



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:

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN
LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU
COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES”

AUTOR: Ortega Mera Klever David

TUTOR: Ing. Mg. Navarro Peñaherrera Carlos Patricio

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Navarro Peñaherrera Carlos Patricio en calidad de tutor del presente trabajo experimental bajo el tema “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES” presentado y desarrollado por el egresado Ortega Mera Klever David, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico que el mismo se desarrolló bajo mi supervisión de manera independiente, personal e inédita.

Ambato, Agosto 2017

.....
Ing. Mg. Navarro Peñaherrera Carlos Patricio

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Ortega Mera Klever David dejo constancia que los contenidos emitidos en el presente trabajo experimental con el tema: “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES” son de mi completa autoría.

Ambato, Agosto del 2017

.....

Ortega Mera Klever David

C.I. 050345461-3

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de ello un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi trabajo con fines de difusión pública además apruebo la reproducción del mismo, dentro de la regularidades de la Universidad Técnica de Ambato, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Agosto del 2017

.....

Ortega Mera Klever David

C.I. 050345461-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe del trabajo experimental, sobre el tema: “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES” del egresado Ortega Mera Klever David, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con la disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre de 2017

Para constancia firman.

Ing. Mg. Galo Núñez
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Favio Portilla
PROFESOR CALIFICADOR

AGRADECIMIENTO

“No es el más fuerte ni el más inteligente el que sobrevive, sino el más capaz de adaptarse a los cambios”

Doy gracias a Dios y a la Virgen de Guadalupe por darme su bendición y permitirme llegar hasta el final de mi objetivo, debo agradecer por todo el apoyo, el amor sus consejos que me brindan día a día, su entrega y dedicación a la familia, PADRES que no se rinden ante las adversidades de la vida que me enseñaron a dar batalla ante todo obstáculo gracias por ser como son los amo.

Agradezco de igual manera a mi tutor Ing. Carlos Navarro quien con su apoyo moral y ético me supo guiar en la realización de este trabajo de investigación.

También quiero agradecer a toda mi familia y amigos que me supieron dar palabras de aliento, superación y ayuda en la formación de mi vida, en especial a mis adorables hermanos, hermanas y mis dos princesas.

ÍNDICE GENERAL

PRELIMINARES

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DEL AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
EXECUTIVE SUMMARY	XVI

CAPÍTULO I.....	1
------------------------	----------

ANTECEDENTES.....	1
--------------------------	----------

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo General:	5
1.4.2. Objetivos Específicos:	6

CAPÍTULO II.....	7
-------------------------	----------

FUNDAMENTACIÓN.....	7
----------------------------	----------

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1.1. Hormigón.....	7
2.1.2. Propiedades Hormigón Fresco.....	7
2.1.2.1. Trabajabilidad.....	7
2.1.2.2. Consistencia.....	8

2.1.2.3. Segregación	8
2.1.2.4. Exudación	8
2.1.2.5. Retracción	9
2.1.3. Propiedades Hormigón Endurecido.....	9
2.1.3.1. Densidad	9
2.1.3.2. Resistencia Mecánica	10
2.1.3.3. Durabilidad	10
2.1.3.4. Porosidad	10
2.1.3.5. Permeabilidad	10
2.1.4. Cemento.....	10
2.1.4.1. Tipos de Cemento Portland	11
2.1.5. Agregados Livianos (Áridos Livianos)	12
2.1.6. Agregado Grueso	12
2.1.7. Arcilla Expandida	12
2.1.8. Factores geométricos y físicos asociados a la transferencia de calor y masa.	13
2.1.8.1. Porosidad	13
2.1.8.2. Isotermas de desorción	14
2.1.8.3. Calor de desorción	14
2.1.8.4. Geometría	15
2.1.9. Propiedades de la Arcilla Expandida.....	15
2.1.9.1. Ligereza	15
2.1.9.2. Resistencia Mecánica	15
2.1.9.3. Aislamiento Térmico	15
2.1.9.4. Incombustibilidad	15
2.1.9.5. Absorción Acústica.....	16
2.1.9.6. Inalterabilidad y Durabilidad.....	16
2.1.9.7. Natural y Ecológico	16
2.1.10. Aplicaciones	16
2.1.11. Árido Fino.....	17
2.1.12. Propiedades de los Agregados	17

2.1.12.1. Granulometría.....	17
2.1.12.2. Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso	18
2.1.12.3. Módulo de Finura del Agregado Fino	19
2.1.12.4. Densidad de los Agregados	19
2.1.12.5. Absorción de los agregados	20
2.1.12.6. Humedad de los Agregados	21
2.1.12.7. Agua de Amasado.....	21
2.1.13. Relación Agua/Cemento.....	22
2.1.14. Curado	22
2.1.15. Fraguado	23
2.1.16. Viga	23
2.1.16.1. Viga Simplemente Armada	23
2.1.16.2. Viga Doblemente Armada	24
2.1.16.3. Vigas T	24
2.1.16.4. Flexión	25
2.1.16.5. Flexión Pura.....	25
2.1.16.6. Flexión Simple.....	26
2.1.16.7. Flexión Desviada	26
2.1.16.8. Flexión Compuesta	26
2.1.17. Método de Ensayo a Flexión	26
2.2. HIPÓTESIS.....	27
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	27
2.3.1. Variable Independiente.....	27
2.3.2. Variable Dependiente	27
CAPÍTULO III	28
METODOLOGÍA.....	28
3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.1.1. Tipo de Laboratorio	28
3.1.2. Tipo Exploratoria.....	28

3.1.3.	Tipo Descriptiva	28
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.2.1.	Población	28
3.2.2.	Muestra	29
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30
3.3.1.	Variable Independiente: Arcilla expandida.	30
3.3.2.	Variable Dependiente: Resistencia a flexión del hormigón.	31
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	32
3.5.	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	32
CAPÍTULO IV.....		33
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		33
4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS	33
4.1.1.	Datos Informativos	33
4.1.2.	Ensayos Realizados	33
4.1.3.	Dosificación del Hormigón Método de la Densidad Óptima	40
4.1.4.	Dosificación para Vigas de Concreto	45
4.1.5.	Descripción de la Viga Tipo.....	47
4.1.6.	Elaboración de Vigas de Concreto	48
4.1.7.	Ensayo a Flexión de Vigas de Concreto.....	49
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	64
CAPÍTULO V		65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		65
5.1.	CONCLUSIONES	65
5.2.	RECOMENDACIONES.....	66
MATERIALES DE REFERENCIA		
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS.....		70

a)	Granulometría agregado fino.....	93
b)	Densidad real A. E.....	93
c)	Granulometría A. E.....	93
d)	Densidad real del cemento.....	93
e)	Densidad aparente suelta de A. E.	93
f)	Peso agregado grueso	93
g)	Mezcla de materiales	93
h)	Elaboración de viga	93
i)	Enrazado de viga	93
j)	Curado de vigas	94
k)	Ensayo a flexión de vigas	94
l)	Falla en viga.....	94
m)	Deformación en viga	94
n)	Falla en viga.....	94
o)	Programa de ensayo RTM.....	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Micro y macro poros vistos en un corte de una bola de arcilla expandida	13
Gráfico 2:	a) Imagen original en tonos de gris b) Imagen invertida c) Imagen con poros identificados.....	13
Gráfico 3:	Isotermas de desorción de la arcilla expandida para 20 °C y 40 °C.....	14
Gráfico 4:	Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos.....	25
Gráfico 5:	Viga bi-apoyada trabajando a flexión en todas sus secciones.....	26
Gráfico 6:	Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre. [23]	27
Gráfico 7:	Curva Granulométrica del Agregado Fino	34
Gráfico 8:	Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	35
Gráfico 9:	Curva Granulométrica del Árido Arcilla Expandida	36
Gráfico 10:	Densidad Óptima de los Agregados	38

Gráfico 11: Detalle de Viga Tipo	47
Gráfico 12: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 7 Días	50
Gráfico 13: Carga vs Deformación – Hormigones a los 7 Días de Edad	51
Gráfico 14: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 7 Días	52
Gráfico 15: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 14 Días	53
Gráfico 16: Carga vs Deformación – Hormigones a los 14 Días de Edad	54
Gráfico 17: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 14 Días	55
Gráfico 18: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 21 Días	56
Gráfico 19: Carga vs Deformación – Hormigones a los 21 Días de Edad	57
Gráfico 20: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 21 Días	58
Gráfico 21: Módulo de rotura [Mr] vs Tiempo Curado 28 Días	59
Gráfico 22: Carga vs Deformación – Hormigones a los 28 Días de Edad	60
Gráfico 23: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 28 Días	61
Gráfico 24: Resistencia a Flexión vs Porcentaje de Arcilla Expandida	62
Gráfico 25: Peso Hormigones a los 28 Días de Edad	63
ANEXOS.....	70
Gráfico 26: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida 7 Días	81
Gráfico 27: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 7 Días	82
Gráfico 28: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² 7 Días	83
Gráfico 29: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida 14 Días	84
Gráfico 30: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 14 Días	85
Gráfico 31: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² 14 Días	86
Gráfico 32: Carga vs Deformación - Hormigón 30% Arcilla Expandida 21 Días	87
Gráfico 33: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 21 Días	88
Gráfico 34: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² 21 Días	89
Gráfico 35: Carga vs Deformación - Hormigón 30% Arcilla Expandida 28 Días	90
Gráfico 36: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 28 Días	91
Gráfico 37: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² 28 Días	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso.....	18
Tabla N°2: Límites de porcentajes que pasa el agregado fino.....	19
Tabla N°3: Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón.....	22
Tabla N° 4: Número de especímenes de concreto.....	29
Tabla N° 5: Operacionalización de la Variable Independiente	30
Tabla N° 6: Operacionalización de la Variable Dependiente.....	31
Tabla N°7: Plan de Recolección de Información.....	32
Tabla N°8: Ensayos realizados de los materiales	33
Tabla N°9: Densidad Aparente Suelta de los Agregados.....	37
Tabla N°10: Densidad Aparente Compactada de los Agregados	37
Tabla N°11: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	39
Tabla N°12: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso	39
Tabla N°13: Densidad Real y Capacidad de Absorción de la Arcilla Expandida.....	40
Tabla N°14: Densidad Real del Cemento.....	40
Tabla N°15: Valores Obtenidos Bajo Ensayos de Laboratorio	40
Tabla N°16: Resistencia a la Compresión del Hormigón Relación W/C	41
Tabla N°17: Asentamiento – Cantidad de Pasta en Porcentaje.....	42
Tabla N°18: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón.....	45
Tabla N°19: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón con el 30% de A. E.....	46
Tabla N°20: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón con el 50% de A. E.....	46
Tabla N°21: Planilla de Acero.....	47
Tabla N°22: Módulo de rotura – Hormigón 240 Kg/cm ² a los 7 Días	50
Tabla N°23: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm ² a los 14 Días	53
Tabla N°24: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm ² a los 21 Días	56
Tabla N°25: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm ² a los 28 Días	59
ANEXOS.....	70
Tabla N°26: Granulometría Agregado Fino	70
Tabla N°27: Granulometría Agregado Grueso.....	71

Tabla N°28: Granulometría del Árido Arcilla Expandida.....	72
Tabla N°29: Densidad Aparente Suelta de los Agregados	73
Tabla N°30: Densidad Aparente Compactada de los Agregados	74
Tabla N°31: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla	75
Tabla N°32: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	76
Tabla N°33: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso	77
Tabla N°34: Densidad Real y Capacidad de Absorción de la Arcilla Expandida.....	78
Tabla N°35: Densidad Real del Cemento.....	79
Tabla N°36: Dosificación del Hormigón Método de la Densidad Óptima	80
Tabla N°37: Carga vs Deformación – Hormigón 30% de Arcilla Expandida 7 Días	81
Tabla N° 38: Carga vs Deformación – Hormigón 50% de Arcilla Expandida 7 Días	82
Tabla N°39: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm ² 7 Días	83
Tabla N°40: Carga vs Deformación – Hormigón 30% de Arcilla Expandida 14 Días	84
Tabla N° 41: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 14 Días	85
Tabla N°42: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm ² 14 Días	86
Tabla N°43: Carga vs Deformación – Hormigón 30% Arcilla Expandida 21 Días	87
Tabla N°44: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 21 Días	88
Tabla N°45: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm ² 21 Días	89
Tabla N°46: Carga vs Deformación – Hormigón 30% Arcilla Expandida 28 Días	90
Tabla N°47: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 28 Días	91
Tabla N°48: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm ² 28 Días	92

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES”

La finalidad del siguiente trabajo experimental es analizar los resultados obtenidos en los ensayos a flexión en vigas de hormigón simple adicionando arcilla expandida en sustitución del agregado grueso.

Para la elaboración de los especímenes (vigas), se realizó con materiales llevados de la cantera “LA PENINSULA” ubicada en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, en lo cual se trasladaron a los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para obtener sus propiedades mecánicas y verificar sus estados límites, mediante diversos ensayos de materiales.

Una vez obtenidos las propiedades mecánicas de los materiales se calculó la dosificación del concreto para una resistencia de diseño de $f'c = 240 \text{Kg/cm}^2$ empleando el Método de la Densidad Óptima.

De acuerdo a la dosificación obtenida se elaboraron los especímenes (vigas) con proporciones del 30% y 50% de arcilla expandida en remplazo del agregado grueso por lo que se tomó el material al volumen.

Por último se realizaron los ensayos a flexión de las vigas a los 7 días, 14 días, 21 días y 28 días de edad, teniendo así un resultado importante sobre la resistencia y peso específico del hormigón, dado que el árido es muy ligero y resistente.

EXECUTIVE SUMMARY

THEME: "DETERMINATION OF RESISTANCE TO BENDING STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAMS INCLUDING EXPANDED CLAY AND ITS COMPARISON WITH TRADITIONAL CONCRETE"

The purpose of this experimental study was to analyze the results of the bending test on concrete beams simply adding expanded clay replacing the coarse aggregate.

To prepare specimens (beams), it was carried out with brought materials from the quarry "PENINSULA" located in Canton Ambato, Tungurahua Province, in which they moved to the laboratories of the Faculty of Civil Engineering and Mechanics Technical University of Ambato, for their mechanical properties and verify its limits states through various materials testing.

Once obtained the mechanical properties of the materials concrete proportions calculated for a design strength $f_c = 240\text{Kg} / \text{cm}^2$ using Method Aim Density.

According to the dosage obtained specimens (beams) with proportions of 30% and 50% of expanded clay in replacement of coarse aggregate making the material it took volume were prepared.

Finally the bending test beams at 7 days, 14 days, 21 days and 28 days of age were performed, thus having an important result on resistance and specific weight of the concrete, since the aggregate is very light and strong .

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES”.

1.2. ANTECEDENTES

El hormigón ligero se puede emplear en la constitución del sistema estructural edificatorio, y también en otros sistemas estructuralmente secundarios o en elementos constructivos para distintas unidades de obra. Digamos que en el hormigón ligero estructural pueden conjugarse unas características mecánicas similares a las del tradicional hormigón armado, junto a una mayor ligereza propia. El restante hormigón ligero que no se usa para estructuras, se define más por su función de cerrar espacios, acabar o revestir paramentos, etc., o por su incidencia física en la confortabilidad y salubridad habitacional. [1]

El hormigón ligero se utilizó ya en la antigüedad; los romanos, por ejemplo, emplearon para la realización de la cúpula del Panteón - construida en el siglo II a.C. con un diámetro aproximado de 44 m.- una argamasa conformada con piedra pómez como árido aligerante; pero aquel no se utilizó como estructura portante hasta tiempos recientes, fundamentalmente, cuando se consiguió fabricar artificialmente, para este fin, áridos ligeros adecuados. Por tanto, el actual hormigón ligero estructural como material susceptible de ser armado y constituir elementos resistentes apareció a principios de siglo en los Estados Unidos de Norteamérica y Rusia, en zonas caracterizadas por la carencia de áridos, aunque con materias que permitieron fabricar, a partir de ellas, áridos ligeros. Con los mencionados

áridos, más o menos densos, y, más o menos resistentes, se empezó a conseguir por vez primera hormigones ligeros que, a igualdad de resistencia, presentaban una densidad claramente menor que la del hormigón normal. [1]

En la actualidad, en España, los morteros de cemento con aplicación como rellenos en el campo de la construcción de edificios, se aligeran, fundamentalmente, con arcilla expandida, por ser de los áridos ligeros que se comercializan el que tiene una mejor relación densidad/precio. La arcilla expandida se fabrica sometiendo la arcilla a temperaturas de 1200 °C, por este proceso se ocuyen en su interior múltiples celdillas que contienen aire estancado. La inclusión de estas celdillas mejora su aislamiento térmico (0.7 kcal/m hora °C), permitiéndole, a la vez, el libre paso del vapor de agua y mejorando su aislamiento acústico ante el impacto. La arcilla expandida es un producto neutro, es imputrescible y no atacable por parásitos, hongos ni roedores. No le afectan las sustancias químicas y es altamente resistente a las heladas y a los cambios bruscos de temperatura. Su resistencia ante el fuego es muy buena, ya que su punto de fusión está en torno a los 1.200°C, no desprendiendo gases tóxicos, pues éstos ya se han desprendido durante el proceso de fabricación. Las densidades de la arcilla expandida oscilan entre 300 kg/m³, para aplicaciones donde la reducción del peso es primordial y 800 kg/m³ para aplicaciones estructurales. [2]

Sus excelentes cualidades ofrecen un amplio abanico de soluciones para la construcción como: Hormigones ligeros: aislantes o estructurales; Prefabricados: bovedillas, bloques huecos o macizos de hormigón, placas que imitan piedra; Rellenos: en seco o incorporándola a una masa de conglomerante y agua como una adición, para, por ejemplo, la realización de recrecidos, pendientes en las azoteas colaborando en el aislamiento térmico del conjunto o rellenos en taludes de movimientos de tierra; Pavimentos deportivos tipo tenis-quick o soleras drenantes. [2]

1.3. JUSTIFICACIÓN

Se designa como hormigones livianos a aquellos que poseen características propias, que mediante métodos en el proceso de su elaboración se ha hecho más ligero que el hormigón convencional de cemento, grava y arena, el cual durante muchos años ha sido empleado como el material principal en el área de la construcción. El hormigón liviano fue clasificado e identificado durante mucho tiempo por la densidad que este presenta, debido a que esta es inferior a 2400 kg/cm^3 que es la densidad con la que fluctúa el hormigón normal. La característica más evidente del hormigón liviano es, por su puesto su densidad, la cual es considerablemente menor que la del hormigón normal y con frecuencia es una fracción de la misma. [3]

Se presentan muchas ventajas al tener materiales de baja densidad, como por ejemplo se reduce la carga muerta, mayor rapidez de construcción. Una de las características de los hormigones livianos es que posee una conductividad térmica relativamente baja, la cual se mejora mientras se reduce la densidad, como por ejemplo la necesidad de reducir el consumo de energía de los acondicionadores de aire de edificios, el hormigón liviano por su baja conductividad térmica mejora el ambiente y mantienen la temperatura confortable dentro de ellos. [3]

En el campo de las obras civiles el peso de las estructuras ha sido siempre un factor muy influyente tanto en el diseño como en la construcción. El hormigón convencional, cuyo peso volumétrico fluctúa entre los 2200 y 2400 kg/m^3 , constituye un porcentaje considerable del peso que una estructura debe soportar; por tanto, si logramos disminuir este peso sin alterar la resistencia del hormigón obtendremos una mejora significativa en todos los aspectos de la obra. Con los hormigones livianos de alto desempeño podemos lograr aún más, puesto que la resistencia de este hormigón puede sobrepasar los 60 MPa ($611,83 \text{ kg/cm}^2$), lo cual es una gran ventaja si lo comparamos con los hormigones convencionales de 28 MPa ($285,521 \text{ kg/cm}^2$) con los que se construyen muchas de las obras de nuestro país. [4]

ACI 213R define al hormigón ligero estructural (HLE) como aquel que posee una densidad en estado seco al aire menor a 1.850 kg/m^3 y posee una resistencia a compresión cilíndrica superior a $17,2 \text{ Mpa}$ ($175,391 \text{ kg/cm}^2$), lo que significa una resistencia a compresión cubica superior a $19,0 \text{ Mpa}$ ($193,746 \text{ kg/cm}^2$). [5]

Se debe mencionar que las propiedades de hormigón con árido liviano dependen de la cantidad y propiedades del árido particular que se esté utilizando. Este tipo de hormigón incluye al árido ligero como un componente nuevo que tiene un peso específico, resistencia intrínseca y rigidez menor que los áridos normales. Estas características del árido ligero disminuyen la magnitud de la resistencia y rigidez del hormigón. Basado en esto, Holm plantea la existencia de una “resistencia limite”, propia de cada árido, desde la cual un aumento en la cantidad de cemento no implica un aumento significativo de resistencia. [5]

Los hormigones livianos se definen en ACI 213R (1987) como aquellos que poseen una densidad en estado seco al aire menor a 1.850 kg/m^3 , y pueden dividirse en tres tipos: los hormigones aireados, que se fabrican con aditivos espumantes, los hormigones sin finos y los hormigones con áridos livianos. Estos últimos consideran el reemplazo parcial (fracción gruesa) o total del árido normal por otro de menor densidad. Con el uso de áridos livianos de origen artificial se ha logrado fabricar hormigones con alta resistencia a compresión y baja densidad (Cánovas, 1996). De esta manera surge el concepto de hormigón liviano estructural, el que se describe en ACI 213R (1987) como aquellos hormigones livianos con una resistencia a compresión cubica superior a 21.5 Mpa ($219,239 \text{ kg/cm}^2$). [6]

Los hormigones livianos estructurales presentan, entre otras ventajas, estructuras de menor peso propio las que quieren de fundaciones de menor tamaño, permiten edificaciones de mayor altura y el desarrollo de tecnologías de prefabricación, disminuyen las fuerzas sísmicas, presentan un mejor comportamiento térmico que se traduce en una menor deformabilidad ante cambios de temperatura y tienen mejores propiedades de aislación térmica y acústica. [6]

Con un peso unitario típico de 90 a 120 libras por pie cúbico (1441,66 kg/m³ a 1922,22 kg/m³) y una resistencia a la compresión de 2500 psi (175,76 kg/cm²) a más de 8000 psi (562,45 kg/cm²), el concreto estructural ligero es un material de construcción versátil. Puesto que generalmente es del 20% al 40% más ligero que el hormigón de peso normal, la carga muerta de una estructura puede reducirse, sus costos de fundación se reducen y sus necesidades de hormigón y varillas de hormigón disminuyen. El hormigón estructural liviano también resiste mejor el fuego que el concreto de peso normal debido a su menor conductividad térmica y su menor coeficiente de expansión térmica. En muchas estructuras, estos beneficios justifican el uso de hormigón agregado ligero, que generalmente cuesta más que el hormigón de peso normal. Los contratistas que utilizan con éxito hormigón estructural ligero comparten las siguientes características:

- Una comprensión del producto, en particular las cualidades únicas de los agregados ligeros.
- Una capacidad para establecer una buena comunicación, especialmente con el proveedor de agregados ligeros.
- El conocimiento de las pruebas de campo y los ajustes necesarios para evaluar y mantener la calidad del hormigón.
- Una apreciación para el manejo apropiado del concreto ligero. [7]

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General:

- Determinar la resistencia a flexión en vigas de hormigón ligero estructural con arcilla expandida.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Conocer las ventajas del hormigón ligero estructural con arcilla expandida.
- Determinar la dosificación del hormigón ligero estructural con arcilla expandida.
- Analizar los resultados comparativos obtenidos en ensayos.
- Utilizar dicho hormigón con fines estructurales logrando buena resistencia con bajo peso.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En la elaboración del tema mencionado debemos conocer algunos conceptos y características de los materiales a utilizar como son el hormigón sus componentes y la arcilla expandida.

2.1.1. Hormigón

El hormigón resulta de la mezcla en proporciones determinadas de cemento u otro conglomerante con agregados y agua que forman un material pétreo artificial muy común el ámbito de la construcción.

