



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Respuesta estructural de vigas: Aplicación de varillas de basalto
como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Gonzales Cadillo, Juan Carlos (ORCID: 0000-0002-8708-8724)

ASESOR:

Dr. Ing. Tello Malpartida, Omart Demetrio (ORCID: 0000-0002-5043-6510)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

A mi madre y a mis hermanos Roberto y Paula, a quienes les debo todo y quienes a pesar de todo nunca dejaron de apoyarme y creer en mí.

Agradecimiento

A mi madre y hermanos que siempre estuvieron motivándome.

A Alexandra por su paciencia y motivación.

A todos los que directa o indirectamente apoyaron la realización de esta investigación.

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice	vi
Índice de figuras	vii
Índice de tablas.....	viii
Índice de gráficas.....	x
Generalidades	xi
Resumen.....	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	27
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	28
2.2. Operacionalización de variables.....	30
2.3. Población, muestra y muestreo.....	32
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	35
2.5. Procedimiento.....	37
2.6. Método de análisis de datos	41
2.7. Aspectos éticos	42
III. RESULTADOS.....	43
3.1. Desarrollo de Procedimiento	44
3.2. Resultados.....	63
IV. DISCUSIÓN	69
V. CONCLUSIONES	72
VI. RECOMENDACIONES	74
ANEXOS.....	85
ANEXO N° 1: Matriz de consistencia.....	86
ANEXO N° 2: Formato de solicitud de validación de fichas técnicas de medición	87
ANEXO N° 3: Ficha técnica de medición para el indicador flexión por tracción	90

ANEXO N° 4: Ficha técnica de medición para el indicador ductilidad	92
ANEXO N° 5: Ficha técnica de medición para el indicador deflexión máxima.....	94
ANEXO N° 6: Calificación de fichas técnicas de medición.....	96
ANEXO N° 7: Fichas técnicas de medición llenadas.....	101
ANEXO N° 8: Resultados de laboratorio	105
ANEXO N° 9: Certificados del laboratorio	117
ANEXO N° 10: Panel fotográfico	135

Índice de figuras

Figura 1. Puente Tepeyac - México.	3
Figura 2. Disponibilidad de Basalto alrededor del mundo.	14
Figura 3. Puente sobre ferrocarril Lleida.	14
Figura 4. Esfuerzos en una sección sometida a flexión.	15
Figura 5. Curva Esfuerzo - Deformación.	16
Figura 6. Modelo de gráfica Esfuerzo - Deformación propuesto para la aplicación de una carga monotónica en una sección confinada y una sección no confinada.	17
Figura 7. Modelo constitutivo de Kent y Park.	18
Figura 8. Modelo constitutivo de Hognestad.	20
Figura 9. Modelo constitutivo del CEB.	21
Figura 10. Diagrama Esfuerzo - Deformación de un acero dulce (bajo contenido de carbono).	22
Figura 11. Diagrama Momento - Curvatura de una sección.	23
Figura 12. Ensayo a flexión en viga.	24
Figura 13. Encofrado de viga.	39
Figura 14. Planta de edificación utilizada para el diseño de las vigas.	44
Figura 15. Detalle del armado de las vigas reforzadas con varillas de Basalto.	51
Figura 16. Detalle del armado de las vigas reforzadas con varillas corrugadas de Acero. ...	52
Figura 17. Encofrado para las vigas.	60
Figura 18. Armado de las vigas.	61
Figura 19. Elaboración de la mezcla para el vaciado de las vigas.	61

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente.....	30
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente.....	31
Tabla 3. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador flexión por tracción.....	33
Tabla 4. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador ductilidad	33
Tabla 5. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador deflexión máxima.....	34
Tabla 6. Ubicación de Fichas técnicas de medición	36
Tabla 7. Rangos y Magnitud de validez.....	37
Tabla 8. Datos de entrada para el Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	53
Tabla 9. Resultados del Análisis Granulométrico del agregado fino.....	53
Tabla 10. Datos de entrada para el Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	54
Tabla 11. Resultados del Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	54
Tabla 12. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario suelto del Agregado Fino	55
Tabla 13. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario compactado del Agregado Fino	56
Tabla 14. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario suelto del Agregado Grueso	56
Tabla 15. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario compactado del Agregado Grueso	57
Tabla 16. Resultados del ensayo para determinar el Peso específico y el Porcentaje de absorción del.....	58
Tabla 17. Resultados del ensayo para determinar el Peso específico y el Porcentaje de absorción del Agregado Grueso	59
Tabla 18. Cantidad de materiales para elaborar 1m ³ de mezcla	60

Tabla 19. Cantidad de materiales para la elaboración de probetas para control de calidad de la mezcla.....	60
Tabla 20. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 7 días.....	62
Tabla 21. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 14 días.....	62
Tabla 22. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 28 días.....	62
Tabla 23. Resultados para el indicador Flexión por tracción de las vigas reforzadas con varillas de acero	63
Tabla 24. Resultados para el indicador Flexión por tracción de las vigas reforzadas con varillas de basalto	63
Tabla 25. Puntos para elaborar el diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VA - 1.....	64
Tabla 26. Puntos para elaborar el diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VA - 2.....	65
Tabla 27. Puntos para elaborar el diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 1.....	65
Tabla 28. Puntos para elaborar el diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 2.....	66
Tabla 29. Resultados de la ductilidad (u) de cada espécimen ensayado.....	67
Tabla 30. Resultados para el indicador deflexión máxima de las vigas reforzadas con varillas de acero	68
Tabla 31. Resultados para el indicador deflexión máxima de las vigas reforzadas con varillas de basalto.....	68
Tabla 32. Matriz de consistencia	86

Índice de gráficas

Gráfica 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino.....	54
Gráfica 2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	55
Gráfica 3. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VA - 1.	64
Gráfica 4. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VA - 2.	65
Gráfica 5. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 1.....	66
Gráfica 6. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 2.....	66
Gráfica 7. Consolidado de los diagramas M - ϕ de todos los especímenes.	67

Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia de aplicar varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal en la respuesta estructural de las vigas, para lo cual se diseñaron y ensayaron en laboratorio cuatro vigas cuyas secciones transversales fueron de 0.3m x 0.5m y una longitud de 5m, de las cuales dos fueron reforzadas con varillas de acero y las dos restantes fueron reforzadas con varillas de basalto; estas vigas fueron ensayadas utilizando una configuración de prueba de cuatro puntos con la finalidad de medir la máxima capacidad a flexión admisible y al mismo tiempo mientras se incrementaba la carga se fueron monitoreando las deflexiones haciendo de esta una investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo y diseño experimental; los resultados indicaron que reemplazar el reforzamiento longitudinal de acero por reforzamiento longitudinal de basalto incrementa la capacidad a flexión; sin embargo, reduce la ductilidad del elemento así como las deflexiones. Se considera que estas reducciones tanto de ductilidad como de deflexiones se debe a la diferencia del área de refuerzo, 8.55cm² de acero y 15.21cm² de basalto.

Palabras clave: Varillas de basalto, Varillas de acero, Refuerzo longitudinal, Respuesta estructural.

Abstract

The main objective of this research was to determine the influence of using basalt rods as a substitute for steel rods, as longitudinal reinforcement in the beams structural response, for which four beams were designed and tested in the laboratory, the transversal sections of the beams were 0.3m x 0.5m, and a length of 5m, two of them were reinforced with steel rebar and the other two with basalt rebar, these beams were tested using a four-point setup with the objective to measure the maximum allowable flexural capacities and at the same time that the loading were increasing the deflections were checked making of this and applicated kind of research, of explicative level and experimental design; the results pointed that replace the longitudinal steel rebar by longitudinal basalt rebar increases the beams flexural capacities; however, it reduces the ductility and the deflections of the element. It is considered that this reductions of ductility and deflections are because of the difference of the reinforcement areas, 8.55cm^2 for the steel and 15.21cm^2 for the basalt.

Keywords: Basalt rods, Steel rods, Longitudinal rebar, Structural response.

I. INTRODUCCIÓN

Muchas estructuras de concreto reforzadas con acero no pueden permanecer en servicio hasta el final de su vida útil esperada por los problemas causados por la corrosión, para lograr que las estructuras cumplan o estén en servicio durante el tiempo esperado es necesario realizar reparaciones; y reparar elementos estructurales dañados por la corrosión tiene un costo muy elevado y no garantiza que el elemento reparado no vuelva a ser afectado una vez más por la corrosión (Banibayat y Patnaik, 2015).

Frente a esta problemática se iniciaron investigaciones sobre nuevos métodos de reparación, pero en la segunda mitad del siglo XX ocurrió la evolución de los materiales compuestos a base de FRP (Fiber Reinforced Polymer), sin embargo, inicialmente estos materiales fueron usados en la milicia y en las industrias aeroespaciales. Gradualmente en las últimas décadas estos materiales se han empezado a utilizar en la construcción de edificaciones y es preciso decir que los materiales compuestos a base de FRP incrementan significativamente la viabilidad económica de la construcción de edificaciones y puentes (Urbanski, Lapko y Garbacz, 2013).

Hay tres tipos de reforzamiento con FRP recomendados por los estándares de diseño: polímero de fibra de carbono reforzado (CFRP), polímero de fibra de vidrio reforzado (GFRP) y polímero de fibra de aramida reforzado (AFRP). (Duic, Kenno y Das, 2018).

Cada tipo de FRP tiene sus ventajas y desventajas en términos de propiedades mecánicas, costos y durabilidad, pero recientemente se está fabricando y aplicando el reforzamiento con polímero de fibra de basalto reforzado (BFRP), el basalto es una roca volcánica así que se podría decir que es una opción más natural. (Duic, Kenno y Das, 2018).

El basalto es una roca volcánica, de color oscuro, en su composición química podremos encontrar que está compuesta por casi un 50% de silicatos, entre ellos el magnesio y el hierro. Podemos afirmar que todo el fondo marino está compuesto por basalto, entonces es un material muy abundante en nuestro planeta. El proceso de producción para obtener la fibra de basalto consiste en triturar la roca y fundirla a temperaturas muy altas (más de 1000 °C) para luego someterla a un proceso de centrifugación y obtener las fibras.

Las normas de diseño disponibles como el ACI440.1R (2015), CSA S6 (2014) y CSA S806 (2012) permiten el uso de varillas de fibra de vidrio, de carbono y de aramida; sin embargo estas normas no dan un alcance o recomendaciones para el uso de varillas de fibra de basalto

puesto que este material aún está en investigación y sus aplicaciones relevantes aún son limitadas, es por ello que se necesitan más investigaciones para poder caracterizar y comprender mejor el comportamiento de las varillas de basalto en elementos estructurales de concreto (Elgabbas, Ahmed y Benmokrane, 2017).

Alrededor del mundo existen estructuras metálicas o de concreto armado en las cuales podremos observar que algunos de sus elementos estructurales ya sean vigas, columnas o losas, presentan problemas de corrosión, este problema es mucho más grave en las estructuras que están en contacto con el agua, sea de mar o ríos, puesto que este ambiente presenta más agentes agresivos como son los cloruros, tal es el caso del puente Tepeyac en México (figura 1) en el que sus elementos son de acero y están muy dañados por la corrosión, a tal punto que la unión entre los arriostres diagonales y los pilares ya es inexistente.



Figura 1. Puente Tepeyac - México.

Nuestro país no es ajeno a esta situación lamentable y que, dicho sea de paso, genera costos altísimos en reparaciones. La fibra de basalto es un material relativamente nuevo en las construcciones; ya se ha implementado en otros países del mundo, sin embargo, en el Perú aún no se ha aplicado.

Abed y Alhafiz. (2019), en el artículo titulado *Effect of basalt fibers on the flexural behaviour of concrete beams reinforced with BFRP bars* para la revista científica *Composite Structures* tuvieron como objetivo principal comprender el comportamiento a flexión, ductilidad, modo de falla y propagación de grietas en vigas reforzadas con varillas de basalto, en las cuales también se adicionó fibra de basalto en la mezcla del concreto. El tipo de investigación fue experimental porque se prepararon y ensayaron 12 vigas de las cuales 9 fueron reforzadas longitudinalmente con varillas de basalto, 2 vigas fueron reforzadas longitudinalmente con varillas de fibra de vidrio y la última fue reforzada con varillas de acero. Las dimensiones de las vigas fueron, una sección rectangular de 180x230mm y una longitud de 2000mm, todas con un recubrimiento de 40mm y todas tuvieron estribos de acero a cada 80mm en la zona a corte. Como principal resultado se obtuvo que las vigas reforzadas con varillas de basalto mostraron tendencia a aumentar su capacidad a flexión en tanto se aumentaba el ratio de reforzamiento, aunque este incremento no es proporcional; lo que tiene sustento en la norma ACI440.1R-15. Como conclusiones principales los autores sostienen que incrementar el ratio de reforzamiento de las vigas reforzadas con varillas de basalto resulta en un incremento de su capacidad a flexión, sin importar la capacidad del concreto. También sostienen que incrementar el número de varillas manteniendo el mismo ratio de reforzamiento, resulta en un comportamiento similar en cuanto a la capacidad de la sección y rigidez; sin embargo, se mejoró la curvatura de ductilidad y el agrietamiento. El aporte de este artículo es que da un alcance sobre cómo realizar los ensayos, la instrumentación para realizar las mediciones y donde ubicar estos instrumentos para realizar una adecuada medición y control.

Duic, Kenno y Das. (2018), en el artículo titulado *Performance of concrete beams reinforced with basalt fibre composite rebar* para la revista científica *Construction and Building Materials* tuvieron como objetivo principal de investigación determinar el comportamiento de vigas reforzadas con varillas de BFRP y compararlas con el comportamiento de vigas reforzadas con varillas de acero. El tipo de investigación fue experimental porque el estudio consistió en analizar 8 vigas de concreto armado a escala natural; las dimensiones de los especímenes fueron 275mm de base, 500mm de peralte y 3200mm de longitud, el concreto tuvo un esfuerzo a la compresión de 35Mpa. Como principal resultado los investigadores indicaron que la respuesta de esfuerzo deformación dejó en evidencia que las vigas reforzadas con varillas de basalto no mostraron ductilidad considerable, es decir no hubo

fluencia del refuerzo; por otro lado, en el caso de las vigas reforzadas con varillas de acero si hubo fluencia del refuerzo. Como principales conclusiones los autores indicaron que para un ratio de reforzamiento bajo, las vigas reforzadas con varillas de basalto mostraron un mayor número de grietas en la zona a flexión y en la zona a corte que sus contrapartes de acero. También sostuvieron que a pesar del bajo módulo de elasticidad y la baja absorción de energía de las vigas reforzadas con varillas de basalto, estas mostraron una deformabilidad aceptable de acuerdo con la CSA (Canadian Standards Association). El aporte de este artículo es que indica que normas ASTM se utilizaron para determinar el esfuerzo a compresión del concreto, el esfuerzo a tracción del acero, el esfuerzo a tracción de las varillas de basalto y también indica que es necesario realizar el diagrama momento-curvatura para calcular la ductilidad de los elementos a ensayar.

Hinostroza. (2018), en su tesis titulada *Estudio del comportamiento estructural de vigas de concreto reforzadas con varillas de basalto* para obtener el título de Magister en Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú tuvo como objetivo principal de investigación estudiar las posibilidades técnicas del uso de las varillas de basalto como alternativa a las varillas de acero en vigas frente a cargas de gravedad. El tipo de investigación fue analítica porque se recopilaron y analizaron resultados de investigaciones experimentales de los principales ensayos de vigas reforzadas con varillas de basalto. En esta tesis se realizaron análisis comparativos de resultados obtenidos por diferentes investigadores y los resultados obtenidos por el tesista; se realizaron los diseños de una viga reforzada con varillas de acero bajo la norma ACI 318 y una viga reforzada con varillas de basalto bajo la norma ACI 440, ambas vigas fueron diseñadas con las mismas dimensiones y para soportar la misma carga. Como principal resultado el autor calculó y realizó los diagramas momento-curvatura tanto para el diseño de viga reforzada con varillas de basalto como para el diseño de viga reforzada con varillas de acero; se realizaron los diagramas bajo los modelos constitutivos del American Concrete Institute (ACI), el modelo constitutivo de Kent y Park y el modelo constitutivo del European Concrete Board (CEB) y se obtuvo una ductilidad de 4.97 para la viga reforzada con varillas de acero y una ductilidad de 4.26 para la viga reforzada con varillas de basalto. En las conclusiones principales el autor indica que el valor del refuerzo longitudinal necesario para ambas vigas difirió ligeramente y por lo tanto se utilizó la misma cantidad de varillas para ambas vigas. También indica que el factor de reducción para el diseño con varillas de basalto y varillas de acero es diferente

puesto que las varillas de basalto fallan frágilmente a diferencia del acero, es por ello que se concluye que para el caso de las vigas reforzadas con varillas de basalto es mejor diseñarlas sobreforzadas. El aporte de la mencionada tesis es que indica el diseño de ambas vigas con las normas correspondientes.

Brozda, Selejdak y Kotes. (2017), en el artículo titulado *The analysis of beam reinforced with FRP bars in bending* para la revista científica *Procedia Engineering* tuvieron como objetivo principal de investigación realizar un análisis computacional para determinar la utilidad de los diferentes tipos de varillas de FRP como refuerzo a flexión en vigas de concreto. El tipo de investigación fue analítico porque se realizó un modelo computacional, se asumió una viga de sección rectangular de 300x150mm; se calcularon y compararon 3 vigas reforzadas con 2 varillas de FRP, se utilizó un concreto C20/25 y un recubrimiento de 35mm. Como resultado principal los autores sostuvieron que en el análisis de esfuerzo a flexión las vigas mostraron diferentes capacidades en cuanto a momento nominal; en el análisis computacional se consideraron vigas reforzadas con varillas de CFRP, AFRP y GFRP y sus capacidades a momento nominal fueron 22.14 kN.m, 16.83 kN.m y 15.79 kN.m respectivamente. En el caso de las vigas reforzadas con CFRP y AFRP, se observó el cumplimiento de la condición $\rho_f \geq 1.4\rho_{fb}$, lo que significa que el mecanismo de falla será el aplastamiento del concreto; sin embargo, en el caso de la viga reforzada con GFRP se dio la condición $\rho_{fb} < \rho_f < 1.4\rho_{fb}$, esto significa que el mecanismo de falla será la ruptura del refuerzo y el aplastamiento del concreto. Como conclusión principal se expuso que en el análisis computacional de vigas reforzadas con varillas de FRP, el mayor esfuerzo a flexión fue el de la viga reforzada con CFRP, casi un 30% más que el esfuerzo a flexión de la viga reforzada con AFRP; la viga reforzada con GFRP mostro la menor capacidad. El aporte de esta investigación a la presente tesis es que indica las fórmulas matemáticas para obtener diferentes parámetros necesarios en nuestro análisis, estos cálculos se realizan utilizando la norma americana ACI440.1R-15.

Elgabbas, Ahmed y Benmokrane. (2017), en el artículo titulado *Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Ribbed Basalt-FRP Bars under Static Loads* para la revista científica *Composites for Construction* tuvieron como objetivo principal de investigación conocer el comportamiento a flexión y el desempeño de servicio de varillas de basalto en vigas de concreto. El estudio también estuvo dirigido a la evaluación del desempeño de vigas de concreto reforzado con varillas de basalto con respecto a vigas de referencia reforzadas

con varillas de acero. La investigación fue de tipo experimental puesto que 6 vigas reforzadas con varillas de basalto corrugadas y 2 vigas de referencia reforzadas con varillas de acero, diseñadas de acuerdo con las recomendaciones geométricas en el anexo S del Canadian Standards Association (CSA) (2012), fueron ensayadas; las vigas tuvieron las siguientes dimensiones: $L \times B \times H = 3.1\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.3\text{m}$, todas las vigas tuvieron 2 varillas de acero de 10mm de diámetro como refuerzo superior, sin embargo estas varillas de 10mm solo se utilizaron para la constructibilidad de las vigas y no fueron consideradas en los análisis ni en la discusión de los resultados. Los resultados principales de la investigación indicaron que los momentos de rotura (M_{cr}) de todas las vigas ensayadas estuvieron en el rango de 8.19 a 9.76kN.m con un valor promedio de $8.95 \pm 0.56\text{Kn.m}$ (peso propio de las vigas incluido); en el caso de las deflexiones, como se esperaba, se observaron mayores deformaciones en las vigas que tuvieron menores ratios de refuerzo; asimismo, se notó que mientras más se aumentaba el ratio de reforzamiento se observaban menores deformaciones. Incrementando el ratio de reforzamiento en un 50% se reducen las deflexiones en un rango de 26 a 30%. Como conclusión principal los autores sostienen que el comportamiento de las vigas reforzadas con varillas de basalto se ve afectado significativamente por la rigidez axial del refuerzo a flexión. Se espera que vigas con el mismo refuerzo en flexión muestren una deflexión y capacidad similares, independientemente de la resistencia del concreto. Adicionalmente concluyeron que la norma ACI440.1R-15 subestimó la deflexión de las vigas reforzadas con varillas de basalto. El aporte del artículo a esta tesis es que da una consideración importantísima para el diseño de las vigas; dice, que las vigas reforzadas con varillas de basalto fueron diseñadas para fallar por aplastamiento del concreto (falla frágil), es decir cuando el concreto alcance su máximo esfuerzo a compresión antes de que las varillas de basalto alcancen su capacidad última a tracción (sección sobreforzada), ya que este es el concepto de diseño común para secciones de concreto reforzado con varillas de basalto. En contraste, las vigas reforzadas con varillas de acero fueron diseñadas para que fallen por fluencia del acero (sección subreforzada).

Elgabbas et al. (2016), en el artículo titulado *Experimental Testing of Basalt Fiber Reinforced Polymer Bars in Concrete Beams* para la revista científica *Composites Part B: Engineering* tuvieron como objetivo principal de investigación conocer el comportamiento a flexión en el estado límite de servicio y en el estado último, además de evaluar el coeficiente de adherencia de las varillas de basalto. La investigación fue de tipo experimental

porque se construyeron 6 vigas de concreto reforzado con varillas de basalto, las dimensiones de las vigas fueron 200mm de base, 300mm de peralte y 3100mm de longitud; se dejó una longitud de 200mm a partir de los apoyos hasta el final de la viga para evitar el deslizamiento y una luz libre de 2700mm; asimismo, todas las vigas tuvieron dos varillas de acero de 10mm como refuerzo superior y estribos de acero de 10mm a cada 100mm en las zonas afectadas por esfuerzo cortante. La metodología de diseño utilizada fue la de la norma ACI 440.1R en la que los elementos reforzados con varillas de basalto se deberán diseñar para que fallen por aplastamiento del concreto. Entre los resultados principales los autores indicaron que todas las vigas fallaron por aplastamiento del concreto, tal como estaba previsto, a excepción de una viga en la que el ratio de reforzamiento fue cercano al ratio de reforzamiento balanceado, esto se traduce en una falla simultanea del concreto y del refuerzo. Asimismo, en cuanto al momento de agrietamiento, todas las vigas mostraron un comportamiento similar hasta la aparición de la primera grieta, sin embargo, este valor fue menor al calculado utilizando las ecuaciones del ACI. Como conclusiones principales los autores sostuvieron que las ecuaciones del ACI predijeron valores para las deflexiones por debajo de los obtenidos en la experimentación, también sostuvieron que la rigidez axial del reforzamiento longitudinal afectó significativamente el comportamiento general de las vigas. El aporte de la investigación es que indica el procedimiento del ensayo, indica como realizar el armado de las vigas y los equipos necesarios para realizar las correctas mediciones de fisuras y deflexiones.

Elgabbas, Ahmed y Benmokrane. (2016) en el artículo titulado *Flexural behaviour and bond-dependent coefficient of basalt frp bars in concrete beams* para la Canadian Society for Civil Engineering tuvieron como objetivo principal de investigación determinar el coeficiente de adherencia entre el concreto y el refuerzo e investigar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzadas con varillas de basalto corrugadas. La investigación fue de tipo experimental puesto que se construyeron cinco vigas y se ensayaron en laboratorio hasta que fallaron, las dimensiones de las vigas fueron 3.1m de largo, 0.2m de ancho y 0.3m de alto; se dejó una longitud sobresaliente de 0.2m más allá de los soportes como longitud de anclaje para evitar la falla en la unión, y una luz libre de 2.7m, los especímenes tuvieron estribos cada 0.1m para evitar la falla a corte, 2 varillas de acero como reforzamiento superior y diferentes ratios de reforzamiento en la parte inferior; el recubrimiento fue de 0.038m. las deflexiones se monitorizaron utilizando 4 LVDTs (linear

variable differential transformers) y las primeras grietas se midieron utilizando un microscopio manual. Los principales resultados mostraron que todas las vigas tuvieron un comportamiento similar hasta la aparición de la primera grieta. Las cargas con las que se dieron los primeros agrietamientos y las rigideces antes de los agrietamientos fueron esencialmente similares sin importar el ratio de reforzamiento. Las vigas reforzadas con varillas de FRP fallaron por aplastamiento de concreto mientras que las vigas reforzadas con varillas de acero fallaron por fluencia del reforzamiento seguido por aplastamiento del concreto. La capacidad promedio a flexión de las vigas reforzadas con FRP fue 3.5 veces mayor que la capacidad de las vigas reforzadas con varillas de acero. La conclusión principal fue que las vigas con rigidez axial similar tuvieron aproximadamente las mismas deflexiones y el mismo esfuerzo en el refuerzo, independientemente del tipo de refuerzo. El aporte de esta investigación es que indica que equipos utilizar para realizar el monitoreo del agrietamiento y las deflexiones, también indica que normativa utilizar para el diseño de las vigas reforzadas con FRP.

