



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU
INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL
CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**

AUTOR: David Alexander Valle Valle

TUTOR: Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres

AMBATO – ECUADOR

Septiembre – 2022

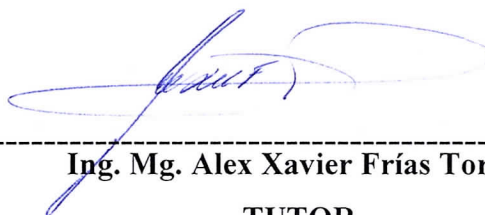
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**, elaborado por el Sr. **David Alexander Valle Valle**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1500893688, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022



Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **David Alexander Valle Valle** con C.I. 1500893688, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**, así como también los gráficos, figuras, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



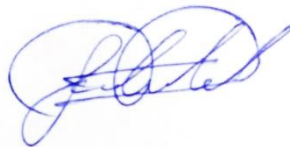
David Alexander Valle Valle
C.I. 1500893688
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022



David Alexander Valle Valle

C.I. 1500893688

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

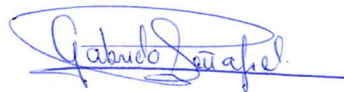
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante David Alexander Valle Valle de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN TENA, PROVINCIA DE NAPO”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Carrera
Miembro Calificador



Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que hicieron que sea posible este logro y a todos aquellos que estuvieron presentes en el transcurso de mi vida como estudiante universitario compartiendo conmigo desde las más valiosas experiencias y conocimientos, hasta el más pequeño momento de alegría o tristeza que haya influenciado en mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme, bendecirme, ampararme y permitir que haya vivido hasta este momento de dicha y alegría; a mis padres por su apoyo incondicional, paciencia, amor y comprensión; a mi hermanito que es una maravillosa persona que me supo ayudar de muy buena voluntad en todo lo que estaba a su alcance; a mi familia por estar presentes en mi vida y a mis amigos por siempre extenderme una mano cuando los necesito y contagiarme de su alegría, perseverancia y motivación. ¡Muchas gracias!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE IMÁGENES	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	1
1.1. MARCO TEÓRICO	1
1.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1.1. Antecedentes	1
1.1.1.2. Justificación	2
1.1.2. OBJETIVOS	4
1.1.2.1. Objetivo General	4
1.1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.1.3.1. Árido fino o arena.....	4
1.1.3.2. Árido grueso, ripio o grava.....	4
1.1.3.3. Granulometría.....	5
1.1.3.4. Curva granulométrica	5
1.1.3.5. Tamaño nominal máximo (TNM)	7
1.1.3.6. Módulo de finura	7

1.1.3.7. Ensayos de caracterización de los agregados	7
1.1.3.8. Cemento Portland	8
1.1.3.9. Tipos de cemento.....	9
1.1.3.10. Cemento Selva Alegre.....	10
1.1.3.11. Densidad del cemento	10
1.1.3.12. Agua en el Hormigón	11
1.1.3.13. Hormigón.....	12
1.1.3.14. Resistencia a la compresión	13
1.1.3.15. Parámetros de diseño de mezclas	13
1.1.3.16. Relación agua/cemento.....	14
1.1.3.17. Consistencia.....	15
1.1.3.18. Docilidad	15
1.1.3.19. Curado del hormigón.....	15
1.1.3.20. Módulo de elasticidad.....	17
1.1.4. HIPÓTESIS.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2.1. METODOLOGÍA.....	19
2.1.1. Niveles de investigación	19
2.1.1.1. Investigación preliminar o exploratorio	19
2.1.1.2. Investigación descriptiva	19
2.1.1.3. Investigación explicativa o causal	19
2.1.1.4. Investigación experimental.....	19
2.1.2. Población y muestra	19
2.1.3. Materiales y Equipos.....	21
2.1.3.1. Materiales	21
2.1.3.2. Equipos	21
2.1.4. Plan de recolección de información	22
2.1.4.1. Toma de muestras.....	23
2.1.4.2. Ensayos de caracterización.....	23
2.1.4.3. Diseño de la mezcla.....	23
2.1.4.4. Elaboración de cilindros	24
2.1.5. Plan de procesamiento y análisis de información	24
2.1.5.1. Toma de muestras.....	24

2.1.5.2. Ensayos de caracterización.....	24
2.1.5.3. Diseño de mezcla.....	25
2.1.5.4. Elaboración de cilindros.....	25
CAPÍTULO III	26
3.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1.1. Análisis y discusión de resultados	26
3.1.1.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	27
3.1.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	28
3.1.1.3. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	29
3.1.1.4. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	30
3.1.1.5. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	31
3.1.1.6. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	32
3.1.1.7. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	34
3.1.1.8. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	35
3.1.1.9. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	37
3.1.1.10. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	38
3.1.1.11. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO.....	40
3.1.1.12. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO.....	41
3.1.1.13. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO	42
3.1.1.14. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO	43
3.1.1.16. DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS.....	44
3.1.1.17. DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS.....	46
3.1.1.18. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN	48

3.1.1.19. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.....	49
3.1.1.20. DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN DE $f^c=24$ MPa	50
Mezclas de Prueba.....	51
RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA ENSAYADOS A COMPRESIÓN SIMPLE A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	58
3.1.1.21. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA	59
3.1.1.22. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS.....	60
3.1.1.23. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 7 DÍAS	62
3.1.1.24. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 14 DÍAS	66
3.1.1.25. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 21 DÍAS	70
3.1.1.26. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 28 DÍAS	74
3.1.1.27. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	78
3.1.1.27. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN.....	84
3.1.1.28. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	87
Determinación de la Resistencia Característica del Hormigón.....	87
Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad estático	88
3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	90
CAPÍTULO IV	91
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1.1. Conclusiones	91
4.1.2. Recomendaciones.....	91
4.2. BIBLIOGRAFÍA	92
4.3. ANEXOS	96

4.3.1. Anexo 1. Mapa de ubicación de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” (Mina Anzu).	96
4.3.2. Anexo 2. Mapa de ubicación de la mina “Venecia 38”.	97
4.3.3. Anexo 3. Fotografías.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Agregado Fino (Normas INEN y ASTM).....	8
Tabla 2. Agregado Grueso (Normas INEN y ASTM).	8
Tabla 3. Tipos de cemento portland.	9
Tabla 4. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento.....	15
Tabla 5. Número de cilindros totales a ensayar.	20
Tabla 6. Orden de presentación de los ensayos en los agregados.	26
Tabla 7. Contenido de humedad del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	27
Tabla 8. Contenido de humedad del agregado fino de la mina "Venecia 38".....	27
Tabla 9. Contenido de humedad del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"	28
Tabla 10. Contenido de humedad del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"	28
Tabla 11. Densidad real del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	29
Tabla 12. Capacidad de absorción del agregado grueso de la mina “Venecia 38”. ..	29
Tabla 13. Densidad real del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	30
Tabla 14. Capacidad de absorción del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	30
Tabla 15. Densidad real del agregado fino de la mina "Venecia 38".....	31
Tabla 16. Capacidad de absorción del agregado fino de la mina “Venecia 38”.	31
Tabla 17. Densidad real del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	32

Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	32
Tabla 19. Granulometría del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	34
Tabla 20. Granulometría del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	35
Tabla 21. Granulometría del agregado fino de la mina "Venecia 38".	37
Tabla 22. Granulometría del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	38
Tabla 23. Densidad aparente suelta del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	40
Tabla 24. Densidad aparente compactada del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	40
Tabla 25. Densidad aparente suelta del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	41
Tabla 26. Densidad aparente compactada del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	41
Tabla 27. Densidad aparente suelta del agregado fino de la mina "Venecia 38".	42
Tabla 28. Densidad aparente compactada del agregado fino de la mina "Venecia 38".	42
Tabla 29. Densidad aparente suelta del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	43
Tabla 30. Densidad aparente compactada del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	43
Tabla 31. Densidad óptima de los agregados de la mina "Venecia 38".	44
Tabla 32. Resultados del ensayo de densidad óptima de la mina "Venecia 38".	45
Tabla 33. Densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	46
Tabla 34. Resultados del ensayo de densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	47

Tabla 35. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino.	48
Tabla 36. Cálculo de la densidad real del cemento	49
Tabla 37. Requisitos y nomenclatura para la dosificación del hormigón.	50
Tabla 38. Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido.....	50
Tabla 39. Datos de la mina "Venecia 38"	51
Tabla 40. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros.....	53
Tabla 41. Corrección por humedad de las cantidades de material.....	54
Tabla 42. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.....	54
Tabla 43. Datos de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"	55
Tabla 44. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros.....	57
Tabla 45. Corrección por humedad de las cantidades de material.....	58
Tabla 46. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.....	58
Tabla 47. Resultados del ensayo a compresión simple en cilindros de prueba.....	59
Tabla 48. Propiedades del hormigón fresco de la mina "Venecia 38".....	60
Tabla 49. Propiedades del hormigón fresco de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"	61
Tabla 50. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 7 días.....	62
Tabla 51. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 14 días...	66
Tabla 52. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 21 días...	70
Tabla 53. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 28 días...	74
Tabla 54. Datos Resistencia en Función del Tiempo ("Venecia 38").....	80
Tabla 55. Datos Resistencia en Función del Tiempo ("Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena").	82
Tabla 56. Módulo de Elasticidad Estático con la Fórmula ACI-318.....	85
Tabla 57. Módulo de Elasticidad Estático con la Fórmula ACI-363.....	85
Tabla 58. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469.....	85

Tabla 59. Relación del Módulo de Elasticidad Estático experimental con los Módulos de Elasticidad Estáticos teóricos.	87
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de curva granulométrica.	6
Figura 2. Cinco tipos de graduación de los agregados.	7
Figura 3. Curva típica de esfuerzo-deformación del concreto bajo carga a compresión; 2011.	18
Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina "Venecia 38".	34
Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	35
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino de la mina "Venecia 38".	37
Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	38
Figura 8. Densidad óptima de los agregados de la mina "Venecia 38".	45
Figura 9. Densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".	47
Figura 10. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E1-7.	63
Figura 11. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E2-7.	63
Figura 12. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E3-7.	64
Figura 13. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A1-7.	64
Figura 14. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A2-7.	65
Figura 15. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A3-7.	65
Figura 16. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E4-14.	67
Figura 17. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E5-14.	67
Figura 18. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E6-14.	68
Figura 19. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A4-14.	68
Figura 20. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A5-14.	69

Figura 21. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A6-14.....	69
Figura 22. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E7-21.	71
Figura 23. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E8-21.	71
Figura 24. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E9-21.	72
Figura 25. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A7-21.....	72
Figura 26. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A8-21.....	73
Figura 27. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A9-21.....	73
Figura 28. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E10-28.	75
Figura 29. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E11-28.	75
Figura 30. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E12-28.	76
Figura 31. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A10-28.....	76
Figura 32. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A11-28.....	77
Figura 33. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A12-28.....	77
Figura 34. Diagrama de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Venecia 38”).....	80
Figura 35. Diagrama del Porcentaje de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Venecia 38”).....	81
Figura 36. Diagrama de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”).....	82
Figura 37. Diagrama del Porcentaje de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”).....	83
Figura 38. Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático y la Resistencia a Compresión (Venecia 38).....	86
Figura 39. Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático y la Resistencia a Compresión (Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena).	86

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Cemento Lafarge Selvalegre Plus 50 kg tipo IP Puzolana INEN490 ASTM595.....	10
Imagen 2. Mapa de ubicación de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” (Mina “Anzu”).	20
Imagen 3. Mapa de ubicación de la mina "Venecia 38".	21

RESUMEN

El presente informe consiste en determinar una fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad estático en base a la resistencia a compresión del hormigón que se obtenga con la utilización de agregados adquiridos en canteras ubicadas en la Provincia de Napo, Cantón Tena. Para esto se realizaron ensayos que permitieron la determinación de las propiedades y características de los áridos procedentes de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” y la mina “Venecia 38”. Una vez obtenidos los datos necesarios se aplicó el método de la Densidad Óptima para diseñar la mezcla de hormigón que cumpla la resistencia especificada de 24 MPa a la edad de 28 días y posteriormente se elaboró probetas de hormigón de 10 cm de diámetro x 20 cm de alto utilizando cemento hidráulico tipo IP, sin aditivo.

A través de ensayos a compresión simple ejecutados a los 28 días de madurez del hormigón y en conformidad con la norma ASTM C469, se obtuvo los Módulos de Elasticidad correspondientes a las probetas previamente seleccionadas para el ensayo y se realizó una comparación con los Módulos de Elasticidad calculados con las ecuaciones establecidas por el ACI 318 y ACI 363.

Finalmente se proponen ecuaciones prácticas que permiten el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón en función de su resistencia para concretos fabricados con agregados de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” y la mina “Venecia 38”.

Palabras clave: Módulo de Elasticidad, Resistencia a Compresión, Hormigón, Propiedades Mecánicas, Ensayos de laboratorio.

ABSTRACT

The present report consists of determining a formula for the calculation of the static modulus of elasticity based on the compressive strength of the concrete obtained with the use of aggregates acquired in quarries located in the Province of Napo, Canton Tena. For this purpose, tests were carried out to determine the properties and characteristics of the aggregates from the "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena" and the "Venecia 38" mine. Once the necessary data had been obtained, the Optimum Density method was applied to design the concrete mix to meet the specified strength of 24 MPa at the age of 28 days and subsequently concrete specimens of 10 cm diameter x 20 cm high were made using type IP hydraulic cement, without additives.

By means of simple compression tests performed at 28 days of concrete maturity and in accordance with ASTM C469, the Moduli of Elasticity corresponding to the specimens previously selected for the test were obtained and a comparison was made with the Moduli of Elasticity calculated with the equations established by ACI 318 and ACI 363.

Finally, practical equations are proposed that allow the calculation of the static modulus of elasticity of concrete as a function of its strength for concrete made with aggregates from the "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena" and the "Venecia 38" mine.

Keywords: Modulus of Elasticity, Compressive Strength, Concrete, Mechanical Properties, Laboratory Tests.

CAPÍTULO I

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1.1. Antecedentes

Una de las formas conocidas que se utilizan para obtener el valor del módulo de elasticidad estático del hormigón es mediante el Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Concreto en Compresión que establece la ASTM C-469, método que como su nombre indica se basa esencialmente en la resistencia a compresión simple del hormigón, además, El ACI 318-19 establece una forma de calcular el módulo de elasticidad estático de manera más simple con la expresión: $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$, basado en los estudios que realizó Adrián Pauw. [1]

Sin embargo, a nivel internacional los códigos europeos (CEB), norteamericanos (ACI) y asiáticos difieren en los valores determinados del módulo de elasticidad del concreto y en las expresiones de correlación en función de la resistencia debido a la amplia variedad de materias primas (cementantes, agregados, aditivos, adiciones) usadas en la producción del concreto, así como también en los enfoques establecidos en las correlaciones, disparidad en repetibilidad y reproducibilidad de ensayos y variabilidad en el tiempo y en el origen de los agregados usados. [2]

De esta manera a lo largo de los años se han ido realizando múltiples estudios que han llegado a una variedad de conclusiones como es el caso de Vargas B., que en su tesis denominada “Determinación de la Ecuación del módulo de elasticidad del concreto en base a la resistencia a la compresión simple, elaborado con los agregados de las canteras ISLA y YOCARA de la ciudad de Juliaca”, indica que la variación del E_c empleando agregados de la cantera Isla presenta una variación del 58.00% respecto a la fórmula propiciada por el ACI 318-RNE, la cual es la más empleado para el diseño estructural; asimismo, la cantera Yocara presenta una variación del 52.52% en el valor del E_c respecto a la fórmula brindada por el ACI 318-RNE. [3]

Ispilco, J. y López, J, en su tesis denominada “Influencia de los agregados de las canteras Mashcón y Chonta para la obtención de módulos de elasticidad y rotura, en el diseño de pavimentos rígidos”, indica que para un $f'_c = 265 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvieron

$E_c = 245337 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Chonta y $E_c = 239684 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Mashcón, presentando una variación del 0.47% y -1.84% respectivamente; asimismo afirma que para un $f'_c = 304 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvieron $E_c = 270868 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Chonta y $E_c = 262247 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Mashcón, presentando una variación del 3.57% y 0.27% respectivamente. [4]

Bruno, E. y Peralta, J., por medio de su tesis denominada “Determinación del módulo de elasticidad estático a compresión del concreto producido en la planta concretera Dino-Chimbote”, determina un parámetro de corrección “k”, tanto para el Reglamento Nacional de Edificaciones y el ACI 318-11, que fueron 1.0577 y 1.1985 respectivamente, presentando fórmulas reajustada para la ciudad de Chimbote. [5]

Yealemnegus, F. en su tesis denominada: “Investigation on the static modulus of elasticity of concrete in compression made using locally available coarse aggregates” da a conocer en sus conclusiones lo siguiente: “el tipo de agregado tiene un efecto tanto en el valor del f'_c , el módulo estático y el peso unitario del concreto”. [6]

1.1.1.2. Justificación

El hormigón se consume en enormes cantidades en todo el mundo para dar forma al entorno construido, desde las viviendas, las escuelas, la industria y el suministro de agua, hasta las carreteras y los puentes, solo el agua se consume más. La civilización está construida sobre cimientos de hormigón. [7]

La NTE-INEN 2010 (Norma Técnica Ecuatoriana-Instituto Ecuatoriano de Normalización 2010) define al hormigón como un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos. [8] Su microestructura presenta una configuración heterogénea que exhibe diferentes comportamientos durante el proceso de carga debido a las diversas fases de los agregados, la matriz de pasta y a la interfase de agregado de pasta. De esta manera, un cambio en la calidad de cualquiera de los componentes fundamentales representa un cambio en la respuesta del módulo y en general en el comportamiento del concreto. [9]

El módulo de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene el concreto para deformarse elásticamente, el cual puede ser

obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material. [10] Esta propiedad ha sido considerada como un factor importante en el diseño de estructuras de concreto, puesto que influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura. [11]

Estudios realizados en la Universidad de Minnesota mostraron que los valores del módulo de elasticidad utilizando las ecuaciones del ACI 318 (1989) y ACI 318 (2004) sobreestimaban las medidas experimentales del E_c del concreto preparado con áridos de la región, sin embargo, estudios en la Universidad de Texas en Austin, demostraron que las mismas ecuaciones subestimaban la gran mayoría de los módulos de elasticidad que se midieron experimentalmente. [12]

En Ecuador la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS) ha adoptado la ecuación empírica propuesta por el código ACI, la cual ha presentado variabilidad importante en diferentes partes del mundo, siendo el principal factor los agregados pues corresponden al 70 % del volumen del hormigón. [13]

Una investigación realizada por Yucato E. y publicado en el año 2014, concluyó que el módulo de elasticidad determinado en base a los ensayos respectivos es menor en un 4 % con respecto al módulo de elasticidad determinado por la norma ACI 318S – 08 para los agregados de la mina “Río Anzu”, provincia de Napo, cantón Tena utilizando cemento Lafarge “Selva Alegre Plus”, además propuso las siguientes ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad. [14]

$$E_c = 14500 \sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$$

Sin embargo, el estudio se limita a materiales de un solo origen local, lo que motiva al interés de esta investigación que es determinar la influencia que tiene la resistencia a compresión en el módulo de elasticidad estático del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados de esta zona, ampliando el alcance del origen de estos a otra mina local adicional además de la mina “Río Anzu” (Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena), de manera que se pretende obtener resultados más acordes y precisos a la realidad actual del sitio.

1.1.2. OBJETIVOS

1.1.2.1. Objetivo General

Determinar el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón en base a la Resistencia a la Compresión, fabricado con agregados de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” y mina “Venecia 38” en el Cantón Tena, Provincia de Napo.

1.1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la comparación entre los valores del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón propuesto por el comité ACI 318 y ACI 363 y los resultados obtenidos a través de esta investigación realizada con agregados locales.
- Establecer la curva esfuerzo-deformación del hormigón.
- Realizar una curva del Esfuerzo del hormigón en función del tiempo.
- Determinar una curva de relación entre el Módulo de Elasticidad y la Resistencia a Compresión del hormigón.

