

# Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento

Alvarado Mera Sophía Moncerrat, Vélez Soledispa Andy Gabriel, Ruiz Párraga Wilter Enrique, Ortiz Hernández Eduardo Humberto, Jarre Castro César Mauricio  
*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo*  
salvarado6210@utm.edu.ec, avelez8989@utm.edu.ec, wr Ruiz@utm.edu.ec, ehortiz@utm.edu.ec, mjarre@utm.edu.ec

**Resumen** — El hormigón obtenido a partir de vidrio finamente molido es una línea de investigación a nuevos materiales, basados en el ahorro del cemento y a su vez en la disminución del dióxido de carbono a la atmósfera para obtener un material constructivo más eficiente y sostenible.

Con el propósito de buscar una solución para la fabricación de hormigones, la utilización del vidrio finamente molido como reemplazo parcial del cemento es una de las alternativas para integrarlo al proceso constructivo, cuyo objetivo es disminuir el empleo de materias primas no renovables, utilizando materiales reciclados con excelentes características de resistencia y durabilidad.

En la presente investigación se estudió la resistencia a compresión del hormigón, usando vidrio finamente molido, sustituyéndolo en porcentajes del 5%, 10% y 15% en reemplazo parcial del cemento. Se elaboraron probetas de hormigón convencional y probetas de hormigón con adición de vidrio finamente molido, a cada probeta experimentada se le realizó el ensayo de resistencia a compresión del hormigón en un tiempo máximo de curado húmedo de 56 días.

Se realizó la comparación entre el hormigón sin adición y el hormigón con porcentajes de vidrio finamente molido, llegando a la conclusión que el vidrio sustituido al 15% como reemplazo parcial del cemento disminuye su resistencia a compresión.

**Palabras claves** — vidrio finamente molido, resistencia a compresión, hormigón, adición, cemento.

**Abstract** — The concrete obtained from finely ground glass is a line of investigation to new materials, based on the saving of cement and in turn on the reduction of carbon dioxide to the atmosphere to obtain a more efficient and sustainable construction material.

In order to find a solution for the manufacture of concrete, the use of finely ground glass as a partial replacement of cement is one of the alternatives to integrate it into the construction process, whose aim is to reduce the use of non-renewable raw materials, using recycled materials with excellent strength and durability characteristics.

In this research, the compressive strength of concrete was studied, using finely ground glass, replacing it in percentages of 5%, 10% and 15% in partial replacement of cement.

Conventional concrete test pieces and concrete test pieces with the addition of finely ground glass were produced and each tested test piece was tested for the compressive strength of the concrete within a maximum curing time of 56 days

A comparison was made between aggregate concrete and concrete with finely ground glass percentages, concluding that glass replaced at 15% as a partial replacement for cement decreases its compressive strength.

**Index Terms** — finely ground glass, compressive strength, concrete, addition, cement.

## I. INTRODUCCIÓN

El vidrio en la actualidad es uno de los materiales reciclables más utilizados, como material de construcción es una opción ecológica y económica, su esencia renovable lo vuelve un material ideal. (Segtec, 2016)<sup>1</sup>

En el campo de la ingeniería civil el hormigón constituye uno de los materiales más versátiles para construir, debido a su buen comportamiento de diseño y excelentes propiedades mecánicas en cuanto a su resistencia y durabilidad. (Carrillo, 2016)<sup>2</sup>

El vidrio en su estado natural fue uno de los primeros

elementos utilizados por el hombre, como residuo tiene un alto grado de recuperación y numerosas posibilidades de reutilización.

Estudios realizados en la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Perú, muestran que existe influencia significativa en la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días empleando vidrio molido en proporciones del 5%, 10%, 15% como reemplazo del cemento. (Guerson Misael, 2017)<sup>3</sup>

En la universidad Central del Ecuador, en el año 2017, se realizó una investigación basada en el uso del vidrio molido, donde se comprobó que la resistencia se incrementa conforme aumenta la edad del hormigón, tanto el convencional como los de adición con vidrio, debido a que este material sigue el fenómeno físico de endurecimiento y la adherencia aumenta acorde pasa el tiempo por la liberación de agua que no es absorbida por el vidrio. (Almeida Johana, 2017)<sup>4</sup>

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el año 2015, obtuvieron como resultados que la resistencia a la compresión utilizando vidrio molido a la edad de los 28 días no afecta al comportamiento de la resistencia a compresión en el hormigón. (Castro, 2015)<sup>5</sup>

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. *Materiales*

En la presente investigación se utilizó el cemento portland tipo GU como material aglomerante, los agregados gruesos y finos, procedente de la cantera COPETO CIA.LTDA de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, vidrio común finamente molido, también llamado vidrio de sílice, cal y sosa y aditivo superplastificante.