Fan y Zhang. (2016), en el artículo titulado *Experimental study on flexural behaviour of inorganic polymer concrete beams reinforced with basalt rebar* para la revista científica *Composites Part B: Engineering* tuvieron como objetivo principal de investigación conocer las propiedades mecánicas incluyendo esfuerzo a compresión, esfuerzo a flexión y módulo de elasticidad del IPC (Inorganic Polymer Concrete) y compararlo con el OPC (Ordinary Portland Cement); además, el comportamiento a flexión de vigas de IPC reforzadas con varillas de basalto en términos de esfuerzo último a flexión y patrones de rotura también fueron investigados a detalle y comparados con las vigas de control de OPC reforzadas con varillas de acero, para comprender los mecanismos de falla de las vigas de IPC reforzadas con varillas de basalto. La investigación fue de tipo experimental porque se realizaron ensayos en laboratorio, primero, para el concreto se midió el esfuerzo de compresión uniaxial en un cubo de 15cm de lado a los 3, 7 y 28 días, el módulo de elasticidad y esfuerzo a flexión se midió a los 28 días en un prisma rectangular de concreto. Para investigar el comportamiento a flexión del sistema de concreto armado, dos vigas IPC fueron reforzadas con varillas de basalto, sus medidas fueron $L \times B \times H = 2m \times 0.12m \times 0.2m$, para el propósito de la comparación, se prepararon dos vigas OPC reforzadas con varillas de acero y con las mismas medidas, estas fueron consideradas como las vigas de control. Los resultados principales indicaron que en las vigas OPC inicialmente el concreto y el acero trabajaron juntos para resistir la deformación y solo se observó una pequeña deflexión; apareció la

primera grieta y ocurrió una pérdida de rigidez debido a la falla a tracción del concreto, como consecuencia se observó un decaimiento en la curva carga-deflexión y el acero a tracción tuvo que soportar la carga solo. Ambas vigas OPC fallaron por fluencia del refuerzo. En el caso contrario, las vigas IPC reforzadas con varillas de basalto, la curva carga-deflexión solo constó de dos partes, la primera parte fue muy similar a las de las vigas de control en las que al aparecer la primera grieta ocurrió una pérdida de rigidez, pero en este caso no ocurrió la fluencia del refuerzo antes de la falla completa, sin embargo, las deflexiones fueron mayores (2.5 veces). Como conclusión principal los autores sostienen que las vigas IPC reforzadas con varillas de basalto tuvieron un comportamiento diferente a las vigas de control reforzadas con varillas de acero en términos de respuesta carga-deflexión debido a la diferencia del comportamiento mecánico entre el IPC y OPC, y el reforzamiento de basalto y acero. Para las vigas de control existió una fase de fluencia mientras que las vigas reforzadas con varillas de basalto no mostraron tal fase. Para la misma carga, la deflexión de las vigas reforzadas con varillas de basalto estuvo alrededor de 4 veces el valor de las vigas de control. El aporte de esta investigación a la presente tesis está en que da un acercamiento a algunas de las ecuaciones y criterios para diseñar las vigas reforzadas con varillas de basalto según la norma ACI440.1R-15.

Ovitigala, Ibrahim y Issa. (2016), en el artículo titulado *Serviciability and Ultimate Load Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars* para la revista científica *Structural Journal* de la American Concrete Institute (ACI) tuvieron como objetivo principal investigar los requerimientos de serviciabilidad y el comportamiento de vigas reforzadas con varillas de basalto ante cargas últimas. El tipo de investigación fue experimental puesto que se diseñaron y construyeron 8 vigas reforzadas con varillas de basalto, las dimensiones de las vigas fueron 200mm de base, 300mm de peralte y 3350mm de longitud; las vigas fueron diseñadas utilizando la norma ACI 440.1R-06 y fueron diseñadas para que el modo de falla sea por aplastamiento de concreto antes que por ruptura del reforzamiento. En los resultados principales los autores indicaron que, como se esperaba, las vigas fallaron por aplastamiento del concreto en la zona central del claro y, además, se observaron patrones similares de agrietamiento en la zona a compresión. En el caso de la relación momento-deflexión, como se esperaba la deflexión antes de aplicar la carga fue mínima; el primer agrietamiento en las 8 vigas ocurrió a una deflexión menor que 2mm y se observó que a mayor ratio de reforzamiento mayor será la capacidad de momento

ultimo y la rigidez, y disminuirá la deflexión. Como conclusiones principales los autores sostuvieron que el código ACI 440.1R-06 estimó valores por debajo de los valores obtenidos en los ensayos para el caso de la capacidad de momento último; la brecha entre los valores de la capacidad de momento calculado experimentalmente y los valores calculados con las ecuaciones de la norma ACI 440.1R-06 se incrementa con valores altos de la relación del ratio de refuerzo entre el ratio de refuerzo balanceado. La investigación aporta a esta tesis en la medida de que indica la velocidad con la que se debería aplicar la carga y también indica la norma ASTM D7205 para medir el esfuerzo ultimo de tracción, el esfuerzo de tracción al momento de rotura y el módulo de elasticidad de las varillas de basalto.

Lapko y Urbanski. (2015), en el artículo titulado *Experimental and theoretical analysis of deflections of concrete beams reinforced with basalt rebar* para la revista científica Archives of Civil and Mechanical Engineering, tuvieron como objetivo general de investigación el obtener las características de las deformaciones de las vigas reforzadas con varillas de basalto y vigas reforzadas con varillas de acero; asimismo también realizar la comparación de los resultados experimentales y teóricos obtenidos de los ensayos y los diseños con los parámetros que dan las normas de diseño. Esta investigación fue de tipo experimental porque consistió en el ensayo de 6 vigas cuyas dimensiones fueron $b \times h \times L = 80\text{mm} \times 40\text{mm} \times 1200\text{mm}$, de las cuales 3 fueron reforzadas con varillas de basalto y las otras 3 fueron reforzadas con acero para realizar una comparación de resultados en cuanto a su comportamiento estructural. El resultado principal de esta investigación indica que es notorio que no hubo rotura de las varillas de refuerzo a flexión de basalto, y por lo tanto no alcanzaron su resistencia última a la tracción. La destrucción de la viga fue por cortante en la zona de los apoyos; sin embargo, no hubo falla repentina de las vigas debido a la gran resistencia y ductilidad del refuerzo de basalto; también quedó claro que en el caso de las vigas reforzadas con varillas de basalto la relación esfuerzo-deformación es prácticamente lineal, y para las vigas reforzadas con varillas de acero la fluencia del refuerzo pudo ser observada en la fase final de la aplicación de carga. En las principales conclusiones los investigadores sostienen que se ha demostrado que, en contraste con la relación bilineal de esfuerzo-deformación para vigas convencionales, las vigas reforzadas con varillas de basalto mostraron una relación lineal entre aplicación de cargas, deformación del concreto y deflexiones. El aporte de la investigación a la presente tesis es que en cuanto a resultados da una idea de cómo será la respuesta estructural de las vigas reforzadas con varillas de basalto,

se conocerá el modo de falla; en cuanto a la ductilidad, se podrá calcular partiendo de los resultados de la relación esfuerzo-deformación que se obtendrán.

Pawlowski y Szumigala. (2015), en el artículo titulado *Flexural behaviour of full-scale basalt FRP RC beams – experimental and numerical studies* para la revista científica *Procedia Engineering* tuvieron como objetivo general de investigación evaluar los mecanismos de falla, deflexiones y ductilidad de vigas de concreto armado reforzadas con BRFP dependiendo del ratio de reforzamiento. La investigación fue de tipo experimental puesto que se analizaron en laboratorio 3 vigas reforzadas con varillas de basalto (BFRP 3#7, BFRP 3#9 y BFRP 5#9), diseñadas para fallar por aplastamiento del concreto o por ruptura del refuerzo, se utilizaron 3 tipos diferentes de refuerzos, todas las vigas tuvieron un área transversal de $0.2 \times 0.3 \text{m}^2$, una longitud de 3.05m, una luz entre apoyos de 2.7m y se utilizó un concreto C30/37. El resultado principal de la investigación mostró que las vigas fallaron de diferentes maneras, de acuerdo con el código de diseño la viga BFRP 3#7 debió fallar por ruptura del refuerzo, mientras que se esperaba que las vigas BFRP 3#9 y BFRP 5#9 fallaran por aplastamiento de concreto; lo que sucedió en el laboratorio fue que la viga BFRP 3#7 fallo repentinamente por ruptura del refuerzo, la viga BFRP 3#9 falló de la misma manera, aunque su ratio de refuerzo era mayor al ratio de refuerzo balanceado; sin embargo no fue una falla típica de ruptura de refuerzo (ambas varillas externas se rompieron a 70cm del centro de la viga, en la conexión con un estribo), la viga BFRP 5#9 falló por aplastamiento de concreto, pero su falla no fue repentina (el comportamiento de la viga mostró algo de ductilidad). Como conclusión principal los autores sostienen que el ratio de reforzamiento tiene un efecto significativo en el comportamiento a flexión de las vigas reforzadas con varillas de basalto, un incremento en el ratio de reforzamiento resulta en un incremento en la capacidad de carga y en la rigidez de las vigas. El aporte de este artículo a la presente tesis está en que da a entender que las vigas reforzadas con varillas de basalto deben diseñarse, al contrario de las vigas reforzadas con acero, sobreforzadas para no tener una falla repentina por ruptura del refuerzo.

Zhang, Sun y Xiong. (2015), en el artículo titulado *Experimental study on the flexural deflections of concrete beam reinforced with Basalt FRP bars* para la revista científica *Materials and Structures* tuvieron como objetivo principal realizar un estudio experimental sobre las deflexiones de vigas reforzadas con varillas de basalto, evaluar las ecuaciones de la norma ACI 440.1R y proponer una nueva ecuación para calcular la rigidez a la flexión de

la estructura reforzada con FRP. El tipo de investigación fue experimental puesto que se diseñaron y construyeron 7 vigas de concreto, las vigas fueron diseñadas a flexión para lograr diferentes modos de falla; 3 vigas fueron diseñadas sobrerreforzadas, 2 vigas fueron diseñadas subreforzadas, 1 viga fue diseñada para tener falla balanceada y la última fue diseñada con varillas de acero, esta fue la viga de control. Las dimensiones de las vigas fueron 180mm de base, 230mm de peralte y 1800mm de longitud. En los principales resultados se observó que el modo de falla experimental fue consistente con lo previsto por la norma ACI 440.1R, esto indica que las ecuaciones para calcular la capacidad a flexión expuestas en la norma ACI 440.1R también aplican para las vigas reforzadas con varillas de basalto. La deflexión después del agrietamiento fue lineal a medida que la carga aumentaba. En las conclusiones principales los autores sostienen que el análisis comparativo de los resultados mostró que las ecuaciones para calcular la capacidad a flexión de la norma ACI 440.1R también aplican para las vigas reforzadas con varillas de basalto y lo hace con una precisión alta. Por otro lado, las ecuaciones para el cálculo de deflexiones propuestas en el ACI 440.1R tienen una desviación de los resultados experimentales. El aporte de esta investigación se encuentra en que indica que las ecuaciones para determinar la capacidad a flexión de vigas reforzadas con varillas de basalto propuestas por el ACI arrojan resultados precisos, aunque en esta norma no se considere aun al basalto.

APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Las rocas de **Basalto** se forman mediante la solidificación de lava volcánica, en términos generales se puede decir que las rocas de basalto se derriten a una temperatura que está en el rango de 1500 – 1700°C. Debido a la forma de originarse esta roca, podemos afirmar que en nuestro planeta abunda este recurso (Raj et al, 2017). En la siguiente figura (Matter y Kelemen, 2009) se muestra un mapa mundial en el que se destaca la disponibilidad de la roca de basalto.

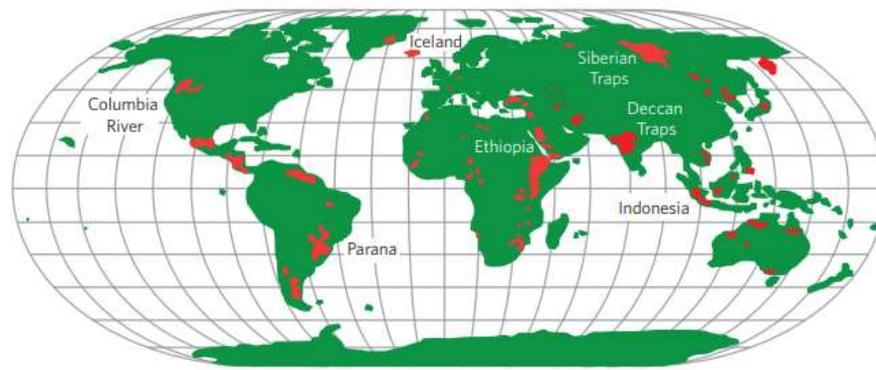


Figura 2. Disponibilidad de Basalto alrededor del mundo.

Gracias a las excelentes **Propiedades mecánicas del basalto**, las fibras de basalto pueden ser ampliamente aplicadas en muchos campos en la industria tales como resistencia a la corrosión en la industria química, industria automovilística, protección contra el fuego, materiales de reforzamiento para el campo de la construcción, etcétera (Fiore et al, 2015).

En el caso de la aplicación de las fibras de basalto en el campo de la construcción, mediante un proceso llamado pultrusión se producen perfiles o varillas de refuerzo; en este caso las **varillas de basalto** son una alternativa a las varillas de acero. Las principales ventajas de las varillas de basalto son:

- Es más resistente y liviano que el acero
- Tiene resistencia natural a los alcalinos, corrosión y a los ácidos
- Tiene baja o nula conductividad eléctrica
- Tiene un coeficiente de expansión térmica similar al del concreto



Figura 3. Puente sobre ferrocarril Lleida.

RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS

La **Resistencia a la flexión de vigas** se obtiene realizando un proceso iterativo, en el cual se debe obtener un estado de deformaciones en el cual las fuerzas horizontales estén en equilibrio, o sea que las fuerzas que actúen en la zona a compresión sean iguales a las fuerzas que actúen en la zona a tracción (Morales, 2006, p. 47).

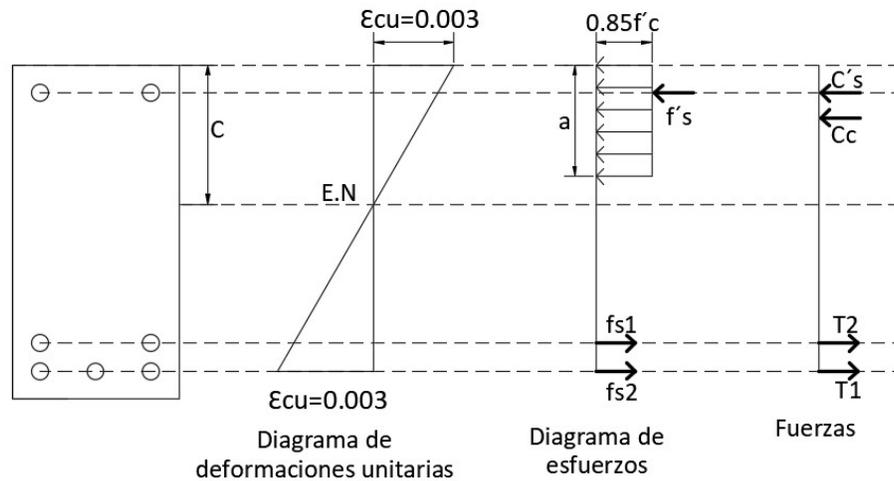


Figura 4. Esfuerzos en una sección sometida a flexión.

Curva Esfuerzo-Deformación

Según la ley de Hooke todo cuerpo se deforma ante la aplicación de una carga, y al dejar de aplicarlas el cuerpo retorna a su forma original, este fenómeno es llamado elasticidad.

No existen los cuerpos perfectamente elásticos y tampoco existen los cuerpos perfectamente plásticos; sin embargo, cuando se les aplica una carga estos se deforman y esta deformación tiene un rango elástico y cuando se le deja de aplicar la carga queda una deformación permanente en el cuerpo. En términos generales, si la deformación de los cuerpos es imperceptible se les denomina cuerpos elásticos (Cervera y Blanco, 2003, p. 16).

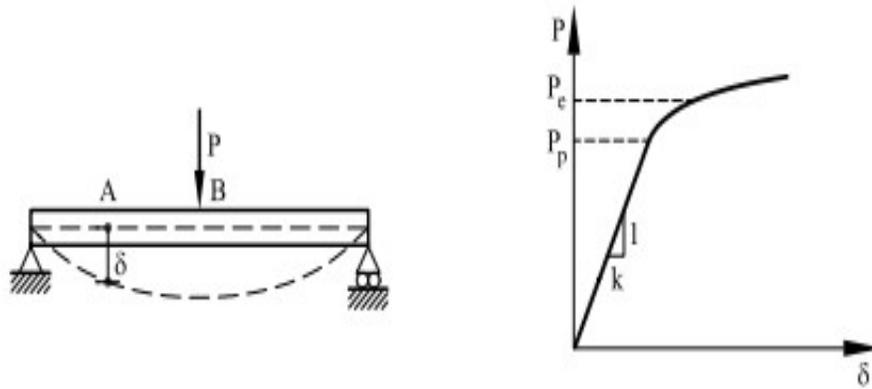


Figura 5. Curva Esfuerzo - Deformación.

Donde:

P_e : Límite elástico

P_p : Límite de proporcionalidad

La ley de Hooke se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = k \cdot P \quad (Ec 1)$$

Donde:

δ : Desplazamiento

k : Constante de proporcionalidad

P : Fuerza aplicada

Los autores del **Modelo constitutivo de Mander** (Mander, Priestley y Park, 1988), propusieron un acercamiento para el gráfico esfuerzo-deformación de tal manera que éste sea aplicado y compatible con elementos de secciones rectangulares y circulares.

De este modelo constitutivo se puede interpretar que la deformación última del concreto; es decir, cuando falla el concreto, coincide con la ruptura del refuerzo que mantiene confinado al concreto.

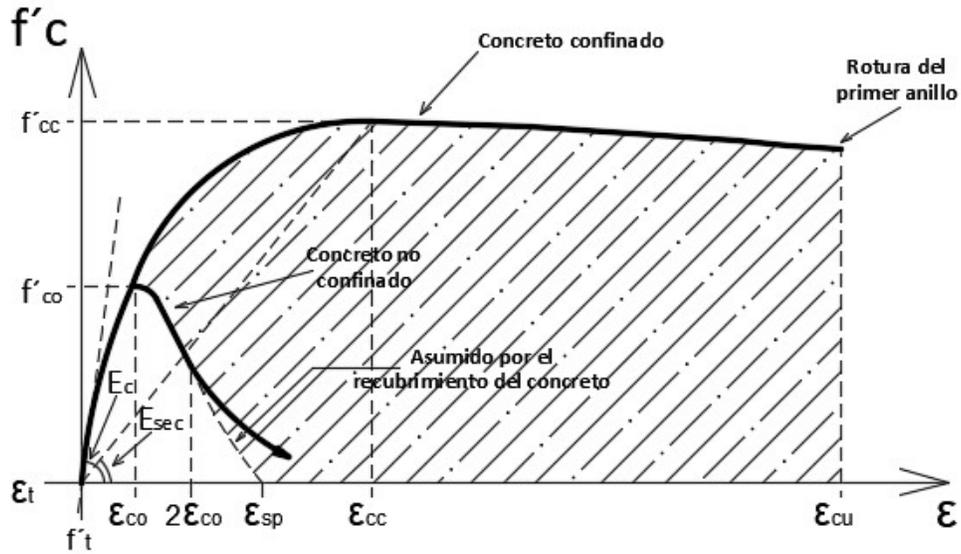


Figura 6. Modelo de gráfica Esfuerzo - Deformación propuesto para la aplicación de una carga monotónica en una sección confinada y una sección no confinada.

La curva que define el comportamiento de esfuerzo vs deformación está definida de la siguiente manera:

$$f'_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (Ec 2)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (Ec 3)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (Ec 4)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (Ec 5)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{co}} \text{ MPa} \quad (Ec 6)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (Ec 7)$$

Donde:

f'_{cc} : Resistencia a compresión del concreto confinado

f'_{co} : Resistencia a compresión del concreto no confinado

- ϵ_c : Deformación unitaria del concreto
- E_c : Módulo de elasticidad del concreto no confinado
- E_{sec} : Módulo secante del concreto confinado respecto al esfuerzo máximo confinante
- ϵ_{cu} : Deformación unitaria última
- ϵ_{sp} : Deformación unitaria última respecto al recubrimiento del concreto
- ϵ_{co} : Deformación asociada a la resistencia máxima del concreto
- ϵ_{cc} : Deformación unitaria del concreto simple, asociada al esfuerzo máximo de confinamiento

En el caso del **Modelo constitutivo de Kent y Park**, los autores propusieron una curva que representa o describe el comportamiento del concreto confinado por estribos rectangulares, en este gráfico se combinaron muchas características de modelos hechos por otros investigadores (Park y Paulay, 1988, p. 30).

La curva propuesta tiene las siguientes características:

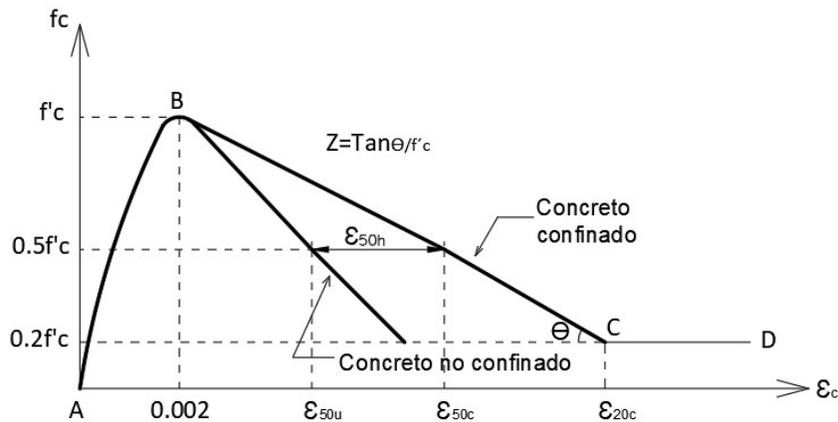


Figura 7. Modelo constitutivo de Kent y Park.

Tramo AB: $\epsilon_c \leq 0.002$

$$f'_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{0.002} - \left(\frac{\epsilon_c}{0.002} \right)^2 \right] \tag{Ec 8}$$

El tramo AB describe una parábola cuadrática, en este tramo el acero de confinamiento no afecta el comportamiento del concreto, es decir no influye en el desarrollo de la curva; el esfuerzo máximo que resiste el concreto confinado es el mismo que se obtiene como esfuerzo a la compresión de la probeta cilíndrica. Hay antecedentes que indican que los estribos aportan a la resistencia, sin embargo, este aporte es pequeño.

Tramo BC: $0.002 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{20c}$

$$f_c = f'_c [1 - Z(\epsilon_c - 0.002)] \quad (Ec 9)$$

Donde:

$$Z = \frac{0.5}{\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h} - 0.002} \quad (Ec 10)$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + 0.002 f'_c}{f'_c - 1000} \quad (Ec 11)$$

$$\epsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{S_h}} \quad (Ec 12)$$

f'_c : Resistencia de probeta cilíndrica de concreto (lb/pulg²)

ρ_s : Relación volumétrica entre refuerzo transversal y concreto confinado

b'' : Ancho del concreto confinado

S_h : Espaciamiento de los estribos

ϵ_{50u} : Deformación unitaria del concreto no confinado al 50% de su capacidad

ϵ_{50c} : Deformación unitaria del concreto confinado al 50% de su capacidad

ϵ_{50h} : Ductilidad adicional aportada por los estribos

Z : Pendiente de la recta descendente

Tramo CD: $\epsilon_c \geq \epsilon_{20c}$

$$f_c = 0.2f'_c \quad (Ec 13)$$

Este tramo representa un concreto capaz de soportar algunos esfuerzos aun cuando sus deformaciones son muy altas.

El **Modelo constitutivo de Hognestad** es ampliamente utilizado para realizar las gráficas esfuerzo vs deformación con la finalidad de representar el comportamiento de un concreto sometido a esfuerzos normales (Karasin, Günaslan y Öncü, 2015).

La primera parte de este gráfico está representado por una curva parabólica de segundo grado y se asume que la segunda parte es lineal. El esfuerzo máximo usualmente se toma como el 85% del esfuerzo a compresión de la probeta cilíndrica y la deformación unitaria en este punto (esfuerzo máximo) se puede asumir como 0.002.

La deformación última a compresión ϵ_{cu} , se puede tomar como 0.0038 con $0.85f'_c$.

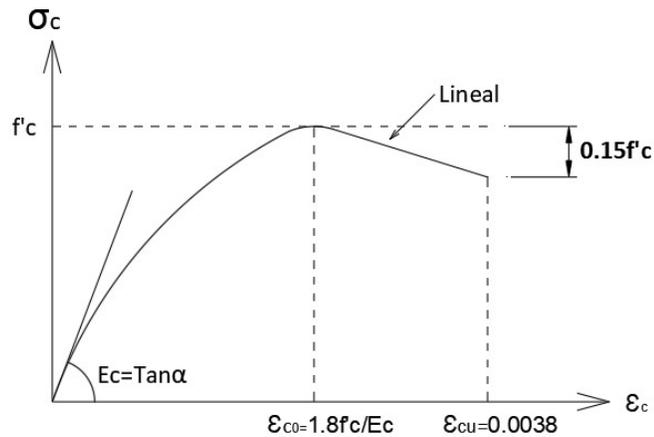


Figura 8. Modelo constitutivo de Hognestad.

