



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Diseño de una mezcla de concreto con baja permeabilidad para la construcción de fosas de almacenamiento dentro de naves porcinas.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Construcción)

Presenta:
Ing. Carlos Eduardo Hernández Arreguín

Santiago de Querétaro, Querétaro, noviembre 2018.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Diseño de una mezcla de concreto con baja permeabilidad para la construcción de fosas de almacenamiento dentro de naves porcinas.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
 Maestro en ciencias (Construcción)

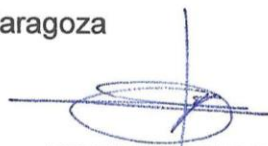
Presenta:

Ing. Carlos Eduardo Hernández Arreguín

Dirigido por:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
 Presidente


 Firma

Dr. Francisco Javier García Rodríguez
 Secretario

Rúbrica
 Firma

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel
 Vocal



 Firma

Dra. Rebeca Guadalupe Ortiz Mena
 Suplente

Rúbrica
 Firma

Dra. Teresa López Lara
 Suplente


 Firma


 Dr. Manuel Toledano Ayala
 Director de la Facultad de Ingeniería


 Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
 Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
 Querétaro, Qro.
 Noviembre 2018

RESUMEN

Dentro del sector agropecuario, se han desarrollado diferentes construcciones para el desarrollo de la producción agrícola; la particularidad más notable de este tipo de construcciones es que siempre trabajan con seres vivos y estos son afectados por factores ambientales. Por esta razón se debe proveer a este sector de materiales para la construcción de sus instalaciones que sean resistentes, innovadores y que contribuyan al desarrollo de la producción agrícola. El presente trabajo se divide en tres etapas. En la primera etapa se realizan actividades que no están relacionadas con pruebas en laboratorios. En la segunda etapa se realizan pruebas preliminares a muestras de pasta de cemento y óxido de magnesio y en la etapa final se realizan pruebas a muestras de mortero con óxido de magnesio. Se trabajaron en total 5 mezclas de las cuales se hicieron probetas con dimensiones de 50x50x50 mm. En las mezclas utilizadas el contenido de cemento, arena y agua eran el mismo, siendo el óxido de magnesio el componente que variaba en porcentaje en cada una de las muestras. La variación de óxido de magnesio utilizada en las muestras fue de 0%, 2%, 4%, 6% y 8%. A cada mezcla se le realizaron destructivas y no destructivas para determinar sus propiedades mecánicas.

Palabras claves: (Construcciones agropecuarias, granjas porcinas, óxido de magnesio, mortero, permeabilidad).

SUMMARY

Within the agricultural sector, different constructions have been developed for the development of agricultural production; The most notable feature of this type of construction is that they always work with living beings and these are affected by environmental factors. For this reason, this sector must be provided with materials for the construction of its facilities that are resistant, innovative and that contribute to the development of agricultural production. The present work is divided into three stages. In the first stage activities are carried out that are not related to tests in laboratories. In the second stage, preliminary tests are carried out on samples of cement paste and magnesium oxide and in the final stage tests are performed on samples of mortar with magnesium oxide. A total of 5 mixtures were made, of which test pieces were made with dimensions of 50x50x50 mm. In the mixtures used, the content of cement, sand and water were the same, with magnesium oxide being the component that varied in percentage in each of the samples. The variation of magnesium oxide used in the samples was 0%, 2%, 4%, 6% and 8%. Each mixture was made destructive and non-destructive to determine its mechanical properties.

Keywords: (Agricultural constructions, swine facilities, magnesium oxide, mortar, concrete, permeability).

DEDICATORIAS

A MI PADRE

A ti, mi querido padre, te dedico este y cada uno de mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza, director de esta tesis, gracias por dirigir este trabajo, por sus consejos durante estos dos años, pero sobre todo gracias por el apoyo mostrado durante y después del fallecimiento de mi padre.

A Mary Chuy, mi madre, ejemplo de fortaleza, agradezco cada uno de tus consejos que me han ayudado a seguir adelante. Agradezco también el tiempo que tu dedicaste para que pudiera terminar esta maestría; eres parte fundamental en este logro personal.

A Elvick, Aarón, Edgar, Polo y Pablo, compañeros y amigos que coincidieron conmigo en el breve tiempo que duro esta maestría, gracias por el tiempo, las palabras, los buenos y malos momentos que pasamos juntos.