#### 1. *Cemento*

Cemento hidráulico producido por la pulverización de Clinker, consistente esencialmente de silicato y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos:

Agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra calizas y adiciones de proceso. (NTE INEN 151, 2010)<sup>6</sup>

Se trabajó con cemento portland tipo GU de peso específico de 3150 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 2. *Agregado fino*

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. Es constituida por fragmentos de rocas limpias, duras, compactas y durables.

La función de la arena debido a su tamaño de partícula es llenar los espacios entre la pasta (agua y cemento) y el agregado grueso. (Mario Domenech, 2016)<sup>7</sup>

Según los ensayos realizados bajo las Norma Técnica Ecuatoriana; los valores obtenidos del agregado fino fueron los siguientes:

NTE INEN 696:2011 módulo de finura de 1,77

NTE INEN 856:2010 gravedad específica de masa 2,44 gr, gravedad específica s.s.s 2,5 gr, gravedad específica aparente 1,55 gr y porcentaje de absorción de 2,68%.

NTE INEN 862:2011 contenido de humedad 5,12%.

NTE INEN 858:2010 peso unitario suelto 1,62 gr/cm<sup>3</sup> y peso unitario compactado 1,70 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 3. *Agregado grueso*

El agregado grueso está formado por roca o grava triturada seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado. (Granja, 2014)<sup>8</sup>

Según la Norma Técnica Ecuatoriana los resultados adquiridos del agregado grueso utilizado en esta investigación fueron los siguientes:

NTE INEN 696:2011 tamaño máximo de árido 1 1/2 pulgada.

NTE INEN 857:2010 gravedad específica de masa 2,68 gr, gravedad específica s.s.s 2,72 gr, gravedad específica aparente 2,80 gr y porcentaje de absorción de 1,52%.

NTE INEN 862: 2011 contenido de humedad 0,58%.

NTE INEN 858:2010 peso unitario suelto 1,38 gr/cm<sup>3</sup> y peso unitario compactado 1,51 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4. *Agua*

Aplicando los criterios de la NTE INEN 2617:2012 se permite el uso de agua potable como agua de mezcla del hormigón sin la realización de ensayos ya que estas cumplen con las especificaciones indicadas en la norma.

#### 5. *Vidrio*

El vidrio como residuo tiene un alto grado de recuperación y numerosas posibilidades de reutilización. La incorporación de residuos de vidrio se estudia con el fin de conocer su comportamiento como reemplazo parcial del cemento y la capacidad de modificar las propiedades del producto final.

El vidrio común también llamado vidrio de sílice cal y sosa sus características varían dependiendo de su composición, pero en general, es sensible a los cambios

de temperatura, razón por la cual su uso se encuentra limitado en la fabricación de material para laboratorio y otros tipos de objetos que se utilizan de manera cotidiana.

Es el más fácil de fabricar y usualmente, a su composición básica se le incorporan otros elementos para modificar algunas de sus propiedades, su resistencia química se incrementa, con lo que se vuelve un material más duradero. (Crisol, 2017)<sup>9</sup>

Para la presente investigación se utilizó la máquina de los Ángeles para obtener la finura pasante del más del 80% del tamiz de 75 µm.



Figura 1 Vidrio finamente molido

### 6. Aditivo

El aditivo utilizado en el hormigón es el superplastificante reductor de agua de alto rango. Este aditivo líquido se caracteriza por su alto poder dispersante que permite una perfecta distribución de las partículas de cemento del hormigón, provocando una hidratación completa, obteniendo así la máxima eficiencia del cemento.