2.1.2. Propiedades Hormigón Fresco

2.1.2.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad de un hormigón puede ser definida como la facilidad que presenta, en estado fresco, para ser mezclado, transportado, colocado y compactado sin perder homogeneidad (sin segregarse). Dicha trabajabilidad está representada por dos variables, fluidez y consistencia, las que pueden ser evaluadas de diversas formas. [6]

En el caso de hormigones livianos se puede decir que el concepto de trabajabilidad seguirá siendo el mismo, pero se presentan diferencias considerables en la forma de medir e interpretar la trabajabilidad. [6]

Se tiene por otra parte que el American Concrete Institute recomienda utilizar el método de asentamiento de cono de Abrams para determinar una dosis de agua requerida para hormigones normales y livianos (ACI 211.1, 1981; ACI 211.2, 1991). Cabe destacar que

las tablas recomendadas en ambos documentos son idénticas, de lo que se infiere no habría ninguna diferencia entre la trabajabilidad de hormigones livianos y normales. [6]

2.1.2.2. Consistencia

Se refiere al carácter de la mezcla fresca, con respecto a su estado de fluidez. Una mezcla es plástica, cuando su consistencia se encuentra entre las secas desmenuzables y las muy fluidas y es capaz de deformarse sin segregarse. La consistencia o grado de fluidez del hormigón fresco constituye una parte importante de la trabajabilidad. Esta es una propiedad más compleja que la consistencia, puesto que involucra no solamente a las propiedades de las mezclas, sino también a las condiciones de colocación para obtener el grado requerido de consolidación, conservando la homogeneidad de cuerpo compuesto fresco. Una mezcla fresca de determinada consistencia puede ser trabajable para un determinado elemento resistente a conformar y no para otro, aparentemente muy semejante. [9]

Para la determinación de la consistencia del hormigón fresco, uno de los procedimientos más universalmente empleados es el método del tronco de cono, de acuerdo a las normas ASTM-C-143 e IRAM 1536, siendo la consistencia estimada en centímetros de asentamiento del tronco de cono al desmoldarse. [9]

2.1.2.3. Segregación

Es un fenómeno por el cual los elementos constructivos del hormigón tienden a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad. [10]

2.1.2.4. Exudación

La exudación es una forma de segregación en la que el agua tiende a elevarse hacia la superficie del hormigón como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando, formando así, una capa de agua que puede llegar hasta el 2% del ancho de la pieza. [10]

Cuando el hormigón presenta una buena cohesión no presenta segregación ni exudación. Sin embargo, calibrar la cohesión de una mezcla es un poco complicado, pues ninguno de los ensayos que conocemos mide bien la tendencia de segregar o exudar, es decir, la cohesión, por lo que nos basamos, generalmente en apreciaciones visuales sobre la resistencia a la segregación que presenta la mezcla. [10]

2.1.2.5. Retracción

El fraguado y la evaporación de agua no combinada modifican el volumen del hormigón. Pueden aparecer tensiones que, si superan la resistencia a tracción, pueden romper el hormigón. [11]

2.1.3. Propiedades Hormigón Endurecido.

2.1.3.1. Densidad

Es la cantidad de peso por unidad de volumen (densidad = peso/volumen) variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra.

La densidad de los hormigones ligeros oscilará entre los 200 y los 1500 kg/m³

En los hormigones ordinarios:

Apisonados 2000 a 2200 kg/m³

Vibrados 2300 a 2400 kg/m³

Centrifugados 2400 a 2500 kg/m³

Proyectados 2500 a 2600 kg/m³

Los hormigones pesados pueden alcanzar los 4000 kg/m³. Este tipo de hormigón es el utilizado para construir pantallas de protección contra radiaciones. [12]

2.1.3.2. Resistencia Mecánica

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse. Es diferente según el tipo de esfuerzos de que se trate: su resistencia a la compresión es unas diez veces mayor a la resistencia de tracción. La baja resistencia a la tracción conlleva a introducir varillas de hierro o acero al hormigón, para con ello formar el hormigón armado. [12]

2.1.3.3. Durabilidad

Es la capacidad de oponer resistencia al paso del tiempo, cuidando los procesos de colocación compactación y curado del hormigón para asegurar una buena durabilidad.

2.1.3.4. Porosidad

La porosidad se considera la proporción de los huecos respecto de la masa total, influye en la resistencia, la densidad y la permeabilidad del hormigón. [12]

2.1.3.5. Permeabilidad

Es la capacidad de un material de ser atravesado por líquidos o gases. La impermeabilidad del hormigón es importante para su resistencia a los ataques químicos. Esta impermeabilidad depende en parte del exceso de agua en el amasado y del posterior curado del hormigón. [12]

2.1.4. Cemento

El cemento portland, cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker del portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda.

El cemento puede ser definido como un polvo fino aglutinante con propiedades aglomerantes o ligantes que endurece bajo la acción del agua. Con la adición de agua, se

convierte en una pasta homogénea capaz de endurecer, y conservar su estructura, incluso en contacto nuevamente con el agua. [16]

2.1.4.1. Tipos de Cemento Portland

- **Tipo I:** El cemento tipo I es el normal, usado en la construcción de obras de hormigón en general, viviendas, edificaciones, estructuras, etcétera, se utiliza cuando las especificaciones de construcción no indican el uso de otro tipo de cemento.
- **Tipo II:** El cemento portland tipo II tienen una resistencia media a los ataques de sulfatos, con o sin calor moderado de hidratación, se usa en las obras de construcción en general y en construcciones expuestas a la acción moderada de sulfatos, o que requieren un calor de hidratación moderado, cuando así este consignado en las especificaciones de construcción, por lo general es el cemento utilizado en la realización de tuberías de hormigón y puentes. Su precio es muy similar al cemento portland tipo I.
- **Tipo III:** El cemento portland tipo III, alcanza una resistencia inicial alta, su resistencia a la compresión a los tres días, es igual a la resistencia a la compresión en siete días de los cementos tipo I y II. Es usado cuando se necesita hormigón que debe ser desencofrado antes de los 28 días de edad y recibirá cargas muy pronto, como en el caso de los elementos prefabricados o construcciones de emergencia.
- **Tipo IV:** El cemento portland tipo IV es usado cuando se necesita un bajo calor de hidratación sin producirse dilataciones durante la etapa de fraguado. El calor desprendido durante la hidratación se produce más lento. Es utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques.
- **Tipo V:** El cemento portland tipo V es usada en la construcción de elementos y obras que necesiten una resistencia elevada al ataque concentrado de sulfatos y álcalis, como en las alcantarillas, canales de conducción e infraestructuras portuarias.

- Los cementos portland tipos IA, IIA y IIIA tienen la misma composición que los cementos tipos I, II y III normales, la única diferencia es que en los tipos IA, IIA y IIIA, tienen un agente incorporador de aire que se muele en la mezcla. La incorporación de aire debe cumplir con la especificación opcional de mínimo y máximo se encuentra en el manual de la ASTM. Estos tipos solo están disponibles en el este de Estados Unidos y Canadá, la incorporación de aire a este tipo de cementos, mejora la resistencia a la congelación cuando hay bajas temperaturas. [16]

2.1.5. Agregados Livianos (Áridos Livianos)

Los agregados cumplen un papel de gran importancia en el hormigón, y en el caso de los hormigones livianos de alto desempeño la baja densidad de estos es la que permite elaborar hormigones livianos. Para elaborar hormigones livianos convencionales, es frecuente el uso de materiales como la piedra pómez, el poliestireno, las arcillas, escorias y pizarras expandidas. [4]

2.1.6. Agregado Grueso

Árido en que la mayor parte de sus partículas, quedan retenidas en el tamiz de 4.75 m. (N° 4), o la porción de un árido retenido por el tamiz de 4.75 m. (N°4). [17] En este trabajo hablaremos de la arcilla expandida ya que es un material de alta resistencia y es utilizado para la elaboración de hormigones livianos de alto desempeño.

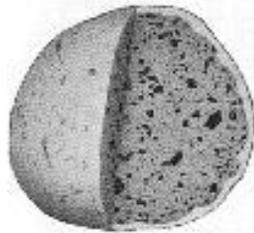
2.1.7. Arcilla Expandida

La arcilla expandida es un material de origen cerámico con una estructura altamente porosa gráfico 1. Su elevada resistencia mecánica la hace apta para su utilización tanto en morteros aislantes ultraligeros como en hormigones ligeros de altas prestaciones. Por ser un material inerte y poroso también se usa comúnmente como sustrato en hidrocultivo. [13]

El germen de la arcilla expandida son pequeñas esferas de arcilla cruda con una granulometría de 0 a 6mm (tamiz #4). La expansión se produce en hornos rotatorios gracias a un choque térmico a 1200°C. A esta temperatura, la arcilla comienza a fundir al tiempo

que se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla. Los gases de combustión expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original. [13]

Gráfico 1: Micro y macro poros vistos en un corte de una bola de arcilla expandida



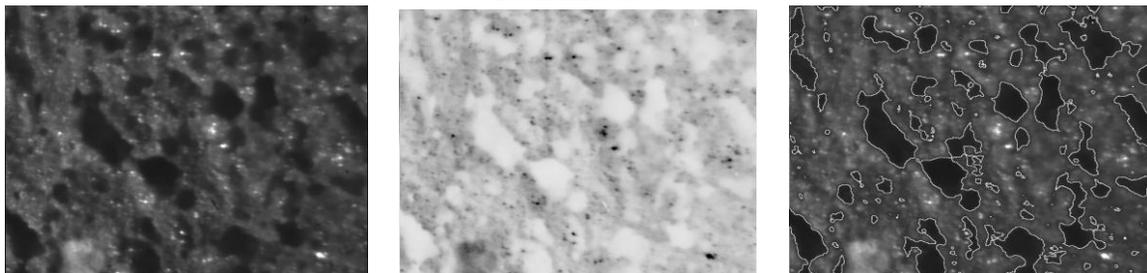
Fuente: INENCO

2.1.8. Factores geométricos y físicos asociados a la transferencia de calor y masa.

2.1.8.1. Porosidad

La caracterización micro-estructural del elemento poroso fue realizada mediante el análisis de imágenes microscópicas. Las imágenes en tonos de gris adquiridas de una sección plana de la bola de arcilla Gráfico 2a, fueron invertidas para resaltar los poros Gráfico 2b. Posteriormente se obtuvieron los histogramas de las mismas y de su observación se eligieron tres niveles de discretización: 200, 205 y 210. Se observó que el nivel que mejor separa los poros es de 205 Gráfico 2c. Con la imagen discretizada se observa que la estructura de la arcilla expandida está constituida por un conjunto de poros cerrados que le dan la característica de material liviano pero que no aportan para la absorción de agua. [13]

Gráfico 2: a) Imagen original en tonos de gris b) Imagen invertida c) Imagen con poros identificados



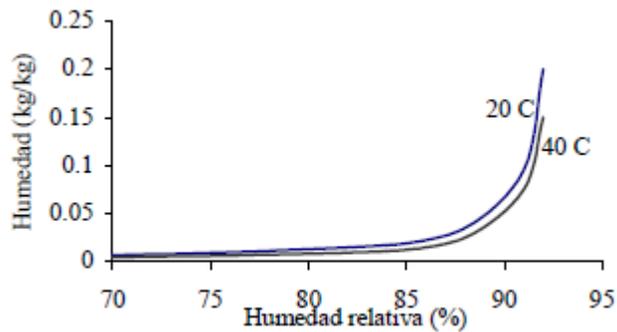
Fuente: INENCO

2.1.8.2. Isotermas de desorción

La humedad en la superficie de la arcilla expandida en equilibrio con el ambiente depende del contenido de agua y de otros factores como la tensión capilar en los poros y las fuerzas originadas en la interacción superficial que influyen en la presión de vapor de agua. [13]

Se determinó experimentalmente la correspondencia entre la humedad de equilibrio y el contenido de agua del material para una determinada temperatura y se construyeron las isotermas de desorción Gráfico 3. [13]

Gráfico 3: Isotermas de desorción de la arcilla expandida para 20 °C y 40 °C.



Fuente: INENCO

Para obtener cada punto de la isoterma se colocó una pequeña muestra de material previamente saturado de agua en un recipiente en contacto con aire a temperatura controlada. El recipiente contiene en el fondo una solución saturada de sales que determinan la humedad relativa del aire. La arcilla pierde humedad hasta llegar al equilibrio con el aire después de varias horas y su peso se mantiene constante. Se obtuvieron las isotermas para 20 °C y 40 °C utilizando soluciones saturadas de cloruro de litio, nitrito de sodio, cromato de potasio y bromato de potasio (Perry & Green, 1997). [13]

2.1.8.3. Calor de desorción

El calor de vaporización en la desorción es igual al calor de vaporización del agua libre más el calor de vaporización del agua ligada y depende del contenido de humedad. Se puede calcular a partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron aplicada a la curva de cambio de fase

del vapor de agua a agua líquida ligada al material y a la curva de cambio de fase del vapor de agua a agua libre (Horn y otros, 1998). [13]

2.1.8.4. Geometría

Los factores de la geometría que influyen en el intercambio del calor y masa son el diámetro medio de las bolas de arcilla y el grado de compactación de éstas, que viene dado por la fracción de huecos, con los que se obtiene el área específica de intercambio. [13]

La fracción de huecos es la relación entre el volumen de huecos, que es el volumen total menos el volumen de las bolas, y el volumen total.

El área específica es la relación entre el área de intercambio, que es la superficie del relleno, y el volumen del lecho. [13]

2.1.9. Propiedades de la Arcilla Expandida

2.1.9.1. Ligereza

La arcilla expandida posee ligereza por ser un material inerte, ligero con una estructura interna de celdas y su cubierta dura, lo que optimiza la relación peso resistencia.

2.1.9.2. Resistencia Mecánica

La arcilla expandida tiene una excelente resistencia mecánica debido a una cubierta exterior compacta e indeformable.

2.1.9.3. Aislamiento Térmico

La arcilla expandida es aislante y no se deteriora con el tiempo, puede ser empleado para aplicaciones de aislamiento térmico, debido a su bajo valor de conductividad térmica λ que va desde 0.09 W/mK.

2.1.9.4. Incombustibilidad

La arcilla expandida es un producto mineral incombustible, con clasificación Euroclase A1 de reacción al fuego. Esta no genera gases ni humos tóxicos gracias a que se clinkeriza a

1200 °C. Puede ser utilizada como materia prima para materiales resistentes al fuego y refractarios.

2.1.9.5. Absorción Acústica

Posee esta propiedad gracias a su estructura celular y porosa, la cual garantiza una buena absorción de ruidos. Con la arcilla expandida se fabrican paneles fono-aislantes y fonoabsorbentes.

2.1.9.6. Inalterabilidad y Durabilidad

Debido a que la arcilla expandida no contiene materiales orgánicos ni sus derivados, es imputrescible y no se degrada con el tiempo, incluso en malas condiciones de temperatura o humedad. Es resistente a los materiales básicos, ácidos, y disolventes manteniendo inalterables sus características. Ante las acciones del hielo no se rompe ni se empapa.

2.1.9.7. Natural y Ecológico

La arcilla expandida es libre de contener o emitir sílice, materiales fibrosos, gas radón u otros productos nocivos lo que lo convierte en un producto natural y ecológico certificado por el Instituto de Bio-arquitectura Anab-Icea. [15]

2.1.10. Aplicaciones

La arcilla expandida se aplica en diferentes ámbitos como:

- Recrecidos de forjado ligeros y aislantes.
- Aislamiento de soleras.
- Formación de cubiertas planas e inclinadas (pendientes, recrecidos, aislamientos, etcétera).
- Rellenos ligeros y aislantes.
- Drenajes.
- Aplicaciones geotécnicas.
- Cubiertas ajardinadas.

- Jardinería.
- Hormigones ligeros estructurales y no estructurales.
- Prefabricados.
- Dispersiones para evitar el hielo en carreteras (alternativa ecológica al salado).
- Asfaltado de carreteras.
- Tratamiento de aguas. [14]

2.1.11. Árido Fino

Árido que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8'') y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4.75 mm (N°4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 µm (N°200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4.75 mm (N°4) y es retenido en el tamiz de 75 µm (N°200). [17]

2.1.12. Propiedades de los Agregados

Las principales propiedades de los agregados son:

- Granulometría.
- Tamaño Nominal Máximo (TNM) del agregado grueso.
- Módulo de Finura (MF) del agregado fino.
- Densidad aparente suelta y compacta de los agregados.
- Densidad real y capacidad de absorción y humedad de los agregados.

2.1.12.1. Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La norma NTE INEN 696 establece el procedimiento para su determinación mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenido en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. [17]

➤ **Granulometría Agregado Grueso**

Tabla N°1: Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso.

Tamaño de la malla		Límites ASTM que pasa
N° de tamiz	[mm]	[%]
2''	50.8	100
1 ½''	38.1	95 – 100
1''	25.4	-
¾''	19.1	35 – 70
½''	12.7	-
3/8''	9.52	10 – 30
#4	4.76	0 – 5
Bandeja	-	-

Fuente: ASTM E-11

2.1.12.2. Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla del tamaño máximo nominal, puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm. [18]

Por lo común el tamaño máximo de las partículas del agregado no debe pasar:

- 1/5 de la dimensión más pequeña del miembro del concreto.
- ¾ del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 1/3 del peralte de las losas.

➤ **Granulometría Agregado Fino**

Tabla N°2: Límites de porcentajes que pasa el agregado fino.

Tamaño de la malla		Límites ASTM que pasa
N° de tamiz	[mm]	[%]
3/8''	9.5	100
#4	4.76	95 – 100
#8	2.36	80 – 100
#16	1.18	50 – 85
#30	0.6	25 – 60
#50	0.3	10 – 30
#100	0.15	2 – 10
#200	0.074	-
Bandeja	-	-

Fuente: ASTM E-11

2.1.12.3. Módulo de Finura del Agregado Fino

Factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150 μm (N°100), 300 μm (N°50), 600 μm (N°30), 1.18 (N°16), 2.36 mm (N°8), 4.75 mm (N°4), 9.5 mm (3/8''), 19.0 mm (3/4''), 37.5 mm (11/2''), 75 mm (3''), 150 mm (6''). [17]

2.1.12.4. Densidad de los Agregados

➤ **Absoluta**

La densidad absoluta se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, ósea que se excluyen todos los poros saturables y no saturables.

➤ **Nominal**

La densidad nominal se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

➤ **Aparente**

La densidad aparente se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables. [19]

2.1.12.5. Absorción de los agregados

Los agregados presentan poros internos, que se denominan como “abiertos” cuando son accesibles al agua humedad exterior, sin requisito de presión. Diferenciándose de la porosidad cerrada, en el interior del agregado, sin canales de conexión con la superficie, a la que alcanza mediante fluidos bajo presión.

Cuando un agregado seco se introduce en un recipiente con agua, sus poros abiertos se llenan total o parcialmente, a diferente velocidad, según el tamaño y disposición de los mismos.

Si un agregado se colma de todos sus poros, se considera saturado y superficialmente seco, si además la humedad se mantiene en la superficie, se le conoce como saturado superficialmente húmedo. En el caso en que se seque al aire o artificialmente en horno, el contenido de humedad disminuirá, denominándose agregado seco al aire, o completamente seco.

La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y de secado superficial.

Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto. [20]

2.1.12.6. Humedad de los Agregados

En los cálculos para el proporcionamiento del concreto se considera el agregado en condiciones de saturado superficialmente seco, es decir, con todos sus poros abiertos llenos de agua y libres de humedad superficial. Esta situación, que no es correcta en la práctica, conviene para fines de clasificación.

Como se sabe, el contenido de agua de la mezcla influye en la resistencia y otras propiedades del concreto. En consecuencia, es necesario controlar el dosaje de agua. Si los agregados están saturados y superficialmente secos no pueden absorber ni ceder agua durante el proceso de mezcla. Sin embargo, un agregado mojado superficialmente húmedo, origina un exceso de agua en el concreto. En estos casos es necesario reajustar el contenido de agua, sea agregando o restando un porcentaje adicional al dosaje de agua especificado, a fin de que el contenido de agua resulte correcto. [20]

2.1.12.7. Agua de Amasado

El agua de amasado que se añade a la hormigonera tiene las siguientes misiones: hidratación de los componentes activos del cemento, actúa como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable y crea espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

De una forma global puede considerarse que la cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento es el 23% del peso de los componentes anhidros del cemento; sin embargo, un hormigón en el que se emplease esta cantidad de agua sería imposible de trabajar, de ahí que se utilicen cantidades mayores a esa. [21]

2.1.13. Relación Agua/Cemento

La relación agua/cemento, es decir, el espacio capilar original entre las partículas de cemento, y el grado de hidratación determinan la porosidad capilar total. En pastas de cemento endurecidas, el incremento de la porosidad total como resultado del aumento de la relación agua/cemento se manifiesta solo en los poros grandes. Esta observación tiene un gran significado desde el punto de vista del efecto de la relación agua/cemento en la resistencia y permeabilidad, que están controladas por los poros grandes. [21]

La relación agua/cemento expresa la relación del peso del agua y el peso de cemento utilizado en una mezcla de hormigón.

Tabla N°3: Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón.

f'c a los 28 días de edad (kg/cm²)	A/C
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.47
320	0.51
300	0.52
280	0.53
250	0.56
240	0.57
210	0.58
180	0.62
150	0.70

Fuente: S. Medina. Ensayo de Materiales II. Ambato, Ecuador.

2.1.14. Curado

Es una acción mediante la cual ayuda a que el hormigón mantenga sus condiciones de temperatura y humedad, por medio de esta hidratación se desarrollan las propiedades del hormigón.

2.1.15. Fraguado

Es una acción en la cual el hormigón pierde plasticidad, y procede a su endurecimiento por las reacciones químicas del cemento al contacto con el agua.

2.1.16. Viga

Las vigas generalmente son cuerpos sólidos de forma alargada y sección recta constante, de gran interés en ingeniería y arquitectura, que normalmente se utilizan en posición horizontal y siendo su longitud grande comparada con las dimensiones de su sección recta. Las vigas pueden estar sometidas a cargas concentradas, cargas distribuidas o a pares (momentos concentrados) que actúen solos o en una combinación cualquiera, siendo la flexión la principal deformación que sufren. [8]

Puede definirse una viga como un sólido homogéneo e isótropo engendrado por una sección transversal, que generalmente admite un plano de simetría y cuyo centro de gravedad describe una curva o línea, denominada directriz, siendo el plano que contiene a la sección transversal normal a dicha directriz. Un caso particular de vigas que se estudian en los primeros cursos universitarios de física de las carreras de ingeniería y arquitectura son las estáticamente determinadas o isostáticas, para las que se pueden obtener las reacciones de los apoyos a partir de las ecuaciones de la estática, es decir, imponiendo las condiciones de que la suma de fuerzas sea nula y la suma de momentos respecto a un punto también lo sea. [8]

2.1.16.1. Viga Simplemente Armada

Una viga simplemente armada es aquella que tiene el refuerzo para la zona traccionada, los posibles tipos de fallas a flexión que se presentan en vigas simplemente armadas son:

- 1. Falla a Tensión.-** Inicia con la fluencia del acero antes que el concreto llegue a su capacidad máxima $0.85f'_c$, es decir $f_s = f_y$. Los indicios de peligro son evidentes con la aparición de grandes deflexiones y fisuras en el concreto. Se puede señalar que esta

falla ocurre por un bajo contenido de acero de refuerzo. Entonces tenemos vigas sub-reforzada.

- 2. Falla a Compresión.-** Se da cuando el concreto alcanza su límite $0.85f'_c$ (colapso) antes que el acero de refuerzo ceda. La falla es instantánea y se produce por el alto contenido de acero de refuerzo. La viga es sobre-reforzada.
- 3. Falla Balanceada.-** Ocurre cuando simultáneamente el concreto llega a su límite de deformación máxima en compresión de 0.003, mientras que el acero alcanza su punto de fluencia.