La parábola representa la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (Ec 14)$$

$$E_c = \tan \alpha = 126800 + 460f'_c \left(\frac{kgf}{cm^2} \right) \quad (Ec 15)$$

$$\varepsilon_{co} = 1.8 \frac{f'_c}{E_c} \quad (\text{Ec } 16)$$

Donde:

f'_c : Esfuerzo máximo a la compresión

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

ε_{co} : Deformación unitaria del concreto cuando alcanza su máxima resistencia

ε_{cu} : Deformación unitaria última del concreto

σ_c : Esfuerzo a la compresión

La siguiente gráfica representa el **Modelo constitutivo del Comité Europeo del Concreto (CEB)** para elementos de concreto armado sometidos a flexión simple. La curva inicia con una parábola seguida de una parte lineal (Otazzi, 2017, p. 41).

La resistencia a la compresión f'_c está especificada como equivalente a $0.85f_c$.

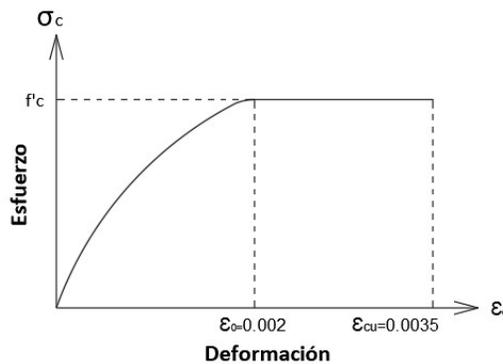


Figura 9. Modelo constitutivo del CEB.

La siguiente gráfica representa la **Curva esfuerzo-deformación del acero**, clásica de los aceros que tienen buena ductilidad; se supone que los elementos sometidos a tracción o compresión describen la misma curva, nótese que los elementos sometidos a compresión deben ser de sección amplia puesto que si fueran de sección pequeña sufrirían pandeo y los momentos producidos mermarían su capacidad (McCormac y Csernak, 2013, p. 15).

La forma de la curva podría variar dependiendo de la velocidad con la que se aplica la carga, la calidad del acero y la temperatura que este tenga, tal es así que la curva con fluencia superior (líneas punteadas) se obtiene cuando se carga rápidamente al acero.

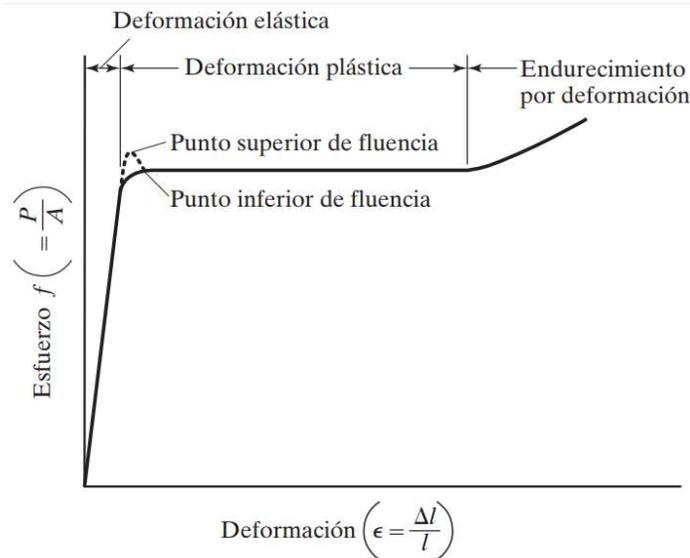


Figura 10. Diagrama Esfuerzo - Deformación de un acero dulce (bajo contenido de carbono).

Para (Ospina, Urrego y Botero, 2013) la **Ductilidad** de un elemento representa que tanto podrá deformarse sin llegar a fallar parcial o totalmente, es decir cuanto esfuerzo será capaz de resistir antes de perder sus capacidades. Cada elemento tiene estados límites en los cuales se aprecia una gran reducción de rigidez y cuando el esfuerzo es tal que el elemento llega a fallar completamente ocasionando el colapso de este.

Según (Otazzi, 2017, p. 143) el método utilizado para describir el comportamiento de un elemento estructural de concreto armado es el diagrama Momento – Curvatura ($M - \phi$), este método sirve para medir la **Ductilidad por Curvatura** (μ), esta ductilidad se calcula dividiendo la curvatura máxima (ϕ_{max}) entre la curvatura de fluencia (ϕ_y).

El **Diagrama Momento – Curvatura ($M - \phi$)** es la forma mediante la cual se describe el comportamiento de una sección de concreto armado (Hinostroza, 2018); el punto A en este diagrama representa el momento de agrietamiento (M_{cr}) que es cuando aparece la primera grieta en la sección, es decir, cuando se ha superado la resistencia a la tracción del concreto; el punto B representa al comportamiento bajo cargas de servicio, inmediatamente después

de ocurrir el primer agrietamiento; el punto C representa el momento en el que inicia la fluencia del refuerzo (M_y) y el punto D representa la capacidad máxima de la sección (M_{max}).

Un elemento llega a su capacidad máxima cuando la pendiente del diagrama es horizontal y cuando esta toma valor negativo, se entiende que el elemento ha fallado (Otazzi, 2017, p. 142).

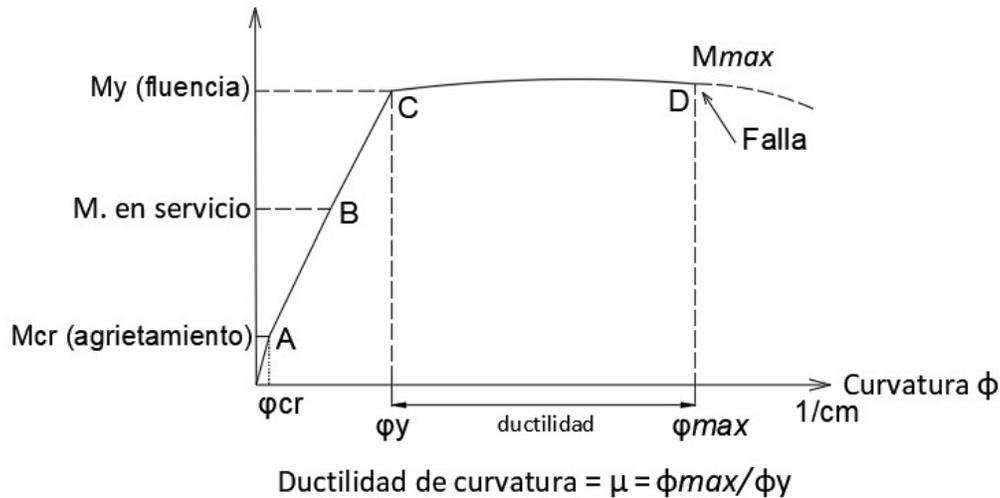


Figura 11. Diagrama Momento - Curvatura de una sección.

Cuando se elabora un diagrama Momento – Curvatura de una sección de concreto armado convencional (concreto y acero de refuerzo) generalmente se toman 3 puntos para calcular su ductilidad, estos son el momento de agrietamiento (M_{cr}), el momento de inicio de fluencia (M_y) y el momento de capacidad máxima (M_{max}); sin embargo, las varillas de FRP al ser frágiles no presentan una meseta de fluencia, por tal motivo cuando se elabora el diagrama Momento – Curvatura de una sección de concreto reforzada con varillas de FRP solo se considera el momento de agrietamiento (M_{cr}) y el momento de capacidad máxima (M_{max}).

En cuanto al dimensionamiento de vigas, la **Flexión** es la que rige el estado de servicio, estas se diseñan subreforzadas para que el modo de falla sea dúctil; es decir, que el elemento falle por fluencia del refuerzo.

En el caso de las vigas reforzadas con FRP la metodología de diseño es diferente, estas se diseñan para fallar de modo frágil; es decir, que el elemento falle por aplastamiento del

concreto, esto se debe a que la curva esfuerzo-deformación de las vigas reforzadas con varillas de basalto tienen un comportamiento lineal hasta la rotura, en cambio las vigas reforzadas con varillas de acero tienen un comportamiento elástico hasta incurrir en el rango plástico donde muestran ductilidad.



Figura 12. Ensayo a flexión en viga.

Problema general

- ¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la respuesta estructural de las vigas?

Problemas específicos

- ¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas?
- ¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la ductilidad de las vigas?
- ¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la deflexión máxima de las vigas?

El problema principal del refuerzo estructural con acero es la corrosión, esto afecta gravemente la durabilidad de las estructuras de concreto. Actualmente se utilizan diversas técnicas para contrarrestar la corrosión como el revestimiento con materiales epóxicos o utilizar un concreto de alta resistencia, sin embargo, esto no es suficiente (Ovitigala, 2012).

La **justificación** de esta investigación recae principalmente en conocer el comportamiento estructural de un material novedoso como los son las varillas de fibra de basalto para poder utilizarlo como una alternativa al refuerzo con varillas de acero; el basalto es un material no metálico, por lo tanto, su resistencia a la corrosión es muy elevada, lo que lo hace en potencia una de las mejores alternativas para su aplicación como material de refuerzo estructural.

Como se ha mencionado anteriormente el principal problema de las estructuras con reforzamiento de acero es la corrosión, al corroerse el acero de refuerzo este aumenta su volumen ocasionando agrietamiento en los elementos estructurales y al intensificarse el agrietamiento se pueden producir desprendimientos de concreto a tal punto que puede ocasionar daños a los habitantes del inmueble o inclusive el colapso de la estructura o parte de ella. Es por tal motivo que esta investigación es justificada, puesto que los elementos estructurales reforzados con varillas de basalto no sufren corrosión y así la seguridad de los habitantes estaría más asegurada.

Hipótesis general

- La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la respuesta estructural de las vigas.

Hipótesis específicas

- La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas.
- La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la ductilidad de las vigas.
- La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la deflexión máxima de las vigas.

Objetivo general

- Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la respuesta estructural de las vigas.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas.
- Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la ductilidad de las vigas.
- Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la deflexión máxima de las vigas.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

En los siguientes ítems se definirá el tipo y diseño de la presente investigación.

Tipo de investigación

Según (Mackey y Gass, 2005, p. 2), una investigación cuantitativa generalmente conlleva un diseño experimental en el que se verifican hipótesis mediante la cuantificación de la data y se realizan algunos análisis matemáticos.

Por otro lado, para (Kumar, 2011, p. 30), generalmente las investigaciones en el área de las ciencias sociales son aplicadas. Esto significa que las técnicas, métodos y procedimientos que forman parte de la investigación, son obtenidos de información disponible sobre varios aspectos de situaciones, problemas o fenómenos, de manera que esa información pueda ser aplicada en otros campos.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores podemos afirmar que esta investigación tiene un enfoque cuantitativo puesto que se realizará la cuantificación de datos y también se realizarán cálculos matemáticos con la finalidad de verificar las hipótesis planteadas.

El tipo de investigación será **Aplicada** puesto que la investigación se apoyará en metodologías de investigaciones previas y procedimientos estandarizados.

Nivel de investigación

Abreu (2012) señala que el principal objetivo de una investigación explicativa es responder a la interrogante ¿Por qué?, se debe ir más allá de una investigación descriptiva y hallar las razones o causas por las que ocurre un problema.

Con base en lo expuesto en el párrafo anterior definimos que la presente investigación será de nivel **Explicativo** puesto que en esta investigación se plantearán hipótesis a modo de predecir los efectos de la variable independiente sobre la dependiente y se realizarán ensayos en un laboratorio para verificar estas predicciones.

Diseño de la investigación

Según (Marczyk, DeMatteo y Festinger, 2005, p. 124), un diseño verdaderamente experimental es aquel en el que existen grupos de control y grupos experimentales.

Siguiendo este concepto se entiende que la presente investigación es de tipo **Experimental** puesto que existe un grupo de control (vigas reforzadas con varillas de acero, como refuerzo longitudinal) y un grupo experimental (vigas reforzadas con varillas de basalto, como refuerzo longitudinal).

Para (White y Sabarwal, 2014), en un diseño cuasi experimental no se realiza distribución aleatoria, es decir los especímenes se ubican en los grupos de control y grupo al que se le aplica el estímulo según lo decida el investigador.

Con base en lo escrito en el párrafo anterior se entiende que la presente investigación será **cuasi experimental** porque no se llevará a cabo una distribución aleatoria.

2.2. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Variable Independiente	Según (Saleh et al, 2019) durante las últimas décadas las varillas de polímeros reforzados con fibra han emergido como un adecuado reemplazo para las varillas de acero en las estructuras debido a su resistencia a la corrosión, a los químicos, nula conductividad eléctrica, alto ratio resistencia/peso, resistencia a la fatiga y largo ciclo de vida.	En la presente investigación se diseñarán y ensayaran vigas de concreto armado; se tendrán dos grupos, en el primer grupo (grupo de control) las vigas llevarán varillas corrugadas de acero como refuerzo longitudinal mientras que en el segundo grupo (grupo experimental) las vigas llevarán varillas corrugadas de basalto como refuerzo longitudinal, finalmente se compararán ambas respuestas estructurales esperando que la respuesta estructural de las vigas reforzadas con varillas de basalto sea mejor que el de su contraparte reforzado con varillas de acero para así determinar la factibilidad de aplicar varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.	Varillas de basalto	Diámetro de varillas	Discreta y De razón
Aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal			Varillas de acero	Diámetro de varillas	Discreta y De razón

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO
Variable Dependiente	<p>Para (Banjara y Ramanjaneyulu, 2019) cuando un material es sometido a cargas hasta el punto en el que alcanza su esfuerzo límite, se empiezan a generar y propagar grietas mientras se le siga esforzando hasta el punto en el que falla y colapsa. A esto se le conoce como la respuesta o comportamiento estructural.</p>	<p>Esta variable está comprendida por 3 dimensiones: resistencia, modo de falla y deformación. En el caso de la resistencia, esta será medida mediante el ensayo de flexo tracción en vigas cargadas a los tercios de luz, para recabar los datos obtenidos se ha elaborado una ficha técnica de medición. En el caso de la dimensión Modo de falla, esta se determinará midiendo la ductilidad de los elementos a ensayar, para esto se elaborará el diagrama Momento – Curvatura de cada elemento ensayado y los datos se recabarán en una ficha técnica de medición. Finalmente, la deformación será evaluada como la deflexión máxima que admitirán las vigas a ensayar, este dato se obtendrá del ensayo de flexo tracción en vigas cargadas a los tercios de luz, estas deflexiones máximas se registrarán en la misma ficha técnica de medición que se utilizara en el caso de la resistencia.</p>	Resistencia	Flexión por tracción	Discreta y De razón	Ficha técnica de medición de ensayo de flexión por tracción en vigas ASTM C78.
Respuesta estructural de vigas			Modo de falla	Ductilidad	Discreta y De razón	Ficha técnica de medición.
			Deformación	Deflexión máxima	Discreta y De razón	Ficha técnica de medición de ensayo de flexión por tracción en vigas ASTM C78.

Fuente: elaboración propia.

2.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población en esta investigación serán las vigas reforzadas con varillas de acero y las vigas reforzadas con varillas de basalto como refuerzo longitudinal.

Muestra

Según la (ASTM C78), el investigador deberá especificar el tamaño de los especímenes y la cantidad de especímenes a ensayar para obtener un resultado promedio de los ensayos. Es así que se decidió elaborar 4 especímenes con las siguientes características.

Para esta investigación se utilizará concreto con un $f'c$ de 210kg/cm^2 puesto que para elementos estructurales resistentes a fuerzas sísmicas la (NTE E.060, 2009, p. 167) indica que la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) no debe ser menor que 21MPa (210kg/cm^2).

En el caso de los especímenes, se construirán 4 vigas de las cuales 2 estarán reforzadas con varillas longitudinales de acero (Grupo de control) y las 2 restantes estarán reforzadas con varillas longitudinales de basalto (Grupo experimental); en cuanto a las dimensiones de los especímenes, estas serán un área transversal de $0.3 \times 0.5\text{m}^2$ y una longitud de 5m; estas dimensiones cumplen con los requisitos de (NTE E.060, 2009, p. 171) en donde se especifica que la longitud libre del espécimen no debe ser menor que cuatro veces la longitud de su altura o peralte y que la longitud mínima de la base del espécimen no debe ser menor de 0.25m o 0.25 veces su altura o peralte.

- **Muestra para el indicador flexión por tracción**

Para realizar las mediciones correspondientes al indicador **flexión por tracción** se ensayarán en un laboratorio las 4 vigas (grupo de control y grupo experimental) con las características mencionadas anteriormente, los grupos estarán organizados como se puede ver en la **tabla 3**.

Tabla 3. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador flexión por tracción

Grupo	Tipo de refuerzo longitudinal	Especimen	Longitud	f'c
Grupo de Control	Varillas de Acero (3φ=3/4")	V30*50 – VA - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VA - 2	5m	210 kg/cm ²
Grupo Experimental	Varillas de Basalto (3φ=1")	V30*50 – VB - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VB - 2	5m	210 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

- **Muestra para el indicador ductilidad**

Para realizar las mediciones correspondientes al indicador **ductilidad** se ensayarán en un laboratorio las 4 vigas (grupo de control y grupo experimental) los grupos estarán organizados como se puede ver en la **tabla 4**.

Tabla 4. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador ductilidad

Grupo	Tipo de refuerzo longitudinal	Especimen	Longitud	f'c
Grupo de Control	Varillas de Acero (3φ=3/4")	V30*50 – VA - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VA - 2	5m	210 kg/cm ²
Grupo Experimental	Varillas de Basalto (3φ=1")	V30*50 – VB - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VB - 2	5m	210 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

- **Muestra para el indicador deflexión máxima**

Para realizar las mediciones correspondientes al indicador **deflexión máxima** se ensayarán en un laboratorio las 4 vigas (grupo de control y grupo experimental) los grupos estarán organizados como se puede ver en la **tabla 5**.

Tabla 5. Grupos y características de especímenes correspondientes al indicador deflexión máxima

Grupo	Tipo de refuerzo longitudinal	Especímen	Longitud	f'c
Grupo de Control	Varillas de Acero (3 ϕ =3/4")	V30*50 – VA - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VA - 2	5m	210 kg/cm ²
Grupo Experimental	Varillas de Basalto (3 ϕ =1")	V30*50 – VB - 1	5m	210 kg/cm ²
		V30*50 – VB - 2	5m	210 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

Muestreo

Para (Arias, 2012, p. 85) la técnica de muestreo no probabilístico es un proceso en el cual no se tiene certeza de la probabilidad que tienen los ítems de la población para formar parte de la muestra.

La técnica de muestreo realizada en esta investigación es **no probabilística intencionada** puesto que los elementos han sido escogidos con base en criterios relacionados con las posibilidades del tesista, tales como el tiempo y recursos disponibles para realizar la investigación, esto debido a que no se cuenta con financiamiento externo para realizar la investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos

Según (Kothari, 2004, p. 96), la observación se convierte en una herramienta científica y en un método de recolección de datos cuando sirve a un propósito de investigación que ha sido formulado, se planifica y registra de forma sistemática y está sujeta a controles y verificaciones de validez y confiabilidad.

En el caso de que la observación se caracterice por tener un estilo de recolectar los datos obtenidos, por tener una definición precisa de las unidades a observar y seguir un procedimiento estandarizado de observación y selección de data relevante para la investigación, entonces el proceso de observación es llamado observación estructurada (Kothari, 2004, p. 96).

Generalmente la observación controlada se realiza en experimentos que son llevados a cabo en laboratorios y bajo condiciones controladas mientras que se recurre a la observación no controlada en el caso de investigaciones exploratorias (Kothari, 2004, p. 97).

Con base en estos argumentos la técnica de recolección de datos que se utilizará en la presente investigación será la de observación estructurada y controlada puesto que la experimentación se llevará a cabo en un laboratorio en el cual los equipos estarán calibrados y serán los especificados en la normativa vigente para así verificar su confiabilidad, la realización de los ensayos será bajo una normativa específica y los datos serán recolectados en fichas técnicas que serán sometidas a juicio de expertos para verificar su validez.

Instrumentos de recolección de datos

El instrumento es el medio que utiliza el investigador para registrar y recabar la información obtenida, entre los instrumentos están considerados las guías de observación, cronómetros, sismógrafos, etcétera (Hernández et al, 2018, p. 94).

Teniendo en cuenta lo mencionado líneas arriba los instrumentos de recolección de datos para la presente investigación serán las fichas técnicas de medición, y todos los equipos necesarios para realizar los ensayos que se llevarán a cabo en el laboratorio.

Se elaborarán 3 fichas técnicas de medición; ficha técnica de medición para el indicador **flexión por tracción**, ficha técnica de medición para el indicador **ductilidad** y ficha técnica de medición para el indicador **deflexión máxima**, estas fichas estarán ubicadas en los anexos n° 3, 4 y 5 respectivamente, según lo indica la **tabla 6**.

Tabla 6. *Ubicación de Fichas técnicas de medición*

Ficha técnica por Indicador	Anexo
Flexión por tracción	Anexo n° 3
Ductilidad	Anexo n° 4
Deflexión máxima	Anexo n° 5

Fuente: elaboración propia.

Validez

Para (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200), la validez es la efectividad de un instrumento para medir lo que se dice que va a medir.

Según (Babbie, 2011, p. 159), validez se refiere al grado en que una medición empírica refleja adecuadamente el significado real que se está considerando.

En el caso de esta investigación se avala la validez de los instrumentos porque los ensayos en laboratorio se realizarán cumpliendo las normas establecidas y las fichas técnicas serán evaluadas por expertos (3) antes de poder ser utilizadas.

En cuanto a las validaciones de las fichas técnicas, se elaborará una solicitud de validación para cada ficha y se presentará a cada uno de los expertos con la finalidad de hacer este proceso más formal y ordenado, la validez de dichas fichas técnicas estará sujeta a una calificación (indicada en la **tabla 7**), esta solicitud estará en el Anexo n° 2 (Formato de solicitud de validación de fichas técnicas de medición).

Tabla 7. Rangos y Magnitud de validez

Rangos	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

Fuente: Ruíz, 2013, p. 98.

Confiabilidad

Para (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200), un instrumento de medición es confiable cuando al utilizarlo en repetidas ocasiones y en el mismo espécimen, se obtienen los mismos resultados.

Según (Kellstedt y Whitten, 2013, p. 99), la medición de un concepto es confiable siempre y cuando se pueda repetir o replicar, esto quiere decir que para un mismo caso y bajo las mismas condiciones se obtendrán resultados iguales.

En este caso, debido a que se realizaran ensayos destructivos, no habrá forma de realizar el ensayo más de una vez a un mismo espécimen, teniendo en cuenta esto entonces la confiabilidad de los instrumentos será sustentada mediante el certificado de calibración que será entregado por el laboratorio y se podrá observar en el Anexo 6 (Certificados de calibración de los equipos) de la presente investigación.

2.5. Procedimiento

En esta parte se describirá detalladamente el procedimiento que se seguirá en la presente investigación. Se supone que todo el personal que intervenga en el proceso constructivo, en el proceso de implementación de equipos para los ensayos y durante la realización de los ensayos deberá obligatoriamente tener su equipo de protección personal (EPP).

Etapa 1 – Diseño de vigas

Se diseñaron ambos especímenes utilizando las Normas correspondientes a cada tipo, es decir, se utilizó la Norma ACI 318-14 para diseñar las vigas del grupo de control (reforzadas con varillas de acero) mientras que para las vigas del grupo experimental (reforzadas con varillas de basalto) se utilizó la Norma ACI 440-1R-15.

Etapa 2 – acopio de materiales

- **Concreto**

En el caso del concreto, se solicitaron los servicios de un laboratorio en cuanto a diseño de mezcla, la resistencia a la compresión del concreto utilizado en la construcción de los especímenes fue de 210kg/cm², la elaboración de la mezcla se realizó utilizando un trompo mezclador

- **Madera**

En cuanto a la madera (utilizada para el encofrado) las tablas fueron alquiladas y llevadas al laboratorio para realizar el armado del encofrado, teniendo en cuenta que estas no habían llegado al límite de usos (8 veces).

- **Herramientas manuales**

Las herramientas manuales utilizadas tales como clavos, alambre, martillos, etcétera fueron provistas por el tesista.

Etapa 3 - Encofrado

Para el armado del encofrado se utilizó como guía los gráficos del libro Costos y Presupuestos en Edificación de CAPECO (Ramos, 2003, p. 27). Se utilizaron tablas de 3m de longitud, 0.2m de ancho y 1” de espesor.

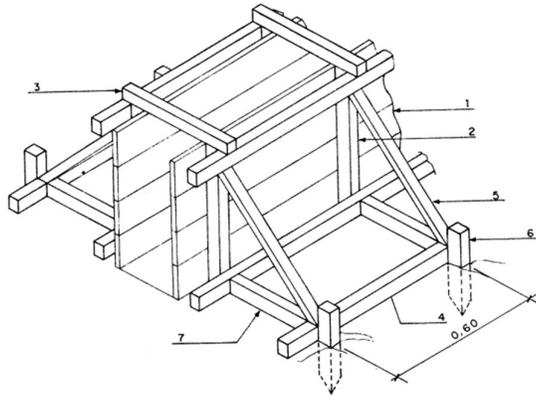


Figura 13. Encofrado de viga.