El aditivo empleado es de tipo líquido color café, compuesto por resinas sintéticas con una densidad de 1.22 kg/l aproximadamente. (Sika, 2014)<sup>10</sup>

### B. Métodos

Este estudio permitió conocer la resistencia mecánica del hormigón, usando vidrio común, sustituyéndolo en porcentajes del 5%,10%,15% en reemplazo parcial del cemento como lo indica la literatura internacional, este procedimiento se inició elaborando las probetas de hormigón convencional para luego elaborar las probetas de hormigón con adición de vidrio finamente molido.

Los ensayos que se realizaron, a los áridos finos y gruesos aplicando las Normas Técnicas Ecuatorianas fueron: contenido de humedad según la NTE INEN 862:2011, granulometría según la NTE INEN 696:2010, peso unitario y porcentaje de vacíos según la NTE INEN 858:2010; densidad relativa y absorción al árido fino según la NTE INEN 856:2010; densidad relativa y absorción al árido grueso según la NTE INEN 857:2010.

Es fundamental analizar los diferentes ensayos que se realizan al hormigón en estado fresco y endurecido para obtener buenos resultados en las estructuras de hormigón.

Al hormigón fresco se le realizó el ensayo de asentamiento según la NTE INEN 1 578:2010, al hormigón endurecido el ensayo a la compresión según la NTE INEN 1 573:2010.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objeto de estudiar la resistencia a compresión del hormigón utilizando vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento en proporciones del 5%,10%,15%, se elaboró el diseño de mezcla de hormigón para calcular la dosificación según lo establecido por el ACI 211.1, obteniendo los datos para la dosificación de los ensayos realizados a los componentes del hormigón según la NTE INEN.

La resistencia característica que se propuso para un hormigón convencional es de 21 MPa, con porcentaje de adición del 0%; posterior a ello se comparó la resistencia con los hormigones cuyos porcentajes de adición de vidrio finamente molido corresponden a porcentajes del

MATERIAL	SUSTITUCIÓN 0% DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO
AGUA	177,96
CEMENTO	332
PIEDRA	981,01
ARENA	909,24
VIDRIO	-

MATERIAL	SUSTITUCIÓN 5% DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO
AGUA	177,96
CEMENTO	315
PIEDRA	981,01
ARENA	909,24
VIDRIO	16,60

<b>SUSTITUCIÓN 10% DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO</b>	
<b>MATERIAL</b>	
AGUA	177,96
CEMENTO	299
PIEDRA	981,01
ARENA	909,24
VIDRIO	33,20

<b>SUSTITUCIÓN 15% DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO</b>	
<b>MATERIAL</b>	
AGUA	177,96
CEMENTO	282
PIEDRA	981,01
ARENA	909,24
VIDRIO	49,80

5%,10%,15%.

Para determinar la influencia del vidrio finamente molido, se mantuvo en todas las dosificaciones una relación agua/cemento constante.

Para las dosificaciones se aplicaron los criterios establecidos según la ACI 211.1, obteniendo valores para los diferentes materiales en 1m<sup>3</sup> de hormigón.

**TABLA I**  
**DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN UTILIZANDO VIDRIO FINAMENTE MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO EN KG/M<sup>3</sup>**

**TABLA II**  
**DOSIFICACIÓN EN LABORATORIO EN KG/M<sup>3</sup>**

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
<b>CEMENTO</b>	7,82	7,43	7,04	6,65
<b>AGUA</b>	4,19	4,19	4,19	4,19
<b>PIEDRA</b>	23,11	23,11	23,11	23,11
<b>ARENA</b>	21,42	21,42	21,42	21,42
<b>ADICIÓN</b>	-	0,39	0,78	1,17
<b>ADITIVO</b>	32,1 ml	30,5 ml	75,0 ml	109,0 ml

Las distintas argas masas de hormigón descritas en la tabla II, fueron obtenidas con la ayuda de la máquina hormigonera estacionaria, para así poder proceder a realizar el ensayo de asentamiento con cada una de las mezclas, posteriormente se elaboraron los cilindros cuyas dimensiones son de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura según los establece la NTE INEN 1576:2011.