2.1.16.2. Viga Doblemente Armada

Una viga sometida a flexión puede requerir a más del refuerzo de tracción un refuerzo a compresión, esto se conoce como viga doblemente armada o viga con refuerzo a compresión.

Debido a limitaciones arquitectónicas, constructivas, u otras circunstancias no es posible incrementar la sección transversal de la viga por lo que es necesario una viga doblemente reforzada. La colocación del acero de refuerzo en la zona de compresión, se debe a la necesidad constructiva del elemento ya que es imprescindible tener varillas a lo largo de la luz, de manera que sirvan de soporte de los estribos. Se ha encontrado que el introducir acero de refuerzo en la zona de compresión produce una disminución de deflexiones que se producen a largo plazo dentro del elemento.

2.1.16.3. Vigas T

Consiste en vigas que soportan losas de concreto construidas monolíticamente con ellas, resultando una sección trasversal de la viga en forma de T en vez de rectangular. Una viga T está formada por el patín que es la parte que forma la losa y el alma que es la nervadura o la parte proyectada debajo de la losa. Al momento de construir estas vigas se obtiene una reducción en su peso si la comparamos con una viga rectangular, pero se emplea más

encofrados y se dificulta la elaboración de estas. Estas vigas son uno de los sistemas de piso más utilizados en estructuras de concreto reforzado.

2.1.16.4. Flexión

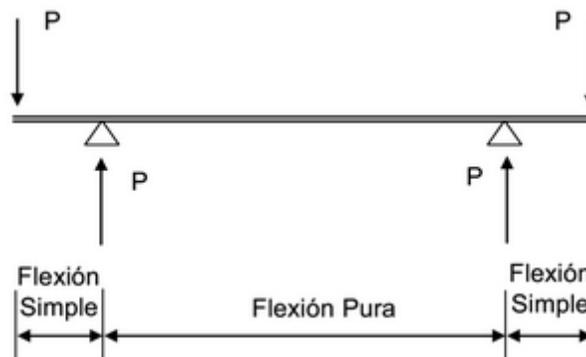
Es la deformación que presenta un elemento estructural al someterlo a cargas o esfuerzos determinados, los elementos expuestos a flexión son las losas y vigas generalmente. En la parte superior del elemento se producen esfuerzos de compresión, mientras que en la parte inferior del elemento se producen esfuerzos de tracción debido al comportamiento de los materiales del concreto.

Dependiendo de los esfuerzos que acompañen al momento flector se pueden distinguir los siguientes tipos a flexión:

2.1.16.5. Flexión Pura

Se origina cuando en toda la sección recta del elemento solo existe un momento flector, siendo nulos los demás esfuerzos.

Gráfico 4: Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos.

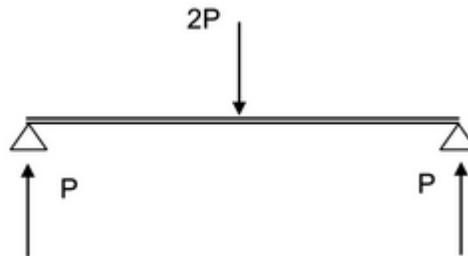


Fuente: E. Rincón, L. Castro y D. Iglesias, “Medidas en Flexión”, Determinación de Tensiones y Deformaciones, Madrid: Versión Net, 2006, pp. 17-18.

2.1.16.6. Flexión Simple

Un elemento está sometido a flexión simple cuando en toda la sección recta del elemento existe, además del momento flector, un esfuerzo cortante, siendo nulo los demás esfuerzos, es uno de los casos más frecuentes de flexión.

Gráfico 5: Viga bi-apoyada trabajando a flexión en todas sus secciones.



Fuente: E. Rincón, L. Castro y D. Iglesias, “Medidas en Flexión”, Determinación de Tensiones y Deformaciones, Madrid: Versión Net, 2006, pp. 17-18.

2.1.16.7. Flexión Desviada

Es un caso más general de flexión simple, en el que tanto el momento flector como el esfuerzo cortante tienen componentes según los dos ejes principales de inercia de cada sección.

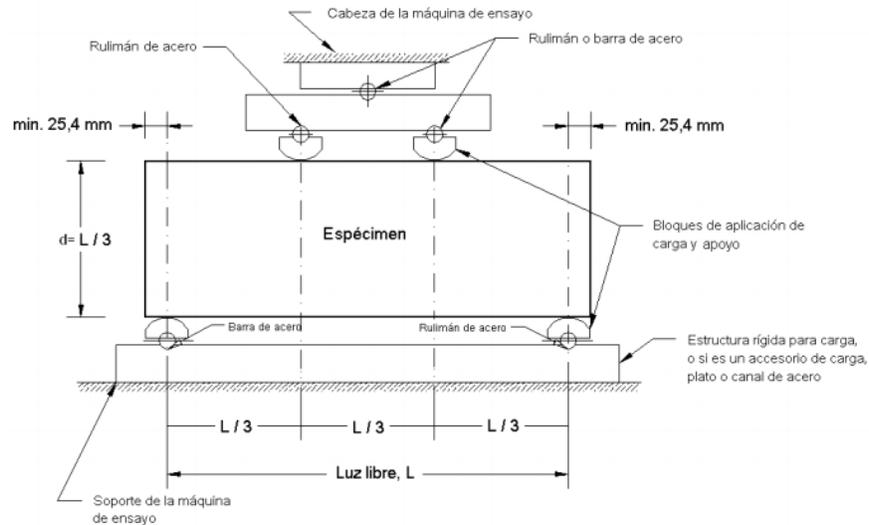
2.1.16.8. Flexión Compuesta

Cuando en toda sección recta existe, además de los casos de flexión considerados anteriormente, un esfuerzo normal de tracción o compresión. [22]

2.1.17. Método de Ensayo a Flexión

El método a utilizar para el ensayo a flexión que se llevará a cabo en el trabajo experimental, es el de las especificaciones de la norma NTE INEN 2554, donde determina la resistencia a la flexión del concreto mediante el uso de una viga simplemente apoyada cerca a sus extremos y cargada en los tercios de su luz libre.

Gráfico 6: Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre. [23]



Fuente: NTE INEN 2554, Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Flexión del Hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios), Quito - Ecuador, 2011.

2.2. HIPÓTESIS

La sustitución del agregado grueso por la arcilla expandida influye en la resistencia a flexión del hormigón.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.3.1. Variable Independiente

Arcilla expandida.

2.3.2. Variable Dependiente

Resistencia a flexión del hormigón.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Laboratorio

Debido a que es un trabajo experimental es necesario la utilización del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, donde se elaborarán vigas de hormigón armado con arcilla expandida en reemplazo del agregado grueso (probetas), por lo cual se necesita realizar diferentes ensayos de laboratorio de los materiales a utilizar de acuerdo a las normas expuestas por la NTE INEN al igual que las probetas.

3.1.2. Tipo Exploratoria

Por el hecho que es un hormigón ligero con arcilla expandida en reemplazo al agregado grueso, es una investigación exploratoria ya que se requiere determinar su influencia en las propiedades mecánicas y el comportamiento a flexión.

3.1.3. Tipo Descriptiva

Por medio de los análisis que se tendrá a cabo, la investigación es descriptiva ya que a más de conocer las propiedades del agregado grueso en el hormigón, se recolectará información sobre la arcilla expandida que servirá para próximas investigaciones.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Por tratarse de un tema de investigación no se puede determinar la población para la misma, ya que el material a utilizar no tiene un volumen cuantificado.

3.2.2. Muestra

De acuerdo a la norma NTE INEN 1855-1 se debe elaborar al menos dos especímenes por cada ensayo o más, de acuerdo su importancia, por lo establecido se elaborará tres especímenes (vigas) mediante la **Tabla N°4**, a las siguientes edades del hormigón tradicional y hormigón ligero estructural (arcilla expandida), para su análisis comparativo.

Tabla N° 4: Número de especímenes de concreto

TIPO DE VIGA f'c = 240 kg/cm²	EDAD				# DE VIGAS
	7	14	21	28	
Hormigón tradicional	3	3	3	3	12
Hormigón Ligero Estructural con el 30% de Arcilla Expandida	3	3	3	3	12
Hormigón Ligero Estructural con el 50% de Arcilla Expandida	3	3	3	3	12
TOTAL					36

Fuente: Ortega Mera Klever David

Los especímenes (vigas) serán elaborados mediante moldes con dimensiones específicas 150mm.x150mm.x750mm. y curadas durante 7, 14, 21 y 28 días según la norma NTE INEN 1576 con material realizado in-situ. Por último se someterán a ensayos de flexión según la norma NTE INEN 2554 y ASTM C78.

El agregado grueso por tener un peso específico muy bajo es aconsejable añadirlo al volumen ya que al realizarlo al peso no se obtiene una buena dosificación.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente: Arcilla expandida.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas E Instrumentos
La arcilla expandida es un material de origen cerámico con una estructura altamente porosa. Su alta resistencia mecánica hace que se la utilice para la elaboración de hormigones de alto desempeño.	Cerámica	Propiedades mecánicas	¿Cuáles son las propiedades mecánicas?	Investigación bibliográfica y de laboratorio Normas INEN
		Resistencia mecánica	¿En qué influye la resistencia mecánica en el hormigón?	
	Hormigón de alto desempeño	Resistencia a Flexión	¿Qué afecta a la resistencia a flexión del hormigón?	

Tabla N° 5: Operacionalización de la Variable Independiente

3.3.2. Variable Dependiente: Resistencia a flexión del hormigón.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas E Instrumentos
Es la deformación que presenta un elemento estructural al someterlo a cargas o esfuerzos determinados, los elementos expuestos a flexión son las losas y vigas generalmente. En la parte superior del elemento se producen esfuerzos de compresión, mientras que en la parte inferior del elemento se producen esfuerzos de tracción debido al comportamiento de los materiales del concreto.	Esfuerzos de Tracción	Acero de refuerzo	¿En qué influyen los esfuerzos a tracción en el hormigón?	Investigación bibliográfica y de laboratorio Normas INEN
	Esfuerzos de Compresión	Hormigón	¿A qué afecta los esfuerzos a compresión?	

Tabla N° 6: Operacionalización de la Variable Dependiente.

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
a. ¿Para qué?	Para estudiar el comportamiento a flexión del hormigón ligero estructural con arcilla expandida en reemplazo del agregado grueso.
b. ¿A qué?	A especímenes (vigas) normalizadas elaboradas en laboratorio.
c. ¿Sobre qué aspectos?	Determinar el comportamiento a flexión del hormigón tradicional y el hormigón con arcilla expandida en reemplazo del agregado grueso.
d. ¿Quién?	Klever David Ortega Mera.
e. ¿Cuándo?	Entre julio 2017 a Septiembre 2017.
f. ¿Dónde?	Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
g. ¿Cómo?	Ensayos de Laboratorio, Normas INEN, ASTM, Investigación bibliográfica.

Tabla N°7: Plan de Recolección de Información.

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El plan de procesamiento y análisis se realizara mediante la siguiente estructuración:

- Verificación y revisión de la información recopilada.
- Interpretación de datos obtenidos de los ensayos en el laboratorio.
- Análisis de los resultados, de acuerdo a los objetivos y la hipótesis que se han planteado.
- Conclusiones y Recomendaciones

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. Datos Informativos

Para la elaboración del siguiente trabajo experimental se obtuvo materiales pétreos de la Cantera La Península ubicada en el Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua, los mismos que son extraídos a cielo abierto donde realizan un sistema mecánico de zarandeo para obtener su diferente tamaño de agregado.

4.1.2. Ensayos Realizados

Los diversos ensayos se los realizo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato bajo las normas NTE.

Tabla N°8: Ensayos realizados de los materiales

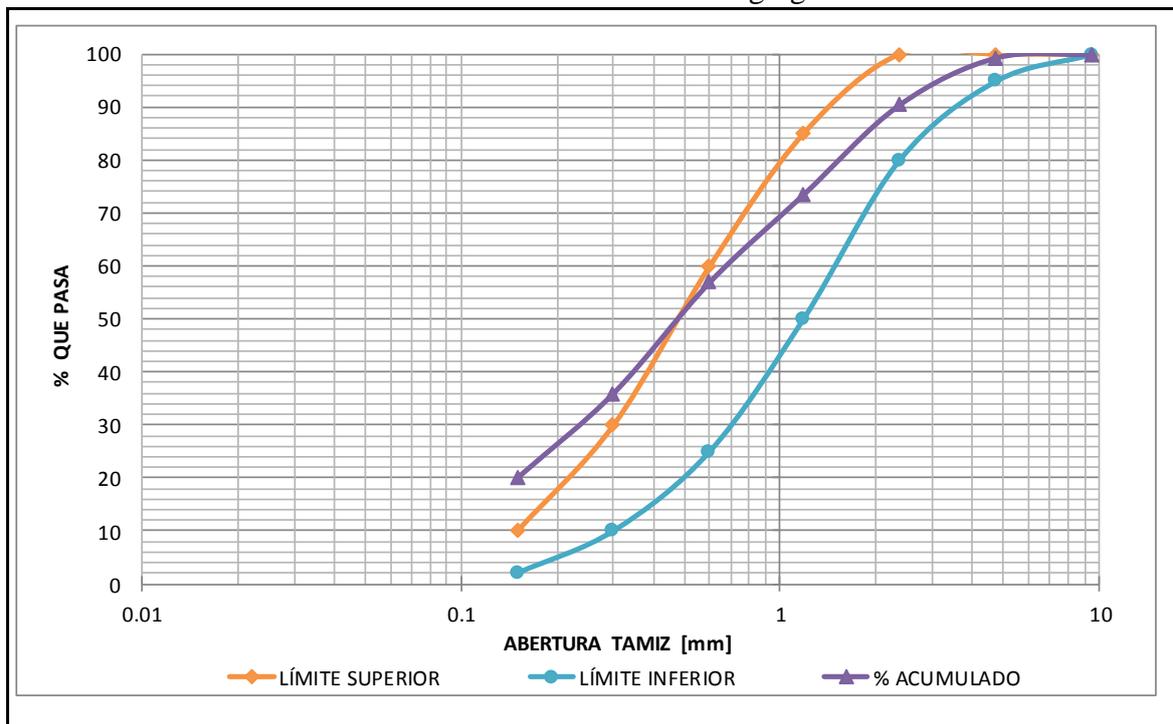
ENSAYO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	ARCILLA EXPANDIDA	CEMENTO
Granulometría	X	X	X	
Densidad aparente suelta y compactada	X	X	X	
Densidad real	X	X	X	X
Capacidad de absorción	X	X	X	
Contenido de humedad	X	X	X	

Fuente: Ortega Mera Klever David

a) Granulometría del Agregado Fino

Para la realizar este ensayo se utilizó tamices expuestos en la norma NTE INEN 696 que van de 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, para verificar los límites expuestos en la norma ASTM C33, ver anexo: tabla N°26.

Gráfico 7: Curva Granulométrica del Agregado Fino

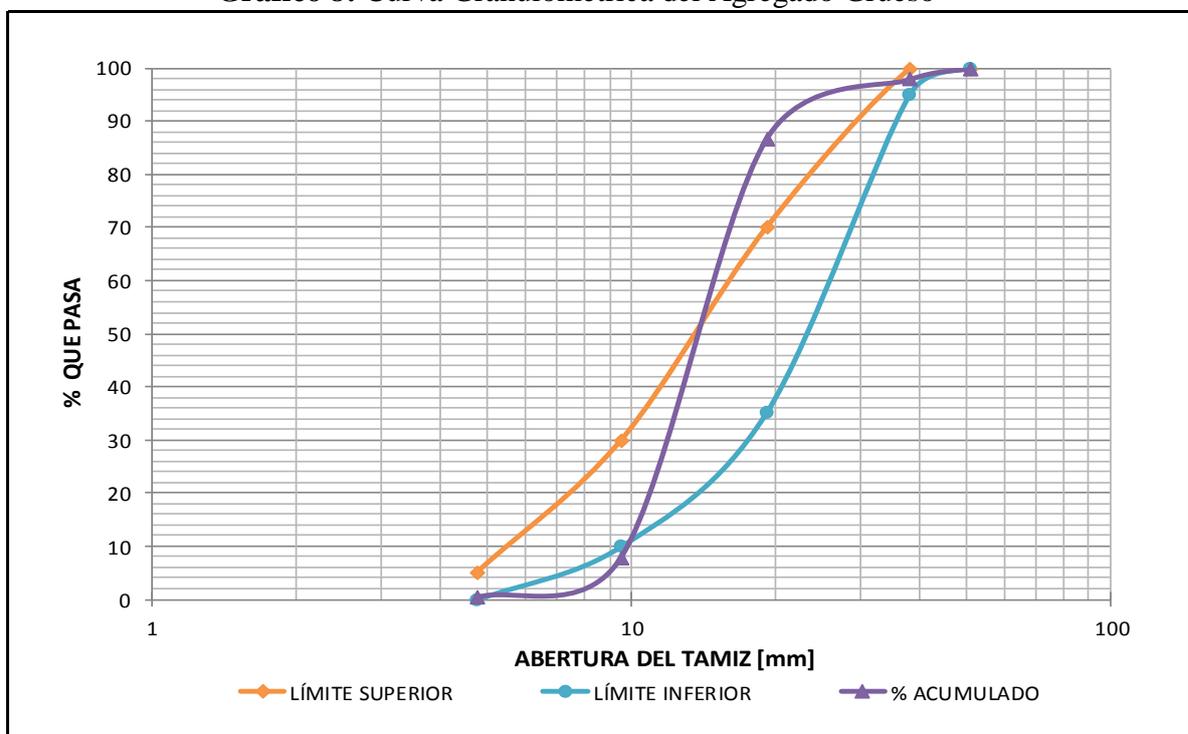


Fuente: Ortega Mera Klever David

b) Granulometría de Agregado Grueso

En la ejecución del ensayo granulométrico del agregado grueso se efectuó mediante la norma NTE INEN 696 donde se pasa la muestra por tamices de 2'', 1 1/2'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', N°4, para determinar los límites de la norma ASTM C33, ver anexo: tabla N°27.

Gráfico 8: Curva Granulométrica del Agregado Grueso

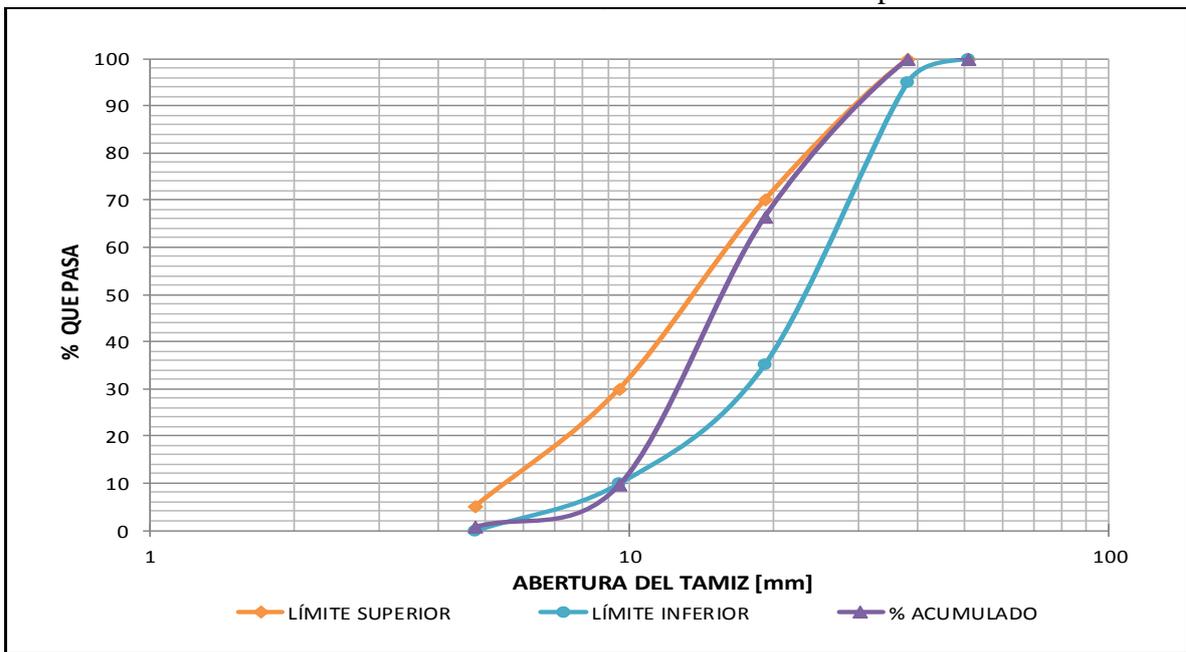


Fuente: Ortega Mera Klever David

c) Granulometría del Árido Arcilla Expandida

Se obtuvo el ensayo de la misma manera en la que se realizó el ensayo del agregado grueso y sometiéndonos a la norma NTE INEN 696 y de acuerdo a los límites de la norma ASTM C33, ver anexo: tabla N°28.

Gráfico 9: Curva Granulométrica del Árido Arcilla Expandida



Fuente: Ortega Mera Klever David

d) Densidad Aparente Suelta de los Agregados

Para este ensayo se necesita de un recipiente cuyo volumen y masa sea conocida, para posteriormente llenarlo hasta el borde superior con el material a ensayar, enrasarlo y por último pesar, luego calcular su densidad dividiendo la masa del material para el volumen del recipiente, ver anexo: tabla N°29.

Tabla N°9: Densidad Aparente Suelta de los Agregados.

AGREGADO	PESO UNITARIO PROMEDIO [kg/cm³]
GRUESO	1.3570
FINO	1.5491
ARCILLA EXPANDIDA	0.382

Fuente: Ortega Mera Klever David

e) Densidad Aparente Compactada de los Agregados

Al igual que en el ensayo de densidad aparente suelta, se utiliza el mismo recipiente en el cual se llena del material a ensayar en tres capas las mismas que deben ser compactadas con una varilla de punta redonda dando 25 golpes en cada una de las capas en forma de espiral, por último enrasar y pesar para calcular la densidad dividiendo la masa del material para el volumen del recipiente, ver anexo: tabla N°30.

Tabla N°10: Densidad Aparente Compactada de los Agregados

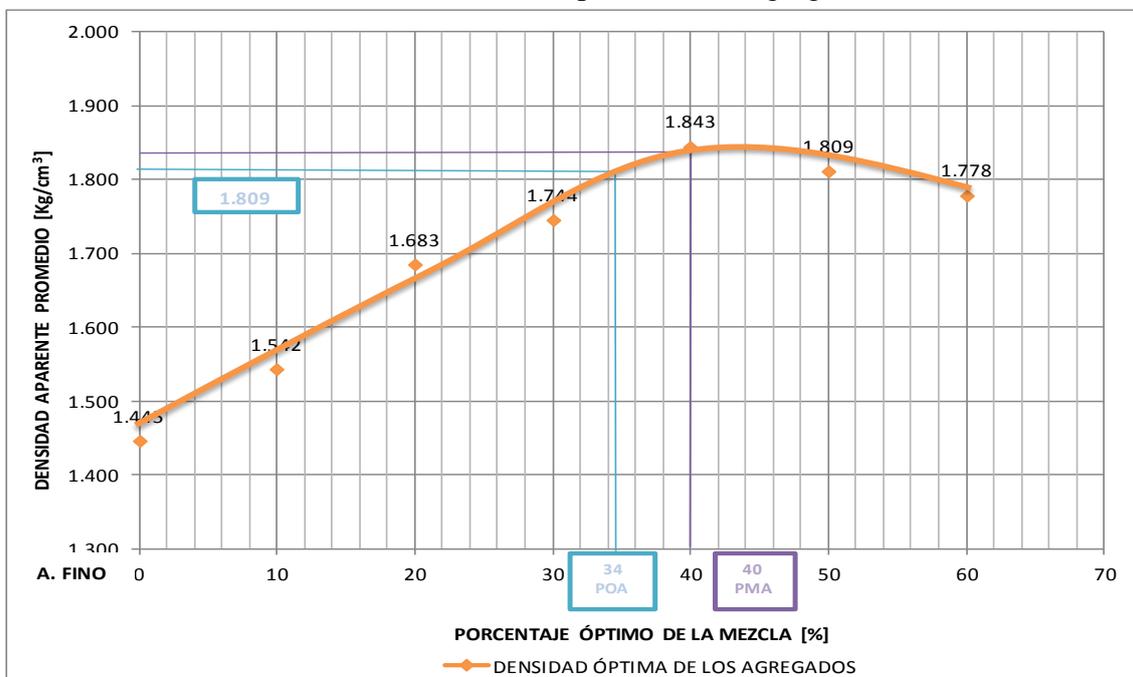
AGREGADO	PESO UNITARIO PROMEDIO [kg/cm³]
GRUESO	1.445
FINO	1.695
ARCILLA EXPANDIDA	0.406

Fuente: Ortega Mera Klever David

f) Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Para este ensayo se debe pesar una muestra de agregado grueso de 40 kg, posteriormente mezclarla con diferentes cantidades de masa de agregado fino hasta llegar a 60 kg, llenar el recipiente en tres capas compactadas con la varilla de punta redonda dando 25 golpes en forma de espiral, por último enrasar, pesar y realizar los diferentes cálculos, ver anexo: tabla N°31.