Etapa 4 - Armado y colocación del refuerzo

El armado del refuerzo de acero se realizó en el laboratorio en el que se realizaron los ensayos puesto que realizarlo en otro lugar y movilizarlo hasta el laboratorio generaba mayores costos y existía la posibilidad de que sufriera daños.

Se armó primero el refuerzo de las vigas de control, las cuales solo llevaron varillas de acero longitudinales y estribos en las zonas expuestas a esfuerzos cortantes.

Luego se procedió a realizar el armado del refuerzo de las vigas del grupo experimental, las cuales llevaron varillas longitudinales de basalto y estribos de acero en las zonas expuestas a esfuerzos cortantes.

En el caso de las vigas de control, los estribos y el refuerzo longitudinal fueron unidos con alambre N° 8, en el caso de las vigas del grupo experimental estos fueron unidos utilizando corbatas de plástico puesto que utilizar alambre podría dañar las varillas de basalto y esto significaría una disminución en su capacidad.

Etapa 5 - Vaciado de concreto

El día del vaciado del concreto se tuvo listo tanto el encofrado como las armaduras de todas las vigas, primero se procedió a elaborar la mezcla utilizando un trompo mezclador, una vez hecho ello se colocaron los refuerzos de las cuatro vigas dentro de los encofrados y se

colocaron dados de concreto para poder dar el recubrimiento necesario, teniendo todo listo se procedió al vaciado de las vigas.

Con la finalidad de que el concreto se acomode adecuadamente y evitar zonas de vacío (cangrejas) se realizó el chuceado del concreto.

Etapa 6 - Control de calidad del diseño de mezcla

Estas probetas se tomaron en el momento en que se inició el vaciado de concreto, servirán para comprobar que la resistencia a la compresión del concreto sea la que se solicitó cuando se encargó el diseño de mezcla.

Etapa 7 - Desencofrado

No se utilizó ningún aditivo desmoldante.

Etapa 8 - Curado

El curado de los especímenes se realizó en las instalaciones del laboratorio, fue durante 28 días; sin embargo, por el tamaño de las vigas estas no caben en la poza de curado, entonces el curado se realizó envolviendo los especímenes con mantas de yute siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C 192, esta (ASTM C 192, 2002, p. 7) indica que los especímenes deben ser envueltos con mantas de yute mojadas y para evitar que estas se sequen se deben envolver con una lámina de plástico.

Etapa 9 - Instrumentación de los equipos

Basado en los antecedentes los pasos para la instrumentación son:

- Separar los apoyos que sostendrán a la viga a ensayar a una distancia tal que se deje una longitud más allá de los apoyos con la finalidad de evitar deslizamientos.
- Colocar un rótulo identificador a cada una de las vigas a ensayar.
- Marcar los puntos donde se aplicarán las cargas.
- Ubicar la viga en el equipo para proceder a ensayarla.
- Verificar que no haya irregularidades en las superficies de la viga o en su defecto verificar si son admisibles o si se desecha el espécimen.

- Colocar los instrumentos para monitorear las deflexiones.
- Proceder a ensayar los especímenes.

Etapa 10 - Ensayo y medición

Se aplicó una carga monotónica a cada una de las vigas, y se les sometió a una flexión de cuatro puntos a una velocidad controlada hasta que fallaron, las vigas fueron observadas durante el ensayo hasta que apareció la primera grieta. El ensayo tuvo una pausa cuando apareció la primera grieta para registrar la carga correspondiente, luego se reanudó la carga hasta que la viga falló.

Al mismo tiempo que la carga iba aumentando las vigas se fueron flexionando y las deflexiones aumentaban, estas fueron monitoreadas para determinar las deflexiones máximas.

Etapa 11 - Resultados

En el caso de los resultados, después de haber conversado con una representante del laboratorio donde se harán los ensayos se indicó que el laboratorio en caso de tesis no elabora un informe sino entrega información en bruto para ser procesada y/o filtrada.

Siendo así entonces con la información dada por el laboratorio se procedió a realizar el análisis de datos utilizando la estadística descriptiva y posteriormente se elaboraron cuadros con los resultados obtenidos.

2.6. Método de análisis de datos

En esta sección se mencionará que análisis estadístico se aplicará a los datos obtenidos. El análisis dependerá del tipo de datos recabados. Según (Borja, 2016, p. 35) se tienen dos maneras de realizar el análisis de datos, estos son mediante estadística descriptiva y estadística inferencial.

En el caso de la estadística descriptiva se pueden realizar la distribución de frecuencias en la cual se pueden realizar gráficos tales como histogramas o gráficos circulares; medidas de tendencia tales como la moda, media y mediana, y por último medidas de variabilidad como la desviación estándar, varianza y rango.

Por otro lado, mediante la estadística inferencial podemos generalizar los resultados de la muestra a la población. La aplicación de este tipo de análisis depende de que la muestra se haya elegido de manera probabilística de tal manera que se asegure su significancia (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 299).

Siendo así el análisis de datos que se realizará en la presente investigación será mediante **Estadística descriptiva** puesto que el método de muestreo es no probabilístico intencionado.

2.7. Aspectos éticos

El pilar ético de esta investigación será la **honestidad** puesto que esta es necesaria para mantener la veracidad del conocimiento científico, sin la honestidad la ciencia no sobreviviría. El investigador debe ser completamente imparcial respecto a la valoración de sus resultados y reflejar la honestidad e imparcialidad en la admisión de errores (Cegarra, 2004, p. 71).

Como prueba de los aspectos éticos el tesista realizará una declaratoria de autenticidad (Página V); además de ello y para verificar que la presente investigación no esté sujeta a problemas de derechos de autor, todas las fuentes de información utilizadas para la realización de la presente investigación serán debidamente referenciadas siguiendo las indicaciones de la norma ISO 692 y estarán ubicadas al final del presente capítulo.

Asimismo, la presente investigación será entregada a las autoridades pertinentes de la casa de estudios para su verificación utilizando el software TURNITIN, esto con la finalidad de verificar su autenticidad.

III.RESULTADOS

3.1. Desarrollo de Procedimiento

Etapa 1 – Diseño de vigas

En esta etapa se realizaron los diseños de las vigas utilizando las normas correspondientes a cada grupo, la figura 14 muestra una planta típica de la cual se tomó la viga central con su respectiva área tributaria para realizar los diseños correspondientes.

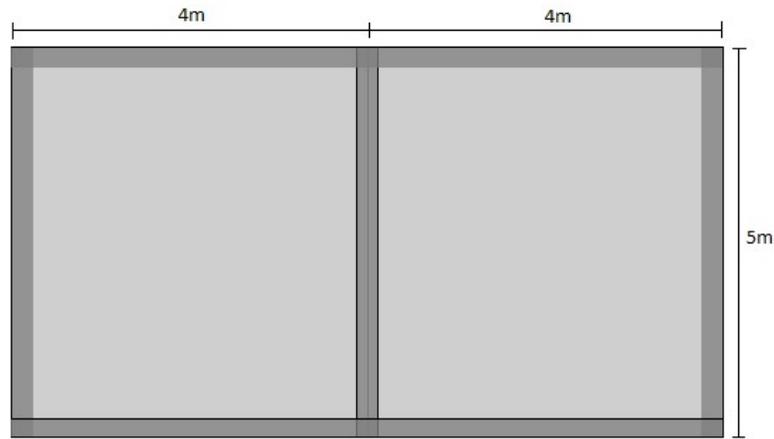


Figura 14. Planta de edificación utilizada para el diseño de las vigas.

Diseño de las vigas del Grupo experimental (Basalto) NORMA ACI 440-1R-15

Dimensiones de la viga:

$$\begin{aligned} b &= 0.30 \text{ m} \\ h &= 0.50 \text{ m} \\ d &= 0.44 \text{ m} \\ L &= 5.00 \text{ m} \end{aligned}$$

Metrado de cargas:

$$\begin{aligned} \text{Peso de viga} \Rightarrow P_V &= 0.30 \times 0.50 \times 2400 \Rightarrow P_V = 360 \text{ kg/m} \\ \text{Peso de losa} \Rightarrow P_L &= 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow P_L = 1200 \text{ kg/m} \\ \text{Acabados} \Rightarrow A_c &= 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow A_c = 400 \text{ kg/m} \\ P_V + P_L + A_c \Rightarrow CM &= 1960 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sobrecarga} \Rightarrow S/C &= 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow S/C = 400 \text{ kg/m} \\ &\Rightarrow CV = 1960 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Momento de servicio:

$$\begin{aligned} M_{\text{servicio}} &= \frac{(CM + CV) L^2}{8} = \frac{(1960 + 1000)5^2}{8} \\ M_{\text{servicio}} &= 9250 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Debido a que se desea una falla frágil, es decir, que la falla sea controlada por compresión del concreto, asumimos:

$$\phi = 0.65 \quad (\text{ACI 440 - 1R - 15})$$

↓

(Luego se verificará)

Carga Última (W_U):

$$\begin{aligned} W_U &= 1.2(CM) + 1.6(CV) \\ W_U &= 3952 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Momento Último (M_U):

$$\begin{aligned} M_U &= \frac{W_U \times L^2}{8} \\ M_U &= 12350 \text{ kg} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Momento Nominal (M_N):

$$\begin{aligned} M_U &= \phi M_N \\ M_N &= 19000 \text{ kg} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

A continuación, se presentan los parámetros necesarios para calcular el área del basalto necesaria para la viga

$$E_f = 58000 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 210 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 20.6 \text{ MPa}$$

$$M_N = 19000 \text{ kg} \cdot \text{m} = 19 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\beta_1 = 0.85 \quad (f'_c \leq 28 \text{ MPa})$$

$$\varepsilon_{CU} = 0.003$$

Entonces, podemos calcular el área del Basalto necesario para la viga, con las siguientes operaciones:

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \times \varepsilon_{CU})^2}{4} + \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{\rho_f} \times E_f \times \varepsilon_{CU} - 0.5 \times E_f \times \varepsilon_{CU}} \right) \text{ MPa}$$

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(58000 \times 0.003)^2}{4} + \frac{0.85 \times 0.85 \times 20.6}{\rho_f} \times 58000 \times 0.003 - 0.5 \times 58000 \times 0.003} \right) \times 10.19 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_f = \left(\sqrt{7569 + \frac{2589.729}{\rho_f} - 87} \right) \times 10.19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \dots \quad \text{I}$$

$$M_N = \rho_f \times f_f \left(1 - 0.59 \frac{\rho_f \times f_f}{f'_c} \right) b d^2$$

$$19 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{cm} = \rho_f \times f_f \left(1 - 0.59 \frac{\rho_f \times f_f}{f'_c} \right) \times 58080 \text{ cm}^3 \quad \dots \quad \text{II}$$

Luego, reemplazamos **I** en **II**, teniendo como resultado lo siguiente:

$$\rho_f = 0.0101$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} \rightarrow A_f = 0.0101 \times 30 \times 44$$

$$A_f = 13.33 \text{ mm}^2$$



$$3 \varnothing 25 \text{ mm}$$

$$3 \varnothing 1"$$

Entonces, luego de esto, continuamos con el cálculo del esfuerzo a tracción del polímero:

Coefficiente de exposición del Polímero según ACI 440 – 1R – 15

$$C_e = 0.8 \text{ (expuesto)}$$

$$f_{fu}^* = 781 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{(Esfuerzo a la tracción dado por el distribuidor)}$$

$$f_{fu} = C_e \times f_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 624.8 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{(Esfuerzo a la tracción real)}$$

Entonces, realizamos la verificación del diseño:

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \times \varepsilon_{CU})^2}{4} + \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{\rho_f} \times E_f \times \varepsilon_{CU}} - 0.5 \times E_f \times \varepsilon_{CU} \right) \leq f_{fu}$$

$$f_f = 426.79 \text{ MPa} \qquad \qquad \qquad f_{fu} = 624.8 \text{ MPa}$$

$$426.79 \text{ MPa} \qquad \leq \qquad 624.8 \text{ MPa} \qquad \text{Sí cumple}$$

Cálculo de la cuantía balanceada:

$$\rho_{fb} = 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_{fu}} \times \frac{E_f \times \varepsilon_{CU}}{E_f \times \varepsilon_{CU} + f_{fu}}$$

$$\rho_{fb} = 0.0052 \qquad \Rightarrow \qquad 1.4\rho_{fb} = 0.0073$$

$$\rho_f = 0.0101$$

$$\rho_f \geq 1.4\rho_{fb} \qquad \text{Cumple}$$

Sección controlada por compresión

$$\phi = 0.65$$

$$\phi M_N \geq M_U$$

∴ el ϕ asumido es CORRECTO

Diseño de las vigas del Grupo de control (Acero)

Dimensiones de la viga:

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$d = 0.44 \text{ m}$$

$$L = 5.00 \text{ m}$$

Metrado de cargas:

$$\text{Peso de viga} \Rightarrow P_V = 0.30 \times 0.50 \times 2400 \Rightarrow P_V = 360 \text{ kg/m}$$

$$\text{Peso de losa} \Rightarrow P_L = 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow P_V = 1200 \text{ kg/m}$$

$$\text{Acabados} \Rightarrow A_c = 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow P_V = 400 \text{ kg/m}$$

$$P_V + P_L + A_c \Rightarrow CM = 1960 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sobrecarga} \Rightarrow S/C = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4\text{m} \Rightarrow S/C = 1000 \text{ kg/m}$$

$$\Rightarrow CV = 1960 \text{ kg/m}$$

Momento de servicio:

$$M_{servicio} = \frac{(CM + CV) L^2}{8} = \frac{(1960 + 1000)5^2}{8}$$

$$M_{servicio} = 9250 \text{ kg/m}$$

Debido a que se desea una falla dúctil, es decir, que la falla sea controlada por tracción del acero, se utilizó:

$$\phi = 0.90 \quad (\text{ACI 318-14})$$

Carga última (W_U):

$$W_U = 1.2(CM) + 1.6(CV)$$

$$W_U = 3952 \text{ kg/m}$$

Momento último (M_U):

$$M_U = \frac{W_U \times L^2}{8}$$

$$M_U = 12350 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Momento nominal (M_N):

$$M_U = \phi M_N$$

$$M_N = 12350 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Cálculo del área de acero:

$$A_s = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'_c * b * d^2}} \right]$$

$$A_s = \frac{0.85 * 210 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 30\text{cm} * 44\text{cm}}{4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 1235000 \text{Kg} * \text{cm}}{0.9 * 0.85 * 210 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 30\text{cm} * (44\text{cm})^2}} \right]$$

$$A_s = 8\text{cm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} \qquad \rho = \frac{8cm^2}{30cm * 44cm} \qquad \rho = 0.00606$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * b} \qquad a = 6.27cm$$

$$\beta_1 = 0.85 \quad (f'_c \leq 28 MPa)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \qquad c = 7.38cm$$

$$\frac{c}{d} = \frac{7.38cm}{44cm} = 0.17$$

Según el ACI 318-14:

$$\frac{c}{d_t} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_t}$$

$\epsilon_t = 0.004$ es la deformación mínima del acero permitido por el ACI.

$$\frac{c}{d_t} = \frac{3}{7}$$

Valor más bajo permisible para la profundidad del eje neutro para secciones controladas por compresión.

Si: $\frac{c}{d_t} > \frac{3}{7}$ se obtendrá una sección controlada por compresión

$\epsilon_t = 0.005$ valor que asegura que el acero está en fluencia.

$$\frac{c}{d_t} = \frac{3}{8}$$

Valor más bajo permisible para la profundidad del eje neutro para secciones controladas por tensión.

Si: $\frac{c}{d_t} < \frac{3}{8}$ se obtendrá una sección controlada por tensión.

Se tiene una sección controlada por tensión, por lo tanto, el $\phi=0.9$ es correcto.

$$\rho_{min} = \text{Max} \left(\frac{14}{f_y}; \frac{0.8\sqrt{f_c}}{f_y} \right) \quad \rho_{min} = 0.0033$$

$$\rho_{max} = 0.364 * \frac{\beta_1 * f_c}{f_y} \quad \rho_{max} = 0.01547$$

$$A_{Smin} = 4.40 \text{ cm}^2 \quad A_S = 8 \text{ cm}^2 = 3\phi 3/4" \quad A_{Smax} = 20.42 \text{ cm}^2$$

No se realizó el diseño a corte puesto que se está analizando la respuesta a flexión, sin embargo, se colocaron estribos de 3/8" a cada 10cm para contrarrestar los esfuerzos por corte.

Detalle del armado de las vigas:

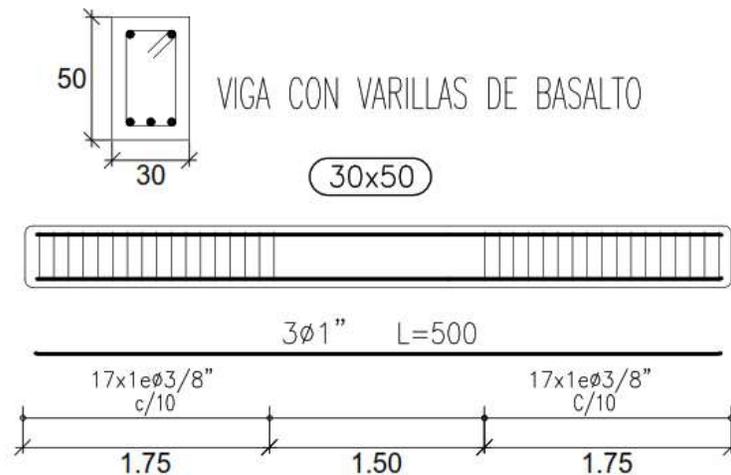


Figura 15. Detalle del armado de las vigas reforzadas con varillas de Basalto.

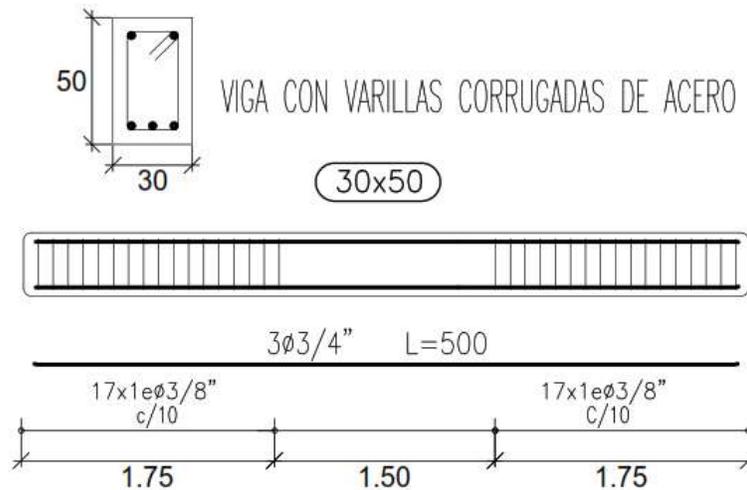


Figura 16. Detalle del armado de las vigas reforzadas con varillas corrugadas de Acero.

Etapa 2 - Acopio de materiales

CONCRETO

Para la elaboración del concreto se solicitó al Laboratorio MTL Geotecnia la caracterización y posterior elaboración del Diseño de mezcla ($f'c=210\text{kg/cm}^2$), todo este proceso consta de 5 pasos:

1. Análisis Granulométrico del Agregado Fino, Grueso y Global.

Este análisis consiste en separar las partículas dependiendo de su tamaño en agregados gruesos o finos mediante el tamizado.

Para la correcta realización de este análisis la Norma ASTM C136 indica que se deben utilizar los siguientes equipos:

- a. **Balanza:** se utiliza para pesar las muestras y debe esta calibrada para tener la precisión indicada en la norma mencionada en el párrafo precedente, dicha precisión debe ser de 0.1g o 0.1% de la carga de prueba en el caso del agregado fino y 0.5g o 0.5% de la carga de prueba para el agregado grueso.
- b. **Horno:** el horno debe tener un tamaño apropiado y debe ser capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C. En este caso se utilizó el horno de marca GEMMY INDUSTRIAL CORP, modelo YCO – 010, serie 510847.

- c. **Tamices:** la unión de la tela del tamiz con el marco de este debe estar montado de manera que se evite la pérdida de material durante el agitado. Para el caso del Agregado Fino se utilizaron los tamices de 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y FONDO mientras que para el Agregado Grueso se utilizaron los tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16 y FONDO.

Luego de realizado el procedimiento indicado en la Norma ASTM C136 se obtuvo la data mostrada en las tablas 8, 9, 10 y 11 y con dicha data se elaboraron las gráficas 1 y 2.

Tabla 8. Datos de entrada para el Análisis Granulométrico del Agregado Fino

MATERIAL	AGREGADO FINO	CANTERA:	TRAPICHE
PESO INICIAL HUMEDO (g)	631.5	% W =	2.1
PESO INICIAL SECO (g)	618.4	MF =	3.12

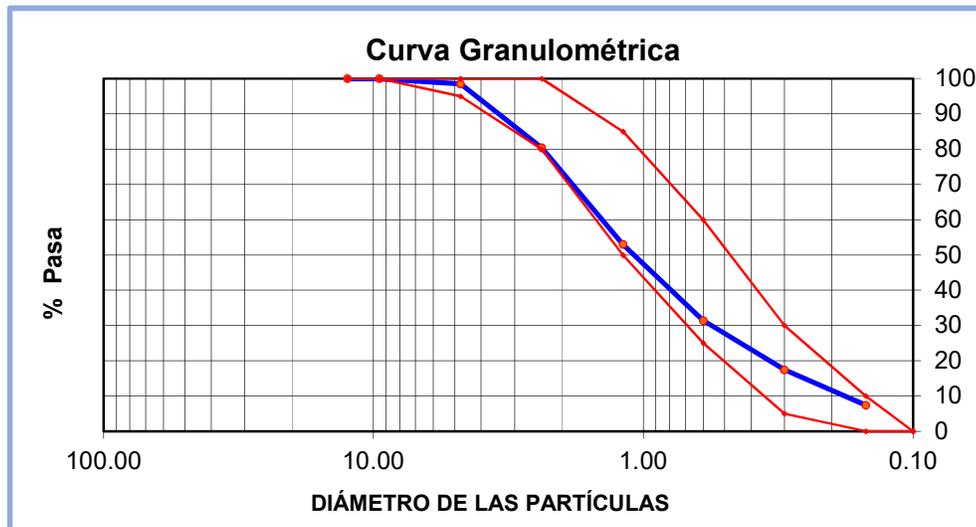
Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 9. Resultados del Análisis Granulométrico del agregado fino

MALLAS	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES
	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C 33
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100
N° 4	4.76	9.5	1.5	1.5	98.5	95 - 100
N° 8	2.38	111.8	18.1	19.6	80.4	80 - 100
N° 16	1.19	169.2	27.4	47.0	53.0	50 - 85
N° 30	0.60	133.5	21.6	68.6	31.4	25 - 60
N° 50	0.30	86.5	14.0	82.6	17.4	05 - 30
N° 100	0.15	62.1	10.0	92.6	7.4	0 - 10
FONDO		45.8	7.4	100.0	0.0	0 - 0

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Gráfica 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino.



Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 10. Datos de entrada para el Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

MATERIAL	AGREGADO GRUESO	CANERA:	TRAPICHE
PESO INICIAL HUMEDO (g)	1,258.20	% W =	0.2
PESO INICIAL SECO (g)	1,255.40	MF =	7.29

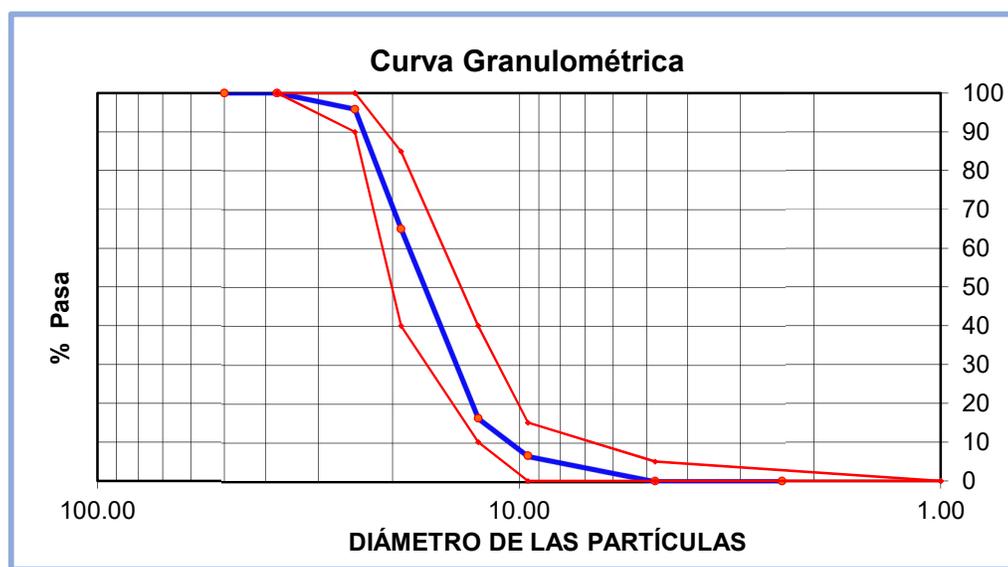
Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 11. Resultados del Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

MALLAS	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES
	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa	HUSO # 56
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100
1"	24.50	52.8	4.2	4.2	95.8	90 - 100
3/4"	19.05	386.2	30.8	35.0	65.0	40 - 85
1/2"	12.50	612.1	48.8	83.8	16.2	10 - 40
3/8"	9.53	122.4	9.7	93.5	6.5	0 - 15
Nº 4	4.76	81.9	6.5	100.0	0.0	0 - 5
Nº 8	2.38	0.0	0.0	100.0	0.0	
Nº 16	1.18	0.0	0.0	100.0	0.0	
FONDO		0.0	0.0			

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Gráfica 2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso.



Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

2. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados.

Para este ensayo se realizaron 2 procedimientos para cada tipo de agregado (Fino y Grueso) estos fueron el procedimiento para peso suelto y compactado.

En dichos ensayos se obtuvieron los datos mostrados en las tablas 12, 13, 14 y 15.

Tabla 12. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario suelto del Agregado Fino

MATERIAL: AGREGADO FINO			CANTERA: TRAPICHE		
MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	6502	6494	6485
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4139	4131	4122
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.500	1.497	1.493
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO		g/cc	1.497		

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 13. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario compactado del Agregado Fino

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	7312	7305	7296
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4949	4942	4933
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.793	1.791	1.787
PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO		g/cc	1.790		

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 14. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario suelto del Agregado Grueso

MATERIAL: AGREGADO GRUESO			CANTERA:		TRAPICHE
MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	6159	6172	6163
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	3796	3809	3800
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.375	1.380	1.377
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO		g/cc	1.377		

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 15. Resultados del ensayo para determinar el Peso unitario compactado del Agregado Grueso

MATERIAL: AGREGADO GRUESO			CANTERA:		TRAPICHE
MUESTRA N°			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Molde	g	6728	6749	6744
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4365	4386	4381
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.582	1.589	1.587
PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO		g/cc	1.586		

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

3. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado fino.

Para este ensayo se utilizó la Norma ASTM C128; antes de iniciar el ensayo en si se preparó una cantidad de muestra, dicha muestra se colocó en un recipiente y se puso a secar en una estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ posteriormente se dejó enfriar para sumergirla en agua durante $24\text{h} \pm 4\text{h}$, luego se procedió a retirarla del agua y a secarla superficialmente, Se pesaron $500\text{g} \pm 10\text{g}$ de agregado saturado superficialmente y se introdujo en la fiola llenada parcialmente con agua y luego se agregó agua hasta aproximadamente el 90% de la capacidad de la fiola. Luego se agitó manualmente la fiola con la finalidad de eliminar las burbujas y posteriormente se ajustó la temperatura a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se procedió a pesar el recipiente. Luego se retiró el agregado de la fiola y se llevó al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se dejó enfriar durante $1\text{h} \pm 1/2\text{h}$ y se procedió a pesarlo, luego se pesó la fiola llena con agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Luego de este procedimiento se obtuvieron los datos mostrados en la **tabla 16**.

Tabla 16. Resultados del ensayo para determinar el Peso específico y el Porcentaje de absorción del Agregado Fino

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	PROMEDIO
1	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón + Peso de Agua	g	983.1	982.5	982.8
2	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón	g	671.7	671.4	671.6
3	Peso del Agua (W = 1 - 2)	g	311.4	311.1	311.3
4	Peso de la Arena Seca al Horno + Peso del Balón	g/cc	666.4	665.7	666.05
5	Peso del Balón N° 2	g/cc	171.7	171.2	171.45
6	Peso de la Arena Seca al Horno (A = 4 - 5)	g/cc	494.7	494.5	494.60
7	Volumen del Balón (V = 500)	cc	497.6	497.8	497.7
RESULTADOS					
PESO ESPECIFICO DE LA MASA (P.E.M. = A/(V-W))		g/cc	2.66	2.65	2.65
PESO ESPEC. DE MASA S.S.S. (P.E.M. S.S.S. = 500/(V-W))		g/cc	2.69	2.68	2.68
PESO ESPECIFICO APARENTE (P.E.A. = A/[(V-W) - (500-A)])		g/cc	2.73	2.73	2.73
PORCENTAJE DE ABSORCION (%) [(500-A) / A*100]		%	1.1	1.1	1.1

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

4. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado grueso.

Este ensayo se realizó utilizando la Norma ASTM C127, primeramente, se debe secar la muestra a temperatura constante ($110 \pm 5C^{\circ}$) para luego enfriarla a $50C^{\circ}$, acto seguido se sumergió la muestra durante $24 \pm 4h$, posteriormente se retira del agua la muestra para ser secada con una tela absorbente y ser pesada en su estado saturado superficialmente seco para determinar su masa al aire, inmediatamente colocar la muestra en la canastilla y sumergirla hasta cubrir la canastilla en agua a $23 \pm 2C^{\circ}$, sacudir el recipiente mientras se sumerge para eliminar todo el aire atrapado; la diferencia entre a masa al aire y la masa sumergida es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

Retirar la muestra del agua y secarla a temperatura constante de $110 \pm 5C^{\circ}$ luego dejar enfriar hasta aprox. $50C^{\circ}$ y determinar la masa.

Después de realizar el procedimiento descrito en el primer párrafo se obtuvieron los datos que se indican en la **tabla 17**.

Tabla 17. Resultados del ensayo para determinar el Peso específico y el Porcentaje de absorción del Agregado Grueso

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	PROMEDIO	
1	Peso de la Muestra Sumergida Canastilla	A	g	641.0	666.0	653.5
2	Peso muestra Sat. Sup. Seca	B	g	1025.0	1062.0	1043.5
3	Peso muestra Seco	C	g	1015.0	1051.0	1033.0
4	Peso específico Sat. Sup. Seca = B/B-A		g/cc	2.67	2.68	2.68
5	Peso específico de masa = C/B-A		g/cc	2.64	2.65	2.65
6	Peso específico aparente = C/C-A		g/cc	2.71	2.73	2.72
7	Absorción de agua = ((B - C) / C) *100		%	1.0	1.0	1.0

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

5. Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla se realizó siguiendo los lineamientos indicados por el ACI, en primera instancia se debe seleccionar el slump que se desea para la buena trabajabilidad del concreto y determinar la resistencia requerida para el diseño, acto seguido se escoge el tamaño máximo del agregado a usar, posterior a ello el ACI proporciona una tabla con la relación agua-cemento de acuerdo a la resistencia requerida, para el paso siguiente el ACI maneja una tabla donde se indica el volumen del agregado grueso por cada metro cúbico de concreto, una vez hecho esto el agregado fino se determina con la diferencia, en el siguiente paso se debe realizar la corrección por humedad de los agregados y por último se realiza los ajustes para determinar las cantidades de material para las mezclas de prueba.

Después de haber realizado el diseño de mezcla se obtuvieron los datos mostrados en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Cantidad de materiales para elaborar 1m³ de mezcla

CANTIDAD DE MATERIALES POR m ³		
CEMENTO	383	Kg/m ³
AGUA	226	Lts/m ³
AGREGADO FINO	825	Kg/m ³
AGREGADO GRUESO	877	Kg/m ³
PESO DE MEZCLA	2310	Kg/m³

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 19. Cantidad de materiales para la elaboración de probetas para control de calidad de la mezcla

CANTIDAD DE MATERIALES PARA PROBETAS		
CEMENTO	20.66	Kg
AGUA	12.20	Lts
AGREGADO FINO	44.53	Kg
AGREGADO GRUESO	47.35	Kg

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

- **Madera**

Se buscó algún proveedor de madera para encofrados, las tablas fueron llevadas a las instalaciones del laboratorio y se procedió al armado del encofrado.

- **Herramientas Manuales**

Se utilizaron herramientas tales como martillos y clavos para el armado del encofrado de las vigas.

Etapa 3 – Encofrado

El encofrado se realizó siguiendo las indicaciones que brinda la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). Se utilizaron tablas de 3m de longitud por 30cm de ancho y 1” de espesor, se unieron las tablas utilizando para ello clavos y martillo (ver figura 17).



Figura 17. Encofrado para las vigas.

Etapa 4 - Armado y colocación del refuerzo

Como se mencionó con anterioridad el armado y colocación del refuerzo se realizó en las instalaciones del laboratorio destinado a realizar los ensayos (ver figura 18).



Figura 18. Armado de las vigas.

Etapa 5 - Vaciado de concreto

Para proceder con el vaciado del concreto se realizó la mezcla utilizando para ello un trompo mezclador, a medida que se iba vertiendo el concreto se iba chuzeando la mezcla para evitar tener espacios vacíos, la figura 19 muestra el proceso de elaboración del concreto.



Figura 19. Elaboración de la mezcla para el vaciado de las vigas

Etapa 6 - Control de calidad del diseño de mezcla

Para realizar el control de calidad de las vigas se vaciaron 9 probetas de las cuales 3 fueron ensayadas a la edad de 7 días, 3 a los 14 días y las 3 restantes a los 28 días, en las tablas 20, 21 y 22 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de compresión de testigos.

Tabla 20. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 7 días

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FUERZA MÁXIMA kgf	ESFUERZO kg/cm ²	F'c Diseño kg/cm ²	% F'c
DISEÑO 210 Kg/cm ²	18548	236.2	210	112.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	18367	233.9	210	111.4
DISEÑO 210 Kg/cm ²	18791	239.3	210	113.9

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 21. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 14 días

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FUERZA MÁXIMA kgf	ESFUERZO kg/cm ²	F'c Diseño kg/cm ²	% F'c
DISEÑO 210 Kg/cm ²	21521	274.0	210	130.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	21694	276.2	210	131.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	20994	267.3	210	127.3

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Tabla 22. Resultados del ensayo a compresión de testigos a la edad de 28 días

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FUERZA MÁXIMA kgf	ESFUERZO kg/cm ²	F'c Diseño kg/cm ²	% F'c
DISEÑO 210 Kg/cm ²	24614	313.4	210	149.2
DISEÑO 210 Kg/cm ²	24584	313.0	210	149.1
DISEÑO 210 Kg/cm ²	24305	309.5	210	147.4

Fuente: Laboratorio MTL Geotecnia.

Como se puede observar el ensayo para verificar el control de calidad cumplió su objetivo y se demostró que el concreto cumplió con las características necesarias para realizar la presente investigación, se observó que el concreto tuvo un aumento en su resistencia de 12.6, 29.77 y 48.57% a los 7, 14 y 28 días respectivamente, teniendo como base una resistencia de 210kg/cm² la cual fue la resistencia de diseño.

Etapa 7 - Desencofrado

Se procedió a desencofrar las vigas a los 4 días y no se utilizó ningún aditivo para facilitar el desencofrado.

Etapa 8 - Curado

El curado de las vigas se realizó en las instalaciones del laboratorio, para ello se envolvieron los especímenes con mantas de yute mojado y plástico para evitar que se filtre la humedad.

Las etapas 9 y 10 ya han sido explicadas con anterioridad en el apartado 2.5. Procedimiento y constan de realizar la implementación de los equipos para realizar los ensayos, verificar que los equipos estén en correcto funcionamiento y calibrados.

3.2. Resultados

Flexión por tracción

Tabla 23. Resultados para el indicador Flexión por tracción de las vigas reforzadas con varillas de acero

Especímen	Refuerzo	Diámetro de Varilla	Carga (Kn)	fr (Mpa)
V30*50 - VA - 1	Acero	3/4"	218.76	3.26
V30*50 - VA - 2	Acero	3/4"	219.09	3.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resultados para el indicador Flexión por tracción de las vigas reforzadas con varillas de basalto

Especímen	Refuerzo	Diámetro de Varilla	Carga (Kn)	fr (Mpa)
V30*50 - VB - 1	Basalto	1"	360.78	3.35
V30*50 - VB - 2	Basalto	1"	335.97	3.23

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas N° 23 y 24 encontramos las cargas máximas que soportaron las vigas al ser sometidas al ensayo de flexión, al observar las cargas tanto de las vigas reforzadas con varillas de acero como las de las vigas reforzadas con varillas de basalto se deja en evidencia

un aumento del 59.25% en el caso de las vigas reforzadas con varillas de basalto respecto de las vigas reforzadas con varillas de acero; por otro lado, los módulos de rotura (ϕ_r) fueron similares observándose un muy ligero aumento del 0.3% por parte de las vigas reforzadas con varillas de basalto.

Ductilidad

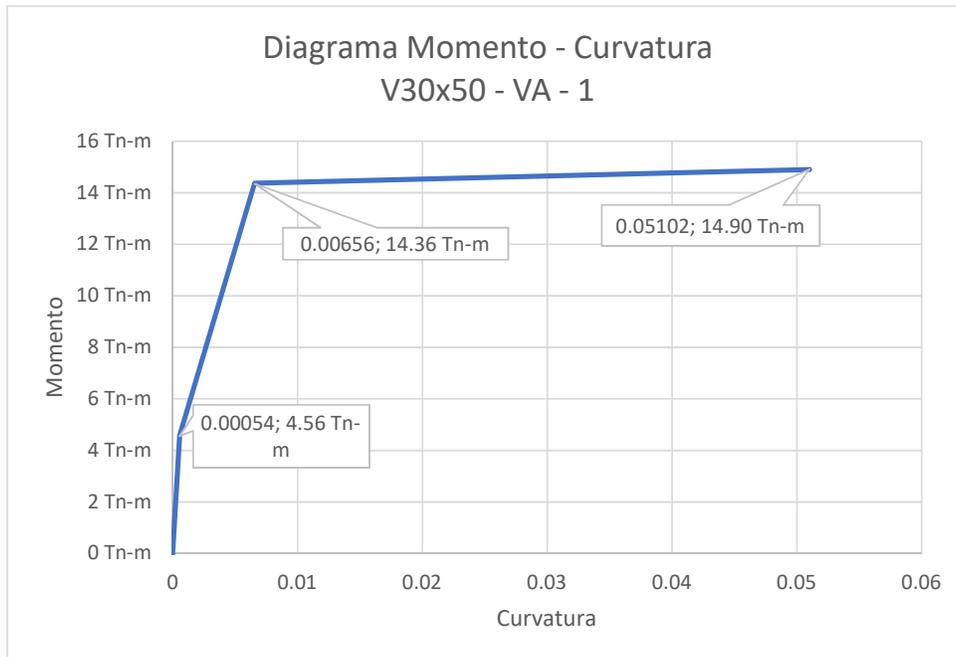
Para determinar la ductilidad de las vigas ensayadas en la presente investigación se elaboraron los diagramas Momento – Curvatura de cada espécimen, los datos para la elaboración de los diagramas y sus gráficas se muestran en las tablas 25, 26, 27 y 28 y gráficas 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

Tabla 25. Puntos para elaborar el diagrama $M - \phi$ de la viga V30*50 - VA - 1

PUNTOS PARA EL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA VIGA V30*50 - VA - 1			
M_{cr}	4.56 Tn-m	ϕ_{cr}	0.00054
M_y	14.36 Tn-m	ϕ_y	0.00656
M_u	14.90 Tn-m	ϕ_u	0.05102

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Diagrama $M - \phi$ de la viga V30*50 - VA – 1.



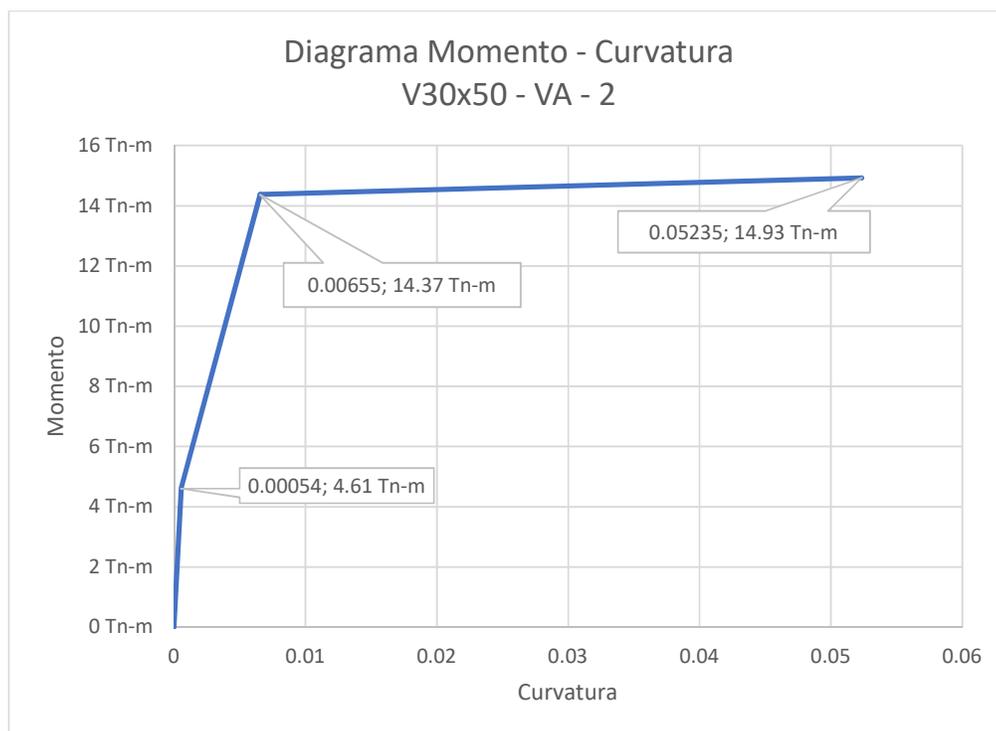
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Puntos para elaborar el diagrama $M - \phi$ de la viga V30*50 - VA - 2

PUNTOS PARA EL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA VIGA V30*50 - VA - 2			
Mcr	4.61 Tn-m	ϕ_{cr}	0.00054
My	14.37 Tn-m	ϕ_y	0.00655
Mu	14.93 Tn-m	ϕ_u	0.05235

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Diagrama $M - \phi$ de la viga V30*50 - VA - 2.



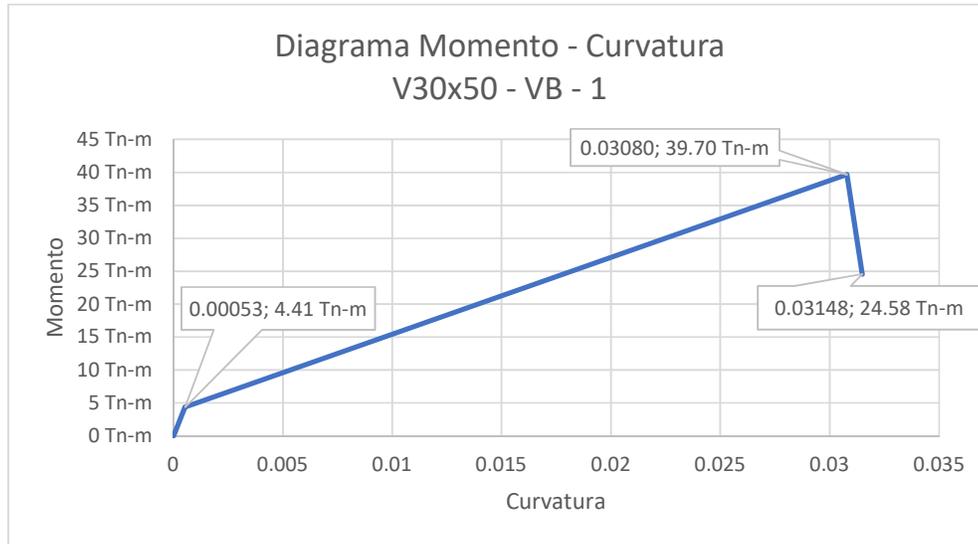
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Puntos para elaborar el diagrama $M - \phi$ de la viga V30*50 - VB - 1

PUNTOS PARA EL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA VIGA V30*50 - VB - 1			
Mcr	4.41 Tn-m	ϕ_{cr}	0.00053
My	39.70 Tn-m	ϕ_y	0.03080
Mu	24.58 Tn-m	ϕ_u	0.03148

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 1.



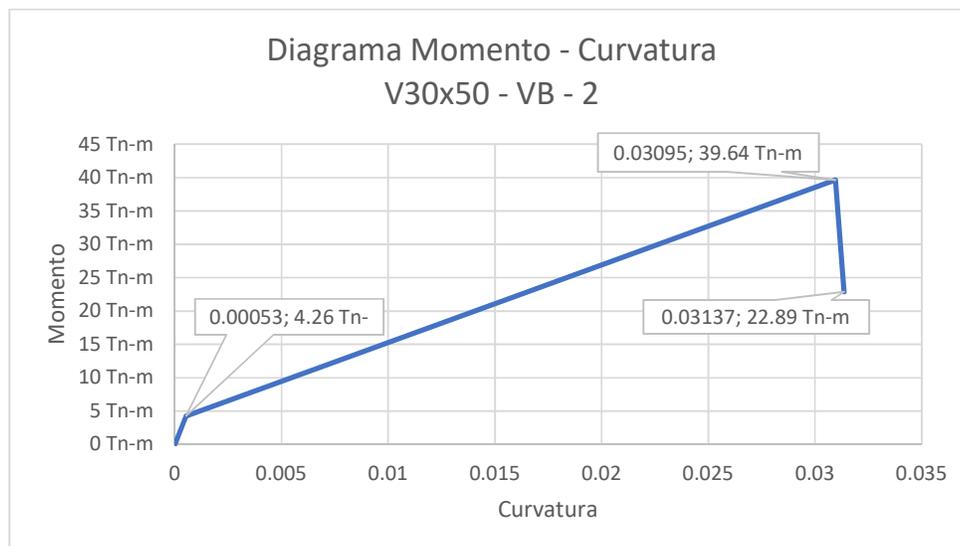
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Puntos para elaborar el diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 2

PUNTOS PARA EL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA VIGA V30*50 - VB - 2			
Mcr	4.26 Tn-m	ϕ_{cr}	0.00053
My	39.64 Tn-m	ϕ_y	0.03095
Mu	22.89 Tn-m	ϕ_u	0.03137

Fuente: Elaboración propia.

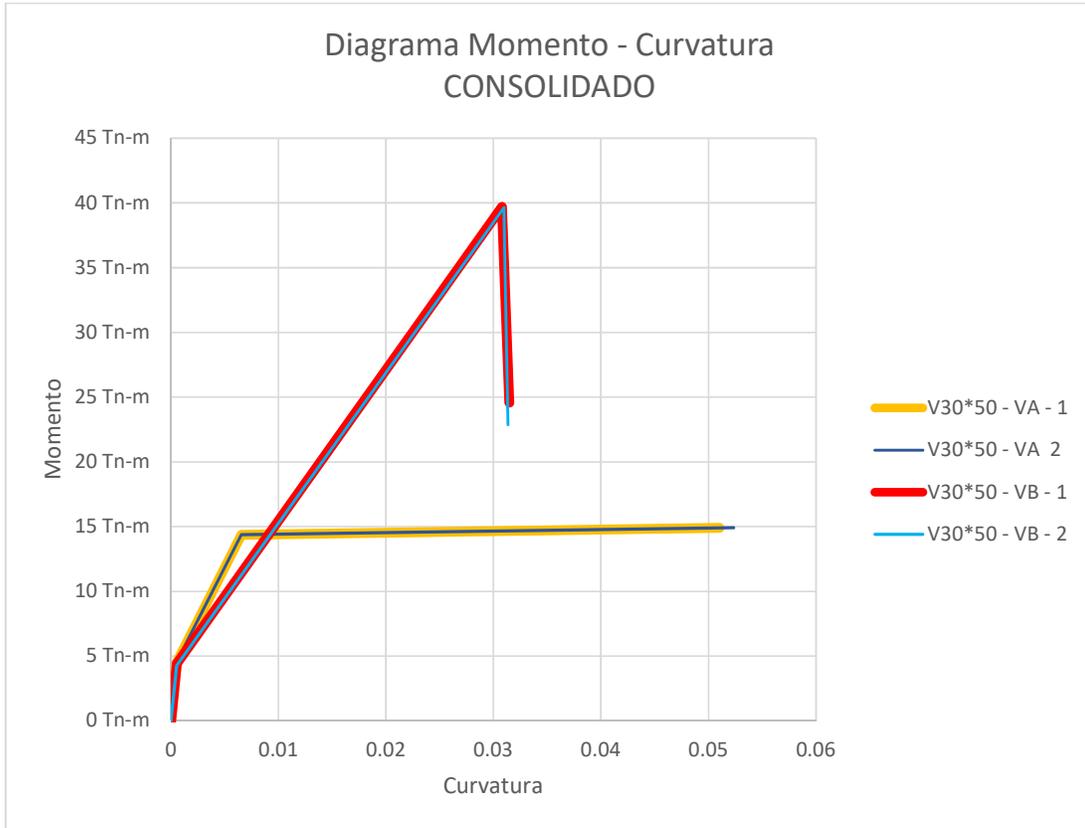
Gráfica 6. Diagrama M - ϕ de la viga V30*50 - VB - 2.



Fuente: Elaboración propia.

Al obtener los diagramas Momento – Curvatura de cada espécimen se procedió a superponerlos para poder apreciar mejor las variaciones de cada uno; se obtuvo la siguiente gráfica (ver gráfica 7):

Gráfica 7. Consolidado de los diagramas M - ϕ de todos los especímenes.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se calculó la ductilidad de cada espécimen, obteniéndose los resultados indicados en la **tabla 29**.