Para el ensayo de asentamiento según la NTE INEN 1578:2010 se utilizó el cono de Abrams llenando en 3 capas de hormigón cada una aproximadamente a un tercio

del volumen del molde, compactando cada capa con 25 golpes respectivamente y enrasando sobre la parte superior del molde con una varilla lisa, una vez lleno se los retira en un lapso de 2 a 5 segundos aproximadamente para medir su asentamiento.

En la elaboración de los cilindros de hormigón se aplicaron los criterios de la NTE INEN 1576:2011, se escogieron moldes de 10 cm por 20 cm, llenándose en dos capas iguales, compactándose cada capa a 25 golpes de manera homogénea, con una varilla de acero de punta redondeada, posteriormente se dejó fraguar las mezclas de hormigón por un periodo de 24 horas, transcurrido este tiempo se desencofró y se los ubicó cuidadosamente en una piscina de almacenamiento de curado el cual contiene agua potable saturada con cal, tal como lo indica la norma NTE INEN 2528:2010.



*Figura 2 Cilindros de hormigón en piscina de almacenamiento*

Las probetas permanecieron en la piscina de curado un período máximo de 56 días, para esta investigación se realizaron roturas de probetas a los 14, 28,56 días, se tomó en consideración este tiempo máximo porque se cumple el principio físico de endurecimiento y adherencia de la mezcla de cemento conforme avanza la edad del hormigón.

**TABLA III**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LA EDAD DE 56 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS DE HORMIGÓN**

<b>HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS (Kg/Cm<sup>2</sup>)</b>
------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

0%	230,21
5%	207,29
10%	201,02
15%	167,18
<hr/>	
<b>HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE VIDRIO FINAMENTE MOLIDO</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 56 DÍAS (Kg/Cm<sup>2</sup>)</b>
0%	264,18
5%	258,47
10%	245,01
15%	206,33