Gráfico 10: Densidad Óptima de los Agregados



Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40 %
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60 %
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	34 %
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64 %
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1.843
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1.809

Fuente: Ortega Mera Klever David

g) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

Para realizar este ensayo debemos asegurarnos que el material se encuentre en estado saturado superficie seca (SSS), bajo la norma NTE INEN 856, método del picnómetro, ver anexo: tabla N°32.

Tabla N°11: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
DRA	Densidad Real de la Arena	[gr/cm ³]	2.397
P2	Capacidad de Absorción Promedio de Arena	[%]	1.72

Fuente: Ortega Mera Klever David

h) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

La densidad real y la capacidad de absorción del árido grueso se obtienen por medio del método de la canastilla, de la Norma NTE INEN 857, ver anexo: tabla N°33.

Tabla N°12: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
DR	Densidad Real del Ripio	[gr/cm ³]	2.621
PR2	Capacidad de Absorción Promedio del Ripio	[%]	0.82

Fuente: Ortega Mera Klever David

i) Densidad Real y Capacidad de Absorción de la Arcilla Expandida

Para la obtención de estos ensayos se realizó de la misma que se elaboró con el agregado grueso (ripio), ver anexo: tabla N°34.

Tabla N°13: Densidad Real y Capacidad de Absorción de la Arcilla Expandida

DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR
DRAE	Densidad Real de la Arcilla Expandida	[gr/cm ³]	1.010
PAE2	Capacidad de Absorción Promedio de la A. E.	[%]	30.54

Fuente: Ortega Mera Klever David

j) Densidad Real del Cemento

De acuerdo a la norma NTE INEN 156 se realizó el ensayo para la obtención de la densidad real del cemento hidráulico, bajo el método del picnómetro, ver anexo: tabla N°35.

Tabla N°14: Densidad Real del Cemento

DATOS	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	M1	M2
DPC	Densidad Real Promedio del Cemento	gr./cm ³	2.90	

Fuente: Ortega Mera Klever David

4.1.3. Dosificación del Hormigón Método de la Densidad Óptima

Para el cálculo de la dosificación del concreto es necesario de los valores calculados anteriormente (ver tabla N°15), bajo los diferentes ensayos realizados de los materiales a usar en la elaboración del concreto llevado a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla N°15: Valores Obtenidos Bajo Ensayos de Laboratorio

Resistencia a la Compresión [f'c]	240	Kg/cm ²
Asentamiento Requerido	7	Cm
Densidad Real de la Arena [DRA]	2.40	gr/cm ³
Densidad Real del Ripio [DRR]	2.62	gr/cm ³
Densidad Real del Cemento [DRC]	2.90	gr/cm ³
Densidad Óptima de la Mezcla [DOM]	1.809	gr/cm ³
Porcentaje Óptimo de la Arena [POA]	34	%
Porcentaje Óptimo del Ripio [POR]	64	%

Fuente: Ortega Mera Klever David

a) Relación Agua/Cemento [W/C]

De acuerdo a la resistencia a la compresión del hormigón requerido se elige el valor al cual corresponde la relación agua/cemento, de la siguiente tabla:

Tabla N°16: Resistencia a la Compresión del Hormigón Relación W/C

Resistencia a la Compresión a los 28 Días en Kg/cm² (f'c)	Relación Agua/Cemento (W/C)
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.46
320	0.50
300	0.51
280	0.52
250	0.55
240	0.56
210	0.58
180	0.60

Fuente: Garzón M., “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Quito, 2010.

b) Densidad Real de la Mezcla de los agregados

Se obtiene a base de los volúmenes reales y los porcentajes óptimos de cada material.

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

$$DRM = \frac{2.40 * 34 + 2.62 * 64}{100}$$

$$DRM = 2.493Kg/dm^3$$

Dónde:

DRM = Densidad Real de la Mezcla.

c) Porcentaje Óptimo de Vacíos

Se lo calcula para llenar el espacio que existe entre las partículas de los agregados, con pasta de cemento y agua.

$$\%OV = \frac{DRM - DOM}{DRM}$$

$$\%OV = \frac{2.493 - 1.809}{2.493}$$

$$\%OV = 27.424\%$$

Dónde:

$\%OV$ = Porcentaje Óptimo de Vacíos

d) Cantidad de Pasta

Para el cálculo de cantidad de pasta se realizó el ensayo del cono de Abrams con el cual se determina el asentamiento en estado fresco del concreto.

Tabla N°17: Asentamiento – Cantidad de Pasta en Porcentaje

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0 – 3	$\%OV + 2\% + 3\%(\%OV)$
3 – 6	$\%OV + 2\% + 6\%(\%OV)$
6 – 9	$\%OV + 2\% + 8\%(\%OV)$
9 – 12	$\%OV + 2\% + 11\%(\%OV)$
12 – 15	$\%OV + 2\% + 13\%(\%OV)$

Fuente: Garzón M., “Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Quito, 2010.

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

$$CP = 27.424 + 2 + 0.08 * (27.424)$$

$$CP = 31.6174 \text{ dm}^3$$

$$CP = 0.316174 * 1000$$

$$CP = 316.174 \text{ dm}^3$$

Dónde:

CP = Cantidad de Pasta.

e) Cantidad de Cemento

Una vez calculado la cantidad de pasta, se calcula la cantidad de cemento, sabiendo que la pasta está compuesta por agua y cemento en volumen, lo cual nos permite encontrar la cantidad de cemento en peso por metro cubico de concreto.

$$CP = W + C$$

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

$$CP = C \left(\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC} \right)$$

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

$$C = \frac{316.174}{0.56 + \frac{1}{2.90}}$$

$$C = 349.461 \text{ Kg por cada } m^3$$

Dónde:

C = Cemento.

f) Cantidad de Agua

Se obtiene en función a la cantidad de cemento calculado para un metro cubico de concreto y la relación agua/cemento.

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

$$W = 0.56 * 349.461$$

$$W = 195.698 \text{ Kg ó lts por } m^3 \text{ de concreto.}$$

g) Cantidad de Agregados

Para obtener la cantidad de cada uno de los agregados fino y grueso en volumen, debemos restar la cantidad de pasta al metro cubico de concreto y multiplicarlos por cada una de sus densidades reales y porcentajes óptimos obteniendo la cantidad en kilogramos.

- **Cantidad de Arena (A)**

$$A = (1000 - CP) * DRA * POA$$

$$A = (1000 - 316.174) * 2.40 * 0.34$$

$$A = 557.217 \text{ Kg por cada } m^3 \text{ de concreto}$$

- **Cantidad de Ripio (R)**

$$R = (1000 - CP) * DRR * POR$$

$$R = (1000 - 316.174) * 2.62 * 0.64$$

$$R = 1147.248 \text{ Kg por cada } m^3 \text{ de concreto}$$

h) Dosificación al Peso

Para obtener la dosificación al peso se divide los diferentes valores de los materiales al volumen para la cantidad de cemento calculado.

$$C = \frac{349.461}{349.461}$$

$$\text{Cemento} = 1$$

$$W = \frac{195.698}{349.461}$$

$$W(\text{Agua}) = 0.56$$

$$A = \frac{557.217}{349.461}$$

$$\text{Arena} = 1.59$$

$$R = \frac{1147.248}{349.461}$$

$$Ripio = 3.28$$

4.1.4. Dosificación para Vigas de Concreto

Se realizó la dosificación para seis vigas de concreto, para lo cual calculamos el volumen de la viga y multiplicamos por la cantidad de especímenes (vigas) requeridas.

Datos:

Altura viga (Hv) = 0.15m

Longitud viga (Lv) = 0.75m

Ancho viga (Av) = 0.15m

Número vigas (Nv) = 6

$$Vv = Hv * Av * Lv * Nv$$

$$Vv = 0.101m^3$$

Dónde:

Vv = Volumen Viga

Por medio de una regla de tres simple se obtienen las cantidades de los materiales.

$$1m^3 H^{\circ} \rightarrow \text{Cantidad de material (W, C, A, R)}$$

$$Vv H^{\circ} \rightarrow X$$

$$X = \frac{\text{Cantidad de material (W,C,A,R)} * Vv H^{\circ}}{1m^3} \text{ Ver anexo: tabla N}^{\circ}36$$

Tabla N°18: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN	UNIDAD
W	0.56	19.81	Lts
C	1.00	35.38	Kg
A	1.59	56.42	Kg
R	3.28	116.16	Kg

Fuente: Ortega Mera Klever David

Para la dosificación del árido de arcilla expandida 30% y 50% se calcula por medio de una regla de tres simple del valor total del agregado grueso.

- **Cálculo para el 30% de Arcilla Expandida**

Cantidad de Ripio → 100%

X → 30%

$$X = \frac{\text{Cantidad de Ripio} * 30}{100}$$

$$X = \frac{116.16 * 30}{100}$$

$$X = 34.85 \text{ kg}$$

Dónde: $116.16 - 34.85 = 81.31 \text{ kg}$ de Agregado Grueso (Ripio)

Tabla N°19: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón con el 30% de A. E.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN	UNIDAD
W	0.56	19.81	Lts
C	1.00	35.38	Kg
A	1.59	56.42	Kg
R	3.28	81.31	Kg
AR	-	34.85	Kg

Fuente: Ortega Mera Klever David

- **Cálculo para el 50% de Arcilla Expandida**

Tabla N°20: Dosificación para Seis Vigas de Hormigón con el 50% de A. E.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN	UNIDAD
W	0.56	19.81	Lts
C	1.00	35.38	Kg
A	1.59	56.42	Kg
R	3.28	58.08	Kg
AR	-	58.08	Kg

Fuente: Ortega Mera Klever David

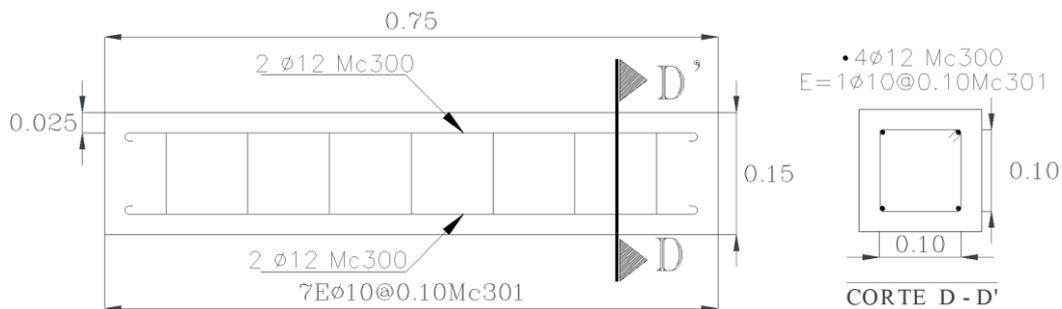
Para la dosificación del árido de arcilla expandida se dedujo por motivo de sus diferentes pesos específicos realizarlo al volumen y no al peso, ya que la arcilla es muy

liviana y si dosificamos al peso el material, vamos a tener problemas en lo que se refiere a cantidad de volumen.

4.1.5. Descripción de la Viga Tipo

- **Hormigón**
 - $F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$
 - Recubrimiento = 2.5 cm
- **Acero**
 - $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 - Acero Longitudinal = $4\text{Ø}12\text{mm}$
 - Acero Transversal = $7\text{Ø}10\text{mm}@0.10\text{m}$
- **Detalle de Armado**

Gráfico 11: Detalle de Viga Tipo



Fuente: Ortega Mera Klever David

- **Planilla de Acero**

Tabla N°21: Planilla de Acero

PLANILLA DE HIERROS												
ENSAYADO POR:			David Ortega					FECHA:		23/07/2017		
Mc	Ø	TIPO	DIMENSIONES					LONG. DES.	N°	LONG. TOTAL	VAR. COM.	N° VAR.
			a	b	c	D	G					
300	12	I	0.70				0.10	0.80	144	115.2	12	10
301	10	O	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.50	252	126	12	11

Fuente: Ortega Mera Klever David

4.1.6. Elaboración de Vigas de Concreto

Se elaboraron 36 especímenes (vigas) de acuerdo a las siguientes condiciones; doce especímenes (vigas) tradicionales, doce especímenes con el 30 % de árido arcilla expandida y doce especímenes con el 50 % de árido arcilla expandida con una resistencia a la compresión de 240Kg/cm².

Una vez calculado los valores de cada uno de los materiales a utilizar procedemos a pesar en recipientes o bandejas las diferentes cantidades de arena, ripio, cemento y agua de acuerdo a la dosificación.

La mezcla se realizó en una concretera de un saco de cemento, la misma que se la revisó no tenga restos de material, a continuación se encendió la máquina donde se introdujo una cierta porción de agua, el agregado grueso (ripio), cemento, para luego añadir el agregado fino (arena) y la totalidad de agua calculada, durante un tiempo estimado de tres minutos, para obtener un concreto tradicional con una resistencia a la compresión de $f^c = 240 \text{ Kg/cm}^2$.

Para la mezcla con árido de arcilla expandida se pesa el agregado grueso (ripio) y se calcula el volumen del material para posterior ser cambiado por la arcilla expandida, añadir a la concretera al igual que se realizó con el concreto tradicional.

Una vez que la mezcla obtuvo homogeneidad se la trasladó por medio de una carretilla a cada uno de los moldes metálicos los cuales se los lleno en tres capas, al colocar la primera capa se colocó el armado de acero y se compacto con un vibrador a gasolina evitando el contacto con el molde metálico, las otras dos capas se las colocó una vez que el armado se situó en su lugar, al finalizar el vibrado se golpeó por 12 ocasiones en el exterior del molde con un martillo de goma con la finalidad de cerrar los agujeros y el contenido de aire provocados por el vibrado.

Se enrazó en la parte vista de la viga con una varilla de acero de punta redondeada, por último se dejó por 24 horas de fraguado para continuamente desencofrar los especímenes y colocarlos en la cámara de curado donde se los dejó por 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

4.1.7. Ensayo a Flexión de Vigas de Concreto

De acuerdo a la planificación realizada para los ensayos de los especímenes tradicionales y con árido de arcilla expandida, se las retiró de la cámara de curado para ser pesadas y llevarla a la máquina de ensayo a flexión de acuerdo a la norma NTE INEN 2554.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

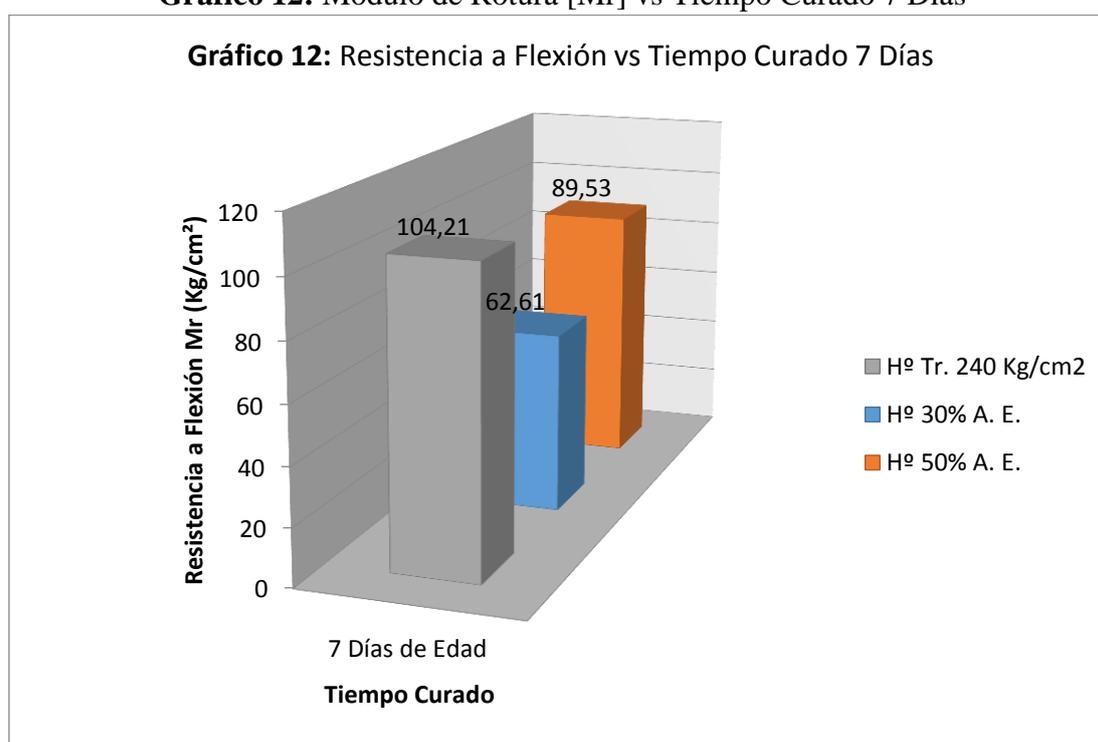
Para el análisis de los resultados que se obtuvieron en los ensayos realizados en la máquina CONTROL'S – FLEXIÓN la cual se ejecuta con el software RTM el mismo que proporciona un número amplio de datos sobre el espécimen (viga), donde analizaremos los datos de la resistencia a flexión para las diferentes edades de curado, mediante esto comparar los resultados obtenidos entre las vigas de hormigón tradicional vs vigas de hormigón con árido de arcilla expandida.

Tabla N°22: Módulo de rotura – Hormigón 240 Kg/cm² a los 7 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
MÓDULO DE ROTURA HORMIGÓN 7 DÍAS DE CURADO $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$					
REALIZADO POR:		David Ortega	FECHA ENSAYO:		07/08/2017
Nº	IDENTIFICACIÓN VIGAS PROMEDIO	DEFORMACIÓN [mm]	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN Mr [Kg/cm ²]	
1	Hº 30% Arcilla Expandida	4.924	4698.064	62.61	
2	Hº 50% Arcilla Expandida	11.704	6715.23	89.53	
3	Hº Tradicional	0.710	7819.16	104.21	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Gráfico 12: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 7 Días

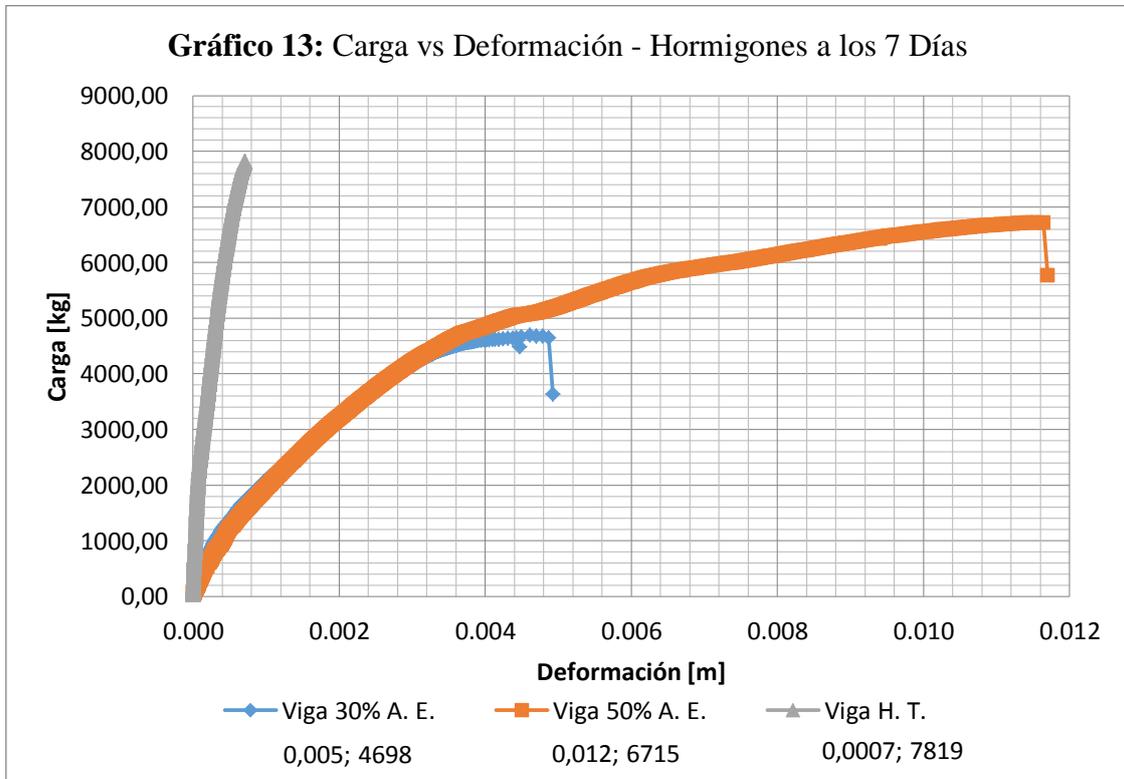


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

La viga promedio con el 50% de arcilla expandida presenta una resistencia de 89.53 Kg/cm² mayor a la de la viga promedio con el 30% de arcilla expandida de 62.61 Kg/cm², lo cual muestra que pierde su resistencia en un 14.09% a la del hormigón tradicional que tiene una resistencia a flexión de 104.21 kg/cm².

Gráfico 13: Carga vs Deformación – Hormigones a los 7 Días de Edad

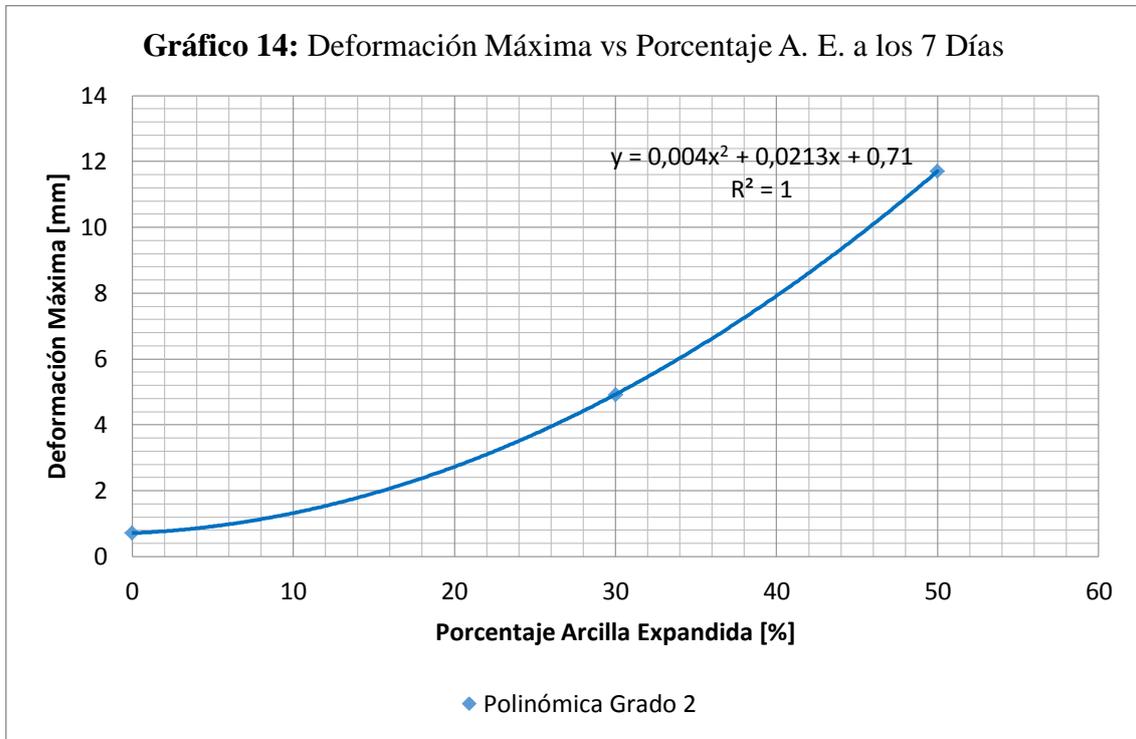


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

En el gráfico 13 podemos observar que la viga de hormigón tradicional soporta una carga de 7819.16 kg con una deformación menor de 0.710 mm, mayor que de la viga de hormigón con el 50% de arcilla expandida con 6715.23 kg y una deformación mayor de 11.704 mm, por lo que la viga de hormigón con el 30% de arcilla expandida soporta una carga menor de 4698.064 kg con una deformación de 4.924 mm, por lo que el hormigón con arcilla expandida no posee una buena resistencia a la flexión a los 7 días de edad, véase en anexos: tablas 37, 38 y 39.