Tabla 29. Resultados de la ductilidad (u) de cada espécimen ensayado

ESPECIMEN	M_y (kg-m)	ϕ_y (rad/m)	M_u (kg-m)	ϕ_u (rad/m)	$u=\phi_u/\phi_y$
V30*50 - VA - 1	14362.56 kg-m	0.00656	14902.99 kg-m	0.05102	7.77
V30*50 - VA - 2	14373.10 kg-m	0.00655	14925.76 kg-m	0.05235	8.00
V30*50 - VB - 1	39697.00 kg-m	0.03080	24577.91 kg-m	0.03148	1.02
V30*50 - VB - 2	39640.19 kg-m	0.03095	22888.03 kg-m	0.03137	1.01

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo estos resultados se puede afirmar que las vigas reforzadas con varillas de basalto poseen una ductilidad prácticamente nula en comparación con la ductilidad de las vigas reforzadas con varillas de acero, la cual es superior en un 674.56%, sin embargo los momentos resistidos por las vigas reforzadas con varillas de basalto fueron mayores que los momentos resistidos por las vigas reforzadas con varillas de acero en un 176.09% en el caso del momento de fluencia (M_y) y 59.13% en el caso del momento último (M_u).

Deflexión máxima

Tabla 30. Resultados para el indicador deflexión máxima de las vigas reforzadas con varillas de acero

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de Varilla	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 - VA - 1	Acero	3/4"	218.76	116
V30*50 - VA - 2	Acero	3/4"	219.09	125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Resultados para el indicador deflexión máxima de las vigas reforzadas con varillas de basalto

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de Varilla	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 - VB - 1	Basalto	1"	360.78	87
V30*50 - VB - 2	Basalto	1"	335.97	75

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la aplicación de cargas a las vigas estas presentaron deflexiones, siendo 120.5mm el promedio de las deflexiones máximas de las vigas reforzadas con varillas de acero (ver tabla 30) y 81mm el promedio de las deflexiones máximas de las vigas reforzadas con varillas de basalto (ver tabla 31); en otras palabras, en promedio las deflexiones máximas de las vigas reforzadas con varillas de acero fueron mayores que las deflexiones máximas de las vigas reforzadas con varillas de basalto en un 48.77%.

IV. DISCUSIÓN

Lapko y Urbanski. (2015), en el artículo titulado *Experimental and theoretical analysis of deflections of concrete beams reinforced with basalt rebar* para la revista científica Archives of Civil and Mechanical Engineering, después de realizar los ensayos a flexión obtuvieron como resultados que las vigas reforzadas con varillas de basalto en promedio resistieron una carga última de 46.67kn mientras que las vigas reforzadas con varillas de acero resistieron un promedio de 37.67kn, esto evidencia un aumento de 23.89% por parte de las vigas reforzadas con varillas de basalto. Por otro lado, en la presente investigación después de realizar los ensayos a flexión se obtuvieron como resultados que las vigas reforzadas con varillas de basalto en promedio resistieron una carga última de 348.38kn mientras que las vigas reforzadas con varillas de acero resistieron un promedio de 218.76kn, lo cual evidencia un aumento del 59.25% para las vigas reforzadas con varillas de basalto, esta mayor resistencia a carga es reflejo de las diferentes áreas de refuerzo utilizadas en las vigas, 8.55cm² y 15.21cm² para el acero y basalto respectivamente.

Abed y Alhafiz. (2019), en el artículo titulado *Effect of basalt fibers on the flexural behaviour of concrete beams reinforced with BFRP bars* para la revista científica Composite Structures obtuvieron como resultado que las vigas reforzadas con varillas de basalto presentaron una ductilidad promedio de 1.3 mientras que la única viga reforzada con varillas de acero mostro una ductilidad de 3.5, esto supone un incremento del 169.23% de la viga reforzada con varillas de acero frente a su contraparte reforzadas con varillas de basalto; en el caso de la presente investigación las vigas reforzadas con varillas de basalto presentaron una ductilidad promedio de 1.02 mientras que las vigas reforzadas con varillas de acero presentaron una ductilidad promedio de 7.88, es decir la ductilidad de las vigas reforzadas con varillas de acero fue un 674.56% mayor, este aumento significativo en la ductilidad se debe a que el módulo de elasticidad del acero (200000MPa) es mucho mayor que el del polímero (58000MPa).

Elgabbas, Ahmed y Benmokrane. (2017), en el artículo titulado *Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Ribbed Basalt-FRP Bars under Static Loads* para la revista científica Composites for Construction obtuvieron como resultado que las vigas reforzadas con varillas de acero tuvieron una deflexión máxima promedio de 60.2mm y las vigas reforzadas con varillas de basalto tuvieron una deflexión máxima promedio de 59.87mm, lo cual a simple viste vista indica que las deflexiones fueron similares con un ligero aumento del 0.55% por parte de las vigas reforzadas con varillas de acero; sin embargo hay que aclarar

que la muestra de las vigas reforzadas con varillas de acero solo fueron dos vigas mientras que la muestra de las vigas reforzadas con varillas de basalto estuvo compuesta por seis vigas y todas ellas con diferente área de refuerzo, por tal motivo las deflexiones fueron muy variables reduciendo así el promedio de deflexiones; por otro lado en la presente investigación se obtuvieron como resultados que las vigas reforzadas con varillas de acero presentaron una deflexión máxima promedio de 120.5mm mientras que las vigas reforzadas con varillas de basalto presentaron una deflexión máxima promedio de 81mm, lo cual indica un aumento por parte de las vigas reforzadas con varillas de acero del 48.77%; esta diferencia se debe principalmente a la cantidad de área de refuerzo utilizadas en ambos grupos puesto que el área de refuerzo para las vigas con varillas de basalto fue de 15.21cm^2 mientras que el área de refuerzo de las vigas con varillas de acero fue de 8.55cm^2 .

V. CONCLUSIONES

1. Al finalizar la presente investigación se determinó que aplicar varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal influyó positivamente en cuanto a resistencia al esfuerzo de flexión por tracción en un porcentaje de 59.25% como se observa en las tablas N° 23 y 24, sin embargo su influencia en cuanto a ductilidad y deflexión máxima fue negativa; en cuanto a ductilidad, la aplicación de varillas de basalto no aportó beneficio en comparación con las varillas de acero las cuales fueron superiores en un 674.56% (tabla N° 29); por otro lado, las deflexiones máximas tuvieron una diferencia del 48.77% (ver tablas N° 30 y 31), siendo los mayores valores obtenidos por las vigas reforzadas con varillas de acero.
2. Se determinó que utilizar varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal tuvo una influencia positiva, es decir aumentó en un 59.25% (ver tablas N° 23 y 24) el esfuerzo a flexión por tracción, esto se debe a que la resistencia a la tracción de las varillas de basalto (624.8Mpa) es mayor que la resistencia a la tracción de las varillas de acero (420Mpa) en un 48.76%.
3. Después de calcular y observar las gráficas Momento – Curvatura, se determinó que aplicar varillas de basalto como sustituto para las varillas de acero, como refuerzo longitudinal tuvo influencia negativa en la ductilidad de las vigas, en otras palabras, estas no presentaron ductilidad a pesar de resistir momentos mucho mayores en comparación con los momentos resistidos por las vigas reforzadas con varillas de acero, la ductilidad de las vigas reforzadas con varillas de acero fue en promedio 674.56% (ver tabla N° 29) mayor que la ductilidad de las vigas reforzadas con varillas de basalto; esta gran diferencia se debe al bajo módulo de elasticidad de las varillas de basalto (58000Mpa) en comparación con el módulo de elasticidad de las varillas de acero (200000Mpa).
4. Se determinó que reemplazar el refuerzo longitudinal de acero por varillas de basalto redujo las deflexiones de las vigas en un 48.77% (ver tablas N° 30 y 31), esto se debe principalmente a que las varillas de basalto a pesar de ser muy resistentes poseen muy poca ductilidad, adicional a ello se debe aclarar que las vigas reforzadas con varillas de basalto en esta investigación tuvieron un área 77.89% mayor de refuerzo que las vigas reforzadas con varillas de acero, esto como resultado de realizar ambos diseños, por lo tanto se puede afirmar que al aumentar el área de refuerzo de las vigas disminuirán las deflexiones.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar varillas de basalto como refuerzo longitudinal puesto que este material posee una mayor resistencia a la tracción en comparación con el acero y gracias a esto los elementos reforzados con este material tienen la capacidad de soportar mayores cargas sin la necesidad de aumentar sus dimensiones; adicional a ello, este material es no corrosivo lo cual se traduce en una durabilidad mucho mayor en comparación con el acero.
2. Se recomienda utilizar reforzamiento con varillas de basalto en edificaciones que estén expuestas a climas con mucha humedad o cercanas al mar puesto que el ambiente en dicha zona es alto en cloruros, los cuales generan corrosión en el reforzamiento estructural.
3. Se recomienda evaluar la respuesta estructural de vigas empleando ganchos sísmicos, tal como indica la norma E.060 ya que en este estudio no se utilizaron porque se estudió únicamente el comportamiento a flexión.
4. Se recomienda; a manera de continuar con esta investigación, evaluar la respuesta estructural de vigas utilizando refuerzo longitudinal y transversal de basalto puesto que lo ideal es no aplicar refuerzo que pueda sufrir corrosión.

REFERENCIAS

- A review on basalt fibre and its composites por Vincenzo Fiore [et al]. *Composites Part B: Engineering* [en línea]. Junio 2015, vol 74. [Fecha de consulta: 3 de junio 2019. pp. 74-94].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836815000062?via%3Dihub#!>
ISSN: 1359-8368

- ABED, Farid y ALHAFIZ, Rahman. Effect of basalt fibers on the flexural behaviour of concrete beams reinforced with BFRP bars. *Composite Structures* [en línea]. Mayo 2019, vol 215. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2019. pp. 23-34].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822318334883?via%3Dihub>
ISSN: 0263-8223

- ABREU, José. Hipótesis, Método & Diseño de Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience* [en línea]. Julio 2012, vol 7, n° 2. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2019. pp. 187-197].
Disponible en:
<http://www.daena-journal.org>
ISSN: 1870-557X

- AMERICAN Standards for Testing Materials (USA). C192/C192M-02 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Pennsylvania, 2002. 8pp.

- AMERICAN Standards for Testing Materials (USA). C78/C78M-16: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). Pennsylvania, 2016. 5pp.

- ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica. 6ª ed. Caracas: Editorial Episteme, 2012. 143 pp.
ISBN: 980-07-8529-9

- BABBIE, Earl. The basics of social research. 5ª ed. United States of America: Wadsworth Cengage Learning, 2011. 552 pp.
ISBN: 13-978-0-495-81224-1

- BANIBAYAT, Pouya y PATNAIK, Anil. Creep Rupture Performance of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bar. *Journal of Aerospace Engineering* [en línea]. Mayo 2015, vol 28, n.º 3. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019].
Disponible en:
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29AS.1943-5525.0000391>
ISSN: 0893-1321

- BANJARA, Nawal y RAMANJANEYULU, K. Investigations on behavior of flexural deficient and CFRP strengthened reinforced concrete beams under static and fatigue loading. *Construction and Building Materials* [en línea]. Marzo 2019, vol 201. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2019. pp. 746-762].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819300108?via%3Dihub>
ISSN: 0950-0618

- BASALT: structural insight as a construction material por Smriti Raj [et al]. *Sādhanā* [en línea]. Enero 2017, vol 42. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2019. pp. 75-84].
Disponible en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12046-016-0573-9>
ISSN: 0973-7677

- BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, 2016. 38 pp.

- BROZDA, Kinga, SELEJDAK, Jacek y KOTES, Peter. The analysis of beam reinforced with FRP bars in bending. *Procedia Engineering* [en línea]. 2017, vol 192. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 64-68].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817325572>
 ISSN 1877-7058

- CEGARRA, José. Metodología de la investigación científica y tecnológica. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2004. 355 pp.

ISBN: 84-7978-624-8

- CERVERA, Miguel y BLANCO, Elena. Mecánica de estructuras Libro 1 Resistencia de materiales. Catalunya: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2003. 318 pp.

- DUIC, Jason, KENNO, Sara y DAS, Sreekantha. Performance of concrete beams reinforced with basalt fibre composite rebar. *Construction and Building Materials* [en línea]. 10 de Julio de 2018, vol 176. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 470-481].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818310250?via%3Dihub>
 ISSN: 0950-0618

- ELGABBAS, Fareed, AHMED, Ehab y BENMOKRANE, Brahim. Flexural behaviour and bond-dependent coefficient of basalt frp bars in concrete beams. *Resilient Infrastructure* [en línea]. Junio 2016. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2019].

Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/303838222_FLEXURAL_BEHAVIOUR_AND_BOND-DEPENDENT_COEFFICIENT_OF_BASALT_FRP_BARS_IN_CONCRETE_BEAM
 S/stats

- ELGABBAS, Fareed, AHMED, Ehab y BENMOKRANE, Brahim. Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Ribbed Basalt-FRP Bars under Static Loads. *Journal of Composites for Construction* [en línea]. Junio 2017, vol 21, n.º 3. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2019].

Disponible en:
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CC.1943-5614.0000752>
 ISSN: 1090-0268

- EXPERIMENTAL testing of basalt-fiber-reinforced polymer bars in concrete beams por Fareed Elgabbas [et al]. *Composites Part B: Engineering* [en línea]. Abril 2016, vol 91. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 205-218].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135983681600086X>
 ISSN: 1359-8368

- FAN, Xiaochun y ZHANG, Mingzhong. Experimental study on flexural behaviour of inorganic polymer concrete beams reinforced with basalt rebar. *Composites Part B: Engineering* [en línea]. Mayo 2016, vol 93. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2019. pp. 174-183].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816300452?via%3Dihub>
 ISSN: 1359-8368

- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la Investigación. 6ª ed. México: McGraw Hill/Interamericana editores, 2014. 600 pp.

ISBN: 978-1-4562-2396-0

- HINOSTROZA, Johan. Estudio del comportamiento estructural de vigas de concreto reforzadas con varillas de basalto. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado. 2018. 157 pp.

- KARASIN, Abdulhalim, GÜNASLAN, Sultan y ÖNCÜ, M. Models for confined concrete columns with fiber composites. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)* [en línea]. Junio 2015, vol 5, n° 12. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2019. pp. 55-63].

Disponible en:

http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJARET_05_12_007/IJARET_05_12_007.pdf

ISSN: 0976-6480

- KELLSTEDT, Paul y WHITTEN, Guy. *The Fundamentals of Political Science Research*. 2ª ed. USA: Cambridge University Press, 2013. 316 pp.

ISBN: 978-1-107-62166-4

- KOTHARI, C. *Research Methodology: methods & techniques*. 2ª ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2004. 401 pp.

ISBN: 978-81-224-2488-1

- KUMAR, Ranjit. *Research Methodology: a step-by-step guide for beginners*. 3ª ed. London: SAGE, 2011. 366 pp.

ISBN: 978-1-84920-301-2

- LAPKO, Andrzej y URBANSKI, Marek. Experimental and theoretical analysis of deflections of concrete beams reinforced with basalt rebar. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* [en línea]. Enero 2015, vol 15, n.º 1. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 223-230].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1644966514000557?via%3Dihub#!>

ISSN: 1644-9665

- MACKEY, Alison y GASS, Susan. *Second Language Research: methodology and design*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2005. 405 pp.

ISBN: 0-8058-4249-7

- MANDER, J, PRIESTLEY, M y PARK, R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering* [en línea]. Septiembre 1988, vol 144. [Fecha de consulta: 4 de junio de 2019. pp. 1804-1826].
 Disponible en:
<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9445%281988%29114%3A8%281804%29>
 ISSN: 0733-9445
- MARCZYK, Geoffrey, DeMATTEO, David y FESTINGER, David. *Essentials of Research Design and Methodology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005, 290 pp.
 ISBN: 0-471-47053-8
- MATTER, Jürg y KELEMEN, Peter. Permanent storage of carbon dioxide in geological reservoirs by mineral carbonation. *Nature geoscience* [en línea]. Diciembre 2009, vol 2. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2019. pp. 837-841].
 Disponible en:
<https://www.nature.com/articles/ngeo683>
- McCORMACK, Jack y CSERNAK, Stephen. *Diseño de estructuras de acero*. 5ª ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2013. pp. 736.
 ISBN: 978-607-707-559-2
- METODOLOGÍA de la investigación científica por Arturo Hernández [et al.]. Alicante: ³Ciencias Editorial Área de Innovación y Desarrollo, 2018. 167 pp.
 ISBN: 978-84-948257-0-5
- MORALES, Roberto. *Diseño en concreto armado*. 3ª ed. Lima: Fondo editorial ICG, 2006. 331 pp.

- NUMERICAL investigations on the flexural behavior of GFRP-RC beams under monotonic loads por Zein Saleh [et al]. *Structures* [en línea]. Abril 2019, vol 20. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2019]. pp. 255-267].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012419300670?via%3Dihub>
 ISSN: 2352-0124
- OSPINA, Alejandro, URREGO, H y BOTERO, Juan. Aplicación de un método basado en el desempeño para el análisis y diseño sismo resistente de puentes de concreto reforzado. *Ingeniería y Ciencia* [en línea]. Marzo 2013, vol 9, n° 17. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2019]. pp. 209-236].

Disponible en:
<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/1818>
 ISSN: 1794-9165
- OTAZZI, Gianfranco. Apuntes del curso de concreto armado I. 15ª ed. Lima: Oficina de Publicaciones para la Docencia de la PUCP, 2017. 508 pp.
- OVITIGALA, Thilan, IBRAHIM, Mustapha y ISSA, Mohsen. Serviability and Ultimate Load Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars. *Structural Journal* [en línea]. Julio 2016, vol 113. [Fecha de consulta: 9 de mayo de 2019]. pp. 757-768].

Disponible en:
<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51688752>
 ISSN: 5168-8752
- OVITIGALA, Thilan. Structural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) Bars. Tesis (Doctor en Ingeniería Civil). Chicago: University of Illinois, 2012. 324 pp.

- PARK, R y PAULAY, T. Estructuras de concreto reforzado. México: Editorial Limusa, 1988. 796 pp.
ISBN: 968-18-0100-8

- PAWLOWSKI, Dawid y SZUMIGALA, Maciej. Flexural Behaviour of Full-scale Basalt FRP RC Beams - Experimental and Numerical Studies. *Procedia Engineering* [en línea]. 2015, vol 108. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 518-525].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815010681>
ISSN: 1877-7058

- RAMOS, Jesús. Costos y presupuestos en edificación. 8ª ed. Lima: Fondo editorial CAPECO, 2003. 376 pp.

- RUÍZ, Carlos. Instrumentos y Técnicas de Investigación Educativa: Un Enfoque Cuantitativo y Cualitativo para la Recolección y Análisis de Datos. 3ª ed. USA: DANAGA Training and Consulting, 2013. 433 pp.

- SERVICIO Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO (Perú). NORMA E.060 CONCRETO ARMADO. Lima, 2009. 205 pp.

- URBANSKI, Marek, LAPKO, Andrzej y GARBACZ, Andrzej. Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures. *Procedia Engineering* [en línea]. 2013, vol 57. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019. pp. 1183-1191].
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813008825>
ISSN: 1877-7058

- WHITE, Howard y SABARWAL, Shagun. Diseño y métodos cuasiexperimentales. Síntesis metodológicas: sinopsis de la evaluación de impacto n° 8 [en línea]. Septiembre 2014. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2019].
Disponible en: <http://www.unicef-irc.org/KM/IE/>

- ZHANG, Lianzhen, SUN, Yongming y XIONG, Wei. Experimental study on the flexural deflections of concrete beam reinforced with Basalt FRP bars. *Materials and Structures* [en línea]. Octubre 2015, vol 48. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2019. pp. 3279-3293]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-014-0398-0>
ISSN: 1359-5997

ANEXOS

ANEXO N° 1: Matriz de consistencia

Tabla 32. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE		
¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la respuesta estructural de las vigas?	Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la respuesta estructural de las vigas.	La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la respuesta estructural de las vigas.	Aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal.	Varillas de basalto	Diámetro de varillas
				Varillas de acero	Diámetro de varillas
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	DEPENDIENTE		
¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas?	Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas.	La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará el esfuerzo a flexión por tracción de las vigas.		Resistencia	Flexión por tracción
¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la ductilidad de las vigas?	Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la ductilidad de las vigas.	La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la ductilidad de las vigas.	Respuesta estructural de vigas	Modo de falla	Ductilidad
¿Cómo influye la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la deflexión máxima de las vigas?	Determinar la influencia de la aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal en la deflexión máxima de las vigas.	La aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal mejorará la deflexión máxima de las vigas.		Deformación	Deflexión máxima

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO N° 2: Formato de solicitud de validación de fichas técnicas de
medición**

SOLICITUD DE VALIDACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Solicito: validación de fichas técnicas de medición.

Yo, Juan Carlos Gonzales Cadillo, identificado con DNI N° 46411213, con domicilio en Calle Personalidad 435 Urb. Pro, Los Olivos, estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo con código de estudiante N° 6700256765 me presento ante Ud. con mucho respeto y expongo lo siguiente:

Que, debido al gran problema tanto estructural como económico que genera la corrosión a las estructuras de concreto reforzado con acero, es necesario estudiar nuevos materiales que sean capaces de reemplazar al acero estructural; frente a esta problemática me encuentro realizando una investigación cuyos aspectos son los siguientes:

1. Título

Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal.

2. Objetivo General

Determinar cuál será la respuesta estructural de las vigas aplicando varillas de basalto como sustituto para varillas de acero en refuerzo longitudinal.

3. ¿Qué se propone con este estudio?

Se pretende determinar la factibilidad del uso de varillas de basalto como sustituto a las varillas de acero, en este caso como refuerzo longitudinal.

Validez

La validación del instrumento a utilizar en la presente investigación será desarrollada mediante la técnica de validez de contenido, el cual consiste en recurrir a la experiencia de 3 profesionales con amplio conocimiento en el tema que se está investigando.

Con la finalidad de que se tenga una mejor interpretación del coeficiente de validez se plantea la siguiente tabla de rangos y sus respectivas magnitudes.

Rango	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy Alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy Baja

Fuente: Bolívar, 2013, p. 98.

El instrumento que será utilizado en la presente investigación es sometido a un juicio de expertos, en este caso profesionales con sólidos conocimientos del tema en cuestión, Ingenieros Civiles con amplia experiencia quienes revisarán el instrumento y darán una calificación a este.

Coefficiente de validez por juicio de expertos.

Validez de:	Indicador	Calificación
Ficha técnica de medición	Flexión por tracción	
Ficha técnica de medición	Ductilidad	
Ficha técnica de medición	Deflexión máxima	

Fuente: Elaboración propia.

Juan Carlos Gonzales Cadillo
Tesisista

Ing:
CIP:

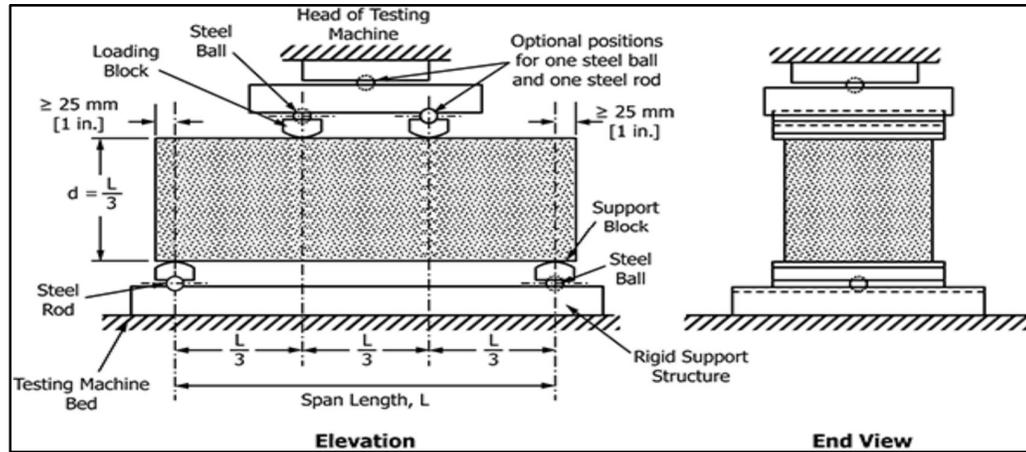
ANEXO N° 3: Ficha técnica de medición para el indicador flexión por tracción

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Flexión por tracción (f_r)

Ensayo: Método de ensayo para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz. (ASTM C78)



Datos de entrada:

f'_c	210 kg/cm ²
Base:	0.3m
Peralte:	0.5m
Longitud:	5m

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	f_r (Mpa)
V30*50 – VA - 1	Acero			
V30*50 – VA - 2	Acero			

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	f_r (Mpa)
V30*50 – VB - 1	Basalto			
V30*50 – VB - 2	Basalto			

ANEXO N° 4: Ficha técnica de medición para el indicador ductilidad

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Ductilidad

Módulo de elasticidad del Concreto (E_c)

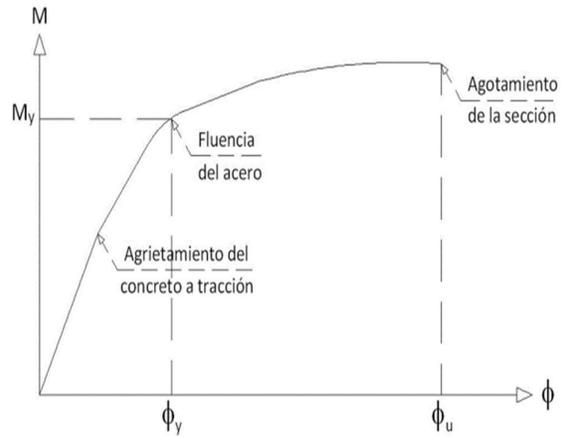
$E_c =$

Módulo de elasticidad del Acero (E_y)

$E_y =$

Módulo de elasticidad de Basalto (E_b)

$E_b =$



Espécimen	M_y (Kn-m)	Φ_y (1/m)	M_u (Kn-m)	Φ_u (1/m)	$u = \Phi_u / \Phi_y$
V30*50 – VA – 1					
V30*50 – VA – 2					
V30*50 – VB – 1					
V30*50 – VB – 2					

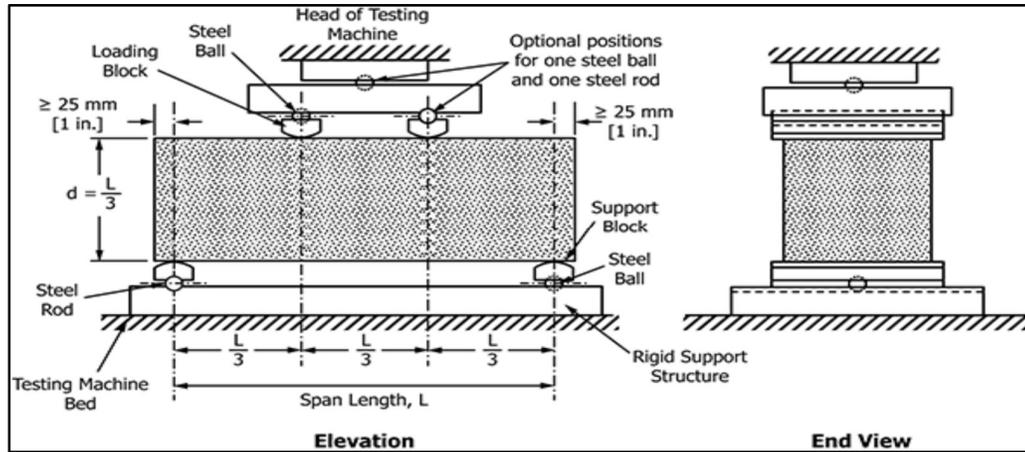
**ANEXO N° 5: Ficha técnica de medición para el indicador deflexión
máxima**

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Deflexión máxima

Ensayo: Método de ensayo para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz. (ASTM C78)



Datos de entrada:

f'_c	210 kg/cm ²
Base:	0.3m
Peralte:	0.5m
Longitud:	5m

Especimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 – VA - 1	Acero			
V30*50 – VA - 2	Acero			

Especimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 – VB - 1	Basalto			
V30*50 – VB - 2	Basalto			

ANEXO N° 6: Calificación de fichas técnicas de medición

SOLICITUD DE VALIDACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Solicito: validación de fichas
técnicas de medición.