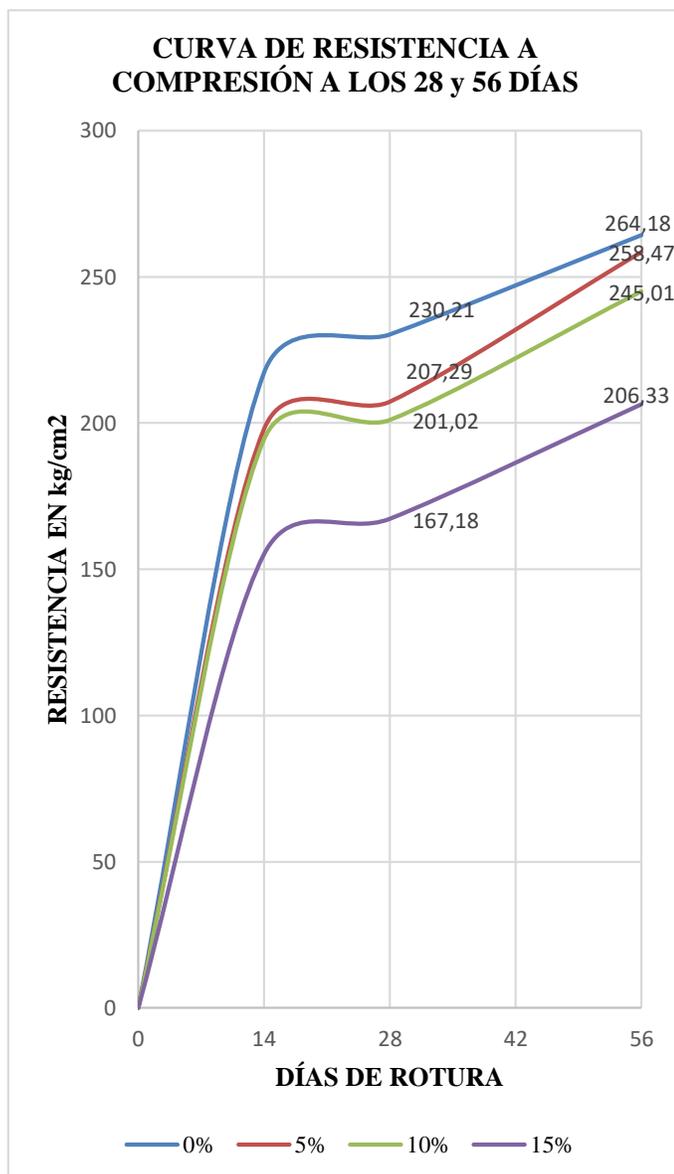


Figura 3 Resultados de la resistencia a la compresión a los 14,28 y 56 días

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos del hormigón convencional y hormigones con porcentajes de vidrio finamente molido, lo cual se determina que las mezclas con el 5% y 10 % de sustitución de vidrio finamente molido alcanzan los valores de la resistencia media (240 kg/cm<sup>2</sup>), es decir que al 15 % se ve afectado en las prestaciones mecánicas del hormigón.

#### IV. CONCLUSIÓN

El vidrio reciclado finamente molido como sustituto parcial del cemento, tiene efectos positivos a la resistencia a la compresión, reduce los índices de contaminación impacto ambiental exclusivamente en la elaboración del cemento.

Las mezclas de hormigón con reemplazo del 5% y 10% de vidrio reciclado finamente molido, mantienen las resistencias del hormigón sin generar reducción de las mismas en edades de 28 y 56 días.

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión a los 56 días empleando el 15% de vidrio finamente molido por cemento, muestra resultados inferiores a la resistencia característica, pudiendo ser empleado como hormigón tipo no estructural.

La resistencia a compresión del hormigón usando vidrio finamente molido como reemplazo parcial del cemento, muestra valores superiores a la resistencia media, aumentando a edades mayores a causa de la adherencia de este material con la mezcla de hormigón.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Almeida Johana, T. C. (2017). *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- [2] Carrillo, D. A. (2016). *Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- [3] Castro, D. A. (2015). *Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- [4] Crisol, E. (2017). *Tipos de vidrio utilizados en el material de laboratorio*. Obtenido de: <https://elcrisol.com.mx/tipos-de-vidrio-utilizados-en-el-material-de-laboratorio/>
- [5] Granja, E. (2014). *Diseño de un Hormigón Fluorescente*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- [6] Guerson Misael, W. T. (2017). *Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto*

- y costo de fabricación comparado con el concreto convencional. Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- [7] Mario Domenech, A. E. (2016). *Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los hormigones y morteros utilizando materiales pétreos*. Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- [8] NTE INEN 151. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Cemento hidráulico*. Quito.
- [9] NTE INEN 2617. (2012). *Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. Agua para mezcla*. Quito.
- [10] NTE INEN 1573. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito.
- [11] NTE INEN 1576. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito.
- [12] NTE INEN 1578. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Quito.
- [13] NTE INEN 2528. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos*. Quito.
- [14] NTE INEN 696. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Aridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito.
- [15] NTE INEN 856. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. Aridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito.
- [16] NTE INEN 857. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Aridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito.
- [17] NTE INEN 858. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Aridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumetrico) y el porcentaje de vacios*. Quito.
- [18] NTE INEN 862. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Aridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito.
- [19] Segtec. (2016). *Uso del vidrio reciclado como material de construcción*. Obtenido de: <http://www.segtecvidrio.com/uso-del-vidrio-reciclado-como-material-de-construccion/>
- [20] Sika. (2014). *Sikament N 100*. Obtenido de <https://ecu.sika.com> > dms > getdocument.get > Sikament\_N\_100\_PDS



**Alvarado Mera S.M.** Estudiante de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera Ingeniería Civil.



**Vélez Soledispa A.G.** Estudiante de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera Ingeniería Civil.



**Ruiz Párraga W.E.** Máster en Docencia e Investigación Educativa, Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí, Máster en Ingeniería Civil, en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Especialista en materiales de construcción.



**Ortiz Hernández E. H.** Ingeniero Civil, Magister en Construcción de Obras Viales especialista en Mecánica de Suelos, Pavimento y Laboratorio Profesor de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador materias impartidas son

Mecánica de Suelos 1, Mecánica de Suelos 2, Geotecnia,  
Obras Viales y Pavimentos.



**Jarre Castro C.M.** Máster en  
Educación y Desarrollo Social  
Docencia e Investigación  
Profesor Titular en la  
Universidad Técnica de Manabí.  
Especialista en materiales de  
construcción