Al Dr. José Luis Reyes Araiza, coordinador de la maestría en construcción, agradezco cada una de sus críticas y comentarios hacia mi trabajo, todo lo tome en cuenta para intentar mejorar.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), por el financiamiento brindado para realizar este trabajo.

Y a todos los que hicieron posible la realización de este trabajo.

Muchas gracias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Tipos de sistemas de producción de carne de cerdo	2
1.2. Contaminación debida a la producción intensiva de instalaciones porcinas	4
1.2.1. Regulación ambiental para descarga de excretas porcinas	4
1.3. Descripción del problema	5
1.4. Justificación	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Objetivo general	7
2. ANTECEDENTES	8
2.1. Permeabilidad	8
2.2. ¿Qué es el mortero?	9
2.3. ¿Qué es el óxido de magnesio?	13
2.3.1. Procesos de Obtención del Oxido de Magnesio	14
2.3.2. Usos y aplicaciones del Oxido de Magnesio	16
2.4. ¿Qué es el cemento hidráulico?	17
3. METODOLOGÍA	18
3.1 Trabajo experimental	18
3.1.1. Etapa de trabajos previos a las pruebas de experimentación	19
3.1.2. Etapa de pruebas preliminares	24
3.1.3. Etapa de pruebas finales	32
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	40
4.1. Resultados obtenidos en la etapa de pruebas preliminares	40

4.1.1. Resultados obtenidos de la prueba de densidad en las probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.....	40
4.1.2. Resultados obtenidos de la prueba de absorción en 24 horas en las probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.....	42
4.1.3. Resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple en las probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.	44
4.2. Resultados obtenidos en la etapa de pruebas finales.....	53
4.2.1. Resultados obtenidos en la prueba de densidad en las probetas de mortero.....	53
4.2.2. Resultados obtenidos en la prueba de fluidez en las probetas de mortero.....	54
4.2.3. Resultados obtenidos en la prueba de absorción en 24 horas en las probetas de mortero.....	56
4.2.4. Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a compresión simple en las probetas de mortero.	58
4.2.5. Análisis de precios unitarios a las mezclas de mortero y óxido de magnesio.....	69
5. CONCLUSIONES _____	72
6. REFERENCIAS _____	74
7. ANEXO 1. TERMINOLOGÍA EMPLEADA _____	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de carne de cerdo (Miles de toneladas).	2
Figura 2. Fosa de almacenamiento drenada por gravedad utilizada como drenaje en una caseta para cerdas en etapa de maternidad en la zona de El Márquez, Querétaro.	8
Figura 3. Grafica de esfuerzos promedios obtenidos en prueba de compresión simple.	12
Figura 4. Grafica de las densidades promedio obtenidas de las muestras utilizadas en la experimentación.	13
Figura 5. Muestra de óxido de magnesio utilizado en las pruebas realizadas en la Universidad Autónoma de Querétaro.	14
Figura 6. Constancia de asistencia al Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos en la ciudad de Querétaro, Querétaro.	19
Figura 7. Constancia de asistencia al Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos en la ciudad de Mérida, Yucatán.	20
Figura 8. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa GSI Cumberland de México S. de R.L. de C.V.	21
Figura 9. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa Aplitecno S.A. de C.V.	22
Figura 10. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa Suministro y Mantenimiento Avipecuario S.A. de C.V.	23
Figura 11. Presentación de empaque de 1 kg de óxido de magnesio distribuido por la empresa Central de Drogas S.A. de C.V.	25
Figura 12. Presentación de saco con 50 kg de Cemento Portland Compuesto 30R distribuido por la empresa Moctezuma.	26
Figura 13. Moldes cúbicos de 50 x 50 x 50 mm.	27
Figura 14. Revolvedora industrial.	27
Figura 15. Maquina universal.	28

Figura 16. Probetas fabricadas para pruebas preliminares.	29
Figura 17. Pesado de probetas utilizadas en pruebas preliminares.	30
Figura 18. Probetas utilizadas en pruebas preliminares totalmente sumergidas en agua.	31
Figura 19. Pesado de probetas utilizadas en pruebas preliminares después de haber sido sumergidas en agua durante 24 horas.	31
Figura 20. Probeta colocada en la maquina universal antes de ser sometida a carga.	32
Figura 21. Óxido de magnesio.....	34
Figura 22. Arena silica 20/30.	34
Figura 23. Equipo utilizado para la prueba de fluidez.	36
Figura 24. Horno eléctrico.	36
Figura 25. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de densidad en las mezclas C/A/OX.	41
Figura 26. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de absorción en 24 horas en las mezclas C/A/OX.....	43
Figura 27. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/0%.	45
Figura 28. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/2%.	47
Figura 29. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/4%.	48
Figura 30. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/6%.	50
Figura 31. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/8%.	51
Figura 32. Grafica comparativa de los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple de las mezclas C/A/OX.....	52
Figura 33. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de densidad en las mezclas MO/OX.	54