1.1.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.3.1. Árido fino o arena

La NTE INEN 694 define como árido fino o arena al que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ ”) y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ m (No. 200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 μ m (No. 200). [8]

Las arenas de río son las mejores porque no contienen arcillas ni impurezas y, por otro lado, suelen tener una granulometría muy buena. Los conglomerados confeccionados con este tipo de áridos suelen posibilitar un cierto ahorro de conglomerante, ya que, por la forma de sus granos, para su amasado necesitan poca cantidad de finos y menos agua. [15]

1.1.3.2. Árido grueso, ripio o grava

Es aquel resultante de la desintegración natural y abrasión de la roca o procesamiento de un conglomerado débilmente ligado, también es definido por la NTE INEN 694 como árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de

4,75 mm (No. 4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4). [8]

La mayor parte de las gravas usadas en construcción proceden de rocas trituradas y los diferentes tamaños se obtienen a partir de un machaqueo progresivo de piedras de diversas medidas. Estas gravas no contienen arenas, únicamente el polvillo de piedra resultante de la trituración, que se elimina fácilmente cuando se lavan. [15]

1.1.3.3. Granulometría

La granulometría es la composición en porcentaje de los diversos tamaños de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición.

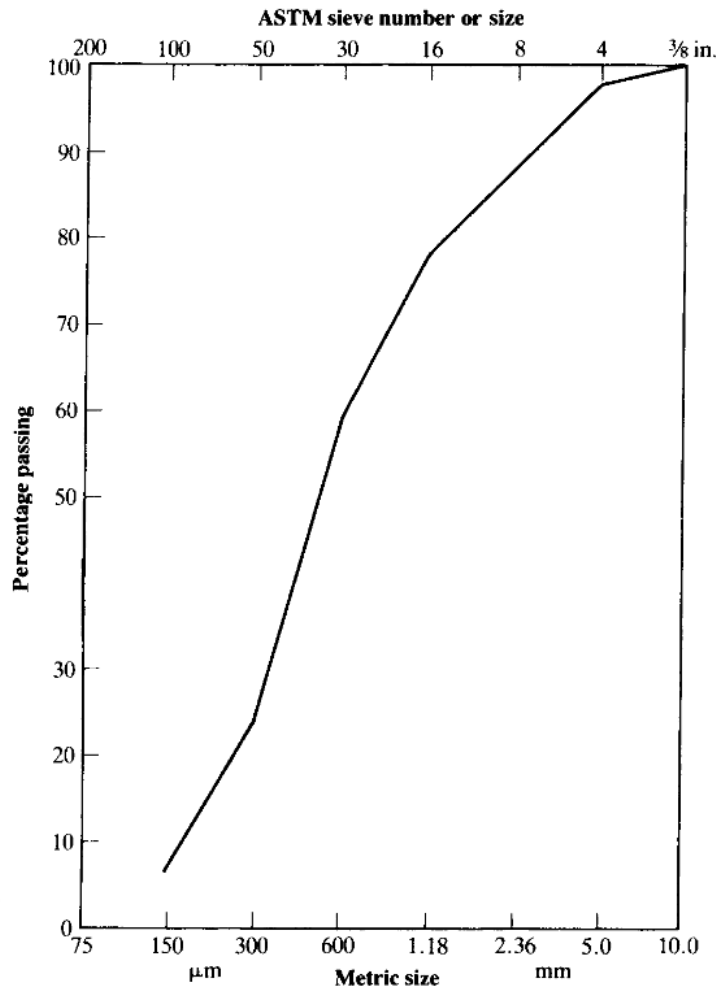
Es importante mencionar que la granulometría y el tamaño máximo del agregado afectan las proporciones relativas de los mismos en los diseños de mezclas, así como los requisitos de agua y cemento, impactando en la resistencia, trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del hormigón. [16]

El análisis granulométrico para este informe se desarrolla de acuerdo con la NTE INEN 696, la cual establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos fino y grueso por tamizado, tanto para agregado grueso, como para el fino, con el fin de determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables para la elaboración de hormigón. [17]

1.1.3.4. Curva granulométrica

Es una representación gráfica de las proporciones de árido obtenidas en un laboratorio cuando se analiza la estructura del agregado sea este fino o grueso. Dicha curva se traza en un gráfico de clasificación, en el que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa y las abscisas son las aberturas de los tamices trazadas en una escala logarítmica, que da un espacio constante para la serie estándar de tamices. Se lo grafica en un sistema de coordenadas, representado en ordenadas el porcentaje acumulado que pasa por un tamiz y en abscisas las aberturas del tamiz como se puede observar en la figura 1. [18]

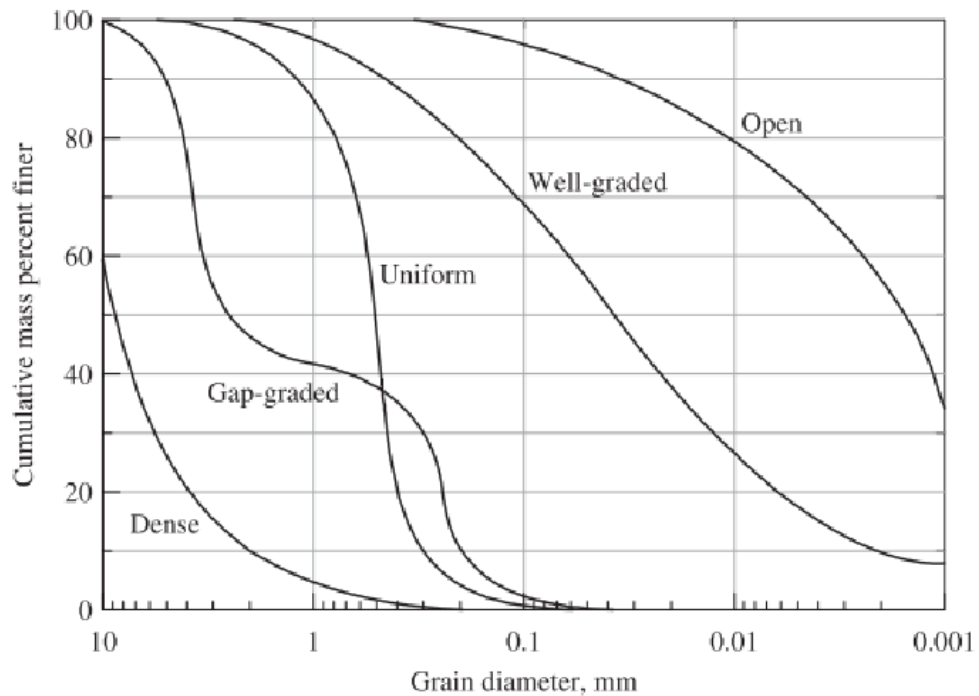
Figura 1. Ejemplo de curva granulométrica.



Fuente: Concrete Technology [18]

En la Figura 2 se presentan cinco distribuciones de tamaño: densas, graduación discontinua, graduación uniforme, bien graduada, y graduación abierta. Además, interpreta que las distribuciones del tipo denso (para agregados gruesos) y bien graduado (para agregados finos) son esencialmente los grandes rangos de tamaño con una distribución uniforme, pues los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni escasez de un tamaño determinado. Son la gradación deseada para hacer hormigón. [19]

Figura 2. Cinco tipos de graduación de los agregados



Fuente: Manosalvas [19]

1.1.3.5. Tamaño nominal máximo (TNM)

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado. El término es aplicado exclusivamente al agregado grueso. [20]

1.1.3.6. Módulo de finura

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material, el cual resulta de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de las series estandarizadas según ASTM C125 (#100, #50, #30, #16, #8, #4 y 3/8”), dividido entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble de tamaño de la precedente: 150, 300, 600 μm , 1.18, 2.36, 5.00 mm, hasta la malla de mayor tamaño (9.5 mm). [18]

1.1.3.7. Ensayos de caracterización de los agregados

Para desarrollar una mezcla adecuada de hormigón se requiere disponer de cierta información característica de los agregados, de manera que resulta necesario realizarles los ensayos correspondientes, mismos que están descritos en las normas ASTM y NTE INEN y se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 1. Agregado Fino (Normas INEN y ASTM).

ENSAYO	ASTM	NTE INEN
Análisis Granulométrico	ASTM C-136	NTE INEN 696
Determinación de impurezas orgánicas	ASTM C-40	NTE INEN 855
Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y absorción	ASTM C-128	NTE INEN 856
Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos	ASTM C-29	NTE INEN 858
Contenido de Humedad	ASTM C-170	NTE INEN 859

Fuente: Yucato [21]

Tabla 2. Agregado Grueso (Normas INEN y ASTM).

ENSAYO	ASTM	NTE INEN
Análisis Granulométrico	ASTM C-136	NTE INEN 696
Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y absorción	ASTM C-127	NTE INEN 857
Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos	ASTM C-29	NTE INEN 858
Contenido de Humedad	ASTM C-170	NTE INEN 859

Fuente: Yucato [21]

1.1.3.8. Cemento Portland

El cemento es un ligante hidráulico, es decir, una sustancia que mezclada con el agua está en condiciones de endurecer, ya sea en el aire, como debajo del agua. La unión de los áridos en la elaboración del hormigón se logra por medio de los llamados cementos hidráulicos, siendo el cemento Portland el más común de todos. [22]

Los cementos portland se obtienen por molturación conjunta de clínker portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un cinco por ciento de adiciones. Estas adiciones pueden ser una sola o varias entre escoria siderúrgica, puzolana natural, cenizas volantes, filler calizo y humo de sílice. [23] Su nombre se basa en el color del material muy parecido a las piedras de la ciudad de Portland en Inglaterra. [22]

1.1.3.9. Tipos de cemento

Para satisfacer los distintos requisitos físicos y químicos que implican ciertas aplicaciones específicas, se fabrican diferentes tipos de cementos Portland, los cuales se clasifican considerando las normas NTE INEN 152, 490 y 2380 (ASTM C150, C595 y C1157) y se concentran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Tipos de cemento portland.

	TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
Puros	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos	152	C 150
		Moderado calor de hidratación		
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
V	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150	
Los sulfatos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire				
Compuestos	IS	Pórtland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Pórtland Puzolánico	490	C 595
		Pórtland Puzolánico (Cuando no se requiere		
	P	resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I(PM)	Pórtland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM)	Pórtland con escoria modificado	490	C 595
S	Cemento de escoria	490	C 595	
Por desempeño	GU	Uso en construcción en general	2380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C 1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja actividad con áridos álcali-reactivos				

Fuente: Manual de Pepe Hormigón [24]

1.1.3.10. Cemento Selva Alegre

Es un cemento Portland Tipo IP, diseñado para construcciones de hormigón en general, cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 y ASTM C595. Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- Casas y edificios
- Obras viales: puentes, viaductos, obras de arte, etc.
- Obras sanitarias e hidráulicas.
- Obras civiles en la industria petrolera.

El Cemento Lafarge Selvalegre permite alcanzar las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades. En condiciones normales se pueden obtener resistencias a la compresión entre 35 y 50 MPa, además, posee un crecimiento progresivo de las

*Imagen 1. Cemento Lafarge Selvalegre Plus 50 kg tipo IP
Puzolana INEN490 ASTM595.*



Fuente: ferrimaxi [40]

resistencias aún después de los 28 días de edad, puede alcanzar hasta un 20% más a los 90 días. [25]

1.1.3.11. Densidad del cemento

La densidad es la relación existente entre la masa y el volumen de un material, en el cemento esta densidad se considera aproximadamente de 3.15 g/cm³ como mencionan Mamlouk y Zaniewski [26] y Abanto [27], pudiendo fluctuar alrededor de 2.90 g/cm³ como señala Medina. [22]

La utilidad práctica de esta propiedad física se relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigones. Los métodos para determinar esta propiedad del cemento son dos: Método del Picnómetro y el Método del Frasco de Le Chatelier.

El método seleccionado para la obtención de esta propiedad es el correspondiente a la NTE INEN 156 (método del frasco volumétrico de Le Chatelier), el cual consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier. [28]

1.1.3.12. Agua en el Hormigón

El agua es un componente esencial para la elaboración del hormigón y de acuerdo con la ACI 318S 14, casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor marcado, puede utilizarse como agua de mezclado en la elaboración de concreto, sin embargo, las impurezas excesivas en el agua de mezclado, pueden afectar no solo el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto y la estabilidad volumétrica, sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en el refuerzo [1], por lo que, la NTE INEN 1855-1 establece que el agua de la mezcla debe ser potable, es decir, cumplir con la NTE INEN 1108 y que en caso de no disponer de agua potable, esta debe reunir las condiciones detalladas en la misma. [29]

El agua no solo desempeña un papel muy importante en el proceso de elaboración como agua de amasado, sino también es indispensable su uso en la etapa del fraguado como agua de curado.

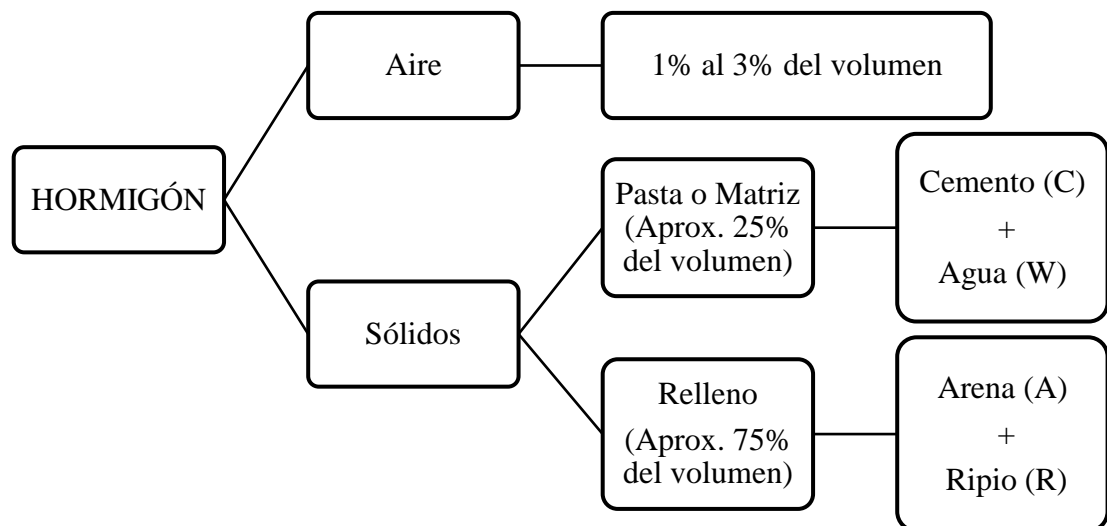
- **El Agua de Amasado**, cumple una doble función en el hormigón, por un lado, participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al hormigón el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta la trabajabilidad requerida, según las condiciones en obra, ya que, el agua en exceso se evapora y crea una red de poros capilares que disminuyen su resistencia. Cada litro de agua de amasado añadida en exceso al hormigón equivale a una disminución de 2 kg de cemento, aproximadamente. [22]
- **El Agua de Curado**, es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura. El agua de curado

tiene una actuación más duradera que el agua de amasado, en consecuencia, se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el agua de curado que con el agua de amasado. [22]

1.1.3.13. Hormigón

Llamado también concreto, es una piedra artificial formada al mezclar en proporciones adecuadas cuatro componentes (cemento, agua, arena y ripio), pero con ventajas superiores a una piedra natural. Está formado por aire, una pasta o matriz y un material de relleno.

Esquema 1. Componentes del Hormigón.



Fuente: Santiago Medina R. [22]

El hormigón es el material de construcción más utilizado de todos los tiempos debido a que posee las siguientes características principales:

- Buena resistencia a compresión
- Buen comportamiento a fatiga
- Bajo costo en relación con sus características mecánicas
- Excelente comportamiento frente al fuego
- Necesita mínimo mantenimiento [22]

1.1.3.14. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del hormigón, es la capacidad que tiene este para soportar cargas axiales sin que se produzca la falla. Se utiliza cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, o en su defecto, cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, los cuales son colocados en una máquina universal y se les aplica cargas axiales, de esta manera es como se obtiene el valor de la resistencia a la compresión.

Se conocen tres tipos de resistencias a la compresión que son:

- **Resistencia Especificada ($f'c$):** Es la resistencia que se impone el calculista para diseñar y dimensionar los elementos de hormigón. La resistencia especificada se la debe obtener en obra, para lo cual se toman cilindros testigos, mismos que son ensayados para verificar y controlar la calidad del hormigón.
- **Resistencia a la compresión promedio requerida ($f'cr$):** Es la resistencia que se debe emplear para el diseño del hormigón en el laboratorio, es un valor mayor al especificado; el valor de la resistencia promedio requerida está en función de algunos factores entre ellos: calidad del control de la obra, tipo de maquinaria disponible, etc.
- **Resistencia Característica ($f'ck$):** Es la resistencia que se obtiene de diversos métodos teóricos y estadísticos, es un valor que sirve para definir el hormigón que estamos utilizando, mismo que deber ser comprobado mediante los ensayos respectivos de la mezcla que se tiene en la obra. [30]

1.1.3.15. Parámetros de diseño de mezclas

El diseño del hormigón tiene por objeto determinar las cantidades de cada uno de los componentes de tal forma que, al combinarse dichos elementos se pueda conseguir una mezcla que posea características específicas cuando el hormigón esté fresco, así como también cuando éste se endurezca, además se debe tomar en cuenta el factor económico y esto va muy de la mano con la disponibilidad de los materiales, costos de producción, costos de acarreo, etc.

Factores que intervienen en la dosificación. - Una vez seleccionados los materiales, los aspectos que intervienen en la dosificación de las mezclas son:

- a) La relación agua/cemento.
- b) La consistencia de la mezcla como medida indirecta de la trabajabilidad.

- c) La relación granulados-cemento o factor-cemento.
- d) La relación granulado fino-granulado grueso (o granulometría de la mezcla de granulados).
 - a. La relación agua/cemento depende de los requerimientos de resistencia y/o de las condiciones de exposición ambiental y es con frecuencia, uno de los factores impuestos en el diseño.
 - b. La consistencia de la mezcla que puede ser tomada como una medida indirecta de la trabajabilidad siempre que, se cumplan con las otras características de una mezcla de buena trabajabilidad (plasticidad, homogeneidad, cohesión, suficiente cantidad de mortero, etc.); depende del tipo de mezcla que se haya seleccionado; autonivelante, autocompactante, vibrado, de las condiciones particulares de la obra, de los medios disponibles para el colado y compactación y es también otro de los elementos que se imponen de antemano o se recomiendan. La consistencia por sí sola no es una medida de la trabajabilidad.
 - c. El factor – cemento (Kg de cemento para cada metro cúbico de hormigón) es una forma alternativa de imponer las condiciones de resistencia, especialmente a los agentes atmosféricos; si no está predeterminado, la relación cemento – granulados es uno de los componentes variables y que se puede cambiar de acuerdo con el criterio del diseñador.
 - d. La relación granulado fino – granulado grueso es otro factor variable. Aunque se puede tomar un punto de partida de acuerdo con el método de diseño empleado es, en definitiva, el diseñador quien va a juzgar de la inspección en las mezclas de prueba, cuál debe ser esa relación”. [30]

1.1.3.16. Relación agua/cemento

La relación agua-cemento es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante, la relación agua-cemento elegida para un diseño de mezclas debe ser el menor valor necesario para resistir a diferentes condiciones de exposición.

La relación agua-cemento se debe basar en los requisitos de resistencia a compresión, por lo cual las proporciones de la mezcla se deben basar en datos de campo adecuados o en mezclas de prueba que empleen los materiales de la obra, a fin de que se determine la relación entre la resistencia y la relación agua-cemento.

Para los cementos portland puzolánicos tipo IP que se fabrican en nuestro país, de acuerdo con la norma INEN 490, las resistencias características que se pueden obtener en función de la relación agua-cemento, son aproximadas a la tabla que se muestra a continuación. [21]

Tabla 4. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento.

Relación Agua/Cemento	f'c (Mpa) 28 días
0.37	45
0.40	42
0.42	40
0.46	35
0.50	32
0.51	30
0.52	28
0.55	25
0.56	24
0.58	21
0.60	18

*Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.
Ing. Marco Garzón C. 2010*

1.1.3.17. Consistencia

Es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams. [31]

1.1.3.18. Docilidad

Es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams. [31]

1.1.3.19. Curado del hormigón

El curado, según el ACI 308 R, es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor.

