Nacional de Loja*, 1-129.
- Labanda, L., & Rodríguez, E. (2020). *Evaluación de la sensibilidad de los aditivos Sika, en hormigones y morteros producidos con cemento GU, LC3, LC2 y humo de Sílice*. La Libertad: Universidad Península de Santa Elena.
- Mancheno, M., & Salazar, B. (2021). *Diseño de Hormigón Permeable de Alta Resistencia, con Adición de Aditivo Espumante y Perlas de Poliestireno Expandido, para la aplicación en Pavimentos*. Quito.
- Minchán Lezcano, C. K. (2019). *Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca-2019*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Montero, D. A., & Vanegas, N. C. (2017). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico para pavimento rígido con la inclusión de hormigón asfáltico recuperado tipo “rap”. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 36-58.
- NEC. (2011). En N. E. Construcción, *Capítulo I. Cargas y Materiales*. Quito.
- NEVI-12 - MTOP. (2013). Volumen N°3 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. En M. d. Públicas, *Norma Ecuatoriana Vial*. Quito.
- Neville, A., & Brooks, J. (1992). *Tecnología del concreto*. Mexico D.F.: Trillas.
- NTE 0694. (2010). Hormigones y áridos para elaborar hormigón. Terminología. En N. T. Ecuatoriana. Quito.
- NTE INEN 2566. (2010). Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. *INEN*, 1-9.
- Otero Rodríguez, L. (2021). *Estudio de cementos híbridos mediante sustitución de residuos industriales, en presencia de los cementos Portland y Sulfoaluminoso*. San Nicolás de los Garza: UANL.
- Pantoja, J. (2019). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de pavimentos rígidos a través de aditivos líquidos*. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería.
- Pérez, S. P. M., Llamo, R. E. V., & Ramírez, W. R. V. (2021). *Uso de aditivos adherentes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente: una revisión*. (Vol. 22). Perú: Gaceta Técnica.
- Rodríguez, A. (2018). *Beneficios al incorporar aditivo plastificante e incorporador de aire en el concreto en la ejecución de proyectos de pistas y veredas del distrito de Vicco - Pasco*. Cerro de Pasco.
- Salinas, E. (2019). *híper-plastificantes, Análisis de la influencia del tipo de agregados pétreos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón producido con la aplicación de súper e híper-plastificantes*. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca.
- Sánchez Pontón, Á. A. (2018). *Estudio De Caracterización Volcanológica y Petrográfica De Las Ignimbritas De La Formación Jubones En El Sector De Santa Isabel-El Progreso*. Guayaquil: Bachelor's thesis.

- Sika. (Diciembre de 2014). *Aditivos para Concreto*. Obtenido de http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual_sika.pdf
- Sika Ecuatoriana S.A. (2019). *Hoja Técnica del Producto. Sika VicoCrete 4100*. Obtenido de <https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/plastificantes-reductoresdeagua/reductores-de-aguadealtorango/sika-viscocrete-4100.html>
- Velasquez, R. (2011). Método de dosificación de hormigones de peso normal según "Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabre". *Tecnología, Investigación y Docencia*, 57-66.

ANEXOS

Material de Paute



Material de Santa Isabel



Cuartero



Granulometría



Pesos específicos, porcentaje de absorción de agregados



Humedades



Preparación de Mezcla





Asentamiento



Muestras y Curado





Ensayo de resistencia



Muestra de Paute (100% - 85% - 75%)



Muestra de Santa Isabel (100% - 85% - 75%)



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

PROYECTO TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: PAUTE

SOLICITADO POR : ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP


	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%	NORMA INEN 872		CUMPLE
TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	LIM. INF	LIM. SUP	NORMA
3/8"	9.52	33	33	2.80%	2.80%	97%	100%	100%	NO CUMPLE
Nº4	4.76	74	107	6.28%	9.08%	91%	95%	100%	NO CUMPLE
8	2.38	161	268	13.66%	22.73%	77%	80%	100%	NO CUMPLE
16	1.19	289	557	24.51%	47.24%	53%	50%	85%	CUMPLE
30	0.580	286	843	24.26%	71.50%	28%	25%	60%	CUMPLE
50	0.3	216.5	1059.5	18.36%	89.86%	10%	10%	30%	CUMPLE
100	0.15	97	1156.5	8.23%	98.09%	2%	2%	10%	NO CUMPLE
200	0.07	16.5	1173	1.40%	99.49%	1%			
FONDO		6	1179	0.51%	100%	0%			
TOTAL		1179		100%					

PESO ANTES DEL ENSAYO 1179 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 1697 RECIPIENTE 518