Figura 34. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de fluidez en las mezclas MO/OX.	56
Figura 35. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de absorción en 24 horas en las mezclas MO/OX.....	58
Figura 36. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/0%.	60
Figura 37. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/2%.	62
Figura 38. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/4%.	64
Figura 39. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/6%.	66
Figura 40. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/8%.	68
Figura 41. Grafica comparativa de los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple de las mezclas MO/OX.....	68
Figura 42. Grafica de los precios unitarios para fabricar 1 m ³ la mezclas MO/OX.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Leyes que regulan la descarga de excretas porcinas.	4
Tabla 2. Normas que regulan la descarga de excretas porcinas.	5
Tabla 3. Resultados obtenidos en prueba de absorción a las 24 horas.....	11
Tabla 4. Propiedades del óxido de magnesio.	25
Tabla 5. Características del agregado fino utilizado en la experimentación.	38
Tabla 6. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.	40
Tabla 7. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%..	40
Tabla 8. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%..	40
Tabla 9. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%..	41
Tabla 10. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.	41
Tabla 11. Densidades promedio de las mezclas C/A/OX.	41
Tabla 12. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.	42
Tabla 13. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.	42
Tabla 14. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%.	42
Tabla 15. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.	43
Tabla 16. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.	43
Tabla 17. Absorción promedio de las mezclas C/A/OX.	43
Tabla 18. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.	44

Tabla 19. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.....	44
Tabla 20. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.....	45
Tabla 21. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/0% por edades de ensayo.	45
Tabla 22. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.....	46
Tabla 23. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.....	46
Tabla 24. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.....	46
Tabla 25. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/2% por edades de ensayo.	46
Tabla 26. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%.....	47
Tabla 27. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%.....	47
Tabla 28. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%.....	48
Tabla 29. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/4% por edades de ensayo.	48
Tabla 30. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.....	49
Tabla 31. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.....	49
Tabla 32. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.....	49
Tabla 33. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/6% por edades de ensayo.	49
Tabla 34. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.....	50

Tabla 35. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.....	50
Tabla 36. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.....	51
Tabla 37. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/8% por edades de ensayo..	51
Tabla 38. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	53
Tabla 39. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	53
Tabla 40. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/4%..	53
Tabla 41. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/6%..	53
Tabla 42. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/8%..	53
Tabla 43. Densidad promedio de las mezclas MO/OX.	54
Tabla 44. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/0%.....	54
Tabla 45. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/2%.....	55
Tabla 46. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/4%.....	55
Tabla 47. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/6%.....	55
Tabla 48. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/8%.....	55
Tabla 49. Fluidez promedio de las mezclas MO/OX.....	56
Tabla 50. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	56
Tabla 51. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	57
Tabla 52. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/4%..	57
<i>Fuente propia.</i>	57

Tabla 53. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.	57
Tabla 54. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/8%..	57
Tabla 55. Absorción promedio de las mezclas MO/OX.....	58
Tabla 56. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	58
Tabla 57. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	59
Tabla 58. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	59
Tabla 59. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%..	59
Tabla 60. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/0% por edades de ensayo..	59
Tabla 61. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	60
Tabla 62. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	60
Tabla 63. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	61
Tabla 64. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%..	61
Tabla 65. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/2% por edades de ensayo..	61
Tabla 66. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%..	62
Tabla 67. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%..	62
Tabla 68. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%. <i>Fuente propia.</i>	63

Tabla 69. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%.....	63
Tabla 70. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/4% por edades de ensayo..	63
Tabla 71. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.....	64
Tabla 72. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.....	64
Tabla 73. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.....	65
Tabla 74. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.....	65
Tabla 75. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/6% por edades de ensayo..	65
Tabla 76. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.....	66
Tabla 77. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.....	66
Tabla 78. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.....	67
Tabla 79. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.....	67
Tabla 80. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/8% por edades de ensayo..	67
Tabla 81. Precio unitario para la mezcla MO/OX/0%.....	69
Tabla 82. Precio unitario para la mezcla MO/OX/2%.....	69
Tabla 83. Precio unitario para la mezcla MO/OX/4%.....	70
Tabla 84. Precio unitario para la mezcla MO/OX/6%.....	70
Tabla 85. Precio unitario para la mezcla MO/OX/8%.....	70