En sentido práctico curar el concreto es garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperatura necesarias para que el concreto desarrolle su resistencia potencial (compresión y flexión), se reduzca la porosidad de la pasta (especialmente en el recubrimiento de concreto sobre las armaduras), haciendo que el ingreso de humedad y agresivos hacia el interior del elemento de concreto endurecido se vea disminuido, garantizando así, que la estructura cumpla con la vida útil de diseño requerida por el propietario.

En consecuencia, es necesario curar el concreto, regando agua sobre su superficie, cuando existan las condiciones suficientes para considerar que el concreto, por sí solo, no tendrá suficiente agua para desarrollar sus propiedades o, aunque es suficiente, una buena parte se evaporará de la mezcla debido a la incidencia de factores externos que actúan sobre la superficie libre del elemento.

Un adecuado y oportuno método de curado trae tantos y tan variados beneficios a una estructura de concreto, y puede ser tan sencillo de implementar, que no hacerlo es simplemente desperdiciar sus bondades. El curado no solo influye en la resistencia final del concreto, sino que disminuye la permeabilidad y mejora la resistencia de la piel de concreto al ingreso de gases (CO₂, Oxígeno), elementos necesarios, unos para despasivar el refuerzo y otros para causar corrosión.

Un buen y oportuno curado aumenta la resistencia a la abrasión de pisos de concreto, vías y obras hidráulicas, reduce la posibilidad de aparición de grietas por contracción plástica, y aunque no la puede evitar, retarda la contracción de secado haciendo que se desarrolle a una edad de la estructura tal que la resistencia mecánica (especialmente a tensión), haya alcanzado un nivel suficientemente alto para que pueda contribuir, en unión con la armadura, a controlar el agrietamiento. [32]

- **Curado inicial,** Inmediatamente después del moldeo y terminado, el espécimen debe ser almacenado por un período de hasta 48 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40 MPa o mayor, la temperatura de curado inicial debe estar entre 20 °C y 26 °C. Se permite utilizar varios procedimientos a fin de mantener las condiciones de humedad y temperatura especificadas durante el periodo de curado inicial, se debe utilizar un procedimiento apropiado o una

combinación de procedimientos (ver nota 5). Proteger todos los especímenes de los rayos directos del sol y de cualquier radiación calórica, si se utiliza. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, según sea necesario. Registrar la temperatura utilizando un termómetro de máximas y mínimas. Si se utilizan moldes de cartón, proteger las superficies exteriores de los moldes de su contacto con paños húmedos o cualquier fuente de agua.

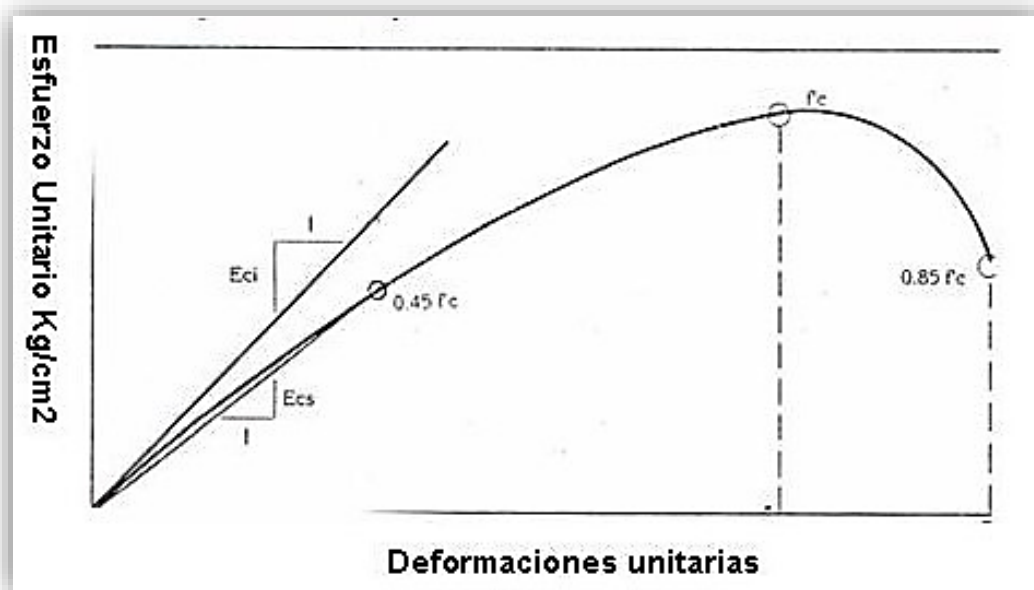
- **Curado final,** Una vez concluido el curado inicial y dentro de 30 minutos después de remover los especímenes de los moldes, curarlos a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, manteniendo todo el tiempo sus superficies con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado, que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 2 528, excepto cuando se los refrenta con mortero de azufre inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con mortero de azufre, se deben secar las superficies superior e inferior del cilindro para prevenir la formación de paquetes de vapor o espuma mayores de 6 mm, debajo o dentro del refrentado, como se describe en la norma ASTM C 617. Para un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requieren temperaturas de curado normalizado, a condición de que se mantenga en los cilindros la humedad libre y la temperatura ambiente esté entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. [33]

1.1.3.20. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es la relación que existe entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria, determinadas para esfuerzos de compresión y tracción menores que el límite del material. [34]

La determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se realiza mediante el procedimiento de ensayo ASTM C 469, este consiste en romper cilindros estándar de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura hasta la falla, midiendo la deformación para valores de hasta $0.45\text{ f}'\text{c}$ (zona elástica), sin embargo, este ensayo está sujeto a numerosas variables por tratarse de un ensayo destructivo, entre las que se encuentran el tamaño de la probeta, punto de medición de la deformación (en la superficie o en la mitad del cilindro), velocidad de carga, esbeltez de la probeta, tipo de refrentado y tipo de curado en laboratorio, entre otros, siendo dependiente del concreto en particular.

Figura 3. Curva típica de esfuerzo-deformación del concreto bajo carga a compresión; 2011.



Fuente: El módulo de elasticidad del concreto (E_c) y su importancia [11]

Explicando la figura a detalle. La primera fase es la zona elástica, aquí el esfuerzo y la deformación unitaria se extiende desde 0% hasta 40% del f_c e inclusive hasta un 0.45 de la resistencia a compresión.

A partir de este punto se presenta una línea curva por la microfisuración que se produce entre la conexión agregado – pasta en el concreto, esto se debe a que el concreto tiene algo de elasticidad y asimismo a la fluencia de este, corroborando que este no es un material completamente elástico. [35]

1.1.4. HIPÓTESIS

El módulo de elasticidad estático es influenciado por la resistencia a compresión del hormigón en el Cantón Tena, Provincia de Napo.

CAPÍTULO II

2.1. METODOLOGÍA

2.1.1. Niveles de investigación

Para realizar una investigación se debe guardar un cierto orden progresivo y escalonado, por ello, Carrasco establece cuatro niveles para el desarrollo de la investigación científica, los cuales son: nivel de investigación preliminar o exploratorio, luego nivel descriptivo, nivel explicativo o causal y finalmente nivel experimental. [36]

2.1.1.1. Investigación preliminar o exploratorio: En esta etapa de investigación se recolectará información acerca de la disponibilidad en el Cantón Tena de los agregados a utilizar en la fabricación del hormigón que se someterá al ensayo de compresión con la finalidad de determinar la influencia que estos tienen en el cálculo del módulo de elasticidad estático (MEE). También se obtendrá información de las fórmulas de obtención del MEE propuestas por ACI 318-19 y ACI 363 para comparación de las variaciones que resulten.

2.1.1.2. Investigación descriptiva: En este nivel de investigación se espera realizar una caracterización de los agregados en cuestión y la recolección de información de los ensayos a compresión realizados en los hormigones fabricados con los mismos.

2.1.1.3. Investigación explicativa o causal: Se procede a interpretar la influencia que tiene la resistencia a compresión del hormigón elaborado con agregados de la zona mencionada en el módulo de elasticidad estático.

2.1.1.4. Investigación experimental: Finalmente se plantea una fórmula para el cálculo del MEE que sustituya a las propuestas por las normas ACI-318 19 y NEC 2015, siendo esta fórmula resultante de considerar la resistencia a compresión del hormigón elaborado con los agregados del Cantón Tena, Provincia de Napo por lo cual es aplicable solo para este sitio.

2.1.2. Población y muestra

La población de este trabajo experimental viene a ser los cilindros de hormigón que serán sometidos al ensayo de compresión, por lo que su cantidad se determinará en base a 3 factores que son: origen de los agregados, resistencia a compresión requerida y la edad a ensayar. Siendo que por cada edad, resistencia y origen de agregados se

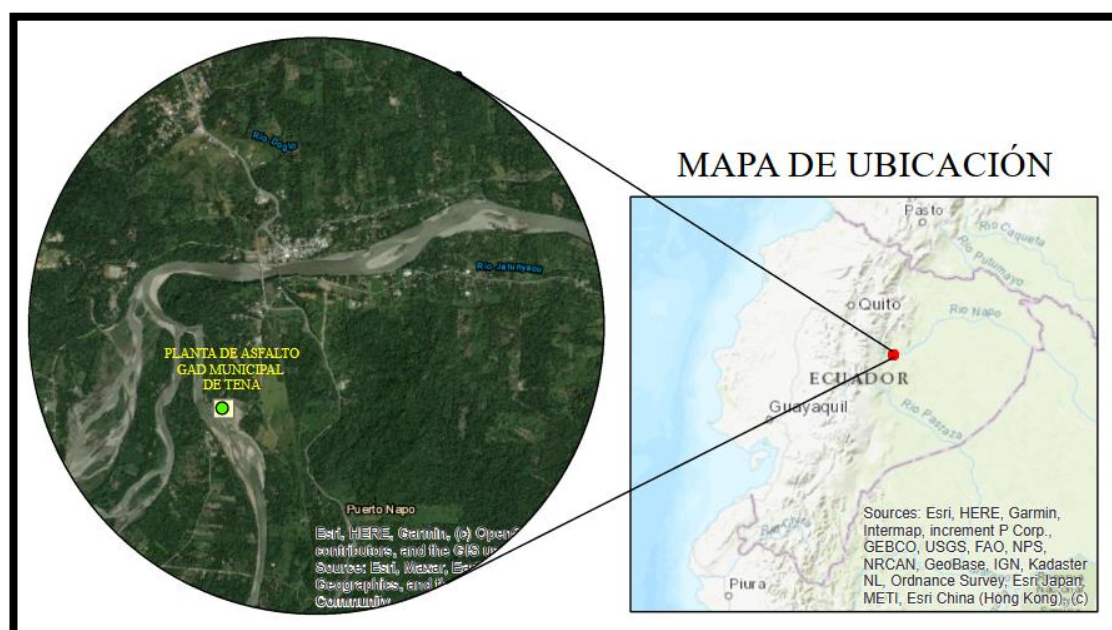
elaborarán 3 cilindros, el total de muestras serán 24 como se puede observar en la tabla a continuación.

Tabla 5. Número de cilindros totales a ensayar.

Origen	f'c (kg/cm ²)	Número de cilindros por edad a ensayar				Total
		7 días	14 días	21 días	28 días	
Planta de Asfalto						
GAD Municipal de Tena	240	3	3	3	3	12
Venecia 38	240	3	3	3	3	12
Sumatoria		6	6	6	6	24

Realizado por: David Valle

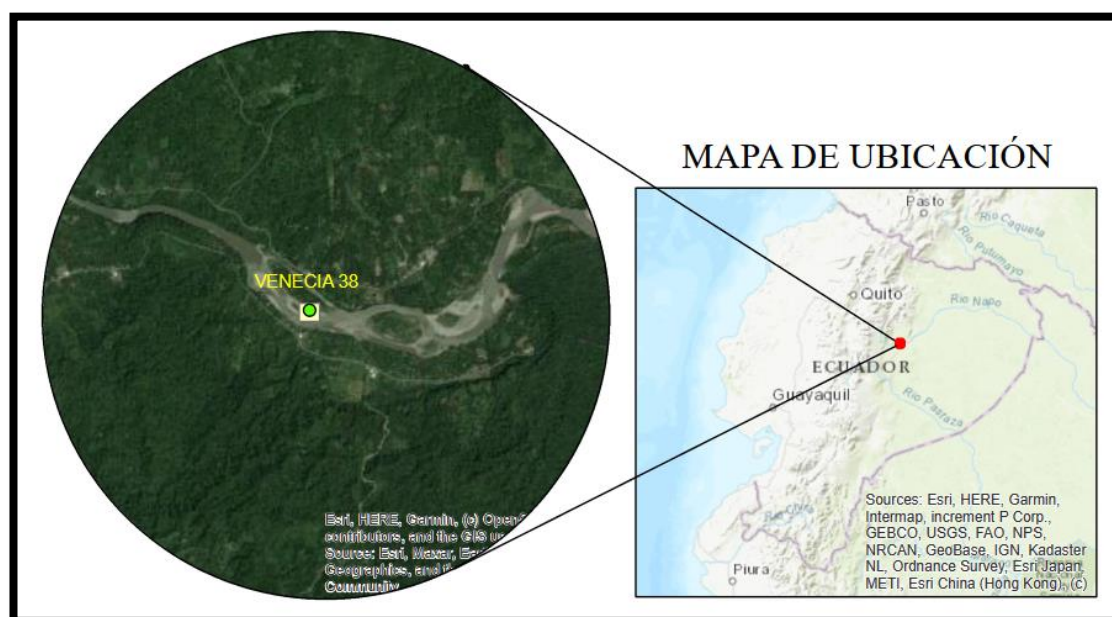
Imagen 2. Mapa de ubicación de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” (Mina “Anzu”).



Realizado por: David Valle con el uso de mapas de la base de datos de ArcGis.

Se encuentra ubicada en el sector Anzu de la Parroquia Puerto Napo, Cantón Tena, Provincia de Napo por el kilómetro 8.5 de la vía Tena-Puyo en las coordenadas (UTM): 9882852.86 m S y 188453.38 m E a una elevación de 508 msnm.

Imagen 3. Mapa de ubicación de la mina "Venecia 38".



Realizado por: David Valle con el uso de mapas de la base de datos de ArcGis.

La mina Venecia 38 está ubicada en el sector Venecia de la Parroquia Misahualli, Cantón Tena, Provincia de Napo en la vía Puerto Napo-Misahualli, coordenadas: 9884279.60 m S y 198785.98 m E, a una elevación de 510 msnm.

2.1.3. Materiales y Equipos

Para llevar a cabo los respectivos ensayos, fue necesario utilizar los materiales y equipos listados a continuación.

2.1.3.1. Materiales

1. Áridos fino y grueso de las diferentes minas
2. Cemento hidráulico Lafarge Selvalegre (sacos de 50 kg)
3. Agua potable
4. Gasolina
5. Aceite quemado
6. Solución de hidróxido de sodio

2.1.3.2. Equipos

1. Horno ventilado
2. Compresómetro/extensómetro para cilindros de 100 x 200 mm
3. Máquina de ensayos de compresión
4. Concretera eléctrica de medio saco

5. Balanza eléctrica con capacidad de 150 kg
6. Balanza eléctrica con precisión de 0.01g y capacidad de 1500 g
7. Balanza eléctrica con precisión de 1g y capacidad de 30 kg
8. Tamizadora
9. Juego de tamices cuadrados de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y #4
10. Juego de tamices redondos números 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200
11. Fuente
12. Tapa
13. Moldes cilíndricos de 20 cm de alto * 10 cm de diámetro
14. Cono de Abrams
15. Varilla para compactación con punta redondeada
16. Cinta métrica
17. Brocha
18. Guaipes
19. Cepillo de alambres
20. Martillo de goma
21. Palustre
22. Pala cuadrada
23. Pala de mano
24. Probetas graduadas
25. Bandejas metálicas
26. Frasco de Le Chatelier
27. Picnómetro
28. Pipeta
29. Canastilla metálica
30. Termómetro
31. Cámara fotográfica
32. Laptop
33. Botellas de vidrio
34. Marcador permanente

2.1.4. Plan de recolección de información

En primer lugar, se hallan las actividades de búsqueda y obtención de fuentes bibliográficas y normas aplicadas que brinden información imprescindible para dar

comienzo al proceso de experimentación, el cual se puede clasificar cronológicamente en cuatro etapas que vienen a ser: toma de muestras, ensayos de caracterización, diseño de la mezcla y elaboración de cilindros.

2.1.4.1. Toma de muestras

1. Reconocimiento y selección de las minas locales de donde serán adquiridos los áridos necesarios para el desarrollo de la tesis.
2. Determinación en cantidades aproximadas de los materiales requeridos para el desarrollo de los distintos ensayos que conlleva el desarrollo de la tesis (arena, ripio, cemento, gasolina).
3. Recolección de los áridos provenientes de las minas previamente seleccionadas y etiquetado de acuerdo con su origen y tipo (arena o ripio).
4. Adquisición del cemento que más comúnmente se utiliza en la zona (cemento Lafarge Selvalegre).
5. Traslado de los materiales a los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.4.2. Ensayos de caracterización

6. Realización del ensayo para la determinación de la densidad real del cemento hidráulico según la norma INEN 156.
7. Determinación de las impurezas orgánicas presentes en el árido fino de acuerdo con la norma INEN 855.
8. Ejecución del análisis granulométrico en los áridos fino y grueso según NTE INEN 696.
9. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido grueso mediante la aplicación de la norma NTE INEN 857.
10. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido fino mediante la aplicación de la norma NTE INEN 856.
11. Determinación de la masa unitaria para condiciones suelta y compactada, norma INEN 858.

2.1.4.3. Diseño de la mezcla

12. Cálculo y diseño de la mezcla que se requiere para obtener una resistencia a compresión del hormigón de 240 kg/cm^2 mediante el método de la densidad óptima.

2.1.4.4. Elaboración de cilindros

13. Ajuste y preparación de los moldes a utilizar.
14. Pesaje de los moldes vacíos.
15. Pesaje de los agregados y cemento de acuerdo con el diseño de la mezcla realizado anteriormente.
16. Preparación de la cantidad de agua calculada correspondiente al diseño.
17. Elaboración del hormigón.
18. Realización del ensayo de determinación del asentamiento del hormigón en conformidad con la norma INEN 1578.
19. Colocación del hormigón en los moldes de manera que se lo llene en dos capas, proporcionando 25 golpes con la varilla de punta redondeada correspondiente y 15 golpes con el martillo de goma al molde en cada capa.
20. Humedecer las etiquetas correspondientes y colocarlas en cada probeta recién preparada.
21. Pesaje de los moldes + hormigón fresco.
22. Luego de dejar fraguar el hormigón durante 24 horas se procede a desencofrar las probetas y colocarlos en la cámara de curado.
23. El procedimiento se repite desde el punto 14 al 23 para la elaboración de los cilindros con agregados originales de la siguiente mina.

2.1.5. Plan de procesamiento y análisis de información

Para el procesamiento y análisis de la información obtenida en el plan de recolección de información se tomarán en cuenta las cuatro etapas antes nombradas.

2.1.5.1. Toma de muestras

En esta fase se realizará una clasificación de los materiales obtenidos de las diferentes minas mediante un etiquetado y registro de pesos totales utilizando como código la letra A para el árido fino, la R para el agregado grueso y los números 1 y 2 para cada mina correspondiente.

2.1.5.2. Ensayos de caracterización

En la etapa de ensayos se elaborarán informes donde se plasmarán los resultados obtenidos de cada uno de estos y posteriormente se registrarán en hojas de cálculo o tablas la información mínima necesaria para proceder a la etapa de diseño de mezcla.

2.1.5.3. Diseño de mezcla

Aquí se desarrollarán hojas de cálculo que permitan el diseño de la mezcla de acuerdo con los datos obtenidos de los ensayos anteriormente realizados y que ayuden a la obtención de la proporcionalidad de cada componente del hormigón junto con la cantidad en peso y volumen que será necesaria para la fabricación de los 24 cilindros a ensayar.