PESO DESPUES DEL ENSAYO 1179 MODULO DE FINURA = 3

% DE HUMEDAD 2.26




 Ing. Marco González
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

PROYECTO TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: SANTA ISABEL

SOLICITADO POR : ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP

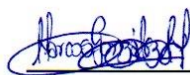
TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GR.	RET. ACUM. GR.	% PASA			NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA
				RETENIDO	RET. ACUM	PASA	LIM. INF	LIM. SUP	
3/8"	9.52	6	6	0.43%	0.43%	100%	100%	100%	CUMPLE
Nº4	4.76	239	245	17.22%	17.65%	82%	95%	100%	NO CUMPLE
8	2.38	486	731	35.01%	52.67%	47%	80%	100%	NO CUMPLE
16	1.19	274	1005	19.74%	72.41%	28%	50%	85%	NO CUMPLE
30	0.580	156	1161	11.24%	83.65%	16%	25%	60%	NO CUMPLE
50	0.3	118	1279	8.50%	92.15%	8%	10%	30%	NO CUMPLE
100	0.15	62.5	1341.5	4.50%	96.65%	3%	2%	10%	CUMPLE
200	0.07	23	1364.5	1.66%	98.31%	2%	0%	10%	CUMPLE
FONDO		23.5	1388	1.69%	100%	0%			
TOTAL		1388		100%					

PESO ANTES DEL ENSAYO 1388 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 1690.5 RECIPIENTE 302.5

PESO DESPUES DEL ENSAYO 1388 MODULO DE FINURA = 3

% DE HUMEDAD 5.85




 Ing. Marco González
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA GRAVA

PROYECTO TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: PAUTE

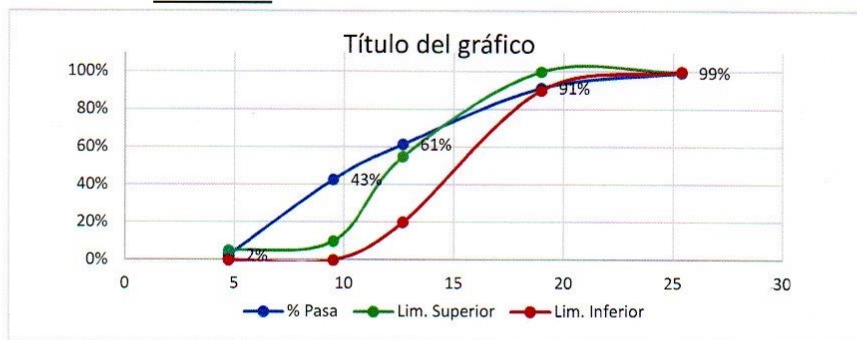
SOLICITADO POR : ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP

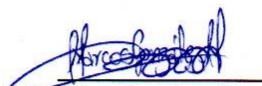
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA
TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	LIM. INF	LIM. SUP	
2"	50.8	0	0	0.00%	0.00%	100%			CUMPLE
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	0.00%	100%			CUMPLE
1"	25.4	44.5	44.5	0.59%	0.59%	99%	100%	100%	CUMPLE
3/4"	19.00	616	660.5	8.20%	8.79%	91%	90%	100%	CUMPLE
1/2"	12.700	2234	2894.5	29.74%	38.53%	61%	20%	55%	CUMPLE
3/8"	9.53	1407	4301.5	18.73%	57.26%	43%	0%	10%	CUMPLE
#4	4.75	3024.5	7326	40.26%	97.52%	2%	0%	5%	CUMPLE
FONDO		186	7512	2.48%	100.00%	0%			
TOTAL		7512		100%	3.03				

PESO ANTES DEL ENSAYO 7512 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 10000 RECIPIENTE 2488

PESO DESPUES DEL ENSAYO 7512

% DE HUMEDD 1.14




 Ing. Marco González
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA GRAVA

PROYECTO TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: SANTA ISABEL

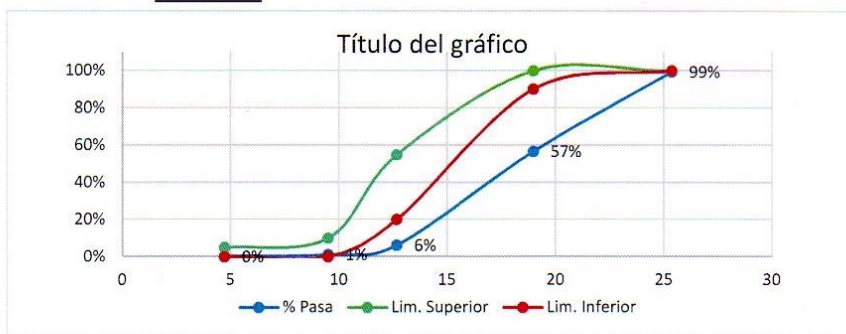
SOLICITADO POR : ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP

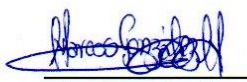
TAMIZ Nº	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM	%	%	%	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA
	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	LIM. INF	LIM. SUP	
2"	50.8	0	0	0.00%	0.00%	100%			
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	0.00%	100%			
1"	25.4	43.5	43.5	0.58%	0.58%	99%	100%	100%	CUMPLE
3/4"	19.00	3205	3248.5	42.67%	43.24%	57%	90%	100%	NO CUMPLE
1/2"	12.700	3795.5	7044	50.53%	93.77%	6%	20%	55%	NO CUMPLE
3/8"	9.53	383	7427	5.10%	98.87%	1%	0%	10%	CUMPLE
#4	4.75	70.5	7497.5	0.94%	99.81%	0%	0%	5%	CUMPLE
FONDO		14.5	7512	0.19%	100.00%	0%			
TOTAL		7512		100%					