1. INTRODUCCIÓN

Las construcciones agropecuarias son todas aquellas estructuras, cuya función está asociada a los trabajos de la producción agrícola en su acepción amplia, es decir, en la producción de cultivos o agricultura propiamente dicha; en la producción de diversas especies animales; en el manejo (almacenamiento o procesamiento) de cosechas y productos pecuarios; así como en la protección de maquinaria y equipos para los trabajos de manejo de las especies y control de los factores ambientales.

Como ejemplo de construcciones agropecuarias pueden citarse los invernaderos, bodegas para granos, silos, empacadoras de cosechas, establos, granjas avícolas y construcciones porcinas.

La particularidad más notable de las construcciones agropecuarias, a diferencia de las industriales, es que son sistemas que casi siempre trabajan con seres vivos, y estos son afectados por factores ambientales como el espacio, temperatura, humedad, radiación y viento, entre otros. Por esta razón su estudio es interdisciplinario y su diseño incluye los aspectos funcionales y estructurales.

Desde el punto de vista técnico y económico las construcciones agropecuarias tienen los siguientes objetivos fundamentales:

- Proporcionar y/o controlar las condiciones ambientales que requieren las especies vegetales en explotación y los productos agrícolas, para su óptima producción y conservación.
- Facilitar y hacer más eficiente las operaciones de trabajo, por parte del hombre, durante el proceso de producción; aumentando, así, el rendimiento de los insumos, y del capital invertido.
- Proporcionar condiciones higiénicas y seguras en las explotaciones.

En México una de las actividades agropecuarias que ha presentado un mayor crecimiento es la producción de carne de cerdo. Actualmente nuestro país está consolidado como el noveno productor a nivel mundial con una participación del 1.3% de la producción mundial de carne de cerdo, con una producción de 1.45 millones de toneladas (SAGARPA, 2017).

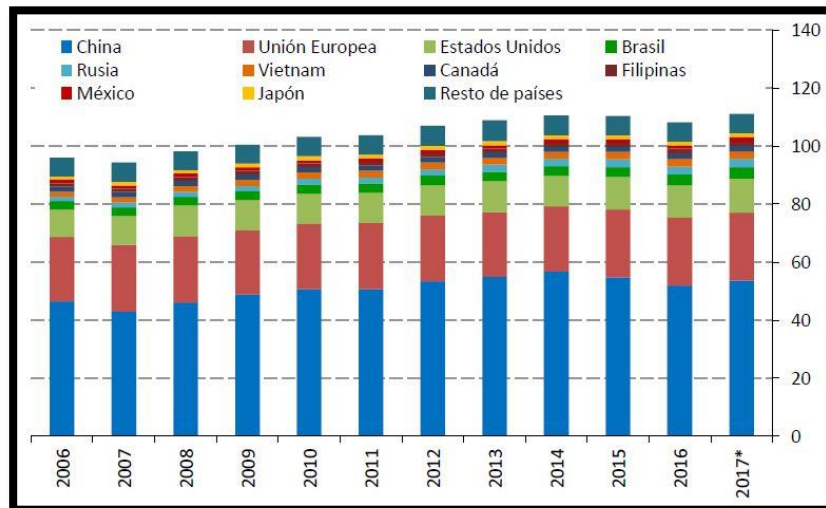


Figura 1. Producción mundial de carne de cerdo (Miles de toneladas). (SAGARPA, 2017)

El incremento en la producción de carne de cerdo ha ido emparejado a un incremento en el tamaño de las granjas porcinas; esta situación trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de este tipo de instalaciones. La contaminación generada por una granja porcina afecta al microambiente (la granja misma) y al ambiente en general. En lo que respecta al microambiente, se ha visto que la exposición a los gases producidos (amoníaco, sulfuro de hidrogeno, metano y bióxido de carbono) representa riesgos directos a la salud de los trabajadores y los cerdos en explotación.

1.1. Tipos de sistemas de producción de carne de cerdo.

En México se observan básicamente tres diferentes sistemas de producción, caracterizados por su nivel tecnológico: Sistema tecnificado, semitecnificado y de traspatio. Los dos primeros tienen una distribución geográfica definida, por el

contrario, el sistema de traspatio se presenta en todos los estados del país.