2.1.5.4. Elaboración de cilindros

La etapa de elaboración de cilindros abarcará el análisis de los resultados obtenidos tanto al fabricar las probetas como al someterlos al respectivo ensayo a compresión, se realizarán las curvas de edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo vs deformación del hormigón, además, se procesarán los resultados de la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad para la obtención del módulo de elasticidad estático.

CAPÍTULO III

3.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.1. Análisis y discusión de resultados

La composición de esta sección del informe consiste en exponer los ensayos realizados de los áridos, cemento y hormigón con sus respectivos análisis y discusión de los resultados obtenidos. Considerando que para los áridos se requirió realizar los mismos ensayos con el material de cada mina de origen, se elaboró la tabla 6 en la cual se detalla el orden en el que se presentan estos ensayos y sus análisis.

Tabla 6. Orden de presentación de los ensayos en los agregados.

Orden	Origen	Ensayo
1°	Venecia 38	Determinación del contenido de humedad de los agregados fino y grueso
2°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
3°	Venecia 38	Densidad Real y Capacidad de absorción del Agregado Grueso
4°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
5°	Venecia 38	Densidad Real y Capacidad de absorción del Agregado Fino
6°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
7°	Venecia 38	Granulometría del agregado grueso
8°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
9°	Venecia 38	Granulometría del agregado fino
10°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
11°	Venecia 38	Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso
12°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
13°	Venecia 38	Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino
14°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
15°	Venecia 38	Densidad óptima de los agregados
16°	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	
17°	Venecia 38	Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón
	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	

Realizado por: David Valle



3.1.1.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: NTE-INEN 862

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER **FECHA:** 09/05/2022

VALLE VALLE

Tabla 7. Contenido de humedad del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

AGREGADO GRUESO				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valores	
P1	Peso del Recipiente	g	31.14	32.54
P2	Peso del Recipiente + Agregado Grueso Húmedo S.S.S.	g	215.91	193.90
P3	Peso del Recipiente + Agregado Grueso Seco	g	214.76	192.46
P4 = P2 - P3	Peso del Agua	g	1.15	1.44
P5 = P3 - P1	Peso del Agregado Grueso Seco	g	183.62	159.92
CH = P4 / P5	Contenido de Humedad	%	0.63	0.90
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	0.76	

Realizado por: David Valle

Tabla 8. Contenido de humedad del agregado fino de la mina "Venecia 38".

AGREGADO FINO				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valores	
P1	Peso del Recipiente	g	25.26	25.20
P2	Peso del Recipiente + Agregado Fino Húmedo S.S.S.	g	89.56	96.81
P3	Peso del Recipiente + Agregado Fino Seco	g	83.55	91.50
P4 = P2 - P3	Peso del Agua	g	6.01	5.31
P5 = P3 - P1	Peso del Agregado Fino Seco	g	58.29	66.30
CH = P4 / P5	Contenido de Humedad	%	10.31	8.01
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	9.16	

Realizado por: David Valle

3.1.1.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: NTE-INEN 862

ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 09/05/2022

Tabla 9. Contenido de humedad del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"

AGREGADO GRUESO				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valores	
P1	Peso del Recipiente	g	32.42	32.44
P2	Peso del Recipiente + Agregado Grueso Húmedo S.S.S.	g	217.71	204.59
P3	Peso del Recipiente + Agregado Grueso Seco	g	214.04	200.71
P4 = P2 - P3	Peso del Agua	g	3.67	3.88
P5 = P3 - P1	Peso del Agregado Grueso Seco	g	181.62	168.27
CH = P4 / P5	Contenido de Humedad	%	2.02	2.31
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	2.16	

Realizado por: David Valle

Tabla 10. Contenido de humedad del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"

AGREGADO FINO				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valores	
P1	Peso del Recipiente	g	24.00	30.88
P2	Peso del Recipiente + Agregado Fino Húmedo S.S.S.	g	106.90	112.34
P3	Peso del Recipiente + Agregado Fino Seco	g	98.59	102.69
P4 = P2 - P3	Peso del Agua	g	8.31	9.65
P5 = P3 - P1	Peso del Agregado Fino Seco	g	74.59	71.81
CH = P4 / P5	Contenido de Humedad	%	11.14	13.44
CHprom	Contenido de Humedad Promedio W%	%	12.29	

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: En el agregado grueso se obtuvo los valores de 0.76 y 1.44 correspondientemente a su origen, lo que se considera como humedades relativamente bajas, al contrario del agregado fino que arrojaron valores de 9.16 y 6.16 de contenido de humedad, evidenciando que los poros de estos agregados contenían una considerable proporción de agua, por lo que se puede deducir que nos aportará una cantidad relevante de agua a la mezcla.

3.1.1.3. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 857
ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 11/05/2022
ORIGEN: MINA VENECIA 38

Tabla 11. Densidad real del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO			
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	g	1058.00
M2	Masa de la canastilla en el agua	g	953.00
M3	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire	g	3830.00
M4	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua	g	2710.00
DA	Densidad Real del agua	g/cm ³	1.00
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra S.S.S. en el aire	g	2772.00
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra S.S.S. en el agua	g	1757.00
VR = (M5 - M6) / DA	Volumen Real de la muestra	cm ³	1015.00
DR = M5 / VR	Densidad Real del Agregado Grueso	-	2.73

Realizado por: David Valle

Tabla 12. Capacidad de absorción del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del Recipiente	g	31.15	32.43
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	g	230.83	228.70
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	g	199.68	196.27
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	g	229.57	227.52
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	g	198.42	195.09
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	Capacidad de Absorción	%	0.64	0.60
CAprom = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	0.62	

Realizado por: David Valle

3.1.1.4. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 857
ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 11/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 13. Densidad real del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO			
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	g	1178.00
M2	Masa de la canastilla en el agua	g	1072.00
M3	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire	g	3821.00
M4	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua	g	2797.00
DA	Densidad Real del agua	g/cm ³	1.00
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra S.S.S. en el aire	g	2643.00
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra S.S.S. en el agua	g	1725.00
VR = (M5 - M6) / DA	Volumen Real de la muestra	cm ³	918.00
DR = M5 / VR	Densidad Real del Agregado Grueso	-	2.88

Realizado por: David Valle

Tabla 14. Capacidad de absorción del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del Recipiente	g	32.42	32.44
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	g	257.41	245.13
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	g	224.99	212.69
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	g	254.93	243.10
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	g	222.51	210.66
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	Capacidad de Absorción	%	1.11	0.96
CAP = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	1.04	

Realizado por: David Valle



3.1.1.5. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 857

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER **FECHA:** 12/05/2022

VALLE VALLE

Tabla 15. Densidad real del agregado fino de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO			
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del Frasco	g	120.55
M2	Masa Inicial del Frasco + Agua	g	371.55
V1	Lectura Inicial del Frasco + Agua	cm ³	251.00
M3	Masa Final del Frasco + Agua + Agregado Fino	g	426.55
V2	Lectura Final del Frasco + Agua + Agregado Fino	cm ³	272.00
M4=M3 - M2	Masa del Agregado Fino	g	55.00
V3=V2 - V1	Volumen del Agregado Fino	cm ³	21.00
DRA=M4/V3	Densidad Real del Agregado Fino	g/cm ³	2.62

Realizado por: David Valle

Tabla 16. Capacidad de absorción del agregado fino de la mina "Venecia 38".

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del Recipiente	g	25.21	25.95
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	g	153.37	149.87
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	g	128.16	123.92
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	g	150.45	147.15
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	g	125.24	121.20
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	Capacidad de Absorción	%	2.33	2.24
CAP = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	2.29	

Realizado por: David Valle

3.1.1.6. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 857
ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 12/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 17. Densidad real del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO			
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del Frasco	g	120.55
M2	Masa Inicial del Frasco + Agua	g	370.55
V1	Lectura Inicial del Frasco + Agua	cm ³	250.00
M3	Masa Final del Frasco + Agua + Agregado Fino	g	425.55
V2	Lectura Final del Frasco + Agua + Agregado Fino	cm ³	271.20
M4=M3 - M2	Masa del Agregado Fino	g	55.00
V3=V2 - V1	Volumen del Agregado Fino	cm ³	21.20
DRA=M4/V3	Densidad Real del Agregado Fino	g/cm ³	2.59

Realizado por: David Valle

Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del Recipiente	g	31.04	30.89
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	g	157.75	139.68
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	g	126.71	108.79
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	g	154.72	137.07
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	g	123.68	106.18
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	Capacidad de Absorción	%	2.45	2.46
CAP = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio	%	2.45	

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Mediante la aplicación de la NTE INEN 857, se obtuvo las densidades relativas 2.73 y 2.88 g/cm³ respectivamente a las minas “Venecia 38” y “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” para el agregado grueso, mientras que para el agregado fino se obtuvo 2.62 y 2.59 g/cm³, lo que quiere decir que conforme con la NTE INEN 694, estos valores se encuentran dentro del rango 2.4 y 3.0 que caracteriza a los áridos de densidad normal, es decir, no poseen una densidad alta ni baja, por esto, respecto a los áridos gruesos, se puede decir que son resistentes, poco porosos y de baja absorción.

El ensayo de capacidad de absorción de los agregados se realiza con el fin de conocer la cantidad de agua absorbida por el árido hasta llegar al estado SSS (saturado superficialmente seco) para realizar las correcciones por humedad y así determinar la cantidad correcta de materiales a utilizar en el diseño del hormigón.

La capacidad de absorción resultante del agregado grueso de las minas “Venecia 38” y “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” al ser respectivamente de 0.62 y 1.04 se puede interpretar que se encuentran dentro de los niveles generales de absorción según Medina [22], es decir, varían del 0.2 al 4%, mientras que para el agregado fino siendo el rango de 0.2 al 2%, se observó que en ambas minas “Venecia 38” y “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” con valores de 2.29 y 2.45% sobrepasan los niveles generales de absorción.

Cabe destacar que tanto los valores del agregado fino como del grueso de las dos minas se encuentran dentro de las recomendaciones que establece la ASTM C127 (grueso) y ASTM C128 (fino).



3.1.1.7. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 696

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER

FECHA: 10/05/2022

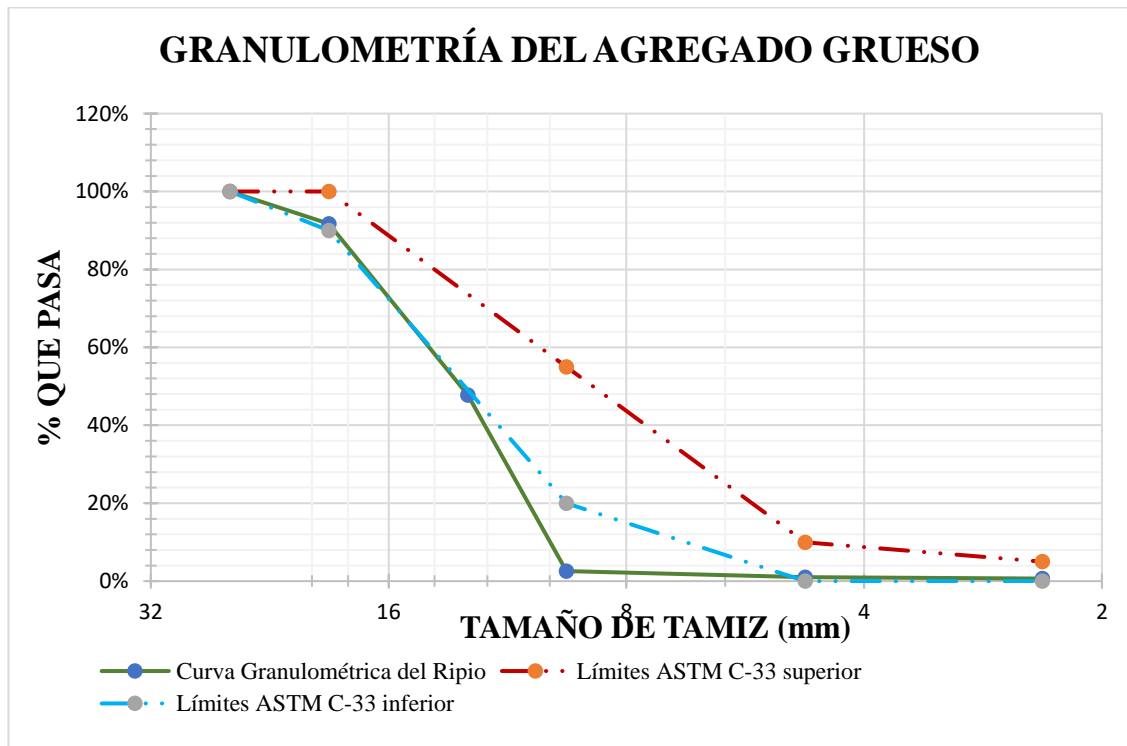
VALLE VALLE

Tabla 19. Granulometría del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límites ASTM % que pasa (%)
1"	25.4	0	0	0.00	100.00	100
3/4"	19.05	416	416	8.32	91.68	90 - 100
1/2"	12.7	2197	2613	52.26	47.74	-
3/8"	9.53	2258	4871	97.42	2.58	20 - 55
#4	4.75	77	4948	98.96	1.04	0 - 10
#8	2.38	19.04	4967.04	99.34	0.66	0 - 5
Fuente		21.15	4988.19	99.76	0.24	-
Material más fino que 75µm permisible (1%) =					0.42%	CUMPLE
Porcentaje de pérdida de la muestra =					0.12%	CUMPLE
Tamaño Nominal Máximo (TNM) =					3/4"	

Realizado por: David Valle

Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina "Venecia 38".



Realizado por: David Valle



3.1.1.8. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE-INEN 696
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

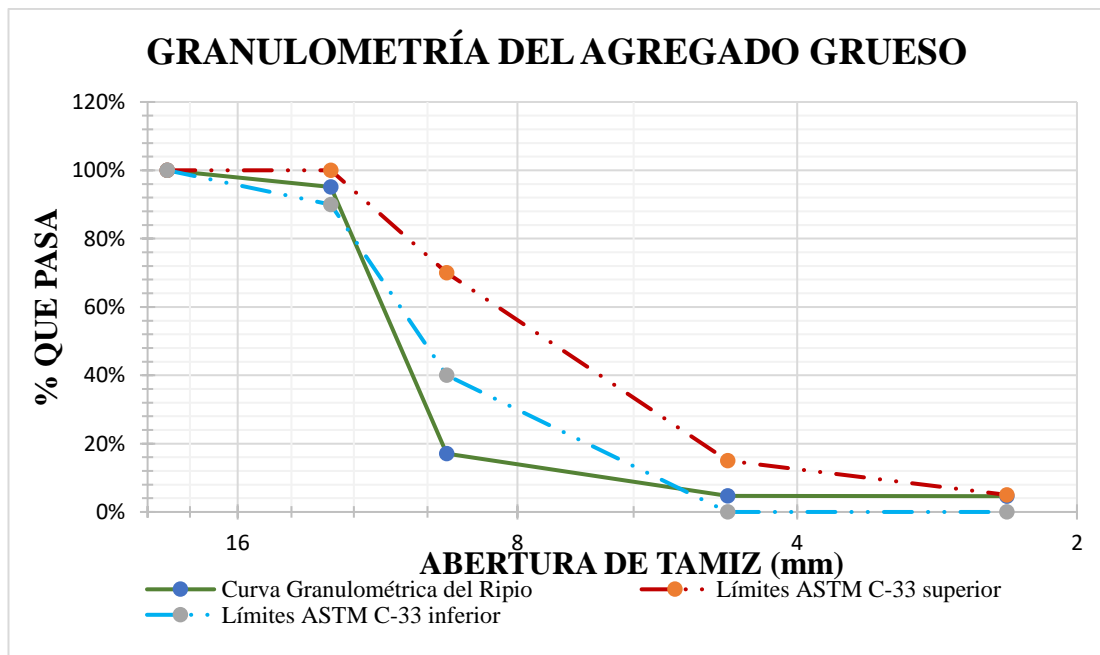
FECHA: 10/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO
 GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 20. Granulometría del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	-
3/4"	19.05	0	0	0.00%	100.00%	100
1/2"	12.7	246	246	4.92%	95.08%	90 - 100
3/8"	9.53	3902	4148	82.96%	17.04%	40 - 70
#4	4.75	616	4764	95.28%	4.72%	0 - 15
#8	2.38	5.29	4769.29	95.39%	4.61%	0 - 5
Fuente		215	4984.29	99.69%	0.31%	-
Material más fino que 75um permisible (1%) =					4.30%	NO CUMPLE
Porcentaje de pérdida de la muestra=					0.16%	CUMPLE
Tamaño Nominal Máximo (TNM)=					1/2"	

Realizado por: David Valle

Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".



Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Como se puede observar, la gráfica del agregado grueso de la mina “Venecia 38” presenta una clara tendencia a gruesos debido a la proximidad que tiene la curva granulométrica a lo largo del límite inferior que establece la ASTM C-33, además de que en el tamiz 3/8” esta se sitúa por debajo de este límite. Con respecto al tamaño nominal máximo, se determinó que es de 3/4”, lo que es el máximo permitido para que sea utilizable en la elaboración de los cilindros de 10 cm de diámetro x 20 cm de alto, tal como señala la NTE INEN.

A diferencia de la mina anterior, el tamaño nominal máximo que se obtuvo de la granulometría del agregado grueso proveniente de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” es de 1/2”, considerando que es un tamaño menor a 3/4” su uso en los cilindros de hormigón de 10x20 cm es totalmente viable. En cuanto a la curva granulométrica, se aprecia una proximidad al límite inferior en todas las aberturas de tamices a excepción del tamiz 3/8” que consigue inconvenientemente ubicarse por debajo de este, demostrando una tendencia a gruesos. También se destaca que existe una presencia excesiva de material más fino que 75um lo que es perjudicial para la elaboración del hormigón, motivo por el cual es recomendable realizar una separación de estas sustancias del agregado previo a su utilización en la fabricación del hormigón.

Cabe mencionar que, aunque es preferible que exista una continuidad de tamaños en la composición granulométrica, los efectos que la gradación de la grava produce sobre la trabajabilidad de las mezclas de concreto, suelen ser mucho menores que los producidos por el agregado fino, así es que su granulometría puede variar dentro de un rango relativamente amplio sin producir efectos relevantes en los requerimientos de agua y cemento. [22]



3.1.1.9. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 696

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER

FECHA: 10/05/2022

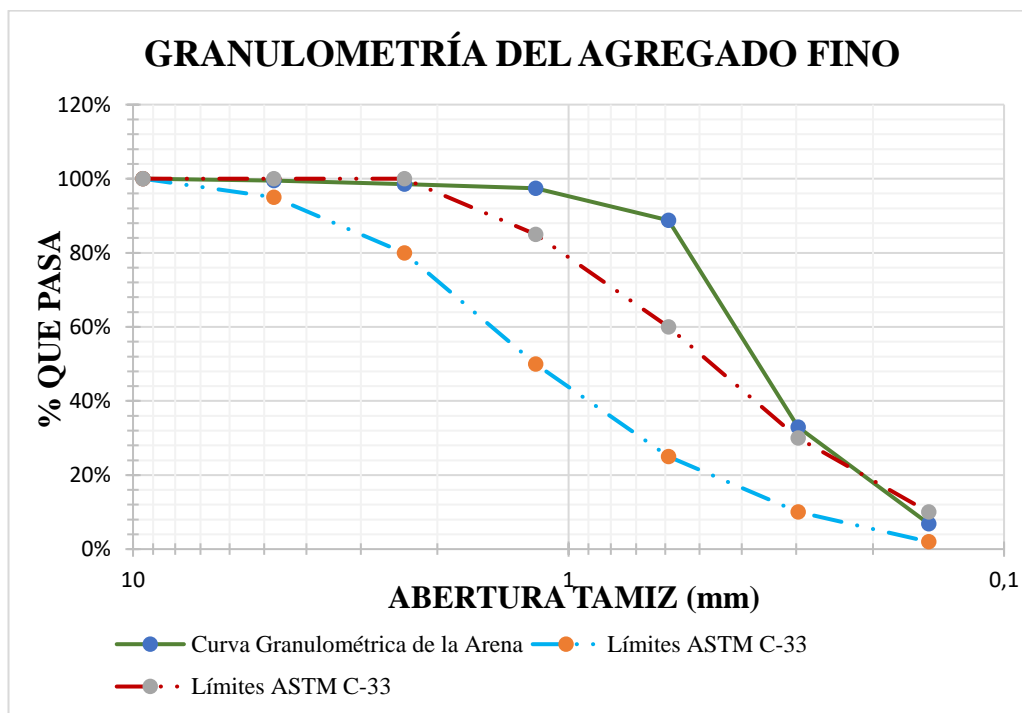
VALLE VALLE

Tabla 21. Granulometría del agregado fino de la mina "Venecia 38".