PESO ANTES DEL ENSAYO 7512 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 10000 RECIPIENTE 2488

PESO DESPUES DEL ENSAYO 7512

% DE HUMEDD 2.75




 Ing. Marco González
 Laboratorista



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO: Tesis de Grado MUESTRA Aridos Paute
SECTOR Paute PROF.
SOLICITADO POR: Juan Albarracin - Jinsop Cañarte FECHA 28/11/2022

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	200.0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3243.50	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3121.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	194.50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

PESO ESPECÍFICO SECO $\frac{D}{A - (B - C)} = 2.51$

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO $\frac{A}{A - (B - C)} = 2.58$

PESO ESPECÍFICO APARENTE $\frac{D}{D - (B - C)} = 2.70$

% DE ABSORCIÓN $\frac{100(A - D)}{D} = 2.83$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio

ING. MARCO GONZÁLEZ
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO: Tesis de Grado MUESTRA Aridos Santa Isabel
SECTOR Santa Isabel PROF. Ing. Marcos Gonzalez
SOLICITADO POR: Juan Albarracin - Jinsop Cañarte FECHA 28/11/2022

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	200.0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3241.50	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3121.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	192.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

PESO ESPECÍFICO SECO $\frac{D}{A - (B - C)} = 2.42$

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO $\frac{A}{A - (B - C)} = 2.52$

PESO ESPECÍFICO APARENTE $\frac{D}{D - (B - C)} = 2.69$

% DE ABSORCIÓN $\frac{100(A - D)}{D} = 4.17$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio

ING. MARCO GONZÁLEZ
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO: Tesis de Grado MUESTRA Aridos Paute
SECTOR Paute PROF.
SOLICITADO POR: Juan Albarracin - Jinsop Cañarte FECHA 28/11/2022

PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO


A=	425.0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3361.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3121.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	410.50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

PESO ESPECÍFICO SECO $\frac{D}{A - (B - C)}$ 2.22

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO $\frac{A}{A - (B - C)}$ 2.30

PESO ESPECÍFICO APARENTE $\frac{D}{D - (B - C)}$ 2.41

% DE ABSORCIÓN $\frac{100(A - D)}{D}$ 3.53


ING. MARCO GONZÁLEZ
LABORATORISTA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO: Tesis de Grado
SECTOR Santa Isabel
SOLICITADO POR: Juan Albarracin - Jinsop Cañarte

MUESTRA Aridos Santa Isabel
PROF. Ing. Marcos Gonzalez
FECHA 28/11/2022

PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO


A=	384.5	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3356.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3121.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	371.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

PESO ESPECÍFICO SECO $\frac{D}{A - (B - C)}$ 2.48

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO $\frac{A}{A - (B - C)}$ 2.57

PESO ESPECÍFICO APARENTE $\frac{D}{D - (B - C)}$ 2.73

% DE ABSORCIÓN $\frac{100(A - D)}{D}$ 3.64


ING. MARCO GONZÁLEZ
LABORATORISTA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA GRAVA

PROYECTO: TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: PAUTE


SOLICITADO POR: ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37,5	25		1250±25	-----	'-----	'-----
25	19		1250±25	-----	'-----	'-----
19	12,5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
12,5	9,5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
9,5	6,3		-----	'-----	2500±10	'-----
6,3	4,75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4,75	2,36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL			5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	3943.5
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5000

$$\text{ABRASIÓN \%} = \frac{B-A}{B} * 100$$

$$\text{ABRASIÓN \%} = \mathbf{21.13}$$


 Ing. Marco González
 Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA GRAVA

PROYECTO: TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 28/11/2022

MUESTRA: SANTA ISABEL


SOLICITADO POR: ALBARRACIN JUAN - CAÑARTE JINSOP

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37,5	25		1250±25	-----	'-----	'-----
25	19		1250±25	-----	'-----	'-----
19	12,5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
12,5	9,5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
9,5	6,3		-----	'-----	2500±10	'-----
6,3	4,75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4,75	2,36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL			5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	3723.5
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5000

$$\text{ABRASIÓN \%} = \frac{B-A}{B} * 100$$

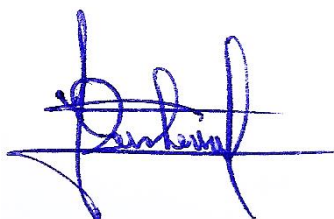
$$\text{ABRASIÓN \%} = 25.53$$


 Ing. Marco González
 Laboratorista

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Juan Esteban Albarracín Bolaños** y **Jinsop Marcelo Cañarte Sarango**, portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0105612584 y 0705604924. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de las propiedades de diseño del pavimento rígido con áridos provenientes de las cuencas de los ríos Paute y Jubones incorporando aditivo hiperplastificante”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **19 de marzo del 2023**



F:

Juan Esteban Albarracín Bolaños

C.I. 0105612584



F:

Jinsop Marcelo Cañarte Sarango

C.I. 0705604924