Sistema tecnificado: Se caracteriza por utilizar tecnología de punta, con adecuaciones particulares a las condiciones climatológicas donde se encuentra.

El nivel de integración es alto, lo que le permite controlar la calidad genética de la piara y estandarizar los cerdos producidos para sacrificio. Generalmente son empresas que cuentan con asesoría en la formulación de raciones de acuerdo a la disponibilidad de insumos y capacidad productiva de la piara, así como con fábrica de alimentos balanceados.

Los estados en donde es preponderante este sistema y los que se encuentran libres de enfermedades de carácter económico son prácticamente los mismos, lo que indica su preocupación sobre el control sanitario del hato. Los mercados en los cuales comercializa su producción son las principales zonas urbanas del país y la industria de carnes frías y embutidos. Este sistema de producción ha ido incrementando su participación en la producción en los últimos años; actualmente se estima que representa aproximadamente el 58% de la producción nacional y se ubica principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa y Yucatán (Lastra *et al.*, 2000).

Sistema semitecnificado: Se le nombra así porque su principal característica es la de utilizar tecnología moderna al mismo tiempo que técnicas tradicionales de manejo, sus parámetros productivos son muy variables; sin embargo, generalmente su productividad es inferior a la observada en el sistema tecnificado.

Esto es debido principalmente a que la infraestructura de las granjas y el control sanitario de las mismas no son adecuados, a lo cual se suma el empleo de alimentos comerciales, los cuales se caracterizan por cubrir los requerimientos nutrimentales de una población hipotética de cerdos. Comercializa sus productos principalmente en mercados regionales y en pequeños centros urbanos; su participación en el

mercado nacional representa alrededor del 15% y su importancia productiva disminuyó en un 5% en la última década (Lastra *et al*, 2000).

Este sistema se encuentra en todos los estados de la república, aunque es mayoritario en el Centro (Guanajuato, Michoacán, Jalisco) y Sur del país.

Sistema de traspatio: Este sistema se practica en todo el territorio nacional, incluyendo áreas urbanas, donde se tienen censados a 409, 791. Una característica importante de este sistema es que la calidad genética de los animales es baja, lo cual se traduce en bajos rendimientos productivos (Lastra *et al.*, 2000).

1.2. Contaminación debida a la producción intensiva de instalaciones porcinas

El incremento en el tamaño y capacidad de las granjas porcinas trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de estas instalaciones, sobre todo en regiones del país que presentan una alta densidad de población porcina.

1.2.1. Regulación ambiental para descarga de excretas porcinas.

En México, el control de contaminación por descargas de excretas porcinas, está regulada por las siguientes leyes y normas (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Leyes que regulan la descarga de excretas porcinas.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. 1982
Ley de aguas nacionales – 1992 - y su reglamento – 1994

Tabla 2. Normas que regulan la descarga de excretas porcinas.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Sin embargo, el principal problema de este tipo de instalaciones es la contaminación que provocan las excretas (heces + orina), ya que representan un alto riesgo de contaminación del suelo y mantos freáticos, principalmente por la aportación de nitratos, lo cual incrementa el proceso de eutrofización de los mantos acuíferos.

La contaminación producida por las excretas se provoca por el escurrimiento o filtraciones que se tienen en las construcciones que se realizan para su almacenamiento (Landín, 2005).

1.3. Descripción del problema.

El manejo que se haga de las excretas es primordial, ya que representan un alto riesgo de contaminación del suelo y mantos freáticos principalmente con nitratos y fosfatos por el escurrimiento y filtración, lo cual incrementa el proceso de eutrofización de los mantos acuíferos.

Estudios realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) arrojan como resultado que construir fosas de almacenamiento debajo del confinamiento de los animales garantiza un almacenamiento de excretas entre 96% a 98% dependiendo la etapa de producción del cerdo.

Las fosas de almacenamiento al ser una estructura para la retención de líquidos se deben de prever los problemas de filtraciones o escurrimientos debidos a los días

que serán almacenadas las excretas, por este motivo se debe mostrar interés por la permeabilidad del concreto que se utilizara en la construcción de estas fosas.

El concreto puede contener el agua, lo hace porque su estructura microscópica no permite que el líquido lo atraviese fácilmente. Sin embargo, no todos los concretos son capaces de realizar esta tarea de manera eficaz. En estos casos, pueden existir concretos 100 veces más impermeables que otros (Sika Mexicana, 2013).