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límites ASTM % que pasa (%)
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.75	3.26	3.26	0.54%	99.46%	95 - 100
#8	2.38	5.34	8.6	1.43%	98.57%	80 - 100
#16	1.19	6.98	15.58	2.60%	97.40%	50 - 85
#30	0.59	51.82	67.4	11.23%	88.77%	25 - 60
#50	0.297	334.94	402.34	67.06%	32.94%	10 - 30
#100	0.149	156.45	558.79	93.13%	6.87%	2 - 10
#200	0.075	27.1	585.89	97.65%	2.35%	-
Fuente		13.55	599.44	99.91%	-	-
Módulo de Finura			1.76	Arena Fina		
Material más fino que 75µm permisible (5%) =					2.26%	CUMPLE

Realizado por: David Valle

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino de la mina "Venecia 38".



Realizado por: David Valle



3.1.1.10. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 696
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

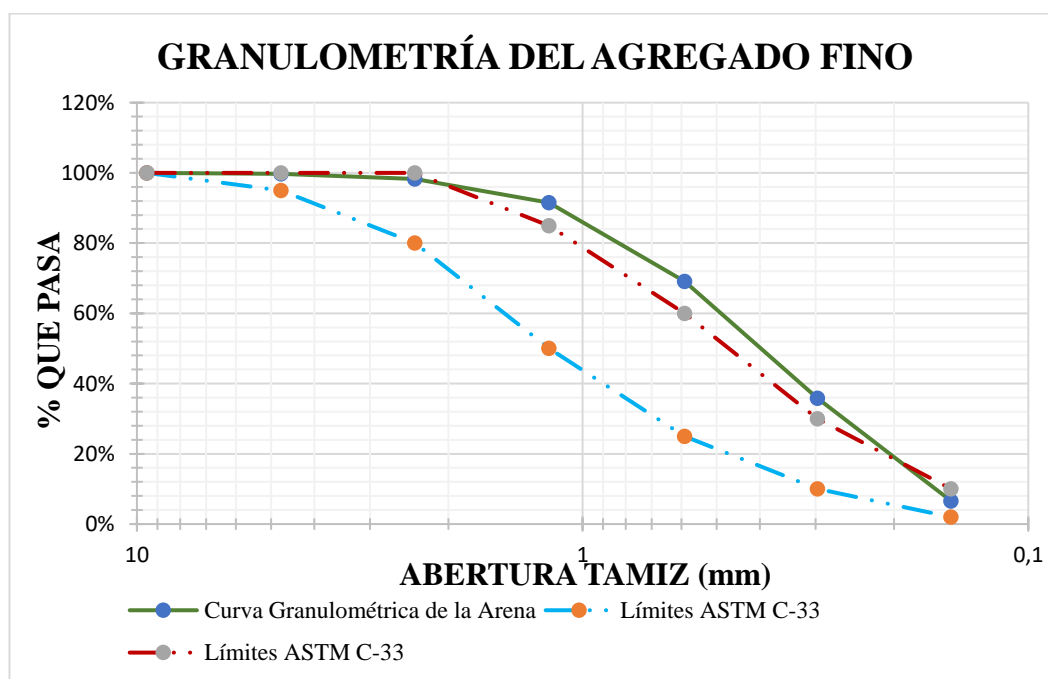
FECHA: 10/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO
 GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 22. Granulometría del agregado fino de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”.

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.75	1.42	1.42	0.24%	99.76%	95 - 100
#8	2.38	9.11	10.53	1.76%	98.25%	80 - 100
#16	1.19	40.46	50.99	8.50%	91.50%	50 - 85
#30	0.59	134.38	185.37	30.90%	69.11%	25 - 60
#50	0.297	199.93	385.3	64.22%	35.78%	10 - 30
#100	0.149	175.22	560.52	93.42%	6.58%	2 - 10
#200	0.075	10.59	571.11	95.19%	4.82%	-
Fuente		27.77	598.88	99.81%	-	-
Módulo de Finura			1.99		Arena Fina	
Material más fino que 75µm permisible (5%) =					4.63%	CUMPLE

Realizado por: David Valle

Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".



Realizado por: David Valle

Análisis y discusión:

En la gráfica correspondiente a la mina “Venecia 38” se puede apreciar que la curva granulométrica se encuentra fuera de los límites que establece la ASTM C-33, esta se halla por encima del límite superior en el tamaño dominante, es decir, tiende a finos y su distribución se asemeja a la distribución bien graduada que se observa en la figura 2. Respecto al módulo de finura al ser su valor 1.76 que redondeando es 1.8, se puede decir que se encuentra fuera del rango establecido por la INEN 872 de 2.3 a 3.1, para arenas recomendables a utilizar en el hormigón.

Por otro lado, el módulo de finura obtenido con el agregado fino de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” fue de 1.99, se encuentra fuera del rango por lo que es una arena no recomendable para el hormigón. La curva granulométrica se asemeja a la de una distribución bien graduada con una clara tendencia a finos debido a que se halla por encima del límite superior en casi todas sus aberturas.

Para las dos minas el porcentaje de material más fino que 75 μ m es inferior al 5% permitido por la NTE INEN 872 acerca de la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido para el hormigón, además, como el agregado fino de ambas minas tienden a ser muy fino, al momento de ser utilizado en el hormigón podría ocasionar segregación del agregado grueso y requerir de más agua y con este más cemento.



**3.1.1.11. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL
AGREGADO GRUESO**

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER **FECHA:** 13/05/2022

VALLE VALLE

Tabla 23. Densidad aparente suelta del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del molde + Material Suelto	kg	38.870	39.110
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	28.895	29.135
DAR=M3/V1	Densidad Aparente Suelta	kg/dm ³	1.416	1.428
DARprom	Densidad Aparente Suelta Promedio	kg/dm ³	1.422	

Realizado por: David Valle

Tabla 24. Densidad aparente compactada del agregado grueso de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del Molde + Material Compactado	kg	40.395	40.430
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	30.420	30.455
DAR=M3/V1	Densidad Aparente Compactada	kg/dm ³	1.491	1.493
DARprom	Densidad Aparente Compactada Promedio	kg/dm ³	1.492	

Realizado por: David Valle



**3.1.1.12. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL
AGREGADO GRUESO**

NORMA: NTE-INEN 858
ENSAYADO POR: DAVID
ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 18/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO
GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 25. Densidad aparente suelta del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del molde + Material Suelto	kg	38.105	37.975
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	28.130	28.000
DAR=M3/V1	Densidad Aparente Suelta	kg/dm ³	1.379	1.372
DARprom	Densidad Aparente Suelta Promedio	kg/dm ³	1.375	

Realizado por: David Valle

Tabla 26. Densidad aparente compactada del agregado grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del Molde + Material Compactado	kg	40.700	40.625
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	30.725	30.650
DAR=M3/V1	Densidad Aparente Compactada	kg/dm ³	1.506	1.502
DARprom	Densidad Aparente Compactada Promedio	kg/dm ³	1.504	

Realizado por: David Valle



**3.1.1.13. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL
AGREGADO FINO**

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER **FECHA:** 13/05/2022

VALLE VALLE

Tabla 27. Densidad aparente suelta del agregado fino de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del molde + Material Suelto	kg	37.590	37.320
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	27.615	27.345
DAR=M3/V1	Densidad Aparente Suelta	kg/dm ³	1.353	1.340
DARprom	Densidad Aparente Suelta Promedio	kg/dm ³	1.347	

Realizado por: David Valle

Tabla 28. Densidad aparente compactada del agregado fino de la mina "Venecia 38".

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del Molde + Material Compactado	kg	39.610	39.495
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	29.635	29.520
DAF=M3/V1	Densidad Aparente Compactada	kg/dm ³	1.452	1.447
DAFprom	Densidad Aparente Compactada Promedio	kg/dm ³	1.450	

Realizado por: David Valle

3.1.1.14. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE-INEN 858
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 18/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO
 GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 29. Densidad aparente suelta del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del molde + Material Suelto	kg	38.195	37.275
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	28.220	27.300
DAF=M3/V1	Densidad Aparente Suelta	kg/dm ³	1.383	1.338
DAFprom	Densidad Aparente Suelta Promedio	kg/dm ³	1.360	

Realizado por: David Valle

Tabla 30. Densidad aparente compactada del agregado fino de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Peso del Molde	kg	9.975	9.975
V1	Volumen del Molde	dm ³	20.405	20.405
M2	Peso del Molde + Material Compactado	kg	39.705	39.730
M3=M2 - M1	Material Suelto	kg	29.730	29.755
DAF=M3/V1	Densidad Aparente Compactada	kg/dm ³	1.457	1.458
DAFprom	Densidad Aparente Compactada Promedio	kg/dm ³	1.458	

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Los valores de densidades de los agregados que se obtuvieron tanto suelto como compactado de ambas minas oscilan entre 1.347 kg/dm³ y 1.504 kg/dm³, siendo el valor menor correspondiente al árido fino de la mina "Venecia 38" y el valor mayor proveniente del árido grueso de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena", esto nos permite colocar a todas las densidades obtenidas dentro del rango de 1.120 kg/dm³ y 1.920 kg/dm³ que establece la NTE INEN 694 para áridos de masa unitaria normal. Además, se observó que las densidades aparentes del agregado grueso son mayores a las del agregado fino, lo que nos permite deducir que la densidad óptima de su mezcla tendrá un mayor porcentaje de gruesos que de finos.

3.1.1.16. DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE-INEN 858

ORIGEN: VENECIA 38

ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER **FECHA:** 13/05/2022

VALLE VALLE

Tabla 31. Densidad óptima de los agregados de la mina "Venecia 38".

Porcentaje de Mezcla		Cantidad (kg)		Fino Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Densidad Aparente Mezcla (kg/dm ³)	Densidad Aparente Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.40	30.50	1.50	1.50
					40.43	30.53	1.50	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	44.27	34.37	1.69	1.70
					44.46	34.56	1.70	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	47.39	37.49	1.85	1.85
					47.65	37.75	1.86	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	49.24	39.34	1.94	1.95
					49.59	39.69	1.96	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	50.44	40.54	2.00	1.99
					50.20	40.30	1.99	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	48.54	38.64	1.90	1.90
					48.41	38.51	1.90	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	47.03	37.13	1.83	1.83
					47.17	37.27	1.84	

Realizado por: David Valle

Figura 8. Densidad óptima de los agregados de la mina "Venecia 38".



Realizado por: David Valle

Tabla 32. Resultados del ensayo de densidad óptima de la mina "Venecia 38".

Porcentaje máximo de arena (PMA)	39%	Porcentaje óptimo de arena (POA)	35%
Porcentaje máximo de ripio (PMR)	61%	Porcentaje óptimo de ripio (POR)	65%
Densidad aparente máxima (DAM)	1.9681 g/cm ³	Densidad aparente óptima (DAO)	1.9638 g/cm ³

Realizado por: David Valle

3.1.1.17. DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE-INEN 858
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 18/05/2022
ORIGEN: PLANTA DE ASFALTO
 GAD MUNICIPAL DE TENA

Tabla 33. Densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

Porcentaje de Mezcla		Cantidad (kg)		Fino Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Densidad Aparente Mezcla (kg/dm ³)	Densidad Aparente Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.70	30.73	1.51	1.50
					40.63	30.65	1.50	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.64	33.67	1.65	1.66
					44.02	34.05	1.67	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	47.28	37.30	1.83	1.81
					46.44	36.46	1.79	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	48.24	38.27	1.88	1.88
					48.46	38.48	1.89	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	48.66	38.69	1.90	1.89
					48.51	38.53	1.89	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	47.37	37.39	1.83	1.84
					47.56	37.58	1.84	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	46.28	36.30	1.78	1.76
					45.54	35.57	1.74	

Realizado por: David Valle

Figura 9. Densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".



Realizado por: David Valle

Tabla 34. Resultados del ensayo de densidad óptima de los agregados de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena".

Porcentaje máximo de arena (PMA)	38%	Porcentaje óptimo de arena (POA)	34%
Porcentaje máximo de ripio (PMR)	62%	Porcentaje óptimo de ripio (POR)	66%
Densidad aparente máxima (DAM)	1.8895 g/cm ³	Densidad aparente óptima (DAO)	1.8853 g/cm ³



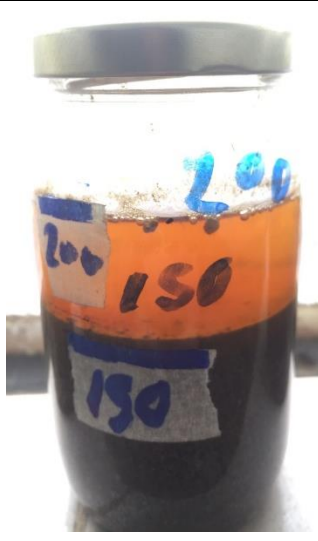
Realizado por: David Valle

3.1.1.18. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN

NORMA: NTE-INEN 855
ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 07/07/2022
PROCEDIMIENTO: COMPARADOR DE COLOR NORMALIZADO

Tabla 35. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino.

Placa orgánica	Venecia 38	Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena
		
Color normalizado escala de Gardner N°	8	11
Número de orden en el comparador	2	3

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Los colores resultantes del ensayo coinciden con el número 2 de la placa orgánica para el caso del árido fino de “Venecia 38” y para el agregado fino de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” coincide con el número 3. Debido a que ninguno es mayor al número 3, que es el color normalizado de referencia se determina que, de acuerdo con la NTE INEN 855, los áridos de ambas procedencias no contienen cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas.

3.1.1.19. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

NORMA: NTE-INEN 156
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE
MÉTODO: FRASCO LE
 CHATELIER

FECHA: 09/05/2022
MARCA: LAFARGE SELVALEGRE
 PLUS
TIPO: IP

Tabla 36. Cálculo de la densidad real del cemento

DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del Frasco	g	121.05
M2	Masa Inicial del Frasco + Gasolina	g	303.77
V1	Lectura Inicial del Frasco + Gasolina	cm ³	250.40
M3	Masa Final del Frasco + Gasolina + Cemento	g	367.77
V2	Lectura Final del Frasco + Gasolina + Cemento	cm ³	271.80
M4=M3 - M2	Masa del Cemento	g	64.00
V3=V2 - V1	Volumen del Cemento	cm ³	21.40
DRC=M4/V3	Densidad Real del Cemento	g/cm ³	2.99

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: La densidad calculada de 2.99 g/cm³ resultante del ensayo realizado corresponde a los valores esperados para un cemento de tipo IP (Pórtland Puzolánico) por lo que es recomendable para la elaboración de hormigones de excelente resistencia mecánica.

3.1.1.20. DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN DE $f'_c=24$ MPa

El método escogido para realizar el diseño de la mezcla del hormigón es el método de dosificación óptima para el cual se requieren los datos obtenidos mediante los ensayos de caracterización de los agregados anteriormente realizados junto con el dato resultante del ensayo realizado en el cemento seleccionado.

El motivo por el cual se determinó utilizar el método de dosificación óptima es debido a que este propone hacer uso de una cantidad mínima de pasta para obtener un hormigón de buena calidad haciendo que la combinación de granulados deje el menor porcentaje de vacíos. A continuación, se presenta un listado de los datos requeridos por el método y su nomenclatura.

Tabla 37. Requisitos y nomenclatura para la dosificación del hormigón.

DRA	Densidad Real de la Arena	DOM	Densidad Óptima de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	CAA	Capacidad de Absorción de la Arena
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	CAR	Capacidad de Absorción del Ripio
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	CHA	Contenido de Humedad de la Arena
DAA	Densidad Aparente de la Arena	CHR	Contenido de Humedad del Ripio
DAR	Densidad Aparente del Ripio	DRC	Densidad Real del Cemento

Realizado por: David Valle

En base a la resistencia que se pretende obtener se determina el valor de la relación Agua/Cemento que se utilizará en el cálculo. Siendo que la resistencia de diseño es de 240 kg/cm^2 , el valor correspondiente es 0.56 de acuerdo con la tabla 4. Además, en base al asentamiento requerido, será necesario una cierta cantidad de pasta para llenar los vacíos que deja el árido y darle una mejor trabajabilidad al hormigón. Ver tabla 38.

Tabla 38. Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido.

Asentamiento en cm	Cantidad de Pasta en %
0 - 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 - 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 - 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 - 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 - 15	POV + 2% + 13%(POV)

*Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón
Ing. Marco Garzón C. 2010*

Para el diseño del hormigón a elaborar se seleccionó un asentamiento de 6 a 9 cm debido a que este permite una mejor trabajabilidad a la mezcla y una consistencia plástica.

Mezclas de Prueba

Es recomendable realizar las mezclas de prueba para verificar que el hormigón diseñado si cumple con las condiciones de trabajabilidad, consistencia, uniformidad, cohesión y resistencia, de manera que, si la mezcla no cumple con estas condiciones se hagan las respectivas correcciones para posteriormente elaborar el hormigón definitivo.

Para comprobar que el hormigón cumplirá con la resistencia requerida se fabrican tres probetas por mezcla que serán ensayadas a los 7 días y se observa que estas en promedio resistan entre un 65 % al 75 % de la resistencia final de diseño, es decir, la resistencia requerida a los 28 días.

Diseño de la Mezcla de Prueba para la mina "Venecia 38"

Datos:

$f'c = 24$ MPa

W/C= 0.56 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6 – 9 cm

Tabla 39. Datos de la mina "Venecia 38"

DRA	2.62 g/cm ³	DOM	1.964 g/cm ³
DRR	2.73 g/cm ³	CAA	2.29 %
POA	35 %	CAR	0.62 %
POR	65 %	CHA	9.16 %
DAA	1.45 g/cm ³	CHR	0.76 %
DAR	1.49 g/cm ³	DRC	2.99 g/cm ³

Realizado por: David Valle

Densidad Real de la Mezcla (DRM):

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.62 * 35}{100} + \frac{2.73 * 65}{100}$$

$$DRM = 2.69 \text{ g/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV):

$$POV = \frac{DRM - DOM * 100}{DRM}$$

$$POV = \frac{2.69 - 1.964 * 100}{2.69}$$

$$POV = 27.04\%$$

Cantidad de pasta (CP):

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 27.04 + 2 + 0.08(27.04)$$

$$CP = 312.00$$

Cantidad de cemento para 1 metro cúbico de hormigón (C):

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{312.00}{0.56 + \frac{1}{2.99}}$$

$$C = 348.82 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de agua para 1 metro cúbico de hormigón (W):

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 348.82 * 0.56$$

$$W = 195.38 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de arena para 1 metro cúbico de hormigón (A):

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 312.00) * 2.62 * 35}{100}$$

$$A = 630.90 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de ripio para 1 metro cúbico de hormigón (R):

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(1000 - 312.00) * 2.73 * 65}{100}$$

$$R = 1220.86$$

Con los datos calculados hasta ahora se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg necesaria para el ensayo considerando la cantidad de cilindros y sus dimensiones.

Tabla 40. *Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros.*

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	195.34	0.56	1.29
C	348.82	1.00	2.31
A	630.90	1.81	4.18
R	1220.86	3.50	8.08

Realizado por: David Valle

Seguido de haber calculado las cantidades para el ensayo se realiza una corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$Acorregida = A * \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$Acorregida = 4.18 * \frac{100 + 9.16}{100 + 2.29}$$

$$Acorregida = 4.458 \text{ kg}$$

Ripio

$$R_{\text{corregido}} = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$R_{\text{corregido}} = 8.08 * \frac{100 + 0.76}{100 + 0.62}$$

$$R_{\text{corregido}} = 8.096 \text{ kg}$$

Agua

$$W_{\text{corregida}} = 1.002 \text{ kg}$$

Tabla 41. Corrección por humedad de las cantidades de material.