Gráfico 14: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 7 Días



Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

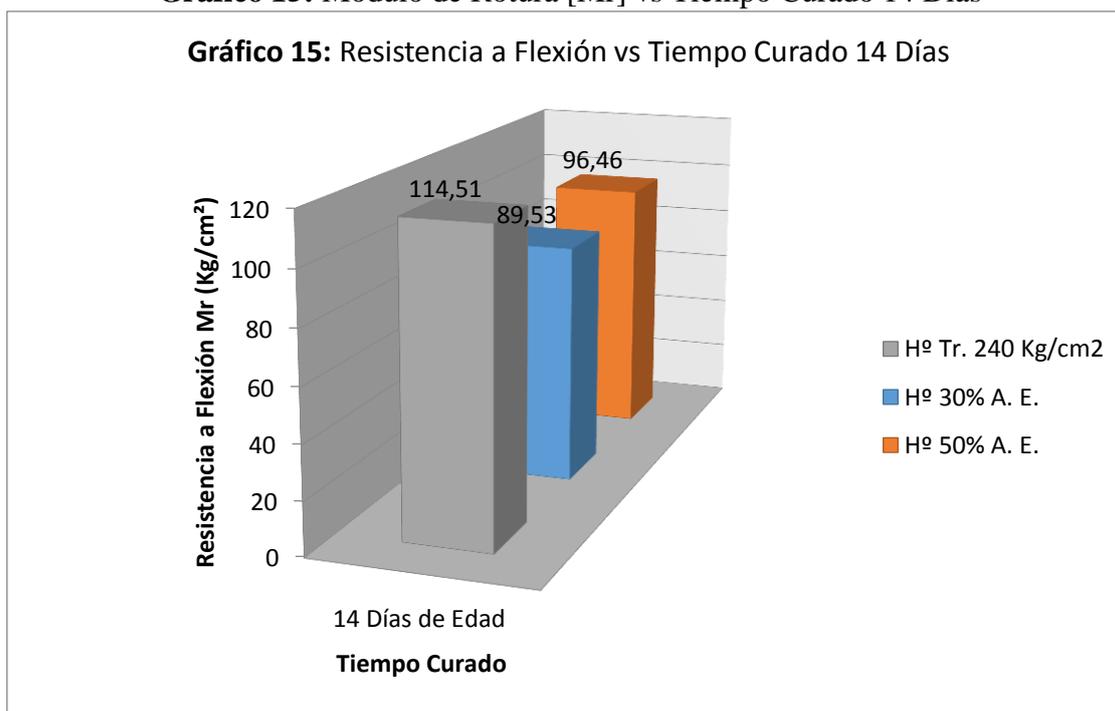
Mediante el gráfico 14, podemos observar que la deformación máxima de la viga con el 50% de arcilla expandida es 11.704 mm mayor a la viga con el 30 % de arcilla expandida que tiene una deformación máxima de 4.924 mm, por último la viga tradicional posee una deformación menor de 0.71 mm, es decir, mientras más cantidad de arcilla expandida contenga el hormigón la deformación será mayor, por lo que no es apta para la elaboración de hormigones.

Tabla N°23: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm² a los 14 Días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
MÓDULO DE ROTURA HORMIGÓN 14 DÍAS DE CURADO $f_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$					
REALIZADO POR: David Ortega			FECHA ENSAYO: 14/08/2017		
N°	IDENTIFICACIÓN VIGAS PROMEDIO	DEFORMACIÓN [mm]	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN Mr [Kg/cm ²]	
1	H° 30% Arcilla Expandida	15.897	6711.97	89.53	
2	H° 50% Arcilla Expandida	7.799	7233.85	96.46	
3	H° Tradicional	18.415	8587.91	114.51	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Gráfico 15: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 14 Días

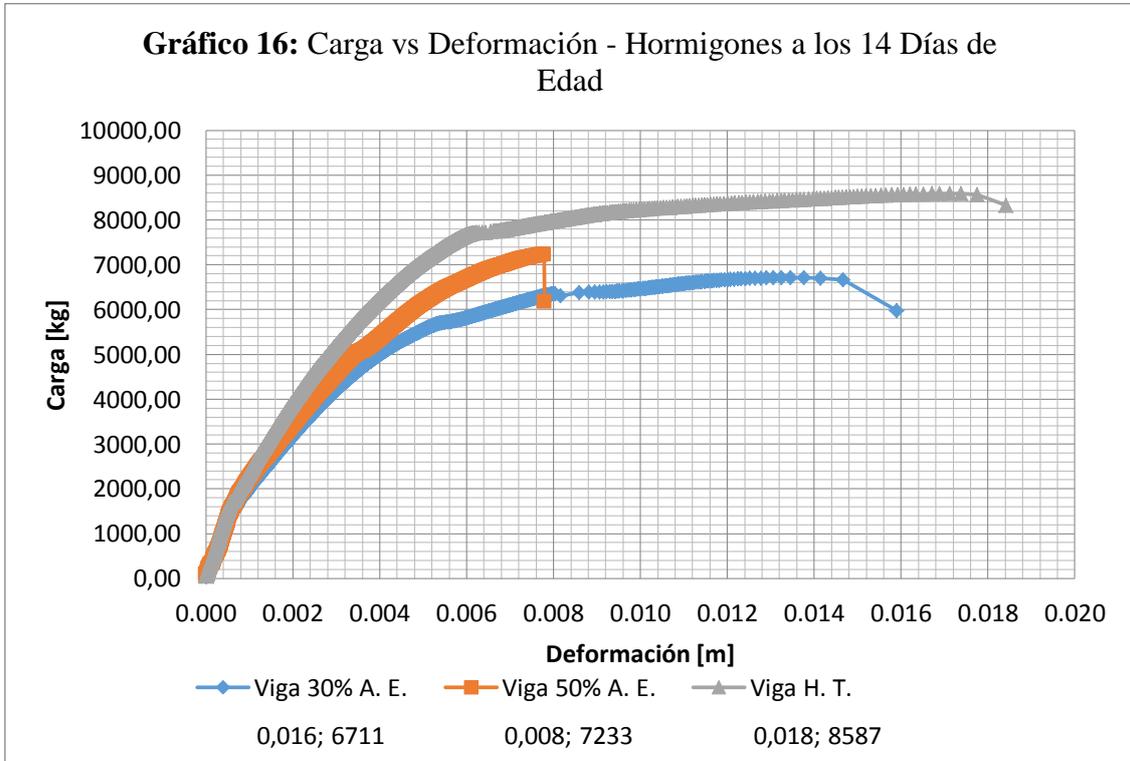


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

La viga promedio con el 50% de arcilla expandida presenta una resistencia de 96.46 kg/cm² mayor a la de la viga promedio con 30% de arcilla expandida de 89.53 kg/cm², lo cual muestra que disminuye su resistencia en un 15.76% en comparación a la viga tradicional que tiene una resistencia a la flexión de 114.51 kg/cm².

Gráfico 16: Carga vs Deformación – Hormigones a los 14 Días de Edad

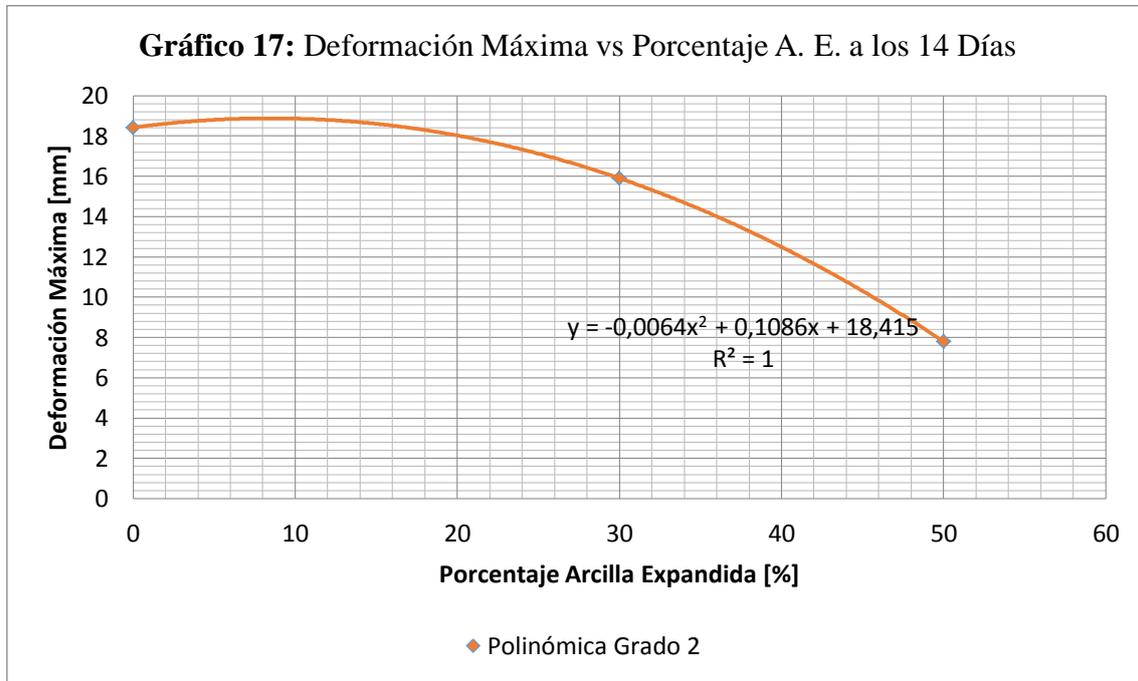


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

En el gráfico 15 podemos observar que la viga de hormigón tradicional soporta una carga de 8587.91 kg con una deformación mayor de 18.415 mm, mayor que de la viga de hormigón con el 50% de arcilla expandida con 7233.85 kg y una deformación menor de 7.799 mm, por lo que la viga de hormigón con el 30% de arcilla expandida soporta una carga menor de 6711.97 kg con una deformación de 15.897 mm, por lo que el hormigón con arcilla expandida no posee una buena resistencia a la flexión a los 14 días de edad, véase en anexos: tablas 40, 41 y 42.

Gráfico 17: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 14 Días



Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

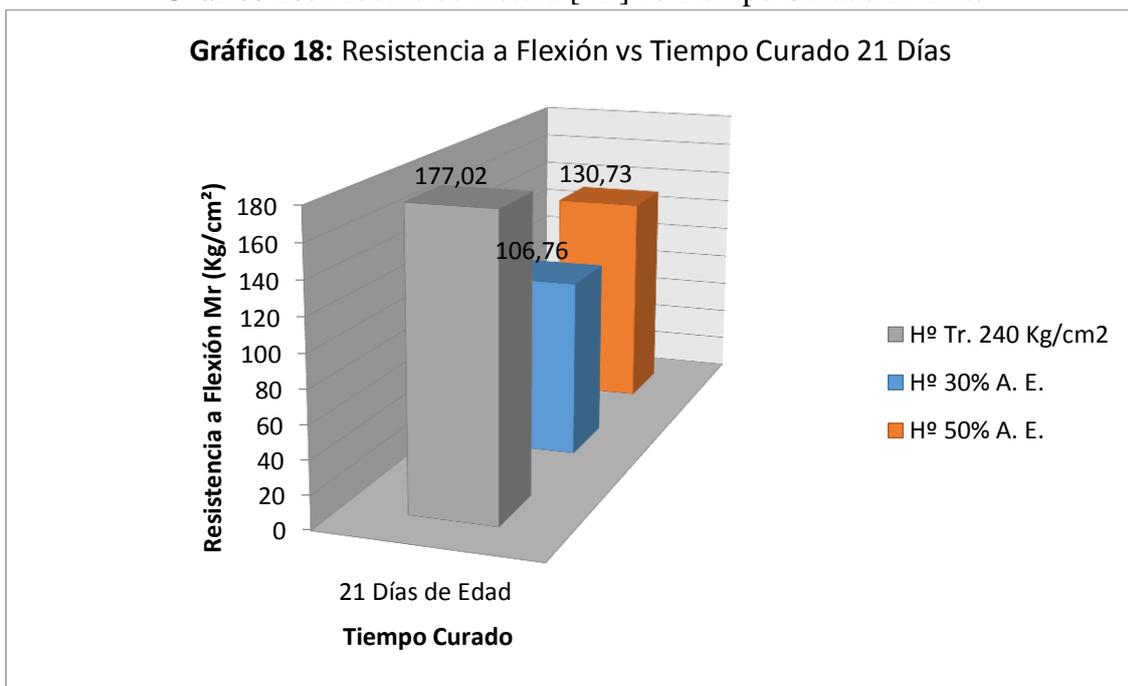
Mediante el gráfico 17, podemos observar que la deformación máxima de la viga con el 50% de arcilla expandida es 7.799 mm menor a la viga con el 30 % de arcilla expandida que tiene una deformación máxima de 15.897 mm, por último la viga tradicional posee una deformación mayor de 18.415 mm, es decir, mientras más cantidad de arcilla expandida contenga el hormigón la deformación será menor, por lo que es apta para la elaboración de hormigones.

Tabla N°24: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm² a los 21 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
MÓDULO DE ROTURA HORMIGÓN 21 DÍAS DE CURADO f'c = 240 Kg/cm²				
REALIZADO POR:		David Ortega	FECHA ENSAYO:	21/08/2017
N°	IDENTIFICACIÓN VIGAS PROMEDIO	DEFORMACIÓN	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN Mr [Kg/cm²]
1	H° 30% Arcilla Expandida	13.010	8007.5	106.76
2	H° 50% Arcilla Expandida	49.707	9803.29	130.73
3	H° Tradicional	2.476	9957.17	177.02

Fuente: Ortega Mera Klever David

Gráfico 18: Módulo de Rotura [Mr] vs Tiempo Curado 21 Días

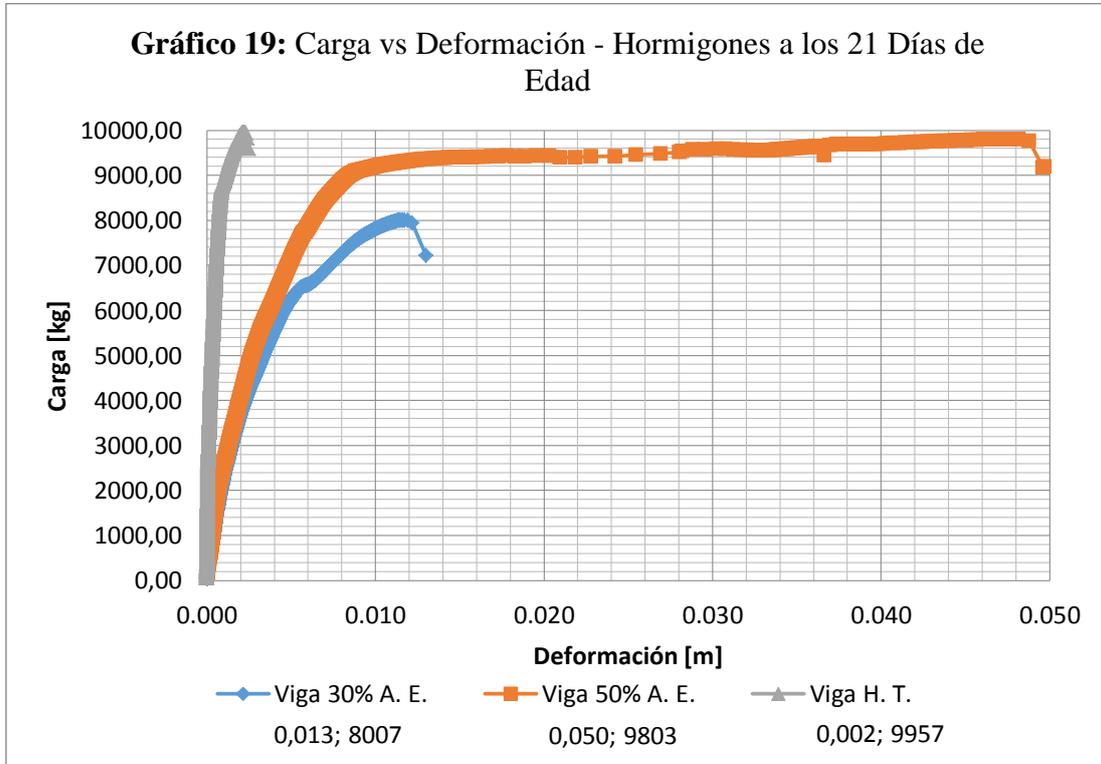


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

La viga promedio de 50% de arcilla expandida presenta una resistencia de 130.73 kg/cm² mayor a la de la viga promedio de 30% de arcilla expandida con 106.76 kg/cm², lo cual muestra que reduce su resistencia en un 26.15% en comparación a la viga tradicional que tiene una resistencia a la flexión de 177.02 kg/cm².

Gráfico 19: Carga vs Deformación – Hormigones a los 21 Días de Edad

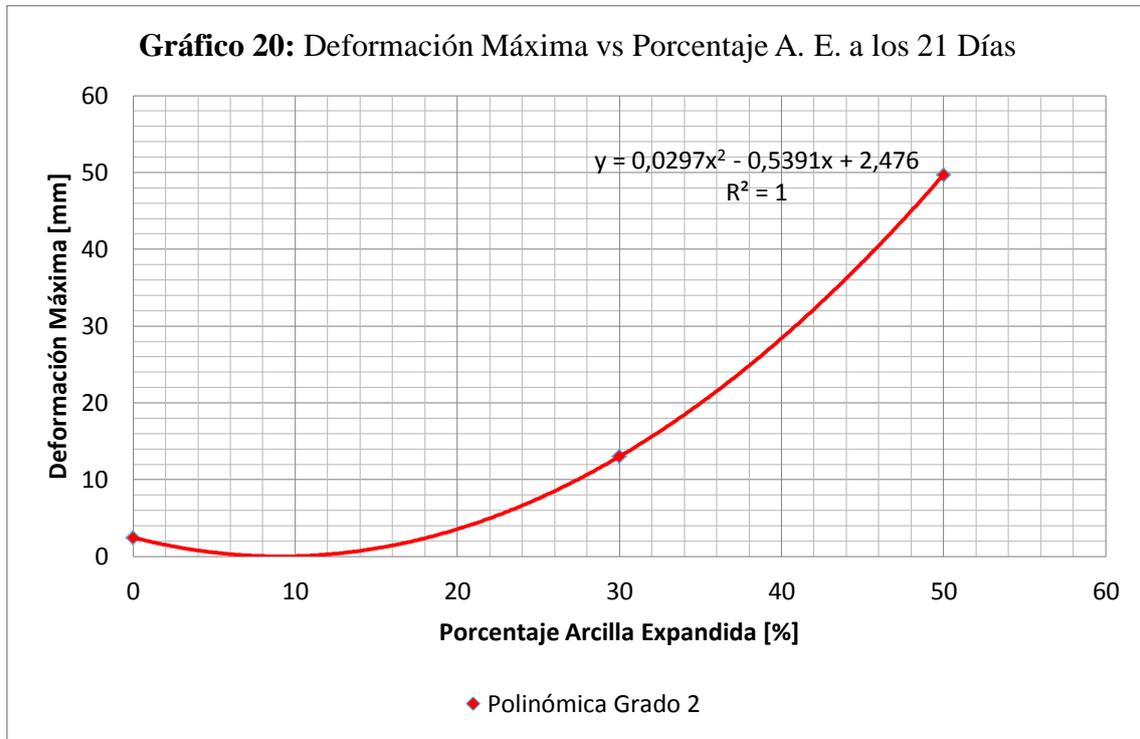


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

En el gráfico 17 podemos observar que la viga de hormigón tradicional soporta una carga de 9957.17 kg con una deformación menor de 2.476 mm, mayor que de la viga de hormigón con el 50% de arcilla expandida con 9803.29 kg y una deformación mayor de 49.707 mm, por lo que la viga de hormigón con el 30% de arcilla expandida soporta una carga menor de 8007.50 kg con una deformación de 13.010 mm, por lo que el hormigón con arcilla expandida no posee una buena resistencia a la flexión a los 21 días de edad, véase en anexos: tablas 43, 44 y 45.

Gráfico 20: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 21 Días



Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

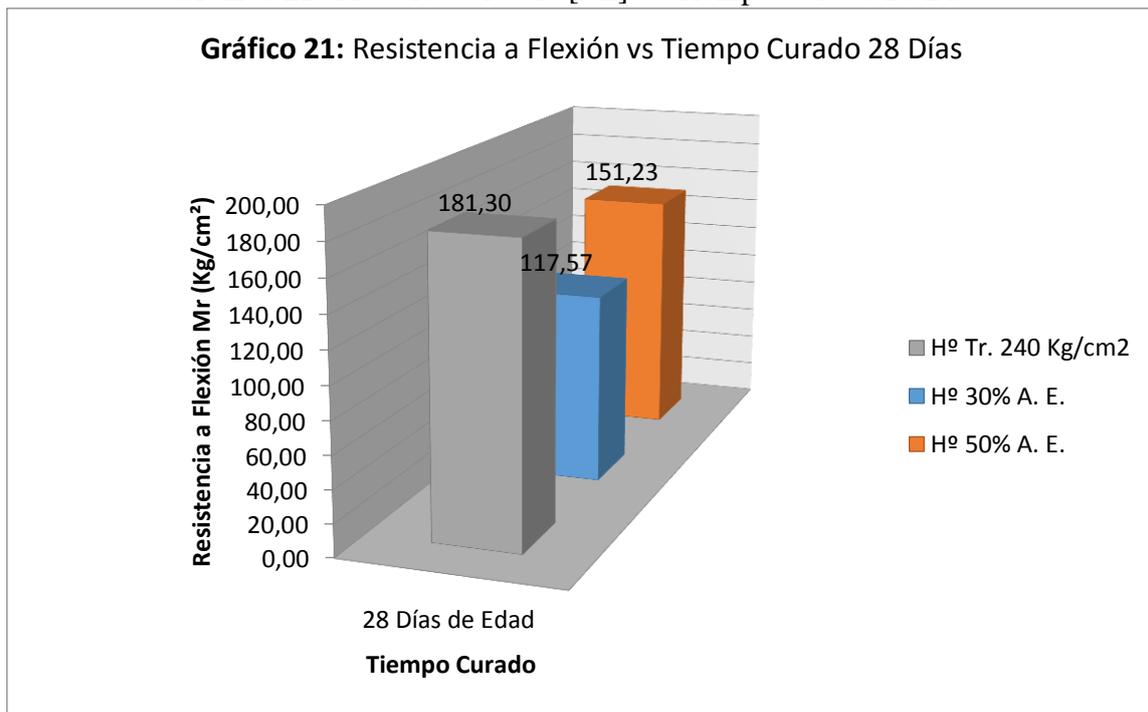
Mediante el gráfico 20, podemos observar que la deformación máxima de la viga con el 50% de arcilla expandida es 49.707 mm mayor a la viga con el 30 % de arcilla expandida que tiene una deformación máxima de 13.010 mm, por último la viga tradicional posee una deformación menor de 2.476 mm, es decir, mientras más cantidad de arcilla expandida contenga el hormigón la deformación será mayor, por lo que no es apta para la elaboración de hormigones.