Yo, Juan Carlos Gonzales Cadillo, identificado con DNI N° 46411213, con domicilio en Calle Personalidad 435 Urb. Pro, Los Olivos, estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo con código de estudiante N° 6700256765 me presento ante Ud. con mucho respeto y expongo lo siguiente:

Que, debido al gran problema tanto estructural como económico que genera la corrosión a las estructuras de concreto reforzado con acero, es necesario estudiar nuevos materiales que sean capaces de reemplazar al acero estructural; frente a esta problemática me encuentro realizando una investigación cuyos aspectos son los siguientes:

1. Título

Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero, como refuerzo longitudinal.

2. Objetivo General

Determinar cuál será la respuesta estructural de las vigas aplicando varillas de basalto como sustituto para varillas de acero en refuerzo longitudinal.

3. ¿Qué se propone con este estudio?

Se pretende determinar la factibilidad del uso de varillas de basalto como sustituto a las varillas de acero, en este caso como refuerzo longitudinal.

Validez

La validación del instrumento a utilizar en la presente investigación será desarrollada mediante la técnica de validez de contenido, el cual consiste en recurrir a la experiencia de 3 profesionales con amplio conocimiento en el tema que se está investigando.

Con la finalidad de que se tenga una mejor interpretación del coeficiente de validez se plantea la siguiente tabla de rangos y sus respectivas magnitudes.

Rango	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy Alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy Baja

Fuente: Bolívar, 2013, p. 98

El instrumento que será utilizado en la presente investigación es sometido a un juicio de expertos, en este caso profesionales con sólidos conocimientos del tema en cuestión, Ingenieros Civiles con amplia experiencia quienes revisarán el instrumento y darán una calificación a este.

Tabla 1: Coeficiente de validez por juicio de expertos.

Validez de:	Indicador	Calificación
Ficha técnica de medición	Flexión por tracción	0,75
Ficha técnica de medición	Ductilidad	0,75
Ficha técnica de medición	Deflexión máxima	0,75

Fuente: Elaboración propia



Juan Carlos Gonzales Cadillo
Tesisista



Ing: CARLOS DANILLO MINAYA ROSARIO
CIP: INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 50187

Validez

La validación del instrumento a utilizar en la presente investigación será desarrollada mediante la técnica de validez de contenido, el cual consiste en recurrir a la experiencia de 3 profesionales con amplio conocimiento en el tema que se está investigando.

Con la finalidad de que se tenga una mejor interpretación del coeficiente de validez se plantea la siguiente tabla de rangos y sus respectivas magnitudes.

Rango	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy Alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy Baja

Fuente: Bolívar, 2013, p. 98

El instrumento que será utilizado en la presente investigación es sometido a un juicio de expertos, en este caso profesionales con sólidos conocimientos del tema en cuestión, Ingenieros Civiles con amplia experiencia quienes revisarán el instrumento y darán una calificación a este.

Tabla 1: Coeficiente de validez por juicio de expertos.

Validez de:	Indicador	Calificación
Ficha técnica de medición	Flexión por tracción	0.9
Ficha técnica de medición	Ductilidad	0.9
Ficha técnica de medición	Deflexión máxima	0.9

Fuente: Elaboración propia



Juan Carlos Gonzales Cadillo
Tesista



MARCO ANTONIO
ZEÑA ARMAS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 154203

Ing:
CIP:

Validez

La validación del instrumento a utilizar en la presente investigación será desarrollada mediante la técnica de validez de contenido, el cual consiste en recurrir a la experiencia de 3 profesionales con amplio conocimiento en el tema que se está investigando.

Con la finalidad de que se tenga una mejor interpretación del coeficiente de validez se plantea la siguiente tabla de rangos y sus respectivas magnitudes.

Rango	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy Alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy Baja

Fuente: Bolívar, 2013, p. 98

El instrumento que será utilizado en la presente investigación es sometido a un juicio de expertos, en este caso profesionales con sólidos conocimientos del tema en cuestión, Ingenieros Civiles con amplia experiencia quienes revisarán el instrumento y darán una calificación a este.

Tabla 1: Coeficiente de validez por juicio de expertos.

Validez de:	Indicador	Calificación
Ficha técnica de medición	Flexión por tracción	0,80
Ficha técnica de medición	Ductilidad	0,80
Ficha técnica de medición	Deflexión máxima	0,80.

Fuente: Elaboración propia



Juan Carlos Gonzales Cadillo
Tesista



Ing: RAÚL ANTONIO PINTO BARRANTES
CIP: INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 51304

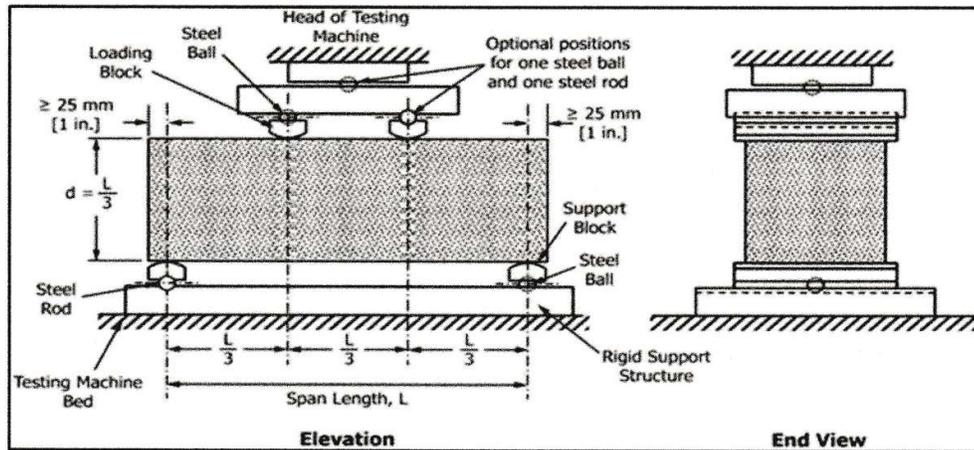
ANEXO N° 7: Fichas técnicas de medición llenadas

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Flexión por tracción

Ensayo: Método de ensayo para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz. (ASTM C78)



Datos de entrada:

f'_c	210 kg/cm ²
Base:	0.3m
Peralte:	0.5m
Longitud:	5m

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	fr (Mpa)
V30*50 – VA - 1	Acero	19	218,76	3,26
V30*50 – VA - 2	Acero	19	219,09	3,3

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	fr (Mpa)
V30*50 – VB - 1	Basalto	25,4	360,78	3,35
V30*50 – VB - 2	Basalto	25,4	335,97	3,23

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Ductilidad

Módulo de elasticidad del Concreto (E_c)

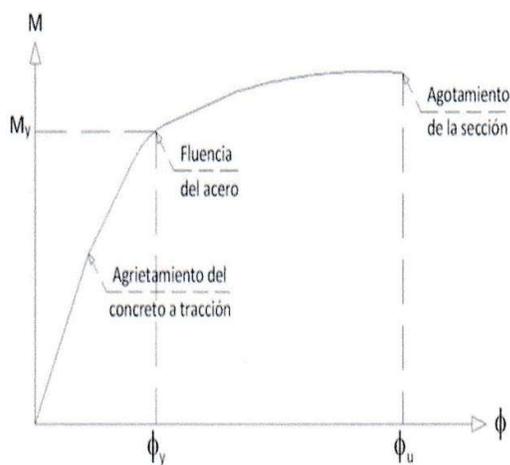
$$E_c = 217370,65 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad del Acero (E_y)

$$E_y = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad de Basalto (E_b)

$$E_b = 591020 \text{ Kg/cm}^2$$



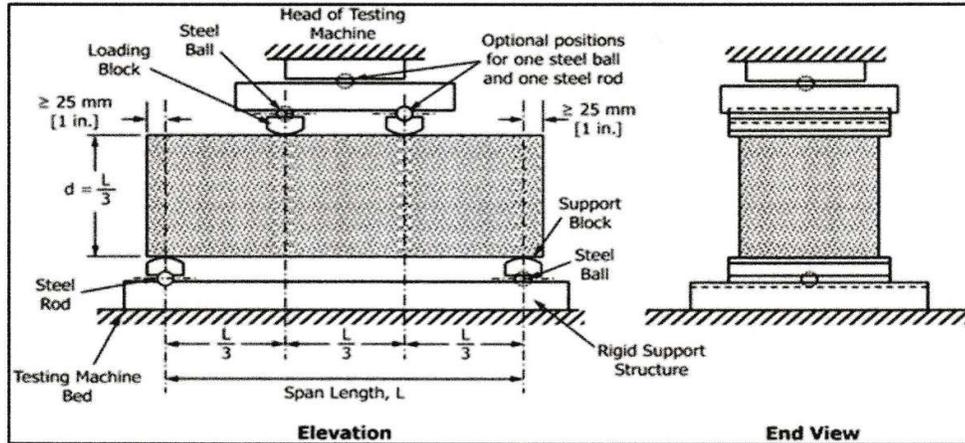
Espécimen	M_y (Kn-m)	Φ_y (1/m)	M_u (Kn-m)	Φ_u (1/m)	$u = \Phi_u / \Phi_y$
V30*50 - VA - 1	14,36	0,00656	14,90	0,05102	7,77
V30*50 - VA - 2	14,37	0,00655	14,93	0,05235	8,00
V30*50 - VB - 1	39,70	0,03080	24,58	0,03148	1,02
V30*50 - VB - 2	39,64	0,03095	22,89	0,03137	1,01

FICHA TÉCNICA DE MEDICIÓN

Título de tesis: Respuesta estructural de vigas: aplicación de varillas de basalto como sustituto para varillas de acero como refuerzo longitudinal.

Indicador: Deflexión máxima

Ensayo: Método de ensayo para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de luz. (ASTM C78)



Datos de entrada:

$f'c$	210 kg/cm ²
Base:	0.3m
Peralte:	0.5m
Longitud:	5m

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 – VA - 1	Acero	19	218,76	116
V30*50 – VA - 2	Acero	19	219,09	125

Espécimen	Refuerzo	Diámetro de varilla (mm)	Carga (Kn)	Deflexión máxima (mm)
V30*50 – VB - 1	Basalto	25,4	360,78	87
V30*50 – VB - 2	Basalto	25,4	335,97	75

ANEXO N° 8: Resultados de laboratorio

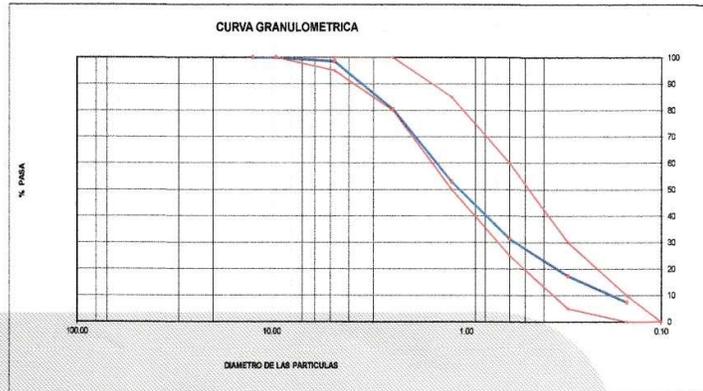
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO	Código	FOR-LTC-AG-001
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
ASTM C136

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL
Fecha de ensayo: 24/09/2019	

MATERIAL	: AGREGADO FINO	CANTERA: TRAPICHE
PESO INICIAL HUMEDO (g)	631.5	% W = 2.1
PESO INICIAL SECO (g)	618.4	MF = 3.12

MALLAS	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES
	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C 33
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100
Nº4	4.75	9.5	1.5	1.5	98.5	95 - 100
Nº8	2.38	111.8	18.1	19.6	80.4	90 - 100
Nº16	1.19	169.2	27.4	47.0	53.0	60 - 85
Nº30	0.60	133.5	21.6	68.6	31.4	25 - 60
Nº50	0.30	86.5	14.0	82.6	17.4	05 - 30
Nº100	0.15	62.1	10.0	92.6	7.4	0 - 15
FONDO		45.6	7.4	100.0	0.0	0 - 0



OBSERVACIONES:
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
	MTL GEOTECNIA SAC SUELOS Y CONCRETO ASFALTO YESENICA BARRAZA INGENIERO CIVIL Nº 138803	MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO	Código	FOR-LTC-AG-002
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

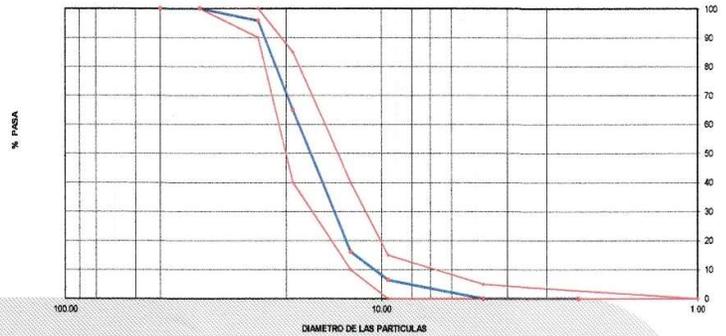
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
ASTM C136

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACION DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.
	Fecha de ensayo: 24/09/2019

MATERIAL	: AGREGADO GRUESO	CANTERA: TRAPICHE
PESO INICIAL HUMEDO (g)	1,258.20	% W = 0.2
PESO INICIAL SECO (g)	1,255.40	MF = 7.29

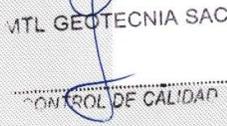
MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES HUSO # 56
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100
1"	24.50	52.8	4.2	4.2	95.8	90 - 100
3/4"	19.05	386.2	30.8	35.0	65.0	40 - 85
1/2"	12.50	612.1	48.8	83.8	16.2	10 - 40
3/8"	9.53	122.4	9.7	93.5	6.5	0 - 15
Nº 4	4.76	81.9	6.5	100.0	0.0	0 - 5
Nº 8	2.38	0.0	0.0	100.0	0.0	
Nº 16	1.18	0.0	0.0	100.0	0.0	
FONDO		0.0	0.0			

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PESO UNITARIO	Código	FOR-LAB-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS
ASTM C29

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.
	Fecha de ensayo: 24/09/2019

MATERIAL : AGREGADO FINO CANTERA : TRAPICHE

MUESTRA Nº	M - 1	M - 2	M - 3
------------	-------	-------	-------

1	Peso de la Muestra + Molde	g	6502	6494	6485
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4139	4131	4122
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.500	1.497	1.493

PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO	g/cc	1.497
-------------------------------	------	-------

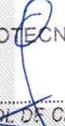
MUESTRA Nº	M - 1	M - 2	M - 3
------------	-------	-------	-------

1	Peso de la Muestra + Molde	g	7312	7305	7296
2	Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4949	4942	4933
4	Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.793	1.791	1.787

PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO	g/cc	1.790
-----------------------------------	------	-------

OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  MTL GEOTECNIA SAC LABORATORIO DE MATERIALES	Revisado por:  MTL GEOTECNIA SAC SUELOS Y PAVIMENTO ASFALTO YESENIA OLIVERA BARRAZA INGENIERO CIVIL CIP. 115803	Aprobado por:  MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO UNITARIO (F, G o GIB)	PESO	Código	FOR-LTC-AG-018
			Revisión	1
			Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
ASTM C29

REFERENCIA SOLICITANTE TESIS	: Datos de laboratorio	
	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS	
	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL	
	Fecha de ensayo:	24/09/2019

MATERIAL : AGREGADO GRUESO CANTERA: TRAPICHE

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3
------------	-------	-------	-------

1	Peso de la Muestra + Moide	g	6159	6172	6163
2	Peso del Moide	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	3796	3809	3800
4	Volumen del Moide	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.375	1.380	1.377

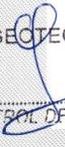
PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO	g/cc	1.377
-------------------------------	------	-------

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3
------------	-------	-------	-------

1	Peso de la Muestra + Moide	g	6728	6749	6744
2	Peso del Moide	g	2363	2363	2363
3	Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4365	4386	4381
4	Volumen del Moide	cc	2760	2760	2760
5	Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.582	1.589	1.587

PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO	g/cc	1.586
-----------------------------------	------	-------

OBSERVACIONES:
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 MTL GEOTECNIA SAC SUELOS Y CONCRETO ASFALTO YESENIA CABA BARRAZA INGENIERO CIVIL DE SUELOS	 MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS	Código	FOR-LAB-MS-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
ASTM C127

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL
Fecha de ensayo: 24/09/2019	

MATERIAL : AGREGADO GRUESO **CANTERA** : TRAPICHE

MUESTRA N°			M - 1	M - 2	PROMEDIO	
1	Peso de la Muestra Sumergida Canastilla	A	g	641.0	666.0	653.5
2	Peso muestra Sat. Sup. Seca	B	g	1025.0	1062.0	1043.5
3	Peso muestra Seca	C	g	1015.0	1051.0	1033.0
4	Peso específico Sat. Sup. Seca = B/B-A		g/cc	2.67	2.68	2.68
5	Peso específico de masa = C/B-A		g/cc	2.64	2.65	2.65
6	Peso específico aparente = C/C-A		g/cc	2.71	2.73	2.72
7	Absorción de agua = ((B - C)/C)*100		%	1.0	1.0	1.0

OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	--	---

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-AG-013
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS
ASTM C128

REFERENCIA SOLICITANTE TESIS	Datos de laboratorio	
	GONZÁLES CADILLO, JUAN CARLOS	
	RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.	
		Fecha de ensayo: 24/09/2019

MATERIAL : AGREGADO FINO CANTERA : TRAPICHE

MUESTRA N°		M - 1	M - 2	PROMEDIO	
1	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón + Peso de Agua	g	983.1	982.5	982.8
2	Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón	g	871.7	871.4	871.6
3	Peso del Agua (W = 1 - 2)	g	311.4	311.1	311.3
4	Peso de la Arena Seca al Horno + Peso del Balón	g/cc	666.4	665.7	666.05
5	Peso del Balón N° 2	g/cc	171.7	171.2	171.45
6	Peso de la Arena Seca al Horno (A = 4 - 5)	g/cc	494.7	494.5	494.60
7	Volumen del Balón (V = 500)	cc	497.6	497.8	497.7

RESULTADOS

PESO ESPECIFICO DE LA MASA (P.E.M. = A/(V-W))	g/cc	2.66	2.65	2.65
PESO ESPEC. DE MASA S.S.S. (P.E.M. S.S.S. = 500/(V-W))	g/cc	2.69	2.68	2.68
PESO ESPECIFICO APARENTE (P.E.A. = A/[(V-W)-(500-A)])	g/cc	2.73	2.73	2.73
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) [(500-A)/A*100]	%	1.1	1.1	1.1

OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-001
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	24/09/2019

LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS Y CONCRETO
ACI 211

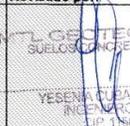
REFERENCIA : Datos de laboratorio
SOLICITANTE : GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS : RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.

Fecha de ensayo: 28/09/2019

Fc 210 kg/cm ²						
MATERIAL	PESO ESPECIFICO g/cc	MODULO FINEZA	HUM. NATURAL %	ABSORCIÓN %	P. UNITARIO S. Kg/m ³	P. UNITARIO C. Kg/m ³
CEMENTO ANDINO TIPO I	3.12					
AGREGADO FINO - CANTERA TRAPICHE	2.65	3.12	2.1	1.1	1497.0	1790.0
AGREGADO GRUESO - CANTERA TRAPICHE	2.65	7.29	0.2	1.0	1377.0	1586.0

MATERIALES: AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA TRAPICHE

A) VALORES DE DISEÑO						
1	ASENTAMIENTO			4	pulg	
2	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL			1"		
3	RELACION AGUA CEMENTO			0.59		
4	AGUA			227		
5	TOTAL DE AIRE ATRAPADO %			1.5		
6	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO			0.33		
B) ANALISIS DE DISEÑO						
FACTOR CEMENTO			382.500	Kg/m ³	9.0	Bis/m ³
Volumen absoluto del cemento				0.1226	m ³ /m ³	
Volumen absoluto del Agua				0.2270	m ³ /m ³	
Volumen absoluto del Aire				0.0150	m ³ /m ³	
VOLUMEN ABSOLUTOS DE AGREGADOS						0.365
Volumen absoluto del Agregado fino				0.3048	m ³ /m ³	
Volumen absoluto del Agregado grueso				0.3302	m ³ /m ³	
SUMATORIA DE VOLUMENES ABSOLUTOS						1.000
C) CANTIDAD DE MATERIALES m³ POR EN PESO SECO						
CEMENTO				383	Kg/m ³	
AGUA				227	L/m ³	
AGREGADO FINO				808	Kg/m ³	
AGREGADO GRUESO				875	Kg/m ³	
PESO DE MEZCLA				2292	Kg/m ³	
D) CORRECCION POR HUMEDAD						
AGREGADO FINO HUMEDO				824.7	Kg/m ³	
AGREGADO GRUESO HUMEDO				878.8	Kg/m ³	
E) CONTRIBUCION DE AGUA DE LOS AGREGADOS						
AGREGADO FINO				-1.00	Lts/m ³	
AGREGADO GRUESO				0.80	Lts/m ³	
AGUA DE MEZCLA CORREGIDA				225.9	Lts/m ³	
F) CANTIDAD DE MATERIALES m³ POR EN PESO HUMEDO						
CEMENTO				383	Kg/m ³	
AGUA				226	Lts/m ³	
AGREGADO FINO				825	Kg/m ³	
AGREGADO GRUESO				877	Kg/m ³	
G) PESO DE MEZCLA						
CANTIDAD DE MATERIALES (54 lt.)						
CEMENTO				20.66	Kg	
AGUA				12.20	Lts	
AGREGADO FINO				44.63	Kg	
AGREGADO GRUESO				47.35	Kg	
PROPORCIÓN EN PESO p3 (húmedo)				PROPORCIÓN EN VOLUMEN p3 (húmedo)		
C	1.0			C	1.0	
A.F	2.16			A.F	2.16	
A.G	2.29			A.G	2.50	
H2o	25.08 Kg.			H2o	25.08 LT.	

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2018

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio	
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS	
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.	
UBICACIÓN	: SAN MARTÍN DE PORRES.	Fecha de emisión: 05/10/2019

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm ²	ESFUERZO kg/cm ²	Fc Diseño kg/cm ²	% Fc
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	5/10/2019	7	18548.0	78.5	236.2	210.0	112.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	5/10/2019	7	18367.0	78.5	233.9	210.0	111.4
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	5/10/2019	7	18791.0	78.5	239.3	210.0	113.9

EQUIPO DE ENSAYO

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

OBSERVACIONES:

- * No se observaron fallas alélicas en las roturas
- * El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referentante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 YESENIA CUBA BARRAZA INGENIERO CIVIL CIP: 115503	 CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2018

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio	Fecha de emisión:	12/10/2019
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS		
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL.		
UBICACIÓN	: SAN MARTÍN DE PORRES.		