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.56	1.00
C	1.00	2.31
A	1.81	4.45
R	3.50	8.09

Realizado por: David Valle

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión obteniéndose como dosificación final la siguiente:

Tabla 42. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.52	1.38
C	1.00	3.05
A	1.73	4.46
R	3.34	8.11

Realizado por: David Valle

Asentamiento conseguido con las correcciones= 6.5 cm

Diseño de Mezcla de Prueba para la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”

Datos:

$f'c = 24$ MPa

W/C= 0.56 (Relación Agua/Cemento)

Asentamiento: 6 – 9 cm

Tabla 43. Datos de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"

DRA	2.59 g/cm ³	DOM	1.885 g/cm ³
DRR	2.88 g/cm ³	CAA	2.45 %
POA	34 %	CAR	1.04 %
POR	66 %	CHA	12.29 %
DAA	1.46 g/cm ³	CHR	2.16 %
DAR	1.50 g/cm ³	DRC	2.99 g/cm ³

Realizado por: David Valle

Densidad Real de la Mezcla (DRM):

$$DRM = \frac{DRA * POA}{100} + \frac{DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.59 * 34}{100} + \frac{2.88 * 66}{100}$$

$$DRM = 2.78 \text{ g/cm}^3$$

Porcentaje óptimo de vacíos (POV):

$$POV = \frac{DRM - DOM * 100}{DRM}$$

$$POV = \frac{2.78 - 1.885 * 100}{2.78}$$

$$POV = 32.23\%$$

Cantidad de pasta (CP):

$$CP = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = 32.23 + 2 + 0.08(32.23)$$

$$CP = 368.07$$

Cantidad de cemento para 1 metro cúbico de hormigón (C):

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{411.50}{0.56 + \frac{1}{2.99}}$$

$$C = 411.50 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de agua para 1 metro cúbico de hormigón (W):

$$W = C * \frac{W}{C}$$

$$W = 411.50 * 0.56$$

$$W = 230.44 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de arena para 1 metro cúbico de hormigón (A):

$$A = \frac{(1 - CP) * DRA * POA}{100}$$

$$A = \frac{(1000 - 368.07) * 2.59 * 34}{100}$$

$$A = 556.48 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de ripio para 1 metro cúbico de hormigón (R):

$$R = \frac{(1 - CP) * DRR * POR}{100}$$

$$R = \frac{(1000 - 368.07) * 2.88 * 66}{100}$$

$$R = 1201.18$$

Con los datos calculados hasta ahora se procede a realizar la dosificación y se calcula la cantidad en kg necesaria para el ensayo considerando la cantidad de cilindros y sus dimensiones.

Tabla 44. Dosificación al peso del hormigón para 3 cilindros.

Dosificación al peso			
Material	Cantidad en kg	Dosificación al peso	Cantidades en kg para ensayo
W	230.44	0.56	1.53
C	411.50	1.00	2.73
A	556.48	1.35	3.69
R	1201.18	2.92	7.96

Realizado por: David Valle

Seguido de haber calculado las cantidades para el ensayo se realiza la corrección por humedad que reajusta las cantidades de agua, arena y ripio.

Corrección por humedad

Arena

$$A_{\text{corregida}} = A * \frac{100 + CHA}{100 + CAA}$$

$$A_{\text{corregida}} = 4.18 * \frac{100 + 12.29}{100 + 2.45}$$

$$A_{\text{corregida}} = 4.04 \text{ kg}$$

Ripio

$$R_{\text{corregido}} = R * \frac{100 + CHR}{100 + CAR}$$

$$R_{\text{corregido}} = 8.08 * \frac{100 + 2.16}{100 + 1.04}$$

$$R_{\text{corregido}} = 8.05 \text{ kg}$$

Agua

$$W_{\text{corregida}} = 1.08 \text{ kg}$$

Tabla 45. Corrección por humedad de las cantidades de material.

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.56	1.08
C	1.00	2.73
A	1.35	4.04
R	2.92	8.05

Realizado por: David Valle

Una vez realizado los ensayos de prueba se realizaron varias correcciones por asentamiento y resistencia a compresión obteniéndose como dosificación final la siguiente:

Tabla 46. Dosificación final para 3 cilindros de hormigón.

Material	Dosificación al peso	Cantidades corregidas en kg
W	0.52	1.49
C	1.00	3.23
A	1.29	4.05
R	2.79	8.06

Realizado por: David Valle

Asentamiento conseguido con las correcciones= 8.4 cm

RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA ENSAYADOS A COMPRESIÓN SIMPLE A LA EDAD DE 7 DÍAS

Se realizaron distintas mezclas de prueba que ayudaron a determinar cambios en ciertos valores de diseño como es la relación Agua /Cemento, esto debido a que inicialmente la resistencia obtenida era inferior a la mínima requerida al séptimo día para 24 MPa de diseño. Finalmente, las mezclas definitivas que establecieron la dosificación definitiva y por ende las cantidades adecuadas de los materiales fueron las presentadas en la Tabla 42 para la mina “Venecia 38” y en la Tabla 46 para la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”, sus resultados se aprecian a continuación:

3.1.1.21. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE PRUEBA

MÉTODO: DENSIDAD ÓPTIMA
ENSAYADO POR: DAVID ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 31/05/2022
RESISTENCIA EFECTIVA: 24 MPa

Tabla 47. Resultados del ensayo a compresión simple en cilindros de prueba.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (MPa)	PORCENTAJE (%)
VENECIA 38	PE1-7	7	100	200	17.87	74.46
	PE2-7	7	100	200	16.21	67.54
	PE3-7	7	100	200	17.59	73.29
PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA	PA1-7	7	100	200	17.97	74.88
	PA2-7	7	100	200	17.74	73.92
	PA3-7	7	100	200	17.57	73.21

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Como se puede observar, las resistencias obtenidas de las probetas elaboradas con agregados provenientes de la mina “Venecia 38” y de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” se encuentran dentro del rango 65% - 75% de la resistencia especificada a la edad de 7 días, lo que indica un buen desarrollo de sus resistencias y garantiza que los hormigones cumplirán con los requisitos que establece la NTE INEN 1855 para el caso de resistencia especificada de 35 MPa o menor, a la edad de 28 días.

3.1.1.22. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO DE LOS CILINDROS DEFINITIVOS

Tabla 48. Propiedades del hormigón fresco de la mina "Venecia 38".

ORIGEN:		"VENECIA 38"				ASENTAMIENTO:		6.5 cm	FECHA:	8 de junio de 2022
ENSAYADO POR:		DAVID ALEXANDER VALLE VALLE				NORMA:		NTE INEN 1576 - NTE INEN 1578		
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m ²)	Volumen Molde (m ³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
E1-7	7	0.1	0.2	0.0079	0.0016	5.170	9.090	3.920	2450.00	2518.23
E2-7		0.1	0.2	0.0079	0.0016	5.185	9.100	3.915	2446.88	
E3-7		0.1	0.2	0.0079	0.0016	5.160	9.090	3.930	2456.25	
E4-14	14	0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.590	8.760	4.170	2606.25	
E5-14		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.800	8.950	4.150	2593.75	
E6-14		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.725	8.915	4.190	2618.75	
E7-21	21	0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.755	8.855	4.100	2562.50	
E8-21		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.760	8.910	4.150	2593.75	
E9-21		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.690	8.830	4.140	2587.50	
E10-28	28	0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.695	8.840	4.145	2590.63	
E11-28		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.740	11.520	3.780	2362.50	
E12-28		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.720	11.480	3.760	2350.00	

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2518.23 kg/m³ valor que al ser superior a 2160 kg/m³ cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal en conformidad con la ACI 318-19. Con un revenimiento de 6.5 cm se determina que cumple con el asentamiento propuesto, ya que está dentro del rango permitido de 8 ± 2.5 cm.

Tabla 49. Propiedades del hormigón fresco de la "Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena"

ORIGEN:		"PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA"				ASENTAMIENTO:		8.4 cm	FECHA:		9 de junio de 2022
ENSAYADO POR:		DAVID ALEXANDER VALLE VALLE				NORMA:		NTE INEN 1576 - NTE INEN 1578			
Nombre	Edad (días)	Diámetro Molde (m)	Altura Molde (m)	Área Molde (m²)	Volumen Molde (m³)	Peso Molde (Kg)	Peso Molde + Hormigón (Kg)	Peso Hormigón (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio (Kg/m³)	
A1-7	7	0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.700	8.770	4.070	2543.75	2379.69	
A2-7		0.1	0.2	0.0079	0.0016	4.620	8.745	4.125	2578.13		
A3-7		0.1	0.2	0.0079	0.0016	5.120	9.280	4.160	2600.00		
A4-14	14	0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.735	11.455	3.720	2325.00		
A5-14		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.685	11.380	3.695	2309.38		
A6-14		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.740	11.430	3.690	2306.25		
A7-21	21	0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.730	11.445	3.715	2321.88		
A8-21		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.720	11.405	3.685	2303.13		
A9-21		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.710	11.420	3.710	2318.75		
A10-28	28	0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.725	11.440	3.715	2321.88		
A11-28		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.720	11.415	3.695	2309.38		
A12-28		0.1	0.2	0.0079	0.0016	7.710	11.420	3.710	2318.75		

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: A través de la aplicación de la NTE INEN 1576, se obtuvo una densidad promedio del hormigón en estado fresco de 2379.69 kg/m³ valor que es superior a 2160 kg/m³, por ende, cumple con las especificaciones para hormigón de peso normal en conformidad con la ACI 318-19. Con un revenimiento de 8.4 cm se determina que cumple con el asentamiento propuesto, ya que está dentro del rango permitido de 8 ± 2.5 cm.

3.1.1.23. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 7 DÍAS

MÉTODO: DENSIDAD ÓPTIMA
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 15 y 16 de junio, 2022
RESISTENCIA EFECTIVA: 24 MPa

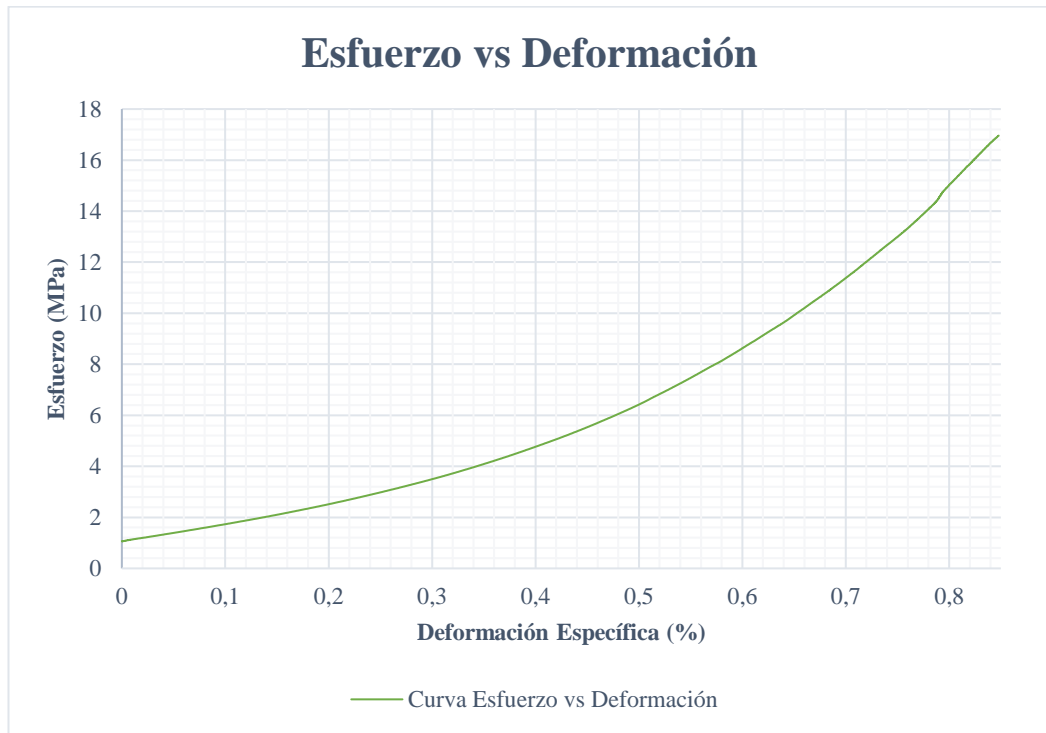
Tabla 50. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 7 días.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (MPa)	PORCENTAJE (%)
VENECIA 38	E1-7	7	100	200	16.96	70.67
	E2-7	7	100	200	17.20	71.68
	E3-7	7	100	200	17.48	72.83
PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA	A1-7	7	100	200	17.03	70.95
	A2-7	7	100	200	16.03	66.81
	A3-7	7	100	200	17.50	72.90

Realizado por: David Valle

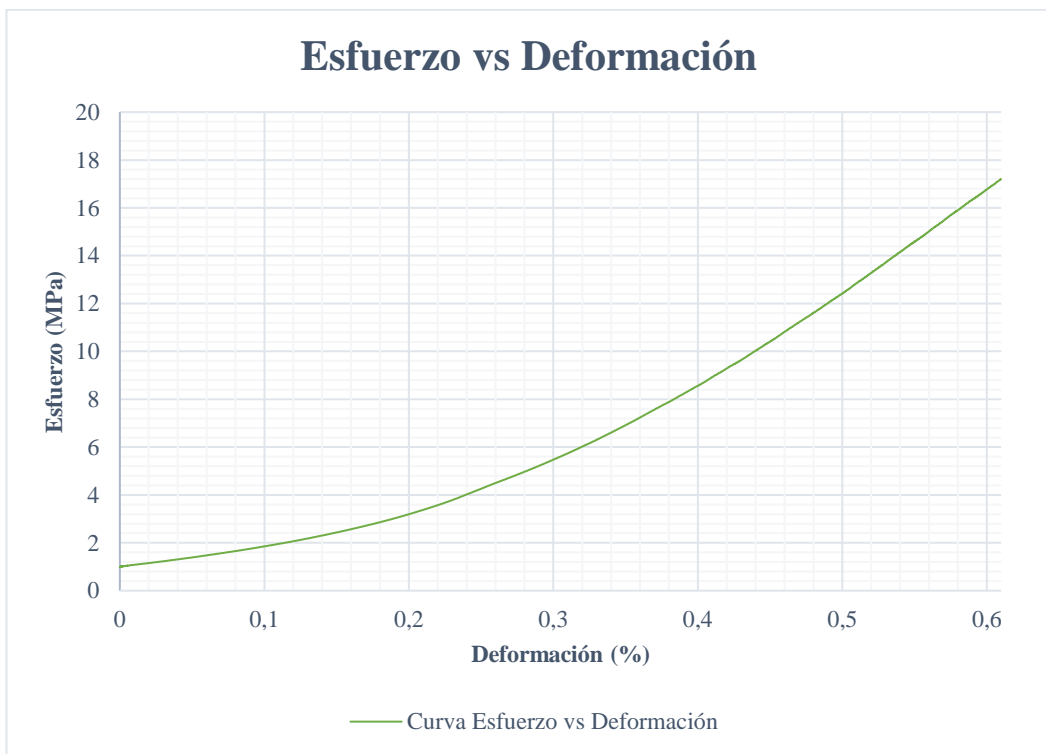
Análisis y discusión: Las resistencias obtenidas de las probetas elaboradas con agregados provenientes de la mina “Venecia 38” y de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” se encuentran dentro del rango 65% - 75% de la resistencia especificada a la edad de 7 días, lo que indica un buen desarrollo de sus resistencias y garantiza que los hormigones cumplirán con los requisitos que establece la NTE INEN 1855 para el caso de resistencia especificada de 35 MPa o menor, a la edad de 28 días.

Figura 10. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E1-7



Realizado por: David Valle

Figura 11. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E2-7



Realizado por: David Valle

Figura 12. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E3-7.



Realizado por: David Valle

Figura 13. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A1-7.



Realizado por: David Valle

Figura 14. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A2-7.



Realizado por: David Valle

Figura 15. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A3-7.



Realizado por: David Valle

**3.1.1.24. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO
A LA EDAD DE 14 DÍAS**

MÉTODO: DENSIDAD ÓPTIMA
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 22 y 23 de junio, 2022
RESISTENCIA EFECTIVA: 24 MPa

Tabla 51. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 14 días.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (MPa)	PORCENTAJE (%)
VENECIA 38	E4-14	14	100	200	19.70	82.08
	E5-14	14	100	200	21.48	89.48
	E6-14	14	100	200	19.73	82.21
PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA	A4-14	14	100	200	19.85	82.70
	A5-14	14	100	200	20.75	86.44
	A6-14	14	100	200	20.28	84.50

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión de resultados: Mediante los ensayos a compresión efectuados el 22 de junio para las probetas de la mina “Venecia 38” se obtuvo resistencias acordes a las esperadas, ya que se hallan dentro del rango 80 – 90 % de la resistencia especificada. Para las probetas de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” correspondió realizarse los ensayos el 23 de junio para que cumpla los 14 días de madurez, ensayos que dieron resultados positivos al mantenerse las resistencias obtenidas dentro del 80 – 90% de la resistencia especificada.

Figura 16. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E4-14.



Realizado por: David Valle

Figura 17. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E5-14.



Realizado por: David Valle

Figura 18. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E6-14.



Realizado por: David Valle

Figura 19. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A4-14.



Realizado por: David Valle

Figura 20. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A5-14.



Realizado por: David Valle

Figura 21. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A6-14.



Realizado por: David Valle

3.1.1.25. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 21 DÍAS

MÉTODO: DENSIDAD ÓPTIMA
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 29 y 30 de junio, 2022
RESISTENCIA EFECTIVA: 24 MPa

Tabla 52. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 21 días.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (MPa)	PORCENTAJE (%)
VENECIA 38	E7-21	21	100	200	22.06	91.90
	E8-21	21	100	200	22.38	93.26
	E9-21	21	100	200	24.69	102.88
PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA	A7-21	21	100	200	21.78	90.75
	A8-21	21	100	200	24.36	101.49
	A9-21	21	100	200	22.96	95.68

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión de resultados: Mediante los ensayos a compresión efectuados el 29 de junio para las probetas de la mina “Venecia 38” se obtuvo resistencias acordes a las esperadas, ya que se hallan dentro del rango 90 – 100 % de la resistencia especificada. Para las probetas de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” correspondió realizarse los ensayos el 30 de junio para que cumpla los 21 días de madurez, ensayos que dieron resultados positivos al mantenerse las resistencias obtenidas dentro del 90 y 100% de la resistencia especificada con excepción de la resistencia 24.36 MPa que supera el 100%.

Figura 22. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E7-21.



Realizado por: David Valle

Figura 23. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E8-21.



Realizado por: David Valle

Figura 24. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E9-21.



Realizado por: David Valle

Figura 25. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A7-21.



Realizado por: David Valle

Figura 26. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A8-21.



Realizado por: David Valle

Figura 27. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A9-21.



Realizado por: David Valle

3.1.1.26. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DEFINITIVO A LA EDAD DE 28 DÍAS

MÉTODO: DENSIDAD ÓPTIMA
ENSAYADO POR: DAVID
 ALEXANDER VALLE VALLE

FECHA: 05 y 06 de julio, 2022
RESISTENCIA EFECTIVA: 24 MPa

Tabla 53. Resistencia a compresión del hormigón definitivo a la edad de 28 días.