1.4. Justificación.

El incremento en la producción ha ido emparejado a un incremento en el tamaño de las granjas porcinas, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a través del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, registró la existencia de 9 921 192 cabezas de ganado porcino en el país, cifra que incluye tanto a las que son criadas y explotadas en unidades de producción (8 611 401), como a las que se ubican en viviendas o actividades de traspatio (409 791).

Esta situación trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de las granjas porcinas. De ahí el motivo para efectuar el presente trabajo de investigación, se debe proveer a los productores de carne de cerdo con modelos para el manejo de excretas adecuados a las condiciones específicas de cada granja, además de utilizar materiales para la construcción que ayuden a reducir el potencial contaminante de los residuos que esta actividad genera.

El uso de concretos de baja permeabilidad en estructuras utilizadas para la retención de agua mantiene el agua dentro o fuera según sea necesario, además de reducir el riesgo de corrosión por lo cual se tiene una mayor durabilidad en la estructura.

1.5. Hipótesis.

El uso de una mezcla de concreto y óxido de magnesio presenta baja permeabilidad y puede ser utilizado como principal material en la construcción de fosas de almacenamiento drenadas por gravedad utilizadas como sistema de drenaje en naves porcinas, reduciendo la filtración de líquidos en comparación con una mezcla de concreto convencional.

1.6. Objetivo general.

Evaluar la absorción de una mezcla de concreto, para determinar si existe una reducción en la filtración de líquidos en comparación a una mezcla de concreto común, de acuerdo a las pruebas y lineamientos estipulados en American Society for Testing and Materials-Construction (ASTM-C) y las Normas Mexicanas- Construcción (NMX-C).

2. ANTECEDENTES

Las fosas de almacenamiento bajo suelo enrejillado es un sistema bastante simple pero eficaz, ya que su función es almacenar las excretas para posteriormente ser vaciadas por medio de gravedad. El vaciado de fosas por medio de la gravedad es el método más sencillo y económico, aunque también está el vaciado mediante bombeo o mediante chorro de agua.



Figura 2. Fosa de almacenamiento drenada por gravedad utilizada como drenaje en una caseta para cerdas en etapa de maternidad en la zona de El Márquez, Querétaro.

Es obligación de los ingenieros o cualquier autoridad involucrada en el diseño y construcción de estas fosas de almacenamiento, utilizar materiales para su construcción que eviten o reduzcan al mínimo las filtraciones o escurrimientos de excretas que se pudieran presentar en las fosas; ya que en esencia son estructuras para la retención de líquidos.

2.1. Permeabilidad.

Hablando estrictamente, la permeabilidad se refiere al flujo a través de un medio poroso. Ahora, el movimiento de los fluidos a través del concreto sucede no solamente por el flujo a través del sistema poroso, sino también por difusión y por

absorción, así que nuestro interés está realmente en la penetrabilidad del concreto (Neville, 1999).

En la actualidad las fosas de almacenamiento bajo suelo enrejillado (slats de concreto o plástico) es el sistema más utilizado como drenaje para la evacuación de excretas dentro de las naves o casetas porcinas; este sistema consiste en depósitos con capacidad variable, generalmente construidas con tabique o concreto armado para los muros laterales y firme de concreto en la parte inferior, todo esto cubierto de mortero con acabado pulido para facilitar el movimiento de las excretas en el momento de ser evacuadas de la nave o caseta.

Como ya se mencionó antes, uno de los elementos principales para la construcción de las fosas es el revestimiento de mortero que se le hace a toda la fosa. El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos, agua y posibles aditivos.

2.2. ¿Qué es el mortero?

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos, agua y posibles aditivos.

La dosificación de los morteros varía según los materiales y el destino de la mezcla. Se elaboran comúnmente en forma manual, mecánicamente o bien, premezclados.

Es amplia la utilización de morteros, de cemento, de cal o mixtos; destacando su empleo en mamposterías, aplanados, recubrimientos y pegado de piezas diversas.

La reglamentación básica en cuanto a morteros se encuentra en las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de

mampostería del reglamento para construcciones del distrito federal, que son esencialmente las mismas que se utilizan en todos los reglamentos de construcción de las diferentes entidades federativas que conforman nuestro país.

La especificación de la resistencia mínima a compresión en morteros para mampostería de piedras artificiales es de 40.0 kg/cm², mientras para mampostería de piedras naturales es de 15.0 kg/cm² (Del Distrito Federal, G. 2004).