Tabla N°25: Módulo de Rotura – Hormigón 240 Kg/cm² a los 28 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
MÓDULO DE ROTURA HORMIGÓN 28 DÍAS DE CURADO $f_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$				
REALIZADO POR: David Ortega		FECHA ENSAYO: 28/08/2017		
Nº	IDENTIFICACIÓN VIGAS PROMEDIO	DEFORMACIÓN	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN Mr [Kg/cm ²]
1	Hº 30% Arcilla Expandida	13.926	8821.63	117.57
2	Hº 50% Arcilla Expandida	28.893	9802.78	151.23
3	Hº Tradicional	1.913	10197.00	181.30

Fuente: Ortega Mera Klever David

Gráfico 21: Módulo de rotura [Mr] vs Tiempo Curado 28 Días

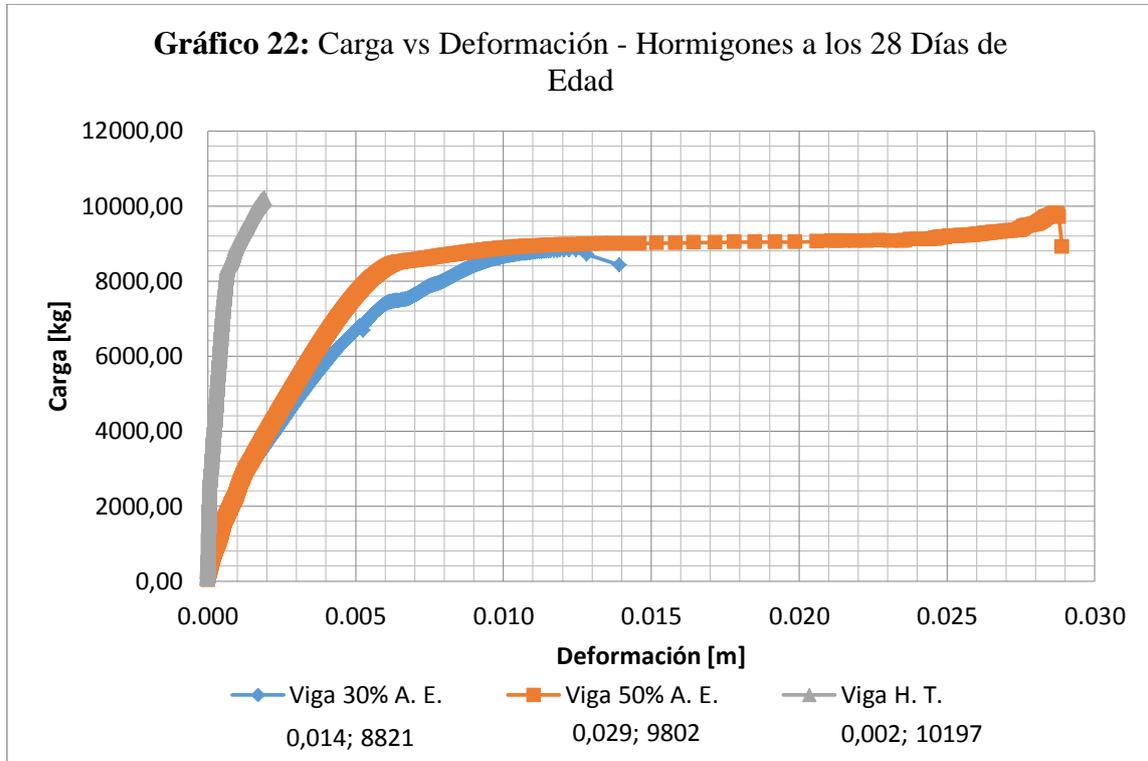


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

La viga promedio con 50% de arcilla expandida presenta una resistencia de 130.73 kg/cm² mayor a la de la viga promedio con 30% de arcilla expandida de 117.57 kg/cm², lo cual muestra que disminuye su resistencia en un 16.59% en comparación con la viga tradicional que tiene una resistencia a la flexión de 181.30 kg/cm².

Gráfico 22: Carga vs Deformación – Hormigones a los 28 Días de Edad

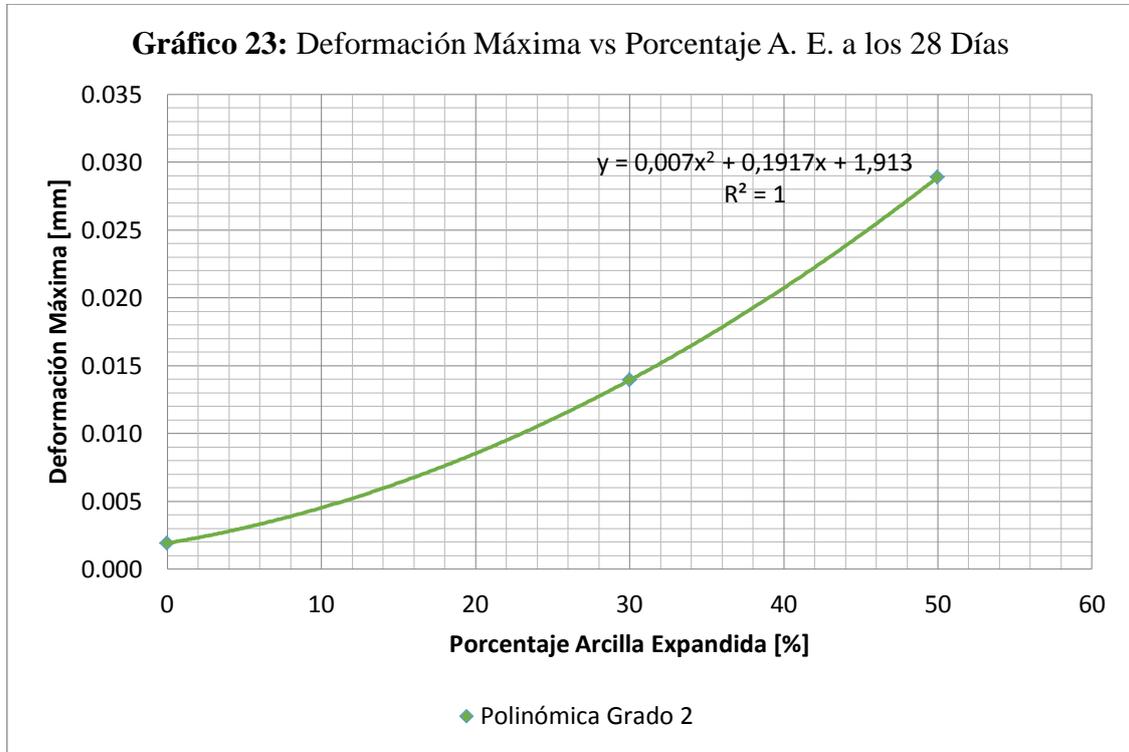


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

En el gráfico 19 podemos observar que la viga de hormigón tradicional soporta una carga de 10197.00 kg con una deformación menor de 1.913 mm, mayor que de la viga de hormigón con el 50% de arcilla expandida con 9802.78 kg y una deformación mayor de 28.893 mm, por lo que la viga de hormigón con el 30% de arcilla expandida soporta una carga menor de 8821.63 kg con una deformación de 13.926 mm, por lo que el hormigón con arcilla expandida no posee una buena resistencia a la flexión a los 28 días de edad, véase en anexos: tablas 46, 47 y 48.

Gráfico 23: Deformación Máxima vs Porcentaje A. E. a los 28 Días

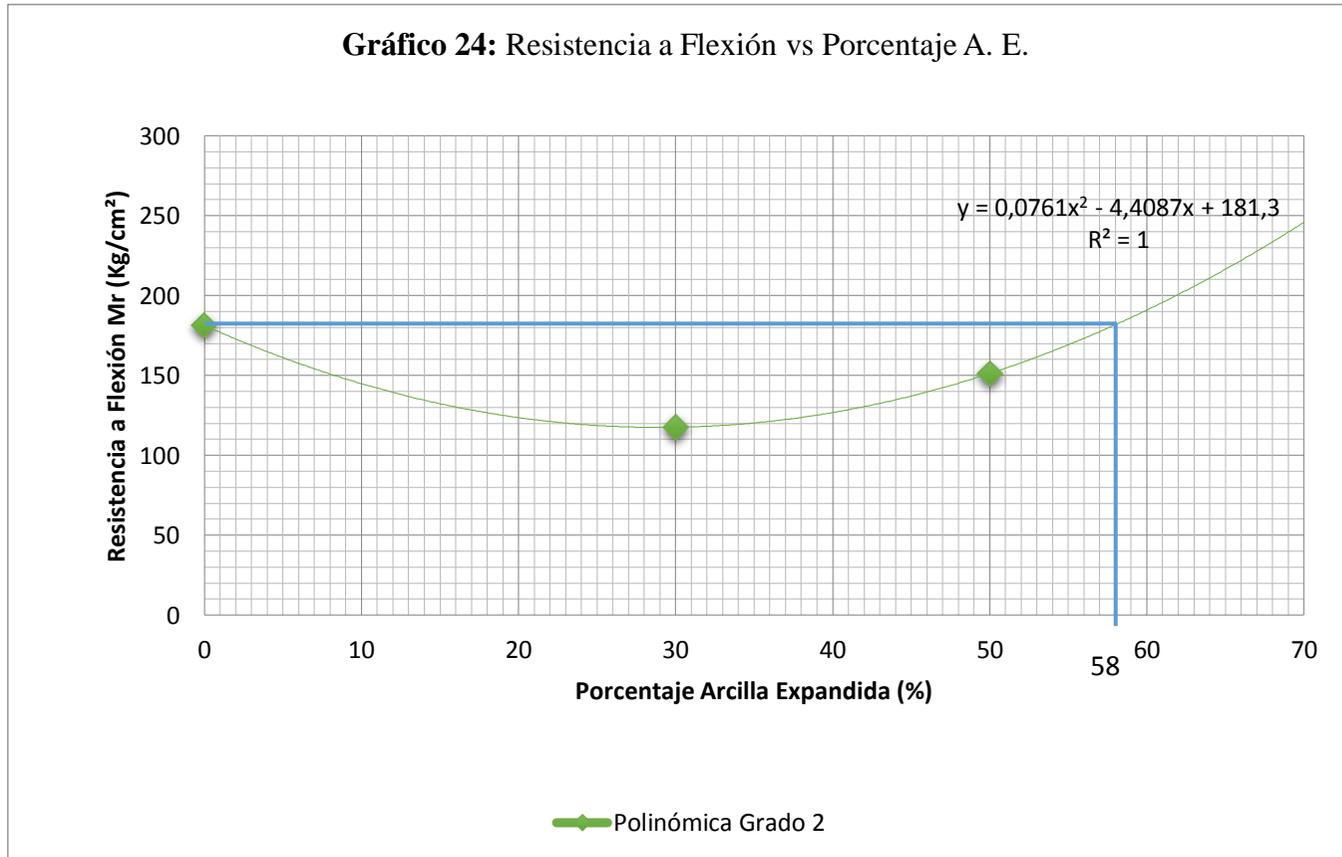


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

Mediante el gráfico 23, podemos observar que la deformación máxima de la viga con el 50% de arcilla expandida es 28.893 mm mayor a la viga con el 30 % de arcilla expandida que tiene una deformación máxima de 13.926 mm, por último la viga tradicional posee una deformación menor de 1.913 mm, es decir, mientras más cantidad de arcilla expandida contenga el hormigón la deformación será mayor, por lo que no es apta para la elaboración de hormigones.

Gráfico 24: Resistencia a Flexión vs Porcentaje de Arcilla Expandida

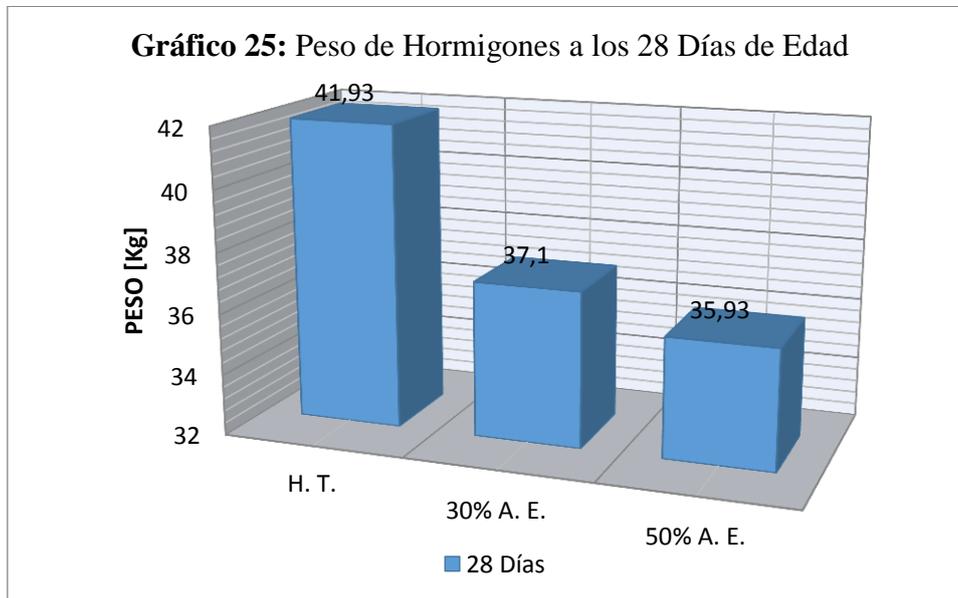


Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de resultados:

Debido a los valores obtenidos y por la importancia que tiene el hormigón a los 28 días de edad se consideró el **Gráfico 24:** resistencia a flexión vs porcentaje de arcilla expandida, donde analizamos que; la resistencia a flexión en vigas con arcilla expandida fue menor a la resistencia a flexión de vigas con hormigón tradicional y en vista de que los especímenes (vigas) con el 50% de arcilla expandida tiene una resistencia mayor a la de los especímenes con el 30% se optó en realizar una curva polinómica para poder estimar un valor porcentual del material arcilla expandida con el cual alcanzaría una resistencia a la flexión aproximada a la que obtienen los especímenes de hormigón tradicional, dando como resultado tentativo que con el 58% de arcilla expandida aplicada en los especímenes (vigas) se obtendrá una resistencia a la flexión de 181.30 kg/cm² la misma resistencia que tiene el hormigón tradicional.

Gráfico 25: Peso Hormigones a los 28 Días de Edad



Fuente: Ortega Mera Klever David

Interpretación de Resultados:

Como se puede observar en el gráfico 21, el hormigón disminuye su peso específico, mientras se proporcione de más arcilla expandida a la mezcla más baja será su peso

específico, gracias a que el material antes mencionado contiene poros, los mismos que le ayudan a tener una baja densidad, cabe mencionar que durante transcurra el tiempo la densidad del hormigón disminuye esto se debe al método de curado lo cual se recomienda realizar un curado al ambiente o utilizar otro método el cual no sea bajo agua.

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada en el capítulo II de este trabajo experimental “La sustitución del agregado grueso por la arcilla expandida influye en la resistencia a flexión del hormigón”.

Por medio de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos a flexión realizadas a vigas con diferentes porcentajes de arcilla expandida y vigas con hormigón tradicional a una resistencia a la compresión $f'c$ de 240 kg/cm², se verifica que con los porcentajes del 30% y 50% de arcilla expandida disminuye su resistencia a flexión en comparación con la resistencia de la del hormigón tradicional, así mismo el peso específico del hormigón armado con arcilla expandida disminuye a lo que se refiere al del hormigón tradicional, cabe recalcar que mientras se le proporciona de más material árido de arcilla expandida por la sustitución del agregado grueso la densidad del hormigón disminuye, por lo que se puede decir que el material de arcilla expandida por su baja densidad afecta en la densidad del hormigón.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Debido a que la arcilla expandida es escasa en el Ecuador el precio es de \$ 6.00 los 3.5 kg, es decir, el construir con este material elevaría el precio del hormigón armado.
- La trabajabilidad y homogeneidad del hormigón con arcilla expandida fue buena ya que tuvo asentamientos que varían de 7 a 8.5 cm estando en los límites de consistencia blanda.
- La dosificación de la arcilla expandida se realizó de acuerdo al volumen del mismo debido a diferentes parámetros de sus propiedades mecánicas, y si lo hacemos al peso pues obtendríamos una mezcla con exceso de agregado grueso, esto se da por que la densidad del material es muy baja.
- El peso específico de la arcilla expandida hizo que varíe la densidad del hormigón provocando su disminución, de esta manera se puede obtener hormigones livianos estructurales de alta resistencia, de acuerdo a este trabajo experimental la densidad del hormigón se acerca a los límites de un hormigón ligero, cabe recalcar que la densidad del hormigón será menor mientras más tiempo de edad posea, esto se da debido a que la arcilla expandida contiene poros los mismos que al momento de realizar la mezcla se llenan de agua lo cual produce que el hormigón demore secarse en su totalidad.
- A los 7 días de edad en los ensayos realizados, la viga con hormigón tradicional de 240 kg/cm² obtuvo una resistencia a flexión de 104.21 kg/cm² con una deflexión de 0.710 mm, la viga con el 50% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 89.53 kg/cm² con una deflexión de 11.704 mm, la viga con el 30% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 62.61 kg/cm² con una deflexión de 4.924 mm, siendo la viga con 50% de arcilla expandida la que disminuye la

resistencia a flexión en un 14.09% a la viga tradicional y la que mayor deflexión posee.

- A los 14 días de edad en la viga con hormigón tradicional de 240 kg/cm² obtuvo una resistencia a flexión de 114.51 kg/cm² con una deflexión de 18.415 mm, la viga con el 50% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 96.46 kg/cm² con una deflexión de 7.799 mm, la viga con el 30% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 89.53 kg/cm² con una deflexión de 15.897 mm, donde mantienen un rango similar al anterior de la resistencia entre la viga con 50% de arcilla expandida con el 15.76% a la viga de hormigón tradicional la misma que posee una deflexión mayor.
- A los 21 días de edad la viga con hormigón tradicional de 240 kg/cm² obtuvo una resistencia a flexión de 177.02 kg/cm² con una deflexión de 2.476 mm, la viga con el 50% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 130.73 kg/cm² con una deflexión de 49.707 mm, la viga con 30% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 106.76 kg/cm² con una deflexión de 13.010 mm, donde aumento el rango de resistencia entre la viga con el 50% de arcilla expandida con el 26.15% a la viga de hormigón tradicional, y su deflexión es mayor.
- A los 28 días de edad la viga con hormigón tradicional de 240 kg/cm² obtuvo una resistencia a flexión de 181.30 kg/cm² con una deflexión de 1.913 mm, la viga con el 50% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 151.23 kg/cm² con una deflexión de 28.893 mm, la viga con el 30% de arcilla expandida obtuvo una resistencia de 117.57 kg/cm² con una deflexión de 13.926 mm, la cual el rango de resistencia entre la viga con el 50% de arcilla expandida disminuyo al 16.59% a la viga de hormigón tradicional, y su deflexión es mayor.

5.2. RECOMENDACIONES

- No es recomendable la utilización de la arcilla expandida en la construcción a nivel del País, ya que en el Ecuador no se elabora este material.

- Comprobar las diferentes propiedades de los materiales especialmente la de contenido de humedad ya que en la elaboración del hormigón puede variar su resistencia.
- Colocar el armado de acero de una manera segura ya que al momento de añadir la mezcla de hormigón suele moverse hacia el fondo y por ende la probeta no es apta para el ensayo.
- Verificar los moldes a utilizar en la elaboración de las probetas, limpiándolas, ajustándolas y engrasándolas con bajo contenido de grasa para que no afecte a la probeta en su resistencia.
- Debido a su bajo peso específico la arcilla expandida debe ser sumergida en agua antes de realizar la mezcla ya que absorbe más contenido de agua.
- Colocar los especímenes en estado ambiente y no en una cámara de curado, esto debido a que se puede debatir en que el curado se lo realiza en distintos métodos dependiendo significativamente en sus materiales de construcción, para lo cual se recomienda dejar los especímenes (vigas) a la intemperie por el motivo de que la arcilla expandida absorbe una buena cantidad de agua debido a sus poros, por lo que por medio de este curado su resistencia mejoraría al igual que en su densidad.
- Secar los especímenes durante una hora antes de su ensayo esto ayuda a su mejor manipulación.
- Calibrar la máquina de ensayo a flexión CONTROLS mod 50-C1200/BFR en sus diferentes parámetros.
- Elaborar un trabajo experimental obteniendo datos para los porcentajes de arcilla expandida intermedios a los estimados para este trabajo.
- Realizar un trabajo experimental con una granulometría menor a la especificada en este trabajo ya que podría mejorar su resistencia, debido a su mayor densidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] HERNÁNDEZ DÉNIZ, Juan Francisco. Hormigones ligeros con áridos volcánicos de Canarias. 1995.
- [2] DEL RÍO MERINO, Mercedes; ASTORQUI, Jaime Santa Cruz; CORTINA, Mariano González. Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y la adicción de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico. *Informes de la Construcción*, 2005, vol. 57, no 497, p. 39-46.
- [3] VALDEZ GUZMÁN, Luis Fernando; PROAÑO CADENA, Gastón; SUÁREZ ALCÍVAR, Gabriel Eduardo. Hormigones livianos. 2010.
- [4] HUANG, Diana Elizabeth Hou; CHICA, José Luis Caicedo; PINCAY, Alberto Augusto Falconí. HORMIGONES LIVIANOS DE ALTO DESEMPEÑO.
- [5] VIDELA, Carlos; LÓPEZ, Mauricio. Efecto de la resistencia intrínseca del árido ligero en la resistencia a compresión y rigidez del hormigón ligero. *Materiales de construcción*, 2002, vol. 54, no 265, p. 23-38.
- [6] VIDELA, Carlos; LOPEZ, Mauricio. Dosificación de hormigones livianos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 2012, no 19, p. 17-29.
- [7] HARDING, MOIRA A. Using structural lightweight concrete should pose few problems for knowledgeable contractors. *CONCRETE CONSTRUCTION*, 1995.
- [8] BELÉNDEZ, Tarsicio; NEIPP, Cristian; BELÉNDEZ, Augusto. Estudio de la Flexión de una Viga de Material Elástico no Lineal. *Revisita Brasileira de Ensino de Física*, 2002, vol. 24, no 4, p. 383-389.
- [9] FELPERIN, M. Sabesinsky. El cemento portland en la consistencia del hormigón fresco. Finura de molido óptima. *Materiales de Construcción*, 1977, vol. 27, no 165, p. 13-21.
- [10] GARCIA PÉREZ, Judith. Diseño de hormigones dirigido a la aplicación. 2004.
- [11] BADIOLA, Gonzalo Barluenga. Objetivos Docentes.
- [12] CONSTRUMÁTICA, “Propiedades del Hormigón.” [En Línea]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades. [Último acceso: 31 mayo 2017].