ORIGEN	PROBETA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	ESFUERZO (MPa)	PORCENTAJE (%)
VENECIA 38	E10-28	28	100	200	23.49	97.88
	E11-28	28	100	200	25.31	105.36
	E12-28	28	100	200	24.07	100.30
PLANTA DE ASFALTO GAD MUNICIPAL DE TENA	A10-28	28	100	200	24.45	101.86
	A11-28	28	100	200	26.39	109.95
	A12-28	28	100	200	24.46	101.93

Realizado por: David Valle

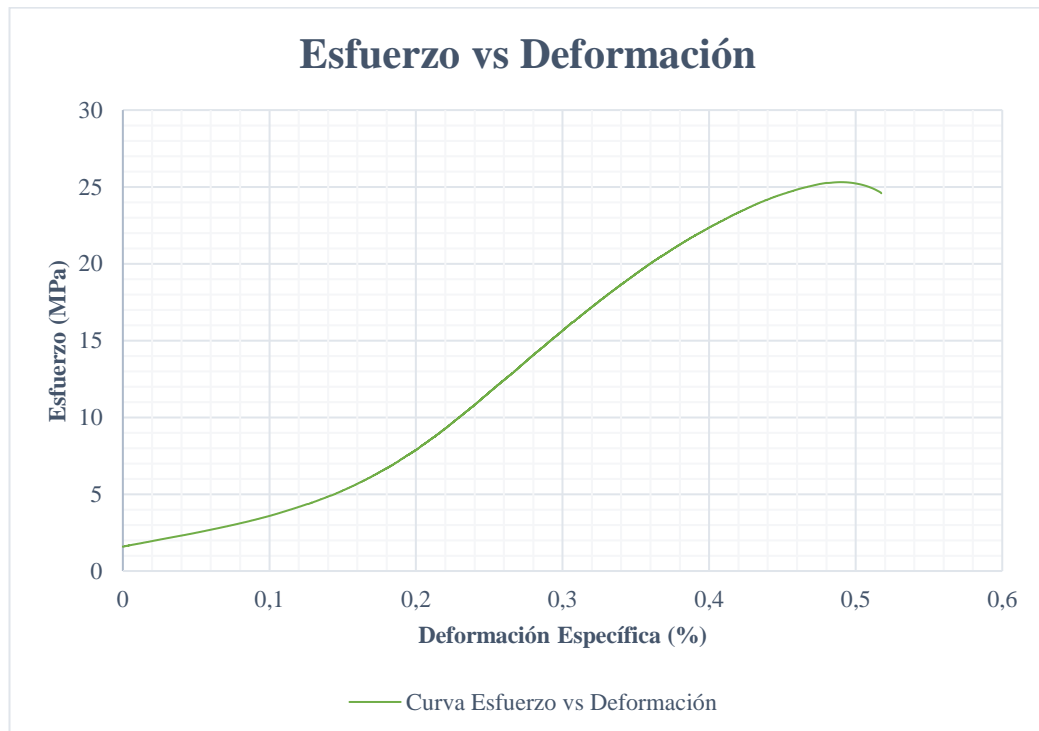
Análisis y discusión de resultados: Mediante los ensayos a compresión efectuados el 05 de julio para las probetas de la mina “Venecia 38” se obtuvo las resistencias de 25.31, 24.07 y 23.49 MPa, considerando que la resistencia efectiva es de 24 MPa se concluye que 2 de las tres probetas cumplen con la resistencia, sin embargo, en promedio la resistencia de las 3 probetas dan un valor de 24.29 MPa y la resistencia individual de 23.49 MPa no se encuentra por debajo de la resistencia especificada, en más de 3.5 MPa, lo que de acuerdo con la NTE INEN 1855 cumple con los requisitos de resistencia. Por otro lado, las probetas ensayadas el 6 de julio de la “Planta GAD Municipal de Tena” dio resistencias superiores a la especificada.

Figura 28. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E10-28.



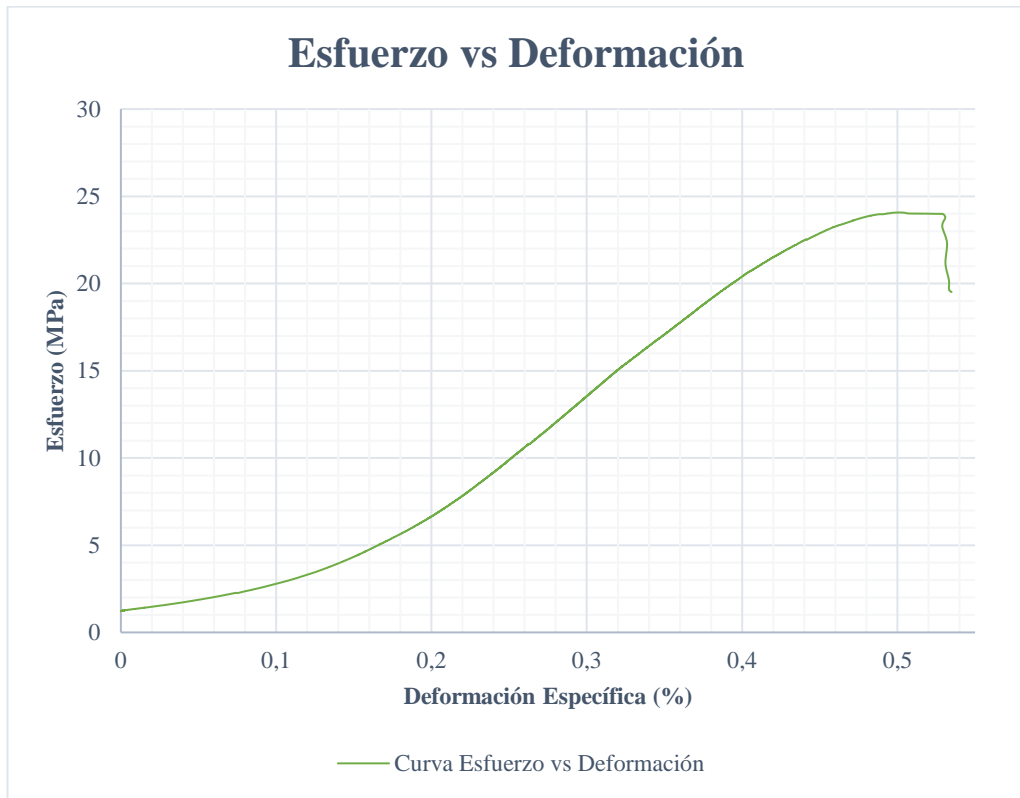
Realizado por: David Valle

Figura 29. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E11-28.



Realizado por: David Valle

Figura 30. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta E12-28.



Realizado por: David Valle

Figura 31. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A10-28.



Realizado por: David Valle

Figura 32. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A11-28.



Realizado por: David Valle

Figura 33. Curva Esfuerzo vs Deformación de la probeta A12-28.



Realizado por: David Valle

3.1.1.27. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Utilizando los datos de las Tablas 50, 51, 52 y 53 se calcula la media aritmética de las resistencias resultantes agrupándolos por edad y procedencia, estos valores servirán para realizar la curva de resistencia del hormigón en función del tiempo que se propuso obtener en los objetivos de este informe.

Media aritmética de resistencias de las probetas de “Venecia 38”

Edad de 7 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{16.96 + 17.20 + 17.87}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 17.34 \text{ MPa}$$

Edad de 14 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{19.70 + 21.48 + 19.73}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 20.30 \text{ MPa}$$

Edad de 21 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{22.06 + 22.38 + 24.69}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 23.04 \text{ MPa}$$

Edad de 28 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{25.31 + 24.07 + 23.49}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 24.29 \text{ MPa}$$

Media aritmética de resistencias de las probetas de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”

Edad de 7 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{17.03 + 16.03 + 17.50}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 16.85 \text{ MPa}$$

Edad de 14 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{19.85 + 20.75 + 20.28}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 20.29 \text{ MPa}$$

Edad de 21 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{21.78 + 24.36 + 22.96}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 23.03 \text{ MPa}$$

Edad de 28 días

$$f'c \text{ prom} = \frac{f'c1 + f'c2 + f'c3}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = \frac{25.31 + 24.07 + 23.49}{3}$$

$$f'c \text{ prom} = 25.10 \text{ MPa}$$

Los resultados de los promedios calculados correspondientes a la mina “Venecia 38” se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 54. Datos Resistencia en Función del Tiempo (“Venecia 38”)

TIEMPO	RESISTENCIA	
	Días	MPa
7	17.34	72.27
14	20.30	84.59
21	23.04	96.01
28	24.29	101.21

Realizado por: David Valle

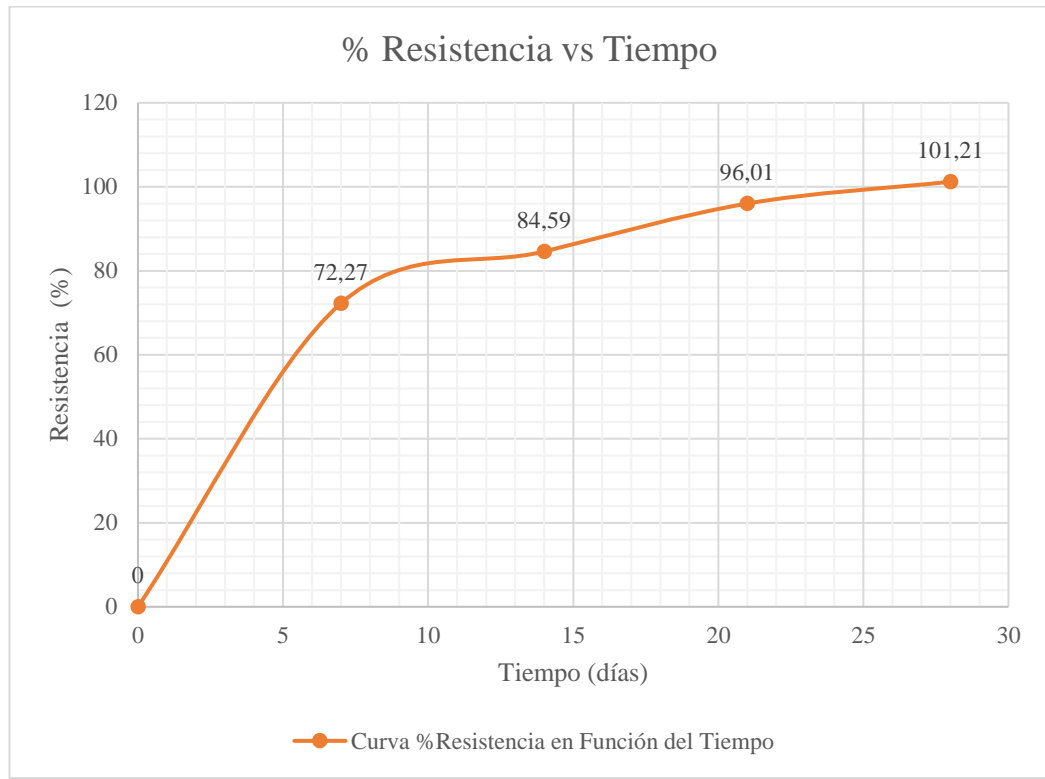
Haciendo uso de los datos de la tabla 54 elaboramos la curva de incremento de resistencia del hormigón en función del tiempo de madurez.

Figura 34. Diagrama de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Venecia 38”).



Realizado por: David Valle

Figura 35. Diagrama del Porcentaje de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Venecia 38”).



Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Se aprecia un crecimiento normal respecto al incremento de resistencia en función del tiempo transcurrido a causa de que las probetas estuvieron en condiciones adecuadas de curado continuo que permitió al hormigón desarrollar el máximo de su resistencia potencial. Considerando que la resistencia a los 28 días alcanzó el 101.21% de la resistencia especificada de 24 MPa, se puede decir que la mezcla determinada por el método de la densidad óptima cumple con su propósito.

Los resultados de los promedios calculados correspondientes a la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” se resumen en la siguiente tabla:

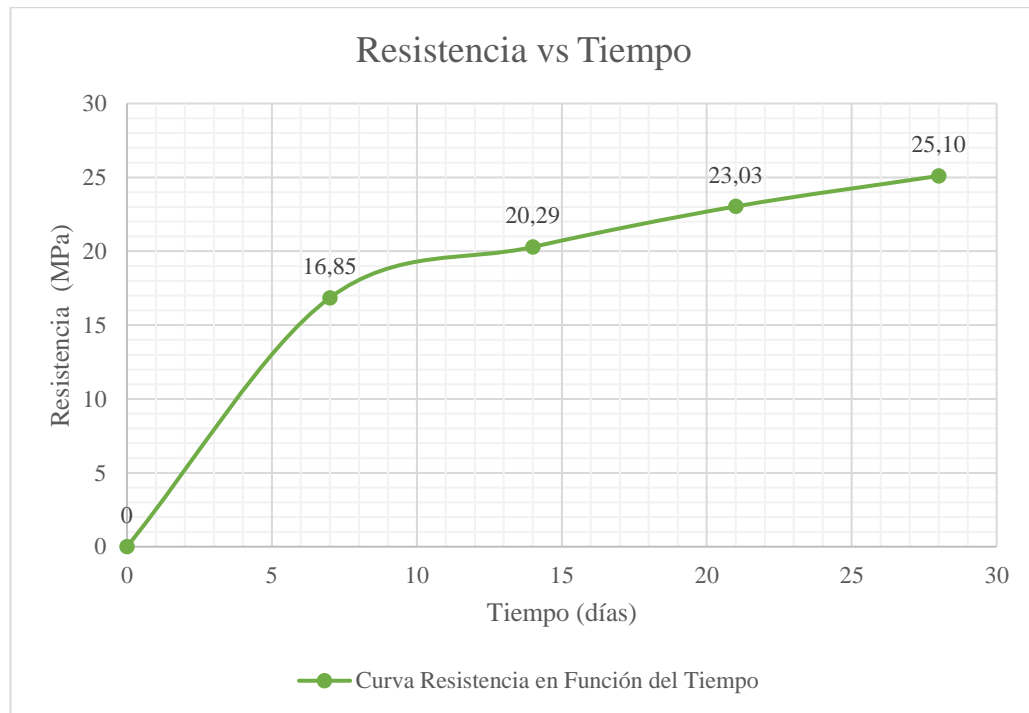
Tabla 55. Datos Resistencia en Función del Tiempo (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”).

EDAD días	RESISTENCIA	
	MPa	%
7	16.85	70.22
14	20.29	84.55
21	23.03	95.98
28	25.10	104.58

Realizado por: David Valle

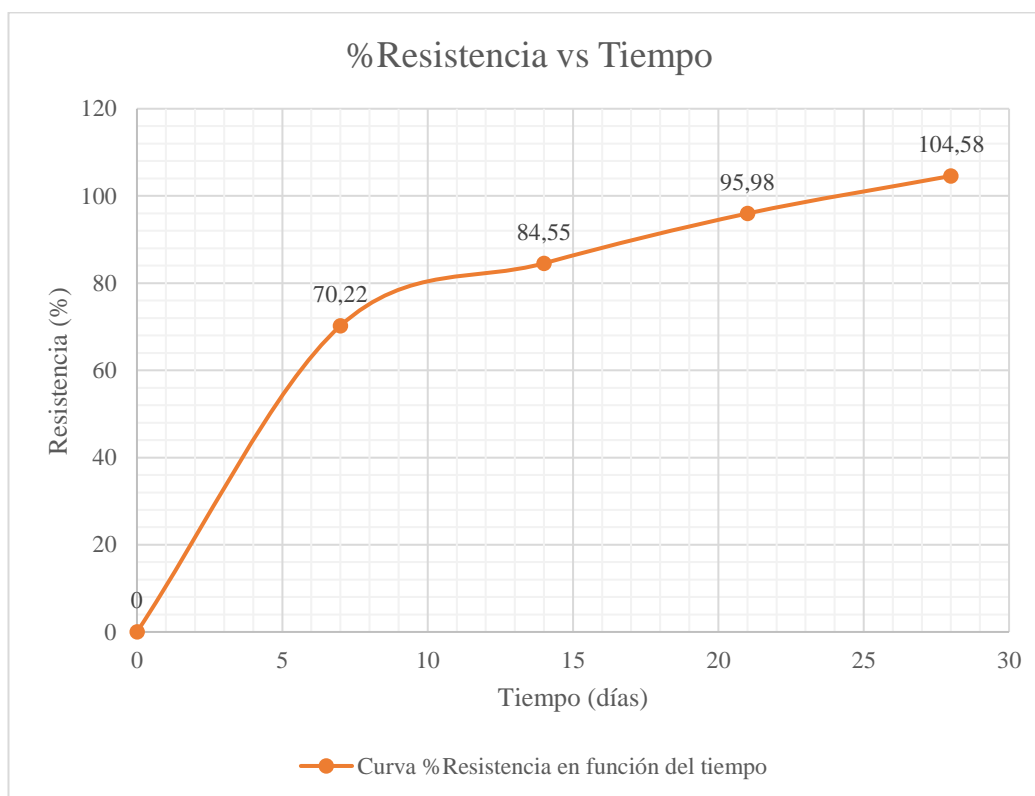
Con los datos de la tabla 55 elaboramos la curva de incremento de resistencia del hormigón en función del tiempo de madurez.

Figura 36. Diagrama de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”).



Realizado por: David Valle

Figura 37. Diagrama del Porcentaje de Resistencia del Hormigón en Función del Tiempo (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”).



Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: La curva de resistencia vs tiempo nos muestra un crecimiento normal del esfuerzo en función del tiempo, gracias a que el hormigón estuvo en condiciones adecuadas de curado, permaneciendo suficientemente húmedo y de forma continua en la cámara de curado del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, lo que permitió al hormigón desarrollar el máximo de su resistencia potencial. Considerando que la resistencia a la edad de 28 días alcanzó el 104.58% de la resistencia especificada de 24 MPa, se puede decir que la mezcla determinada por el método de la densidad óptima cumple con su propósito.

3.1.1.27. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN

Para determinar el módulo estático del hormigón se emplearán las fórmulas teóricas que propone el comité ACI 318, ACI 363 y el método experimental aplicado en este informe. Adicionalmente se calculará con la fórmula propuesta por Yucato [21] que, de acuerdo con su informe, permite determinar el módulo de elasticidad estático en hormigones elaborados con agregados de la mina “Río Anzu” la cual actualmente se conoce como “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”.

Las fórmulas aplicadas son las siguientes:

ACI 318

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

ACI 363

$$E_c = 3320\sqrt{f'_c} + 6900$$

YUCATO

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

MÉTODO EXPERIMENTAL ASTM-C469

$$E_c = \frac{0.4\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

Comentario: Debido a que la fórmula que propone Yucato es idéntica a la que establece el ACI 318, se omite el cálculo adicional con esta expresión.

Los cilindros que fueron adaptados para el ensayo a compresión simple con fines de obtención del módulo de elasticidad estático son los correspondientes a los de 28 días de edad.

Los datos resultantes de la aplicación de cada una de las fórmulas se resumen en las tablas a continuación.

Tabla 56. Módulo de Elasticidad Estático con la Fórmula ACI-318.

ORIGEN	f'c (MPa)	Módulo de Elasticidad Estático ACI-318 (MPa)	MEE PROMEDIO (MPa)
Venecia 38	23.49	22779.82	23161.53
	25.31	23645.36	
	24.07	23059.41	
Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	24.45	23238.67	23542.86
	26.39	24143.55	
	24.46	23246.36	

Realizado por: David Valle

Tabla 57. Módulo de Elasticidad Estático con la Fórmula ACI-363.

ORIGEN	f'c (MPa)	Módulo de Elasticidad Estático ACI-363 (MPa)	MEE PROMEDIO (MPa)
Venecia 38	23.49	22991.28	23260.91
	25.31	23602.68	
	24.07	23188.78	
Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	24.45	23315.40	23530.27
	26.39	23954.59	
	24.46	23320.83	

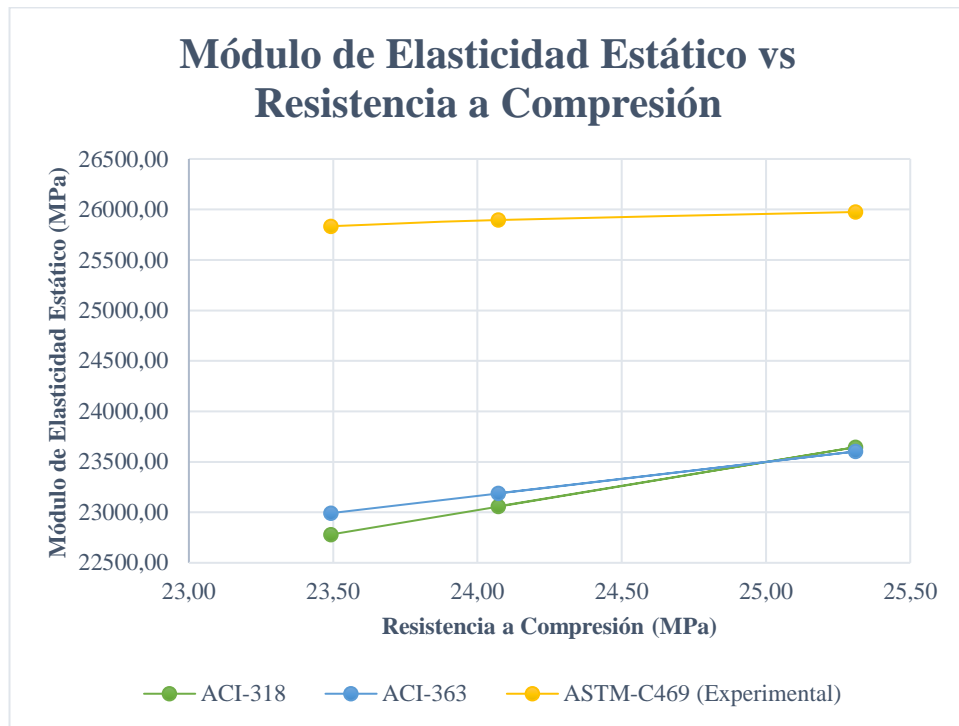
Realizado por: David Valle

Tabla 58. Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469.