También contamos con la norma mexicana NMX-C486-ONNCCE-2014, la cual establece las especificaciones y métodos de ensayo que debe cumplir el mortero a base de cemento y/o cal hidratada; para la construcción de elementos de mampostería de uso estructural. Es importante mencionar que esta norma mexicana es aplicable al mortero para uso estructural en elemento de mampostería, ya sea pre-dosificado o hecho en obra.

La permeabilidad en el concreto o mortero es la cantidad de agua que migra a través de la mezcla, mientras que el agua está bajo presión, o bien, dicho con otras palabras, la permeabilidad es la habilidad de la mezcla a resistir la penetración del agua u otras sustancias.

Para conseguir mezclas de concretos o en este caso de mortero de baja permeabilidad se deben considerar dos etapas:

- Reducir la relación de Agua y Cemento (A/C), lo cual aumenta la densidad de la mezcla.
- Bloquear los poros capilares restantes mediante Aditivos Reductores de la Permeabilidad (ARP)

En el año 2017, en un estudio realizado en la Universidad Autónoma de Querétaro, se investigaron algunas de las propiedades mecánicas de una mezcla

de concreto por métodos destructivos y no destructivos, en cual se utilizaron oxido de magnesio como aditivo y poliestireno expandido reciclado proveniente de desperdicios de empaques y embalajes de aparatos electrónicos, este último se utilizó como sustituto de las arenas y gravas (Hernández-Zaragoza *et al*, 2017).

En las pruebas realizadas todas las muestras tenían la misma cantidad de cemento, agua y poliestireno expandido, siendo el óxido de magnesio el componente que tenía una variación en el porcentaje de cada una de las muestras, el cual iba desde un 0% hasta un 8%.

Para las pruebas de absorción a las 24 horas se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenidos en prueba de absorción a las 24 horas. (Hernández-Zaragoza *et al*, 2017)

Absorción a 24 horas			
Muestra	Peso Sumergido (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción (%)
Ox0	195.20	182.3	7.08
Ox2	173.82	164.2	5.86
Ox4	170.82	162.93	4.84
Ox6	166.03	158.98	4.43
Ox8	179.81	172.97	3.95

Los resultados mostrados en la tabla 3 indican que el comportamiento de la mezcla es inversamente proporcional al agregar cantidades más grandes de óxido de magnesio, lo cual indica que si la mezcla contiene un mayor porcentaje de óxido de magnesio la absorción es menor.

En las pruebas de compresión simple se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 3.

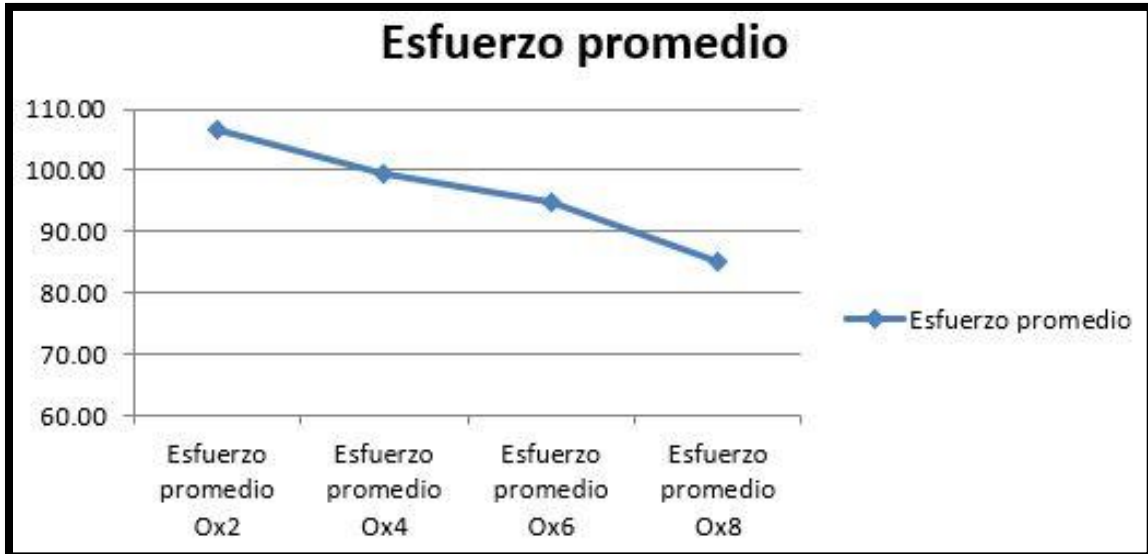


Figura 3. Grafica de esfuerzos promedios obtenidos en prueba de compresión simple. (Hernández-Zaragoza *et al*, 2017).