- [13] GEA, M., et al. Estudio de la Arcilla Expandida como Relleno de Intercambiadores para Enfriamiento Evaporativo. Avances en Energía Renovables y Medio ambiente, 2003, vol. 7, no 2, p. 8-37.
- [14] LATERLITE, “Arcilla Expandida Laterlite.” [En línea]. Available: <http://www.laterlite.es/productos/arcilla-expandida-laterlite-3/> [Último acceso: 05 junio 2017].
- [15] OJD Interactiva, "Arcilla Expandida Laterlite," Construible. Tecma Red S.L., 2013.
- [16] CANALCONSTRUCCION, “Cemento Portland Usos y Tipos.” [En Línea]. Available: <http://canalconstruccion.com/cemento-portland-usos-y-tipos.html> [Último acceso: 06 junio 2017].
- [17] NTE INEN 1762, Hormigón Definiciones y terminología, Curva granulométrica, Quito - Ecuador, 2014.
- [18] ASTM C 136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- [19] INGEVIL, “Determinación de la Densidad Nominal.” [En Línea]. Available: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html> [Último acceso: 07 junio 2017].
- [20] CIVILGEEKS, “Características Físicas de los Agregados.” [En Línea]. Available: <http://civilgeeks.com/2011/12/08/caracterizas-fisicas-de-los-agregados/> [Último acceso: 07 junio 2017].
- [21] GARCIA PÉREZ, Judith. Diseño de hormigones dirigido a la aplicación. 2004.
- [22] E. Rincón, L. Castro y D. Iglesias, “Medidas en Flexión”, Determinación de Tensiones y Deformaciones, Madrid: Versión Net, 2006, pp. 17-18.
- [23] NTE INEN 2554, Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Flexión del Hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios), Quito - Ecuador, 2011

ANEXOS

Tabla N°26: Granulometría Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Cantera la Península - Ambato			
PESO DE LA MUESTRA [gr]:		800	PÉRDIDA DE MUESTRA[%]		0.4
ENSAYADO POR:		David Ortega		FECHA:	21/07/2017
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
#4	5.1	5.1	0.6	99.4	95 – 100
#8	71.4	76.5	9.6	90.4	80 – 100
#16	135.7	212.2	26.5	73.5	50 – 85
#30	132.0	344.2	43.0	57.0	25 – 60
#50	167.5	511.7	64.0	36.0	10 – 30
#100	127.8	639.5	79.9	20.1	2 – 10
#200	79.6	719.1	89.9	10.1	-
BANDEJA	77.9	797.0	99.6	0.4	-
				2.24	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°27: Granulometría Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Cantera la Península - Ambato			
PESO DE LA MUESTRA [gr]:		9500	PÉRDIDA DE MUESTRA[%]		0.016
ENSAYADO POR:		David Ortega		FECHA:	21/07/2017
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
1 1/2"	195.2	195.2	2.1	97.9	95 – 100
1"	455.3	650.5	6.8	93.2	-
3/4"	623.4	1273.9	13.4	86.6	35 – 70
1/2"	4797.5	6071.4	63.9	36.1	-
3/8"	2684.4	8755.8	92.2	7.8	10 – 30
#4	714.1	9469.9	99.7	0.3	0 – 5
BANDEJA	28.6	9498.5	100.0	0.0	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1 1/2"		

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°28: Granulometría del Árido Arcilla Expandida

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO ARCILLA EXPANDIDA					
ORIGEN:		Holanda			
PESO DE LA MUESTRA [gr]:		9500	PÉRDIDA DE MUESTRA[%]	0.229	
ENSAYADO POR:		David Ortega		FECHA:	21/07/2017
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL [gr]	RETENIDO ACUMULADO [gr]	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	95 – 100
1"	513.9	513.9	5.4	94.6	-
3/4"	2686.4	3200.3	33.7	66.3	35 – 70
1/2"	4765.6	7965.9	83.9	16.1	-
3/8"	623.4	8589.3	90.4	9.6	10 – 30
#4	843.4	9432.7	99.3	0.7	0 – 5
BANDEJA	45.5	9478.2	99.8	0.2	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1"		

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°29: Densidad Aparente Suelta de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera La Península – Ambato			
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE [kg]:	9.9			
VOLUMEN DEL RECIPIENTE [cm³]:	20.56			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE [kg]	AGREGADO [kg]	PESO UNITARIO [kg/cm³]	PESO UNITARIO PROMEDIO [kg/cm³]
GRUESO	37.7	27.8	1.352	1.3570
	37.9	28.0	1.362	
FINO	41.6	31.7	1.542	1.5491
	41.9	32.0	1.556	
ARCILLA EXPANDIDA	17.6	7.7	0.375	0.3820
	17.9	8.0	0.389	

Fuente: Klever David Ortega Mera

Tabla N°30: Densidad Aparente Compactada de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera La Península – Ambato			
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE [kg]:	9.9			
VOLUMEN DEL RECIPIENTE [cm³]:	20.56			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE [kg]	AGREGADO [kg]	PESO UNITARIO [kg/cm³]	PESO UNITARIO PROMEDIO [kg/cm³]
GRUESO	39.4	29.5	1.435	1.445
	39.8	29.9	1.454	
FINO	44.9	35	1.702	1.695
	44.6	34.7	1.688	
ARCILLA EXPANDIDA	18.2	8.3	0.404	0.406
	18.3	8.4	0.409	

Fuente: Klever David Ortega Mera

Tabla N°31: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		FICM		
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		Cantera La Península – Ambato						
ENSAYADO POR:		David Ortega			FECHA: 21/07/2017			
NORMA:		INEN 858						
MASA RECIPIENTE [Kg]		9.8						
VOLUMEN RECIPIENTE [cm ³]		20.56						
% MEZCLA		CANTIDAD [Kg]		FINO AÑADIDO [Kg]	AGR. + REC. [Kg]	AGR. [Kg]	PESO UNITARIO MEZCLA [Kg/cm ³]	PESO UNITARIO PROMEDIO [Kg/cm ³]
R	A	R	A	A	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100	0	40	0.00	0.00	39.7	29.9	1.454	1.445
					39.3	29.5	1.435	
90	10	40	4.44	4.44	41.4	31.6	1.537	1.542
					41.6	31.8	1.547	
80	20	40	10.00	5.56	44.5	34.7	1.688	1.683
					44.3	34.5	1.678	
70	30	40	17.14	7.14	45.4	35.6	1.732	1.744
					45.9	36.1	1.756	
60	40	40	26.67	9.52	47.6	37.8	1.839	1.843
					47.8	38	1.848	
50	50	40	40.00	13.33	47.2	37.4	1.819	1.809
					46.8	37	1.800	
40	60	40	60.00	20.00	46.6	36.8	1.790	1.778
					46.1	36.3	1.766	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°32: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera La Península – Ambato			
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
NORMA:	INEN 856			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA				
M1	Masa del Picnómetro	[gr]	163.1	
M2	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S.	[gr]	276.7	
M3	Masa del Picnómetro + Muestra S.S.S. + Agua	[gr]	726.1	
M4 = M3 - M2	Masa Agua Añadida	[gr]	449.4	
M5	Masa Picnómetro + 500 cm ³ de Agua	[gr]	659.9	
M6 = M5 - M1	Masa de 500 cm ³ de Agua	[gr]	496.8	
DA = M6 / 500 cm³	Densidad del Agua	[gr/cm ³]	1.000	
M7 = M6 - M4	Masa de Agua Desalojada por la Muestra	[gr]	47.4	
Msss = M2 - M1	Masa del Agregado	[gr]	113.6	
Vsss = M7 / DA	Volumen de Agua Desalojada	[cm ³]	47.4	
DRA = Msss / Vsss	Densidad Real de la Arena	[gr/cm ³]	2.397	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA				
M7	Masa del Recipiente	[gr]	24.5	15.9
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	[gr]	135.4	142.9
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	[gr]	110.9	127
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	[gr]	133.4	140.9
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	[gr]	108.9	125
CA	Capacidad de Absorción	[%]	1.84	1.60
P2	Capacidad de Absorción Promedio Del Arena	[%]	1.72	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°33: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera la Península – Ambato			
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
NORMA:	INEN 857			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO				
M1	Masa de la Canastilla en el Aire	[gr]	1491	
M2	Masa de la Canastilla en el Agua	[gr]	1335	
M3	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. al Aire	[gr]	5486	
M4	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. al Agua	[gr]	3806	
DA	Densidad Real del Agua	[gr/cm ³]	1.000	
M5 = M3 - M1	Masa de la Muestra S.S.S. en el Aire	[gr]	3995	
M6 = M4 - M2	Masa de la Muestra S.S.S. en el Agua	[gr]	2471	
VR = (M5-M6) / DA	Volumen Real de la Muestra	[cm ³]	1524	
DR = M5 / VR	Densidad Real del Ripio	[gr/cm ³]	2.621	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO				
M7	Masa del Recipiente	[gr]	24.1	24.4
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	[gr]	135.9	148.2
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	[gr]	111.8	123.8
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	[gr]	134.9	147.3
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	[gr]	110.8	122.9
CA	Capacidad de Absorción	[%]	0.90	0.73
P2	Capacidad de Absorción Promedio del Ripio	[%]	0.82	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°34: Densidad Real y Capacidad de Absorción de la Arcilla Expandida

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO ARCILLA EXPANDIDA				
ORIGEN:	Holanda			
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
NORMA:	INEN 857			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARCILLA EXPANDIDA				
M1	Masa de la Canastilla en el Aire	[gr]	1474	
M2	Masa de la Canastilla en el Agua	[gr]	1321	
M3	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en Aire	[gr]	3594	
M4	Masa de la Canastilla + Muestra S.S.S. en Agua	[gr]	1341	
DA	Densidad Real del Agua	[gr/cm ³]	1.000	
M5 = M3 - M1	Masa de la Muestra S.S.S. en el Aire	[gr]	2120	
M6 = M4 - M2	Masa de la Muestra S.S.S. en el Agua	[gr]	20	
VR = (M5-M6) / DA	Volumen Real de la Muestra	[cm ³]	2100	
DR = M5 / VR	Densidad Real de la Arcilla Expandida	[gr/cm ³]	1.010	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA				
M7	Masa del Recipiente	[gr]	33	33
M8	Masa del Recipiente + Muestra S.S.S.	[gr]	96	107
M9 = M8 - M7	Masa de la Muestra S.S.S.	[gr]	63	74
M10	Masa del Recipiente + Muestra Seca	[gr]	81	90
M11 = M10 - M7	Masa de la Muestra Seca	[gr]	48	57
CA	Capacidad de Absorción	[%]	31.25	29.82
P2	Capacidad de Absorción Promedio de A. E.	[%]	30.54	

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°35: Densidad Real del Cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
ORIGEN:	Cemento Holcim Rocafuerte	NORMA	NTE INEN 156	
ENSAYADO POR:	David Ortega	FECHA:	21/07/2017	
DATOS	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	M1	M2
M1	Masa del Picnómetro	gr	163.1	152.5
M2	Masa del Picnómetro + Cemento	gr	335.6	342.8
M3	Masa del Picnómetro + Cemento + Gasolina	gr	662.6	656.2
M4 = M3 - M2	Masa Gasolina Añadida	gr	327.0	313.4
M5	Masa del Picnómetro + 500 cm ³ Gasolina	gr	528.7	521.3
M6 = M5 - M1	Masa 500 cm ³ Gasolina	gr	365.6	368.8
DG = M6 / 500	Densidad de la Gasolina	gr./cm³	0.731	0.738
M7 = M6 - M4	Masa Gasolina Desalojada por el Cemento	gr	38.6	55.4
MC = M2 - M1	Masa de Cemento	gr	172.5	190.3
VG = M7 / DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm³	52.79	75.11
DRC = MC/VG	Densidad Real del Cemento	gr./cm³	3.268	2.534
DPC	Densidad Real Promedio del Cemento	gr./cm³	2.90	

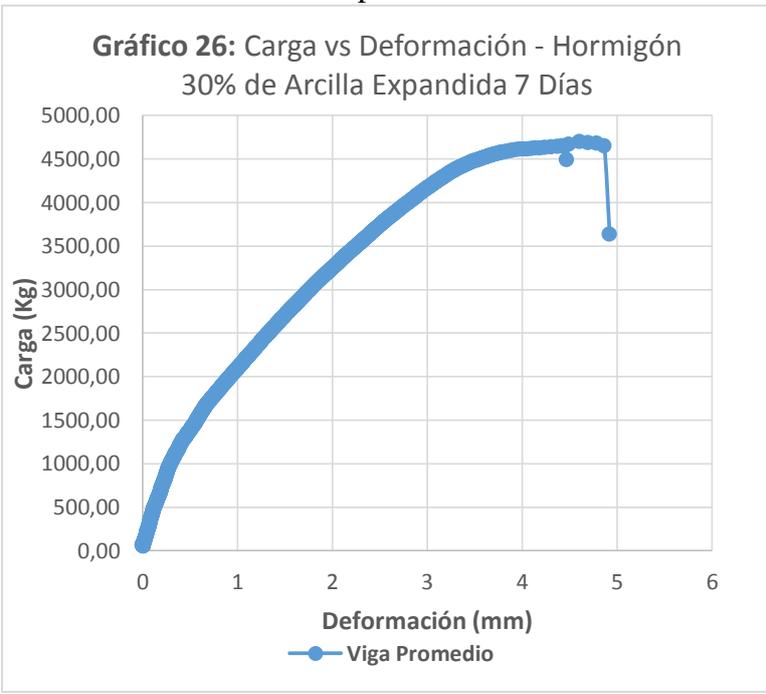
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°36: Dosificación del Hormigón Método de la Densidad Óptima

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA			
ORIGEN:	Cantera la Península - Ambato		
REALIZADO POR:	David Ortega	DATOS DE TABLAS	
FECHA:	31/07/2017	w / c	0.56
DATOS DE ENSAYO		CP en %	%POV +2% + 8%POV
f'c	240	gr/cm ²	CÁLCULOS
Asentamiento	7	Cm	DRM 2.493 kg/dm ³
DRC	2.90	gr/cm ³	POV 27.424 %
DRA	2.40	gr/cm ³	CP 316.174 dm ³
DRR	2.62	gr/cm ³	C 349.461 kg
POA	34	%	W 195.698 Lts
POR	64	%	A 557.217 Kg
DOM	1.809	gr/cm ³	R 1147.248 Kg
DOSIFICACIÓN AL PESO			
MATERIAL	CANTIDAD EN (kg) POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN	CANTIDAD EN (kg) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.
W	195.698	0.56	28.00
C	349.461	1.00	50.00
A	557.217	1.59	79.73
R	1147.248	3.28	164.15
TOTAL	2249.624	kg./m³ Densidad del Hormigón	
NOMENCLATURA			
DRC	Densidad Real del Cemento	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos
DRA	Densidad Real de la Arena	CP	Cantidad de Pasta
DRR	Densidad Real del Ripio	C	Cantidad de Cemento
POA	Porcentaje Óptimo Arena	W	Cantidad de Agua
POR	Porcentaje Óptimo Ripio	A	Cantidad de Arena
DOM	Densidad Óptima de la mezcla	R	Cantidad de Ripio
w / c	Relación Agua/Cemento	C.A.	Capacidad de Absorción
CP en %	Porcentaje de Cantidad de Pasta	C.H.	Contenido de Humedad 24 h. antes
DRM	Densidad Real de la mezcla		

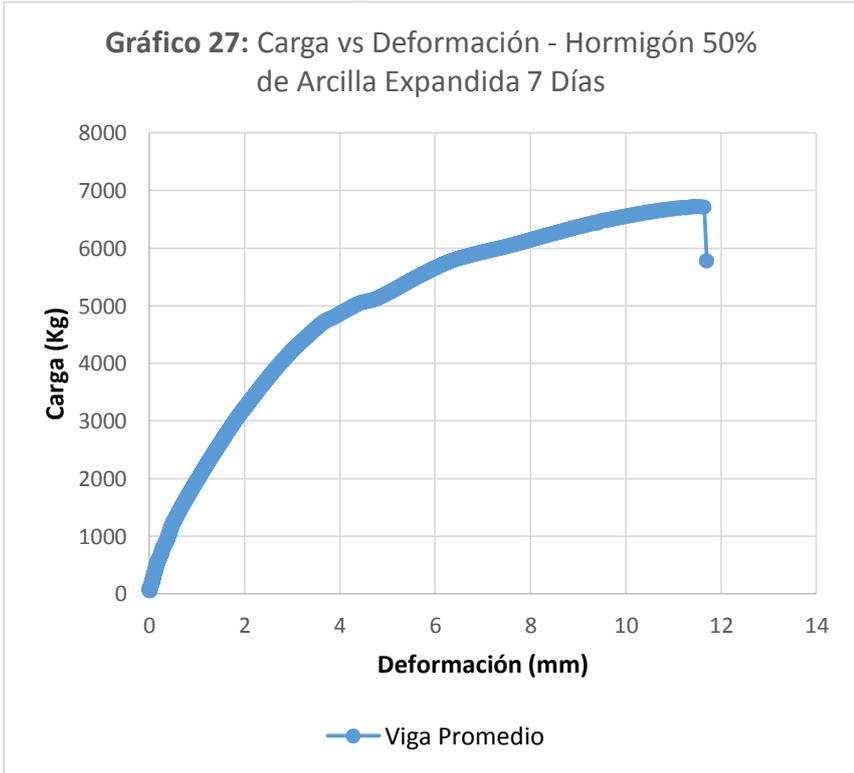
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°37: Carga vs Deformación – Hormigón 30% de Arcilla Expandida 7 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 30% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 7 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	07/08/2017
Tabla N°37: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 36.03 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	Gráfico 26: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida 7 Días	
66.99	0.000		
300.710	0.074		
452.339	0.115		
599.278	0.164		
740.812	0.209		
884.386	0.257		
1072.826	0.334		
1215.380	0.403		
1411.673	0.523		
1737.467	0.724		
2022.473	0.948		
2347.145	1.212		
2742.279	1.539		
2939.591	1.714		
3191.151	1.951		
3462.289	2.220		
3723.944	2.492		
4086.856	2.911		
4256.330	3.126		
4563.565	3.745		
4622.912	4.135		
4641.368	4.376		
4698.064	4.609		
3635.332	4.924		

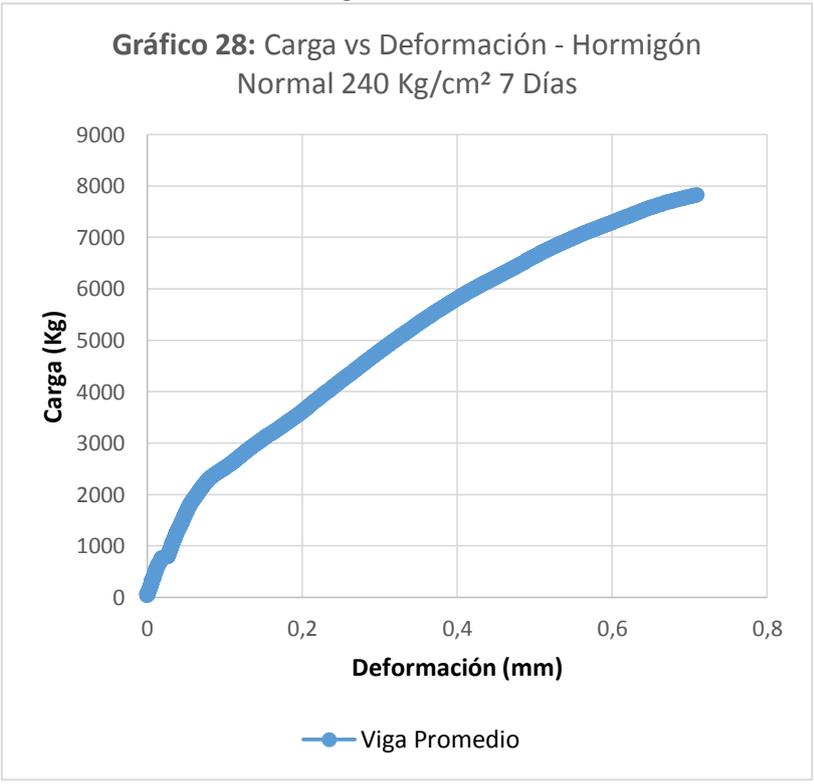
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N° 38: Carga vs Deformación – Hormigón 50% de Arcilla Expandida 7 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 50% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 7 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	07/08/2017
Tabla N°38: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 35.83 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p style="text-align: center;">Gráfico 27: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 7 Días</p> 	
75,46	0,000		
530,96	0,176		
985,85	0,404		
1361,91	0,593		
1793,04	0,888		
2164,82	1,156		
2476,85	1,394		
2605,95	1,493		
2802,85	1,650		
3253,05	2,039		
3642,67	2,403		
3702,53	2,464		
3858,54	2,618		
4087,77	2,859		
4261,73	3,058		
4537,67	3,420		
4670,84	3,610		
5001,22	4,321		
5235,85	5,064		
5543,40	5,739		
5621,71	5,924		
6006,64	7,419		
6715,23	11,555		
5769,46	11,704		

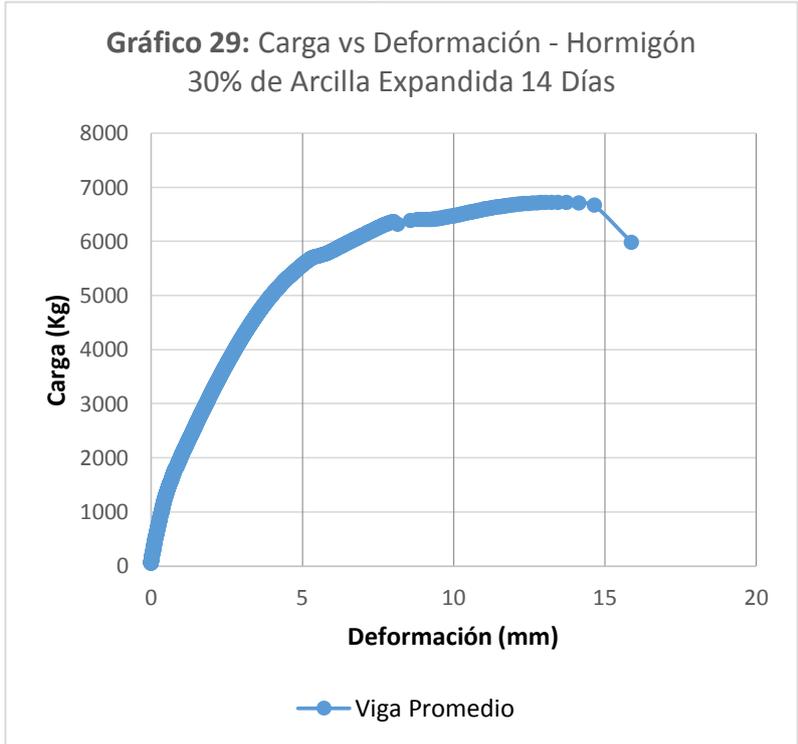
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°39: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm² 7 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES					
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN TRADICIONAL 240Kg/cm² A LOS 07 DÍAS DE EDAD					
REALIZADO POR:		David Ortega	FECHA ENSAYO:		07/08/2017
Tabla N°39: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² a los 7 Días de Edad		Peso Promedio Viga = 39.63 Kg			
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p>Gráfico 28: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² 7 Días</p>  <p>Gráfico 28: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² 7 Días</p>			
30.79	0.000				
369.54	0.009				
1115.86	0.035				
1335.50	0.041				
1632.54	0.050				
1921.32	0.061				
2181.55	0.074				
2568.62	0.106				
2809.27	0.126				
3167.09	0.159				
3636.56	0.203				
4206.06	0.251				
4742.73	0.297				
5093.71	0.329				
5478.34	0.367				
5932.21	0.414				
6207.63	0.449				
6757.65	0.517				
6890.32	0.536				
7130.25	0.574				
7567.60	0.649				
7688.64	0.674				
7751.15	0.691				
7819.16	0.710				