ORIGEN	f'c (MPa)	Módulo de Elasticidad Estático Experimental ASTM-C469 (MPa)	MEE PROMEDIO (MPa)
Venecia 38	23.49	25833.89	25901.20
	25.31	25974.62	
	24.07	25895.09	
Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	24.45	23650.11	23848.26
	26.39	24201.56	
	24.46	23693.12	

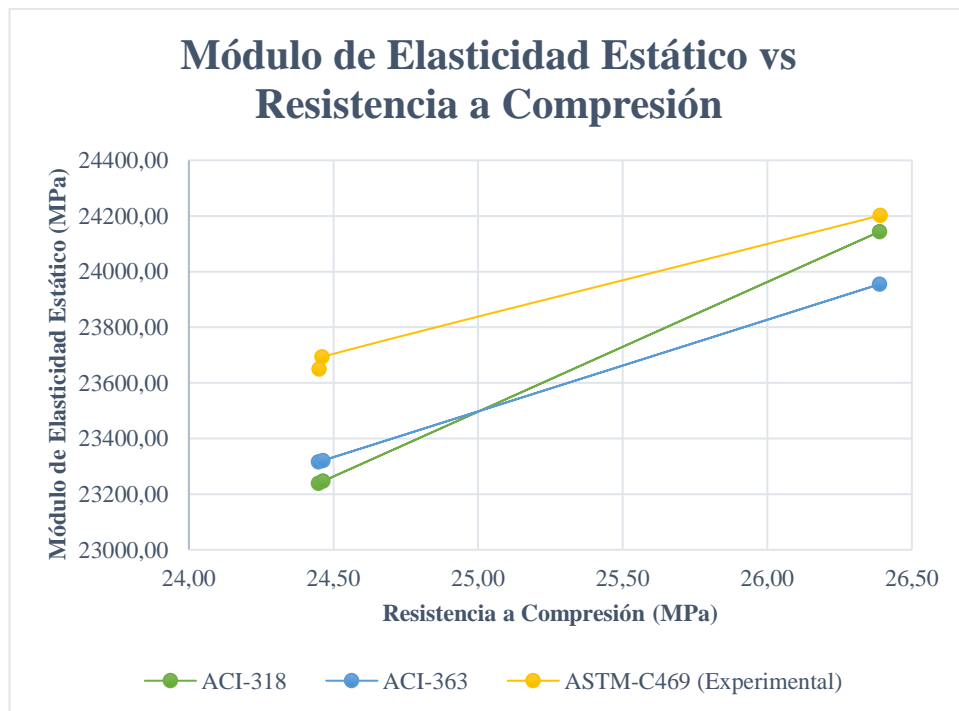
Realizado por: David Valle

Figura 38. Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático y la Resistencia a Compresión (Venecia 38)



Realizado por: David Valle

Figura 39. Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático y la Resistencia a Compresión (Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena).



Realizado por: David Valle

Considerando los datos obtenidos se realiza una comparación entre el Módulo de Elasticidad Estático (MEE) experimental calculado conforme a la ASTM-C469 y los Módulos de Elasticidad Estático (MEE) teóricos que propone la ACI-318 y ACI-363.

$$\%relación = \frac{MEE\ ASTM - C469}{MEE\ ACI}$$

MEE= Módulo de Elasticidad Estático

Tabla 59. Relación del Módulo de Elasticidad Estático experimental con los Módulos de Elasticidad Estáticos teóricos.

ORIGEN	f'c (MPa)	Módulo de Elasticidad Estático (MPa)			Relación ASTM 469 (%)	
		ACI-318	ACI-363	Experimental ASTM-C469	ACI-318	ACI-363
Venecia 38	24.29	23161.53	23260.91	25901.20	111.83	111.35
Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena	24.61	23542.86	23530.27	23848.26	101.30	101.35

Realizado por: David Valle

Análisis y discusión: Se puede apreciar que para la mina “Venecia 38” el Módulo de Elasticidad Estático calculado experimentalmente es superior a las calculadas con las fórmulas del ACI 318 y ACI 363 en un 11.83% y 11.35% respectivamente, mientras que para la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” la diferencia es mínima, siendo apenas un 1.30% y 1.35% superior el Módulo de Elasticidad Estático experimental a los Módulos de Elasticidad Estático ACI-318 y ACI-363.

3.1.1.28. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Determinación de la Resistencia Característica del Hormigón

Con el objetivo de obtener una ecuación que considere la variación que puede tener la resistencia a compresión del hormigón a causa de factores como: la calidad de ejecución de la obra o la variabilidad en la homogeneidad de sus componentes, se determinó utilizar la resistencia característica, ya que esta se mide en términos probabilísticos, tal que, si se ensayan varias muestras de hormigón, el 95% de las probetas tienen resistencias mayores o iguales, lo que da a lugar a que la resistencia

media siempre sea mayor a la resistencia característica, es decir que la resistencia característica, nos garantiza un 95% de seguridad de la resistencia a compresión del hormigón. [22]

Mediante la realización de una distribución normalizada (campana de Gauss) de las resistencias a compresión obtenidas, la resistencia característica se pudo calcular a partir de la resistencia media y la desviación estándar con la siguiente expresión:

$$f'c = fm - 1.65\sigma$$

En donde:

$f'c$ = Resistencia característica

fm = Resistencia media

σ = Desviación estándar

Cálculo de la resistencia característica (“Venecia 38”)

$$f'c = fm - 1.65\sigma$$

$$f'c = 24.29 - 1.65(0.9297)$$

$$f'c = 22.76 \text{ MPa}$$

Cálculo de la resistencia característica (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”)

$$f'c = fm - 1.65\sigma$$

$$f'c = 25.099 - 1.65(1.1596)$$

$$f'c = 23.26 \text{ MPa}$$

Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad estático

La ecuación que se determina para el cálculo del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón está estructurada de manera similar a la propuesta por el comité ACI-318, de manera que, para establecerla es necesario definir el factor por el cual se debe multiplicar a la raíz cuadrada de la resistencia especificada. El factor se podrá calcular con la siguiente fórmula.

$$\beta = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

En donde:

β = factor

E_c = Módulo de Elasticidad Estático Característico del Hormigón

f'_c = Resistencia característica

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático (“Venecia 38”)

$$\beta = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}}$$

$$\beta = \frac{25784.77}{\sqrt{22.76}}$$

$$\beta = 5404.77$$

Ecuación teórica propuesta:

$$E_c = 5404.77\sqrt{f'_c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$E_c = 5400\sqrt{f'_c}$$

Ecuación del Módulo de Elasticidad Estático (“Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”)

$$\beta = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}}$$

$$\beta = \frac{23342.18}{\sqrt{23.26}}$$

$$\beta = 4839.90$$

Ecuación teórica propuesta:

$$E_c = 4839.90\sqrt{f'_c}$$

Ecuación práctica propuesta:

$$E_c = 4800\sqrt{f'_c}$$

3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

La resistencia del hormigón si influye en el módulo de elasticidad estático en el Cantón Tena, Provincia de Napo, ya que, los valores obtenidos de módulo de elasticidad del concreto fabricado con agregados de esta zona son mayores a los calculados con las fórmulas convencionales lo que se verá reflejado en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura construida con estos hormigones.

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1. Conclusiones

- Se determinó que el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón correspondiente al obtenido mediante la resistencia a compresión y la aplicación de la norma ASTM-C469 fue de 23848.26 MPa para aquel fabricado con agregados de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”, mientras que para el hormigón fabricado con agregados provenientes de la mina “Venecia 38” el Módulo de Elasticidad Estático fue de 25901.20 MPa.
- Se concluye que, con un valor promedio de 23848.26 MPa para el módulo de elasticidad estático correspondiente a los datos de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena”, este es 1.3 % superior al calculado con la fórmula que establece la ACI-318 y 1.35% mayor al calculado con la fórmula de la ACI-363, mientras que para el caso de la mina “Venecia 38” con un módulo de elasticidad estático de 25901.20 MPa, es 11.83% superior al calculado con la fórmula ACI-318 y 11.35% superior al calculado con la expresión de la ACI 363.
- Se determinó como medio para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón elaborado con agregados de la mina “Venecia 38” y cemento “Lafarge Selvalegre Plus tipo IP” la siguiente expresión:

$$E_c = 5400\sqrt{f'_c}$$

- Se determinó como medio para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón elaborado con agregados de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” y cemento “Lafarge Selvalegre Plus tipo IP” la siguiente fórmula:

$$E_c = 4800\sqrt{f'_c}$$

4.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar el ensayo de contenido de humedad de los agregados un día antes de la elaboración del hormigón para mejor precisión en el diseño de la mezcla por el método de la Densidad Óptima.
- Realizar un proceso de lavado a los agregados provenientes de las minas “Venecia 38” y “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” antes de

utilizarlos en la elaboración de hormigón para evitar un exceso de sustancias perjudiciales.

- Promover un control de granulometría de los agregados de las minas “Anzu” y “Venecia 38”, para que la distribución granulométrica de estos mejore y sean acordes a las especificaciones que solicita la NEC 2015.

4.2. BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Concrete Institute, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19), 2019.
- [2] R. Quimbay Herrera, «ESTIMACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO Y DEL MORTERO MEDIANTE TCTM,» Bogotá, 2012.
- [3] B. X. Vargas Alarcón, «Determinación de la Ecuación del módulo de elasticidad del concreto en base a la resistencia a la compresión simple, elaborado con los agregados de las canteras ISLA y YOCARA de la ciudad de Juliaca,» Juliaca, 2017.
- [4] J. Ispilco Infante y J. A. López Alaya, «Influencia de los agregados de las canteras Mashcón y Chonta para la obtención de módulos de elasticidad y rotura, en el diseño de pavimentos rígidos,» Cajamarca, 2017.
- [5] E. A. Bruno Castillo y J. C. Peralta López, «Determinación del módulo de elasticidad estático a compresión del concreto producido en la planta concretera Dino Chimbote,» Chimbote, 2014.
- [6] F. Yealemnegus, «INVESTIGATION ON THE STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE IN COMPRESSION MADE USING LOCALLY AVAILABLE COARSE AGGREGATES,» Addis Adaba, 2017.
- [7] R. Gaimster y M. Chris, «THE ROLE OF CONCRETE IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT,» Nueva Zelanda, 2007.
- [8] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 694, Quito, 2010.

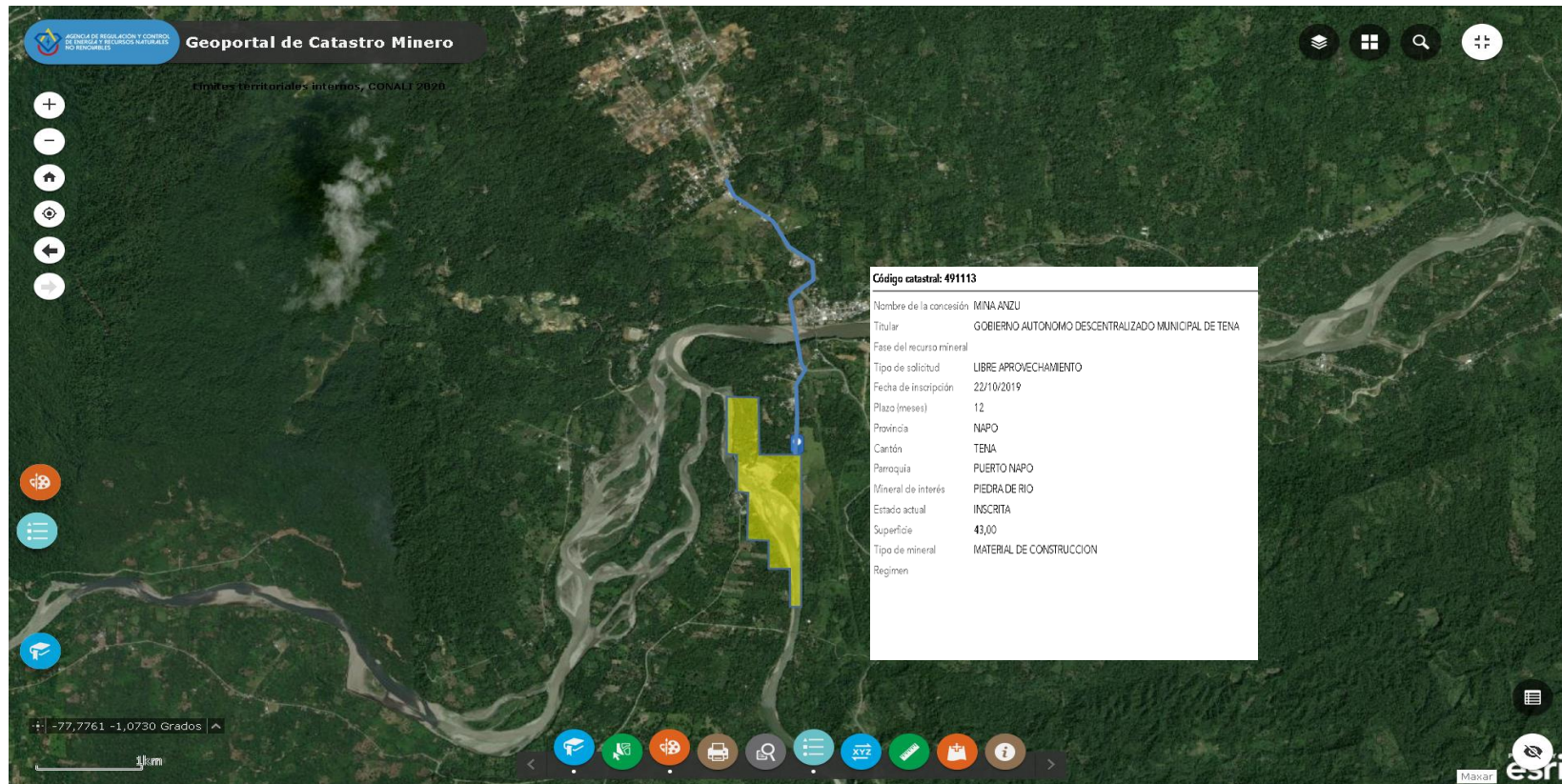
- [9] S. G. María Fernanda y P. R. Diego Darío, «Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto,» México, 2010.
- [10] A. Pauw, «Static modulus of elasticity of concrete as affected by density,» *ACI Journals*, Diciembre 1960.
- [11] A. Noel, «Concreto y Construcción,» 10 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://concretosyconstruccion.blogspot.com/2019/10/el-modulo-de-modulo-de-elasticidad-del.html>. [Último acceso: 05 Enero 2021].
- [12] N. A.-O. a. M. K. T. Xiaoming Sharon Huo, «Creep, shrinkage, and modulus of elasticity of high-performance concrete,» *Materials Journal*, 2001.
- [13] J. Serpa y D. Vázquez, «Determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados.,» Cuenca, 2018.
- [14] Y. L. Edgar Rolando, «DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c=28$ Mpa), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU.,» Quito, 2014.
- [15] A. VV., *Materiales de Construcción*, Barcelona: Ceac, 2007.
- [16] J. Toirac Corral, «CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE ARENA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y COSTO DEL HORMIGÓN,» *Ciencia y Sociedad*, pp. 293-334, 2012.
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 696, 2011.
- [18] J. J. B. A. M. Neville, *CONCRETE TECHNOLOGY*, Segunda ed., Harlow: Pearson, 2010, pp. 60-62.
- [19] J. I. Manosalvas Ramos, «DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS: GADMFO, LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA.,» Ambato, 2019.

- [20] L. Gutierrez de Lopez, EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN, Manizales, 2003, p. 19.
- [21] E. R. Yucato Llumiquinga, «DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 28$ MPa), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO,» Quito, 2014.
- [22] S. W. Medina Robalino, Manual de Ensayo de Materiales II, Ambato, 2006.
- [23] J. Montoya, Á. Meseguer García, F. Cabré Morán y J. C. Arroyo Portero, Hormigón Armado, Quinceava ed., Barcelona: Gustavo Gili, SL, 2010, p. 10.
- [24] A. Arce Suárez, El manual de Pepe Hormigón, Primera ed., Quito, 2007, p. 13.
- [25] UNACEM, FICHA TÉCNICA SELVALEGRE.
- [26] M. Mamlouk S. y Z. Jhon P., Materiales para ingeniería civil, Segunda ed., Madrid: Pearson Educación, S. A., 2009.
- [27] F. Abanto Castillo, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, Segunda ed., Lima: San Marcos, 2009.
- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 156, Quito, 2009.
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1855-1, Quito, 2016.
- [30] V. J. Ulloa Jácome, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c = 21$ MPa, FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRÉS, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENÍNSULA, CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM,» Quito, 2013.
- [31] E. d. I. T. C. A. Técnica., Materiales II, 2007.
- [32] SIKA Empresa, Sika Informaciones Técnicas Curado del Concreto, 2009.

- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 576, Primera ed., Quito, 2011.
- [34] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese y J. Tanes, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, 2004.
- [35] N. A. Rodríguez, «Concretos y Construcción,» 10 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://concretosyconstruccion.blogspot.com/2019/10/el-modulo-de-modulo-de-elasticidad-del.html>. [Último acceso: 15 Marzo 2022].
- [36] S. Carrasco Díaz, Metodología de la Investigación Científica, Primera ed., Lima: San Marcos, 2005.
- [37] H. Antonio Garrido, Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica. Materiales de Construcción II, Cartagena, 2007.
- [38] A. P. Byron Salomón y B. A. Cesar Adrián, «Aplicación de la teoría de diseño de experimentos mediante un Diseño Factorial,» Quito, 2021.
- [39] R. Betancourt y Sergio, Materiales para la Construcción, Santa Clara: Feijóo, 2017.
- [40] «ferrimaxi,» [En línea]. Available: <https://www.ferrimaxi.com/product/cemento-selva-alegre-plus-50kg-tip-ip-puzolan-inen490-astm595/>. [Último acceso: 24 Marzo 2022].

4.3. ANEXOS

4.3.1. Anexo 1. Mapa de ubicación de la “Planta de Asfalto GAD Municipal de Tena” (Mina Anzu).



4.3.2. Anexo 2. Mapa de ubicación de la mina “Venecia 38”.

Geoportal de Catastro Minero AMAZONAS-4347

Límites territoriales internos, CONAVI 2009

CRISCAL-490645

VENE CIA 38 - 10 300

Código catastral: 1090076	
Nombre de la concesión	VENE CIA 38
Titular	LEON TOAPANTA FLAVIO ARTURO
Fase del recurso mineral	EXPLOTACION
Tipo de solicitud	CONCESION MINERA
Fecha de inscripción	31/1/2019
Plazo (meses)	260
Provincia	NAPO
Cantón	TENA
Parroquia	PUERTO MISAHUALLI
Mineral de interés	ARENA
Acercar a	

Tipo de solicitud	CONCESION MINERA
Fecha de inscripción	31/1/2019
Plazo (meses)	260
Provincia	NAPO
Cantón	TENA
Parroquia	PUERTO MISAHUALLI
Mineral de interés	ARENA
Estado actual	INSCRITA
Superficie	6,00
Tipo de mineral	MATERIAL DE CONSTRUCCION
Regimen	PEQUEÑA MINERIA
Acercar a	

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

-77,6870 -1,0418 Grados

esri

4.3.3. Anexo 3. Fotografías.