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE RÓTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm ²	ESFUERZO kg/cm ²	Fc Diseño kg/cm ²	% Fc
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	12/10/2019	14	21521.0	78.5	274.0	210.0	130.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	12/10/2019	14	21694.0	78.5	276.2	210.0	131.5
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	12/10/2019	14	20994.0	78.5	267.3	210.0	127.3

EQUIPO DE ENSAYO

Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

OBSERVACIONES:

- * No se observaron fallas atípicas en las roturas
- * El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referentante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
		
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2018

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS
 ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS
TESIS	: RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO COMO SUSTITUTO PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL
UBICACIÓN	: SAN MARTÍN DE PORRES. Fecha de emisión: 28/10/2019

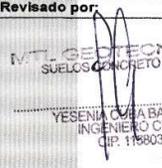
IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm ²	ESFUERZO kg/cm ²	F _c Diseño kg/cm ²	% F _c
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	26/10/2019	28	24614.0	78.5	313.4	210.0	149.2
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	26/10/2019	28	24584.0	78.5	313.0	210.0	149.1
DISEÑO 210 Kg/cm ²	28/09/2019	26/10/2019	28	24305.0	78.5	309.5	210.0	147.4

EQUIPO DE ENSAYO

Capacidad máxima 250 000 Lb. división de escala 0.1 kN

OBSERVACIONES:

- * No se observaron fallas atípicas en las roturas
- * El ensayo fue realizado haciendo uso de almohadillas de neopreno como material referentante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por: 	Revisado por: 	Aprobado por: 
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	FORMATO	Código	AE-FO-124
	MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN - CONCRETO	Versión	01
		Fecha	30-04-2018
		Página	1 de 1

TESIS : RESPUESTA ESTRUCTURAL DE VIGAS: APLICACIÓN DE VARILLAS DE BASALTO CON PARA VARILLAS DE ACERO, COMO REFUERZO LONGITUDINAL. REGISTRO N°. MTL-LEM-19

SOLICITANTE : GONZALES CADILLO, JUAN CARLOS REALIZADO POR : P. Tasayco

CÓDIGO DE PROYECTO : --- REVISADO POR : D. Coato

UBICACIÓN DE PROYECTO : SAN MARTÍN DE PORRES. FECHA DE ENSAYO : 25/10/2019

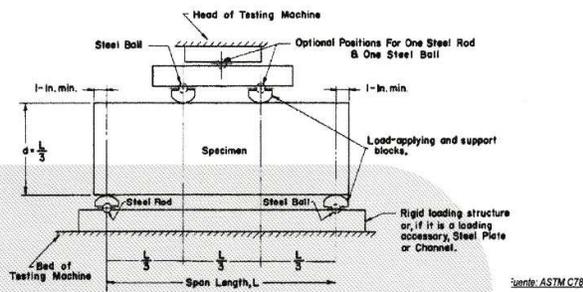
FECHA DE EMISIÓN : 25/10/2019 TURNO : Diurno

Tipo de muestra : Concreto endurecido
Presentación : Especímenes prismáticos
F_c de diseño : 210 kg/cm²

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO ASTM C78

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD	Carga (kN)	Deflexión Máx. (mm)	LUZ LIBRE (cm)	MÓDULO DE ROTURA
VIGA CON ACERO (DIMENSIONES 0.3m*0.5m*5m)	27/09/2019	25/10/2019	28 días	218.76	116	4500.0	3.26 MPa
VIGA CON ACERO (DIMENSIONES 0.3m*0.5m*5m)	27/09/2019	25/10/2019	28 días	219.09	125	4500.0	3.3 MPa
VIGA CON BASALTO (DIMENSIONES 0.3m*0.5m*5m)	27/09/2019	25/10/2019	28 días	360.78	87	4500.0	3.35 MPa
VIGA CON BASALTO (DIMENSIONES 0.3m*0.5m*5m)	27/09/2019	25/10/2019	28 días	335.97	75	4500.0	3.23 MPa

C 78 - 08



OBSERVACIONES:

- * Muestras Proporcionadas por el solicitante
- * Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por: 	Revisado por: MTL GEOTECNIA SAC SUELOS CONCRETO ASFALTO YESENIA CUBA BARRAZA INGENIERO CIVIL CITA 116903	Aprobado por: MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

ANEXO N° 9: Certificados del laboratorio



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 1502 - 2019

PROFORMA : 0712A

Fecha de emisión : 2019 - 04 - 26

Página : 1 de 5

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.

Dirección : Cal. La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos, Lima - Lima - San Martín De Porres

EQUIPO : HORNO
Marca : GEMMY INDUSTRIAL CORP
Modelo : YCO-010
N° de Serie : 510847
Tipo de Ventilación : Turbulencia
Procedencia : No Indica
Identificación : No Indica
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TERMÓMETRO DIGITAL
Marca : No Indica
Alcance : No Indica
Resolución : 0,1 °C
TIPO DE CONTROLADOR : DIGITAL
Marca : No Indica
Alcance : No Indica
Resolución : 0,1 °C
Fecha de Calibración : 2019 - 04 - 25
Ubicación^{MI} : LABORATORIO DE SUELOS

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestro sistema de medición de temperatura patrón según procedimiento PC- 018 "Procedimiento de calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático", Segunda Edición - Junio 2009. SNM - INDECOPI.

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	21,4 °C	21,6 °C
Humedad Relativa	59,0 %	57,9 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

Certificado : TC - 1502 - 2019

Página : 2 de 5

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Dos Termómetros Digitales Incertidumbre 0,007 °C DM - INACAL	Termómetro Digital -200 °C a 400 °C	LT-247-2018

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Temperatura de Trabajo	Posición del Controlador	Tiempo de Calentamiento	Tiempo de Estabilización	Porcentaje de carga	Tipo de Carga / Muestra
110 °C ± 5 °C	110	20 min	20 min	80 %	Recipiente metálico con muestra.

Tiempo (hh:mm)	Termómetro Horno (°C)	Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C)										Tprom ⁽¹⁾ (°C)	Tmax - Tmin ⁽²⁾ (°C)
		Nivel Superior					Nivel Inferior						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0:00	110,0	109,0	109,2	108,9	108,5	108,0	109,2	107,2	107,2	106,5	107,9	108,4	6,7
0:02	110,0	108,6	109,0	108,6	108,3	108,2	109,4	107,1	107,1	106,1	106,6	106,3	6,9
0:04	110,0	108,7	109,0	108,6	108,3	108,1	109,2	107,3	107,3	106,2	106,0	106,3	6,6
0:06	110,0	108,9	109,2	108,8	108,1	108,0	109,1	107,3	107,3	106,6	106,3	106,3	6,4
0:08	110,0	108,7	109,1	108,6	108,0	107,8	109,0	107,1	107,1	106,4	107,6	106,2	7,3
0:10	110,0	108,4	108,7	108,6	107,9	107,8	108,8	106,9	106,9	106,2	107,3	107,9	6,8
0:12	110,0	108,0	108,3	108,3	107,8	107,6	108,6	106,6	106,6	107,6	106,5	107,6	6,8
0:14	110,0	108,0	108,2	108,2	107,7	107,7	108,1	106,5	106,5	107,4	107,0	107,5	6,5
0:16	110,0	108,3	108,4	108,7	107,8	107,3	108,5	106,8	106,8	107,5	107,7	107,8	6,5
0:18	110,0	108,1	108,2	108,5	108,3	107,8	108,2	106,8	106,8	107,5	107,6	107,8	6,1
0:20	110,0	108,8	109,2	108,8	108,5	108,0	108,2	107,0	107,0	107,7	108,4	108,1	5,9
0:22	110,0	109,0	109,0	109,0	108,8	108,0	108,5	107,3	107,3	108,1	108,2	108,3	6,1
0:24	110,0	108,8	109,4	109,2	108,7	108,2	108,2	107,3	107,3	108,2	107,8	108,3	5,9
0:26	110,0	108,5	108,7	108,9	108,0	107,9	108,3	107,2	107,2	107,8	108,3	108,0	6,0
0:28	110,0	108,1	108,4	108,1	107,7	107,8	107,7	106,7	106,7	107,3	107,0	107,5	6,0
0:30	110,0	108,0	108,0	108,6	107,8	107,8	107,9	106,6	106,6	107,1	107,4	107,6	6,1
0:32	110,0	108,5	108,5	108,6	108,3	108,0	108,5	107,0	107,0	107,6	107,5	108,0	6,3
0:34	110,0	108,9	109,2	109,1	108,3	107,9	107,9	107,3	107,3	107,5	107,8	108,1	5,9
0:36	110,0	108,4	108,6	108,8	108,0	108,3	108,7	107,0	107,0	107,7	107,6	108,0	6,6
0:38	110,0	108,5	108,8	108,6	108,1	108,2	108,3	107,0	107,0	107,1	107,4	107,9	6,5
0:40	110,0	108,7	108,8	108,7	108,3	108,4	108,4	107,0	107,0	108,9	107,2	107,9	6,5
0:42	110,0	108,6	108,7	108,7	108,4	108,4	108,7	107,2	107,2	107,1	107,5	108,0	6,5
0:44	110,0	108,2	108,2	108,4	107,9	108,2	108,1	106,9	106,9	107,2	106,9	107,7	6,3
0:46	110,0	108,2	108,5	108,6	108,2	108,1	107,8	106,9	106,9	106,6	107,2	107,7	5,9
0:48	110,0	108,8	109,0	109,1	108,6	108,2	107,7	107,1	107,1	107,0	107,9	108,1	5,7
0:50	110,0	108,9	109,2	108,9	109,0	108,6	108,2	107,4	107,4	107,9	108,3	108,4	5,8
0:52	110,0	108,1	109,1	109,5	108,8	108,5	108,0	107,4	107,4	108,0	108,0	108,4	5,7
0:54	110,0	108,1	109,4	109,3	108,6	108,9	108,1	107,5	107,5	107,5	107,6	108,3	5,8
0:56	110,0	108,2	109,6	109,4	109,0	108,9	108,9	107,8	107,8	107,8	108,4	108,6	6,3
0:58	110,0	109,4	109,3	109,6	109,1	109,2	108,6	107,8	107,8	107,5	108,5	108,7	5,8
1:00	110,0	109,3	109,6	109,6	109,2	109,1	108,3	107,8	107,8	108,6	107,9	108,5	5,8
T. PROM ⁽¹⁾	110,0	108,6	108,9	108,6	108,3	108,2	108,5	107,1	107,1	107,6	107,7		
T. MAX ⁽²⁾	110,0	108,4	109,6	109,6	109,2	109,2	108,6	107,8	107,8	108,6	108,6		
T. MIN ⁽²⁾	110,0	108,0	108,0	108,1	107,7	107,3	107,7	106,5	106,5	106,6	106,5		
DTT ⁽²⁾	0,0	1,4	1,6	1,5	1,5	1,9	2,0	1,3	1,3	2,1	2,0		

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

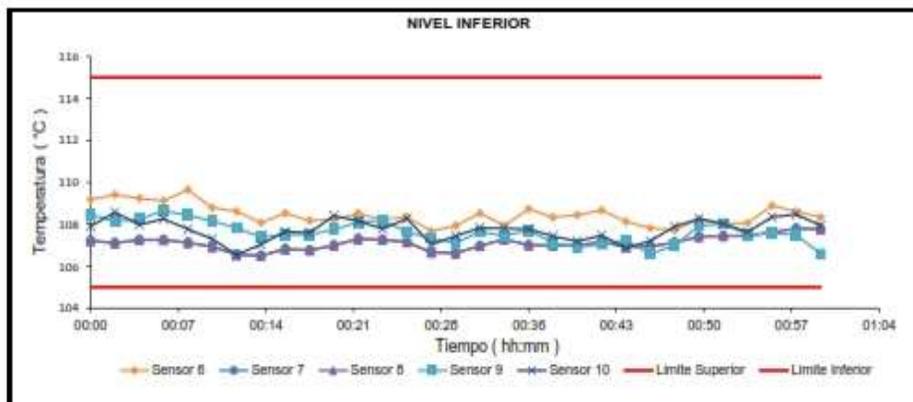
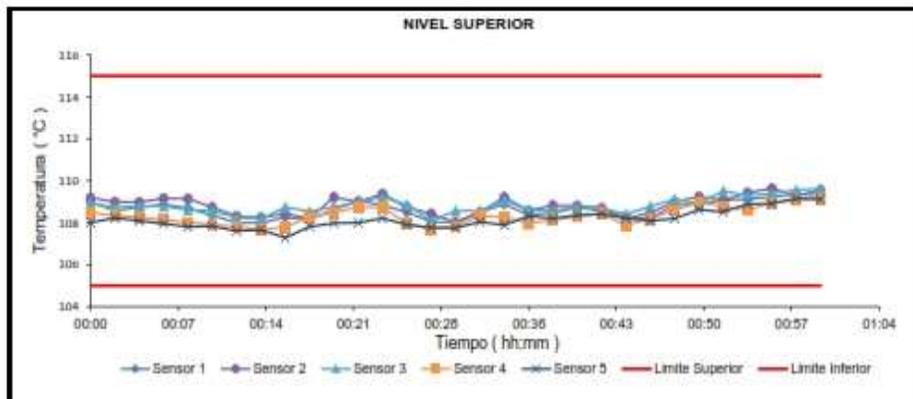
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



RESULTADOS DE MEDICIÓN

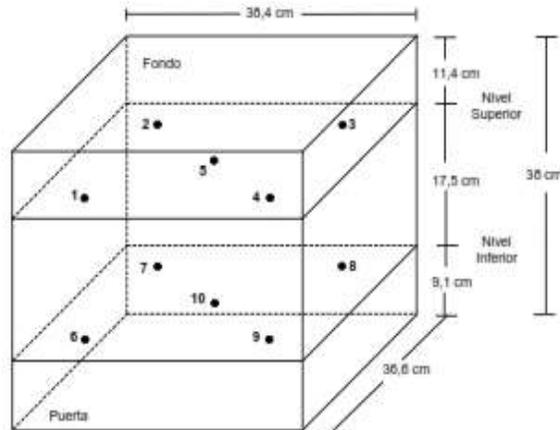
Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	109,6	0,6
Mínima Temperatura Medida	106,5	0,4
Desviación Temperatura en el Tiempo	2,1	0,1
Desviación Temperatura en el Espacio	1,8	0,2
Estabilidad Medida (±)	1,03	0,04
Uniformidad Medida	7,3	0,4

GRAFICO DE TEMPERATURA DE LOS SENSORES



Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isoterma CUMPLE con los límites especificados de temperatura

DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 5 están ubicados a 0 cm por encima de la parrilla superior.

Los sensores del 6 al 10 están ubicados a 1,5 cm por debajo de la parrilla inferior.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 3,84 cm de las paredes laterales y a 36,6 cm del frente y fondo del equipo.

FOTOGRAFÍA DEL MEDIO ISOTERMO





Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

Certificado : TC - 1502 - 2019

Página : 5 de 5

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta con el número de certificado.

[1] T. PROM: Promedio de las temperaturas en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

[2] T prom: Promedio de las temperaturas en las doce posiciones de medición para un instante dado.

[3] Tmax: Temperatura máxima.

[4] Tmin: Temperatura mínima.

[5] DTT: Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "**desviación de temperatura en el espacio**" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

[6] Dato proporcionado por el cliente

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio de Medio Isotermo: 0,1 °C

La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a $\pm \frac{1}{2}$ máx. DTT.

INCERTIDUMBRE

La Incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 1505 - 2019

PROFORMA : 0712A

Fecha de emisión : 2019 - 04 - 25

Página : 1 de 3

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.

Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos Lima - Lima - San Martín De Porres

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **BALANZA**
Tipo : ELECTRÓNICA
Marca : SARTORIUS
Modelo : LC22015
N° de Serie : 50310007
Capacidad Máxima : 2200 g
División de Escala (d) : 0,01 g
División de Verificación (e) : 0,01 g
Clase de Exactitud^{IT} : I
Capacidad Mínima^{IT} : 1 g
Procedencia : ALEMANIA
Identificación : No Indica
Intervalo de ΔT Local : 15 °C hasta 30 °C
Fecha de Calibración : 2019 - 04 - 24
Ubicación : LABORATORIO DE SUELOS

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r09/Octubre 2017/Rev.01

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

Certificado : TC - 1505 - 2019

Página : 2 de 3

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Juego de Pesas 1 mg a 1 kg Clase de Exactitud E2 LO JUSTO S.A.C.	Juego de Pesas 1 mg a 1 kg Clase de Exactitud F1	IP-119-2018
Pesa 2 kg Clase de Exactitud E1	Pesa 2 kg Clase de Exactitud F1	LM-330-2018

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	Tiene	Escala	Tiene
Oscilación Libre	Tiene	Cursor	No Tiene
Plataforma	Tiene	Nivelación	Tiene
Sistema de Traba	No Tiene	Dispositivo Indicador Auxiliar	No Tiene

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	26,10 °C	26,30 °C
Humedad Relativa	69,46 %	69,46 %

Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	1 100,00	1 100,01	4	11
2		1 100,00	4	1
3		1 100,00	5	0
4		1 100,00	5	0
5		1 100,00	4	1
6		1 100,01	4	11
7		1 100,01	4	11
8		1 100,00	5	0
9		1 100,01	4	11
10		1 100,00	4	1
E _{med} - E _{est}				11 mg
error máximo permitido				± 20 mg

Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	2 200,00	2 200,00	4	1
2		2 200,00	4	1
3		2 200,01	5	10
4		2 200,00	4	1
5		2 200,00	4	1
6		2 200,00	5	0
7		2 200,01	5	10
8		2 200,00	5	0
9		2 200,01	5	10
10		2 200,00	4	1
E _{med} - E _{est}				10 mg
error máximo permitido				± 30 mg

PGC-16-r09/Octubre 2017/Rev.01

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.

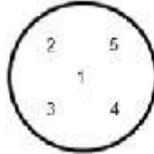


Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

Certificado : TC - 1505 - 2019

Página : 3 de 3



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	26,30 °C	26,41 °C
Humedad Relativa	65,26 %	65,46 %

N	Determinación de Error Eo				Determinación de Error Corregido Ec				e.m.p. (±mg)	
	Carga (g)	l (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga (g)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)		Ec (mg)
1	0,10	0,10	4	1	700,00	700,00	4	1	0	20
2		0,10	4	1		700,00	4	1	0	
3		0,10	4	1		700,01	4	11	10	
4		0,10	4	1		700,00	5	0	-1	
5		0,10	4	1		700,01	5	10	9	

ENSAYO DE PESAJE

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	26,30 °C	26,41 °C
Humedad Relativa	65,26 %	65,26 %

Carga (g)	Crecientes				Decrecientes				e.m.p. (±mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	5	0						
1,00	1,00	5	0	0	1,00	5	0	0	10
10,00	10,00	5	0	0	10,00	5	0	0	10
100,00	100,00	5	0	0	100,00	5	0	0	10
500,00	500,00	5	0	0	500,00	5	0	0	10
700,00	700,00	5	0	0	700,00	6	-1	-1	20
900,00	900,00	5	0	0	900,00	6	-1	-1	20
1 100,00	1 100,01	6	9	9	1 100,01	6	9	9	20
1 500,00	1 500,01	6	9	9	1 500,01	6	9	9	20
2 000,00	2 000,00	6	-1	-1	2 000,00	6	-1	-1	20
2 200,00	2 200,01	6	9	9	2 200,01	5	10	10	30

Donde: l : Indicación de la balanza ΔL : Carga adicional Eo : Error en cero
R : Lectura de la balanza posterior a la calibración E : Error del instrumento Ec : Error corregido

Lectura Corregida : $R_{\text{Corregida}} = R - 2,96 \times 10^{-5} \times R$
 Incertidumbre de Medición : $U_m = 2 \times \sqrt{4,63 \times 10^{-5} g^2 + 1,22 \times 10^{-4} \times R^2}$

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.
 [1] Calculada según la NMP 003-2009

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN TC-5684-2019

PROFORMA : 2004A

Fecha de emisión : 2019 - 08 - 02

Página : 1 de 2

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.

Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos Lima - Lima - San Martin De Porres

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : PRENSA DE CONCRETO
Marca : ELE
Modelo : ADR TOUCH
N° Serie : 1887-1-00074
Intervalo de indicación : 120000 kgf
Resolución : 0,1 kgf
Procedencia : No Indica
Código de Identificación : No Indica
Ubicación : Laboratorio
Fecha de Calibración : 2019 - 08 - 01

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LEMICONS S.R.L.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa utilizando el PIC-023 "Procedimiento para la Calibración de Prensas, celdas y anillos de carga".

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	19,2°C	19,1°C
HUMEDAD RELATIVA	72,0%	72,0%

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
C.F.P. N° 0316

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



Laboratorio de Calibración

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

Certificado : TC-5684-2019

Página : 2 de 2

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Balanza de Presión Clase de Exactitud 0,005 DM-INACAL	Manómetro de 0 bar a 700 bar Clase de Exactitud 0,05	LFP - C - 029 - 2019

RESULTADOS				
INDICACIÓN DEL EQUIPO BAJO CALIBRACIÓN		VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO	CORRECCIÓN	INCERTIDUMBRE
kgf	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
102	0,61	0,61	0,00	0,02
200	1,10	1,11	0,01	0,02
500	2,72	2,68	-0,04	0,02
800	4,33	4,26	-0,07	0,02
1000	5,40	5,30	-0,10	0,02
5000	26,77	26,26	-0,51	0,02
10000	53,46	52,44	-1,02	0,03
20000	107,17	105,12	-2,05	0,05
50000	266,47	261,35	-5,12	0,07
80000,5	423,45	415,30	-8,15	0,09

OBSERVACIONES.

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Jr. Condesa de Lemos N° 117 - San Miguel - Lima / Teléfono: 262-9536 / E-mail: informes@testcontrol.com.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE TEST & CONTROL S.A.C.



PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 011 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 3

1. Expediente	0238-2019	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	MTL GEOTECNIA S.A.C.	
3. Dirección	CALLA MADRID NRO. 264 ASC. LOS OLIVOS - LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
4. Instrumento de medición	TERMOHIGROMETRO DIGITAL	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Alcance de Indicación	0 °C a 50 °C / 10% a 98% HR	
Div. de escala / Resolución	0.1 °C	
Marca	EUROLAB	
Modelo	TA218 C	
Número de Serie	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Elemento Sensor	TERMOCUPLA	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Identificación	LT-011	
5. Fecha de Calibración	2019-02-22	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2019-02-22

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
E-mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 011 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SNM/INDECOPI tomado como referencia el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" Segunda edición - diciembre 2012 de INDECOPI/SNM.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Temperatura de PERUTEST S.A.C.

Jr. La Madrid Mz. E Lote 14 Urb. Los Olivos - San Martín De Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Mínimo	Máximo
Temperatura	20.6 °C	20.7 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
SAT - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-014	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LT-1145-2018



10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.

Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
E- mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



PERUTEST S.A.C.
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 011 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

INDICACIÓN DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (K=2) (°C)
16.4	16.00	-0.40	0.16
23.5	23.00	-0.50	0.13
34.3	34.00	-0.30	0.14

TCV (Temperatura Convencionalmente Verdadera) = Indicación del termómetro + Corrección

INDICACIÓN DEL HIGRÓMETRO (% HR)	HUMEDAD CONVENCIONALMENTE VERDADERA (% HR)	CORRECCIÓN (% HR)	INCERTIDUMBRE (% HR)
37	36.8	-0.20	0.18
66	65.8	-0.20	0.14
88	88.1	0.30	0.15

HCV (Humedad Convencionalmente Verdadera) = Indicación del Higrómetro + Corrección



12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
 Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
 Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
 E-mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 010 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 3

1. Expediente	0238-2019	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	MTL GEOTECNIA S.A.C.	
3. Dirección	CALLA MADRID NRO. 264 ASC. LOS OLIVOS - LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES	
4. Instrumento de medición	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Alcance de Indicación	-50 °C a 300 °C	
Div. de escala / Resolución	0.1 °C	
Marca	BOECO	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Modelo	TP101	
Número de Serie	NO INDICA	
Procedencia	GERMANY	
Elemento Sensor	TERMOCUPLA	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Identificación	LT-010	
Ubicación	NO INDICA	
5. Fecha de Calibración	2019-02-22	El certificado de calibración sin firma y solo carece de validez.

Fecha de Emisión

2019-02-22

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
E-mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



PERUTEST S.A.C
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 010 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SNM/INDECOPI tomado como referencia el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" Segunda edición - diciembre 2012 de INDECOPI/SNM.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Temperatura de PERUTEST S.A.C.

Jr. La Madrid Mz. E Lote 14 Urb. Los Olivos - San Martín De Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Mínimo	Máximo
Temperatura	20.5 °C	20.9 °C
Humedad Relativa	53 %	54 %



9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
SAT - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-014	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LT-1145-2018

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.

Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
E-mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 010 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

INDICACIÓN DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (K=2) (°C)
24.8	25.1	0.26	0.14
98.6	100.0	1.45	0.14
247.6	250.4	2.77	0.14

TCV (Temperatura Convencionalmente Verdadera) = Indicación del termómetro + Corrección

Nota 1.- La profundidad de inmersión del sensor fue 130 mm de aproximadamente.

Nota 2.- Tiempo de estabilización no menor a 10 minutos.

12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224
E-mail: ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

TEST & CONTROL S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Calle Condesa de Lemos N° 117, Urb. San Miguelito, distrito de San Miguel, provincia de Lima y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 24 de marzo de 2019

Fecha de Vencimiento: 23 de marzo de 2023

ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cedula N° : 230-2019-INACAL/DA

Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°004-16/INACAL-DA

Registro N° : UC-016

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-05P-02M Ver. 02

ANEXO N° 10: Panel fotográfico