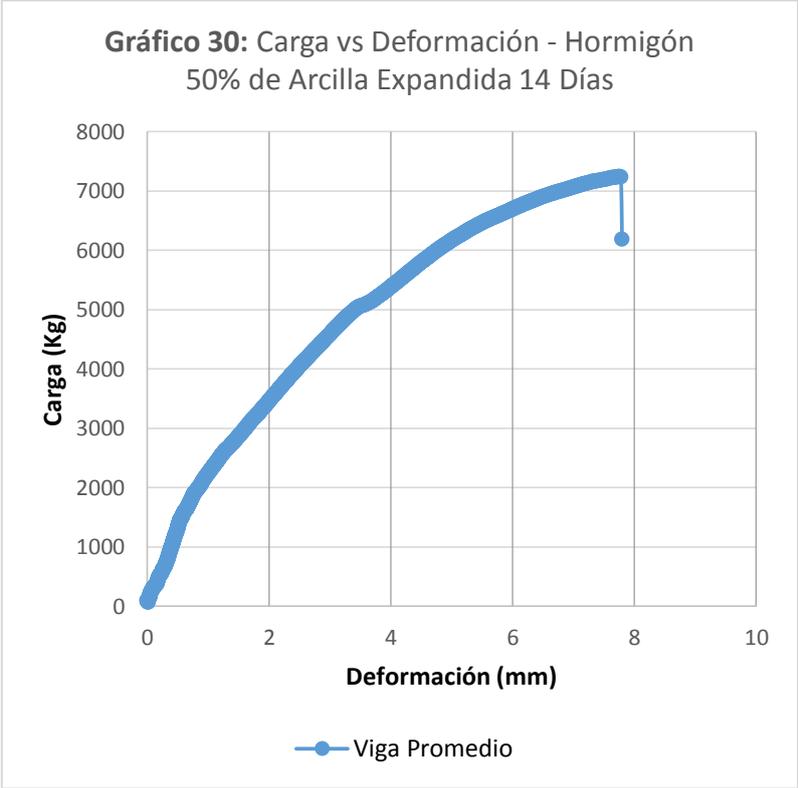
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°40: Carga vs Deformación – Hormigón 30% de Arcilla Expandida 14 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 30% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 14 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	14/08/2017
Tabla N°40: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 36.93 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p style="text-align: center;">Gráfico 29: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida 14 Días</p> 	
60,88	0,000		
530,35	0,171		
984,62	0,368		
1360,38	0,545		
1790,19	0,823		
2163,80	1,124		
2475,63	1,400		
2604,93	1,504		
2802,24	1,669		
3251,11	2,074		
3641,65	2,441		
3701,71	2,500		
3857,83	2,656		
4087,06	2,895		
4261,73	3,078		
4536,65	3,400		
4669,92	3,562		
5000,71	4,013		
5234,32	4,387		
5740,40	5,662		
5946,07	6,449		
6102,09	7,006		
6711,97	13,763		
5978,09	15,897		

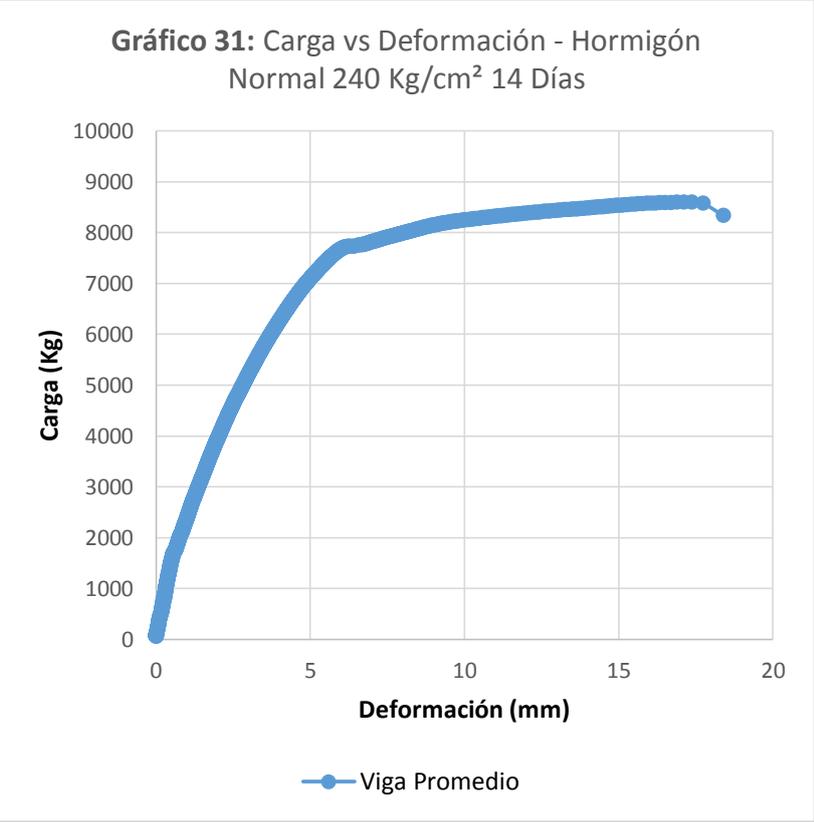
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N° 41: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 14 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 50% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 14 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	14/08/2017
Tabla N°41: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 35.60 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p style="text-align: center;">Gráfico 30: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 14 Días</p>  <p style="text-align: center;">Gráfico 30: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 14 Días</p>	
94,32	0,000		
536,06	0,224		
990,03	0,400		
1366,60	0,517		
1798,04	0,729		
2169,72	0,961		
2481,44	1,187		
2610,13	1,280		
2807,34	1,463		
3257,53	1,843		
3647,26	2,168		
3707,12	2,215		
3863,03	2,350		
4092,87	2,551		
4266,63	2,711		
4542,56	2,968		
4675,22	3,094		
5005,40	3,432		
5240,65	3,835		
5547,68	4,211		
5625,89	4,306		
6011,13	4,793		
7233,85	7,755		
6181,32	7,799		

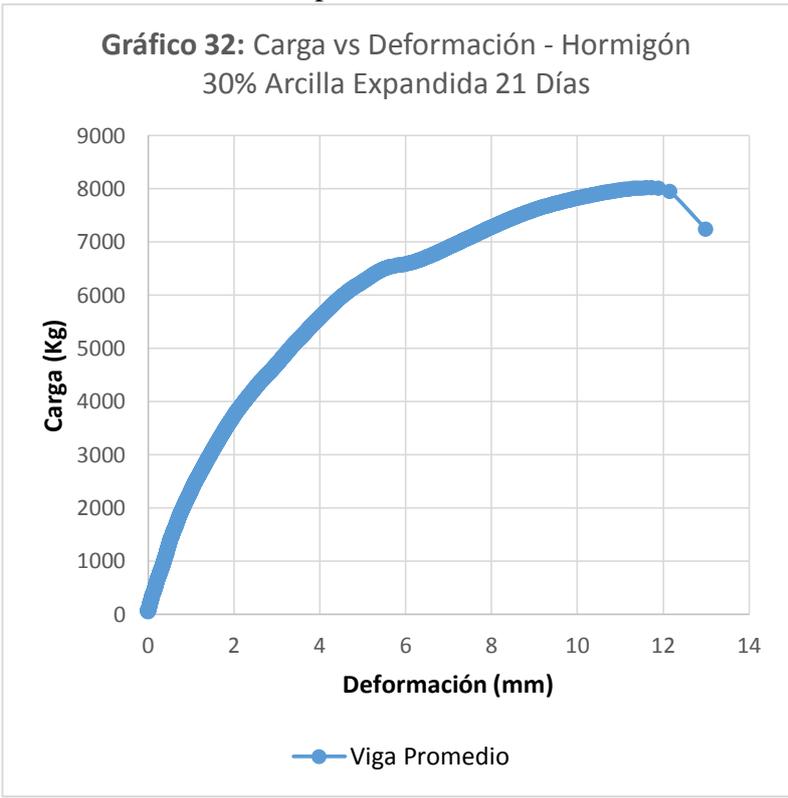
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°42: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm² 14 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLECCIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN NORMAL 240 Kg/cm² A LOS DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	14/08/2017
Tabla N°42: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² a los 14 Días		Peso Promedio Viga = 42.30 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	Gráfico 31: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² 14 Días 	
67.71	0.000		
530.35	0.188		
984.93	0.324		
1360.89	0.450		
1792.22	0.664		
2163.91	0.886		
2475.93	1.069		
2605.33	1.140		
2801.01	1.262		
3251.82	1.551		
3642.06	1.805		
3701.92	1.847		
4316.80	2.285		
5004.38	2.839		
5180.59	2.983		
5914.57	3.664		
6046.72	3.797		
6833.93	4.676		
7067.64	4.992		
7781.94	6.876		
7904.82	7.556		
8233.67	9.983		
8587.91	17.128		
8325.14	18.415		

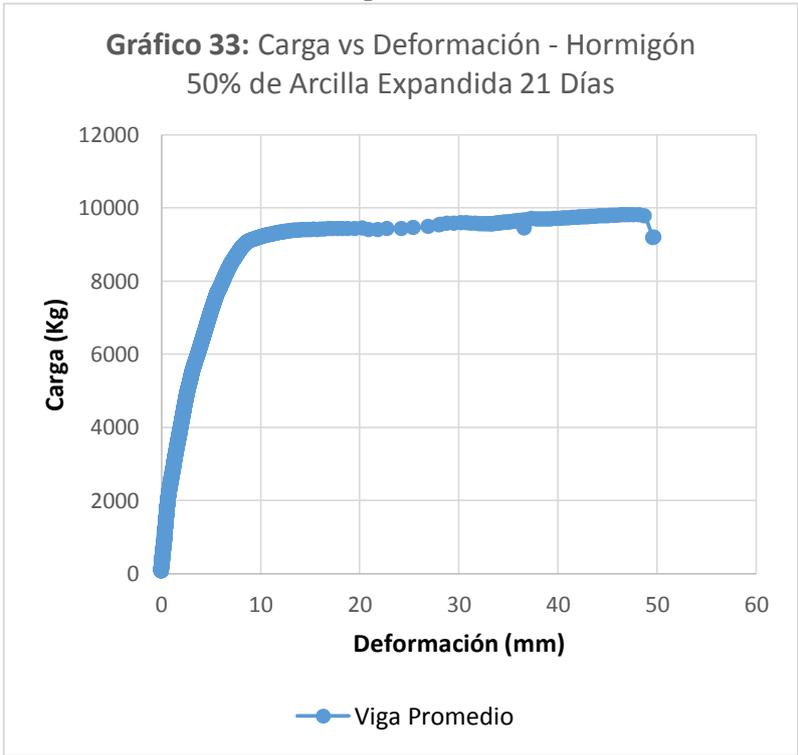
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°43: Carga vs Deformación – Hormigón 30% Arcilla Expandida 21 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 30% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 21 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	21/08/2017
Tabla N°43: Carga vs Deformación – Hormigón 30% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 37.93 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p>Gráfico 32: Carga vs Deformación - Hormigón 30% Arcilla Expandida 21 Días</p> 	
64,34	0,000		
531,88	0,193		
986,05	0,382		
1362,73	0,520		
1793,96	0,721		
2165,54	0,928		
2477,97	1,112		
2605,84	1,200		
2803,46	1,333		
3253,45	1,648		
3643,18	1,950		
3703,45	1,995		
4318,84	2,584		
5007,03	3,349		
5180,69	3,554		
5456,41	3,873		
5589,38	4,037		
5696,15	4,169		
6301,34	5,127		
6864,11	6,951		
6955,68	7,192		
7604,82	9,055		
8007,50	11,737		
7225,19	13,010		

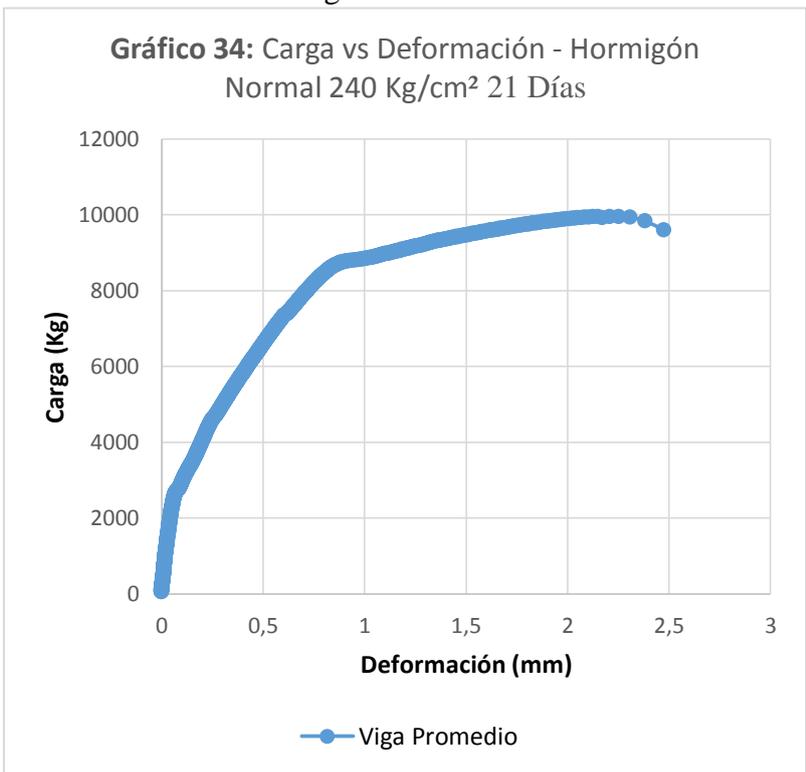
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°44: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 21 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 50% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 21 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	21/08/2017
Tabla N°44: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 35.3 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p style="text-align: center;">Gráfico 33: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 21 Días</p> 	
94,63	0,000		
539,52	0,173		
984,62	0,343		
1360,59	0,454		
1792,22	0,609		
2164,62	0,771		
2475,93	0,956		
2604,93	1,043		
2801,93	1,172		
3251,01	1,462		
3641,96	1,730		
3701,10	1,771		
4316,80	2,190		
5004,59	2,681		
5179,57	2,846		
5913,75	3,612		
6047,94	3,773		
6835,56	4,661		
7068,56	4,931		
8695,70	7,598		
9392,97	14,576		
9606,39	34,988		
9803,29	47,661		
9195,04	49,707		

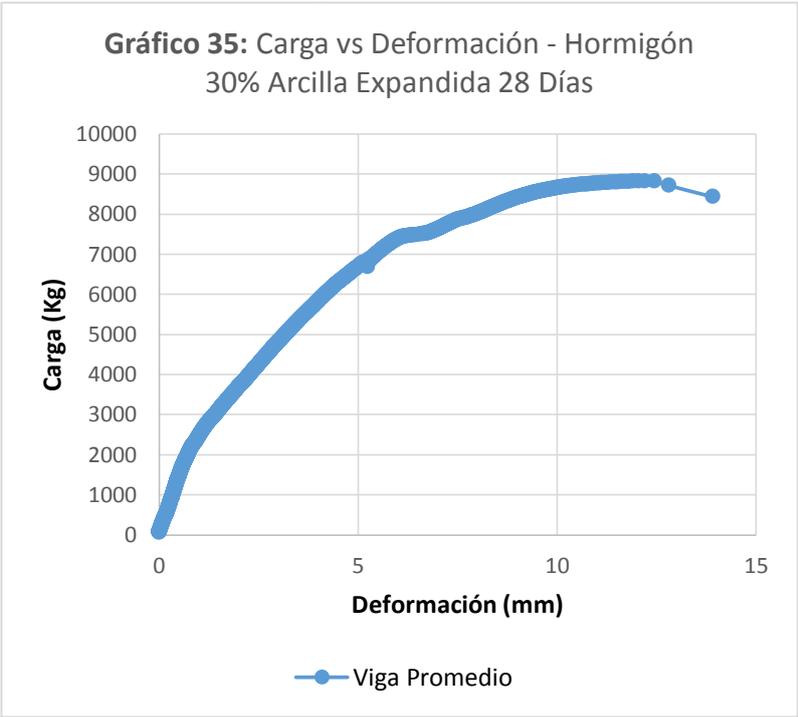
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°45: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm² 21 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN TRADICIONAL 240 Kg/cm² A LOS 21 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	21/08/2017
Tabla N°45: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² a los 21 Días de Edad		Peso Promedio Viga = 40.23 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p>Gráfico 34: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm² 21 Días</p> 	
74.85	0.000		
784.97	0.015		
1466.12	0.030		
2030.53	0.044		
2678.65	0.071		
3235.30	0.127		
3703.55	0.174		
3896.78	0.190		
4192.29	0.214		
4866.11	0.287		
5451.01	0.355		
5540.03	0.366		
6462.04	0.485		
7495.00	0.637		
7756.35	0.677		
8168.10	0.747		
8715.38	0.872		
9246.44	1.310		
9440.59	1.477		
9521.86	1.555		
9603.43	1.640		
9733.85	1.780		
9957.17	2.209		
9599.56	2.476		

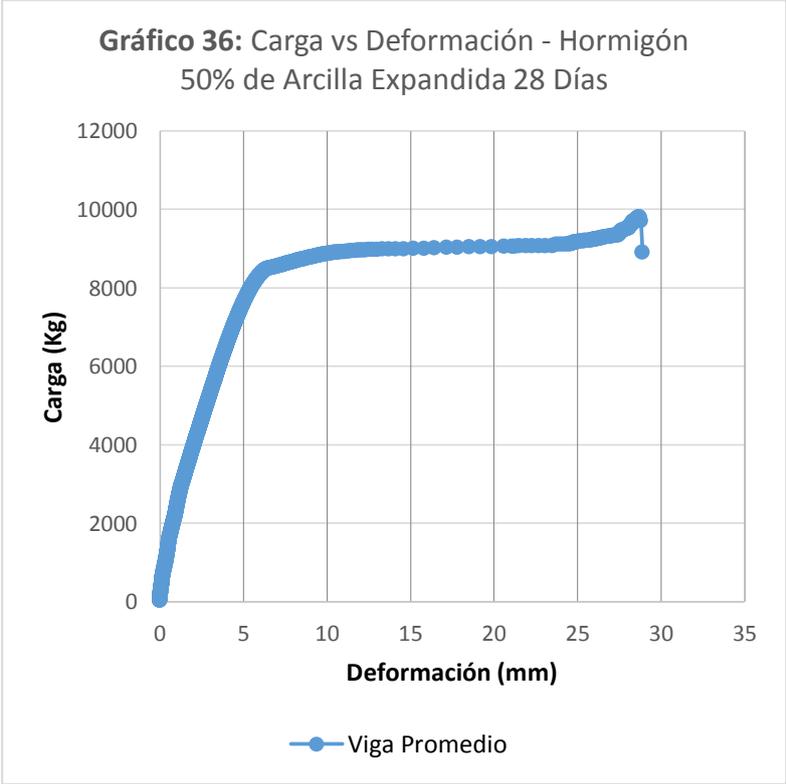
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°46: Carga vs Deformación – Hormigón 30% Arcilla Expandida 28 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 30% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 28 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	28/08/2017
Tabla N°46: Carga vs Deformación - Hormigón 30% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 37.1 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p>Gráfico 35: Carga vs Deformación - Hormigón 30% Arcilla Expandida 28 Días</p> 	
87,80	0,000		
533,71	0,190		
987,99	0,345		
1364,15	0,464		
1795,59	0,630		
2167,58	0,810		
2479,30	1,014		
2608,19	1,097		
2805,30	1,245		
3254,98	1,625		
3645,12	1,968		
3705,18	2,017		
4319,45	2,567		
5008,15	3,193		
5183,14	3,355		
5458,45	3,624		
5591,63	3,765		
5696,86	3,871		
6302,66	4,520		
7324,00	5,897		
7414,44	6,067		
7995,77	7,959		
8821,63	12,216		
8427,82	13,926		

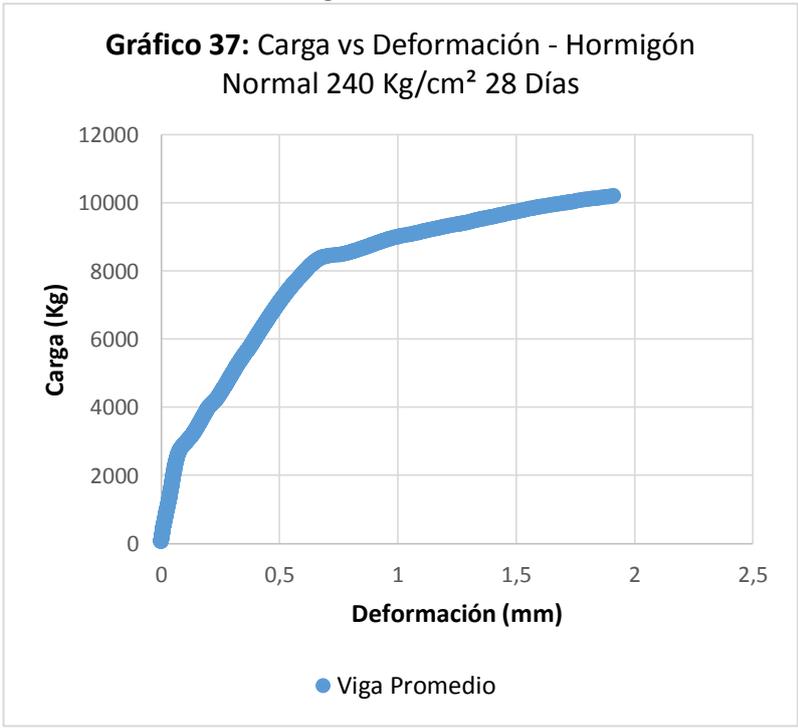
Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°47: Carga vs Deformación – Hormigón 50% Arcilla Expandida 28 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN CON EL 50% DE ARCILLA EXPANDIDA A LOS 28 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	28/08/2017
Tabla N°47: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida		Peso Promedio Viga = 35.93 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	<p>Gráfico 36: Carga vs Deformación - Hormigón 50% de Arcilla Expandida 28 Días</p> 	
54,96	0,000		
527,59	0,144		
981,97	0,340		
1358,04	0,486		
1790,29	0,683		
2161,25	0,898		
2473,89	1,049		
2601,36	1,107		
2799,18	1,210		
3248,97	1,509		
3639,51	1,789		
3698,45	1,828		
4313,13	2,279		
5002,85	2,797		
5177,93	2,932		
5452,95	3,141		
5585,20	3,242		
5690,44	3,325		
6297,06	3,799		
8231,12	5,808		
8779,52	8,988		
9215,95	25,757		
9802,78	28,707		
8906,26	28,893		

Fuente: Ortega Mera Klever David

Tabla N°48: Carga vs Deformación – Hormigón Tradicional 240 Kg/cm² 28 Días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO ARCILLA EXPANDIDA Y SU COMPARACIÓN CON HORMIGONES TRADICIONALES			
DEFLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN NORMAL 240 Kg/cm² A LOS 28 DÍAS DE EDAD			
REALIZADO POR:	David Ortega	FECHA ENSAYO:	28/08/2017
Tabla N°48: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² a los 28 Días		Peso Promedio Viga = 41.93 Kg	
Carga (Kg)	Deformación (mm)	Gráfico 37: Carga vs Deformación - Hormigón Normal 240 Kg/cm ² 28 Días 	
77.70	0.000		
782.82	0.020		
1464.49	0.039		
2029.00	0.054		
2675.79	0.075		
3234.49	0.137		
3700.70	0.177		
3893.42	0.193		
4189.74	0.230		
4862.85	0.292		
5448.46	0.344		
5537.17	0.352		
6458.58	0.440		
7493.16	0.546		
7754.21	0.579		
8167.29	0.634		
8367.76	0.672		
8527.24	0.790		
9436.81	1.304		
9726.82	1.493		
9794.93	1.540		
10119.09	1.825		
10194.55	1.910		
10197.00	1.913		

Fuente: Ortega Mera Klever David

<p>a) Granulometría agregado fino</p> 	<p>b) Densidad real A. E.</p> 	<p>c) Granulometría A. E.</p> 
<p>d) Densidad real del cemento</p> 	<p>e) Densidad aparente suelta de A. E.</p> 	<p>f) Peso agregado grueso</p> 
<p>g) Mezcla de materiales</p> 	<p>h) Elaboración de viga</p> 	<p>i) Enrazado de viga</p> 

j) Curado de vigas



k) Ensayo a flexión de vigas



l) Falla en viga



m) Deformación en viga



n) Falla en viga



o) Programa de ensayo RTM