Se puede observar que al incorporar una mayor cantidad de óxido de magnesio a la mezcla de mortero se afecta directamente el esfuerzo a la compresión, es decir, que entre mayor sea la cantidad de óxido de magnesio menor es el esfuerzo (kg/cm²) que soporta.

En la figura 4 se observa una reducción en las densidades de las diferentes mezclas, el comportamiento mostrado es inversamente proporcional al incrementar la cantidad de óxido de magnesio a la mezcla.



Figura 4. Grafica de las densidades promedio obtenidas de las muestras utilizadas en la experimentación. (Hernández-Zaragoza *et al*, 2017)

2.3. ¿Qué es el óxido de magnesio?

Es importante mencionar que el óxido de magnesio es un material en forma de polvo de color blanco, inodoro, insoluble en agua, conocido también como magnesia, se obtiene de un proceso de calcinación controlado producto de la combinación con el oxígeno, su fórmula química es MgO y se compone de un enrejado de iones de Mg²⁺ y los iones O²⁻ unidos por un enlace iónico, su punto de ebullición se presenta a los 3,600°C y su punto de fusión en los 2,852°C.

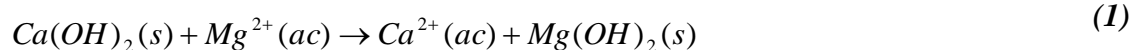


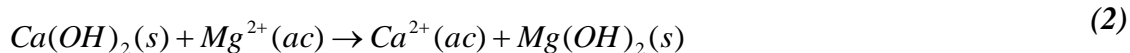
Figura 5. Muestra de óxido de magnesio utilizado en las pruebas realizadas en la Universidad Autónoma de Querétaro. *Fuente propia.*

2.3.1. Procesos de Obtención del Óxido de Magnesio

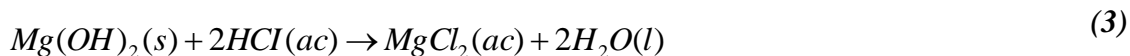
La cantidad presente de óxido de magnesio presente en la naturaleza es suficiente para cubrir todas nuestras necesidades, pues magnesio es un mineral que se encuentra fácilmente en la naturaleza, está presente en el agua de los océanos, es el tercer ion más común en el agua de mar, después del sodio y del cloruro, en una proporción de un millón de toneladas por cada km^3 (Rayner-Canham et al., 2000).

A continuación se describe el proceso de obtención del óxido de magnesio descrito por (Rayner-Canham et al., 2000) el cual habla de los procesos utilizados por la compañía Dow Chemical, el cual se basa en el principio que el hidróxido es menos soluble que el hidróxido de calcio. Mediante en el agua de mar de hidróxido de calcio pulverizado, origina la formación de hidróxido de magnesio.





El hidróxido de magnesio se separa por filtración y se mezcla con el ácido clorhídrico. La reacción de neutralización resultante da una solución de cloruro de magnesio:



La solución se evapora a sequedad y el residuo se coloca en una celda electrolítica similar a la celda Downs que se utiliza en la producción de sodio. El magnesio se acumula en la superficie del compartimiento catódico y se extrae por succión. El cloro gaseoso que se produce en el ánodo se reduce de nuevo a cloruro de hidrogeno, el cual se hace reaccionar entonces con más hidróxido de magnesio:



El magnesio metálico se oxida lentamente en el aire a temperatura ambiente, pero con gran vigor cuando se calienta. Al arder, el magnesio despide luz intensa.



El magnesio encendido reacciona incluso con el dióxido de carbono para dar oxido de magnesio y carbono.



Enseguida se presenta otra manera de obtener oxido de magnesio, método que es descrito por el autor (Formosa, 2012) en su tesis doctoral "Formulaciones de

nuevos morteros y cementos especiales basadas en productos de magnesio”, en el cual describe la forma de trabajar de la empresa Magnesitas Navarras S.A. la cual centra su principal actividad en la obtención de óxido de magnesio (MgO).

El método de obtención es a partir de la calcinación de menas naturales ricas en magnesita ($MgCO_3$), ubicadas en la localidad de Zaburi (Navarra, España). Esta empresa Calcina alrededor de 450,000 toneladas anuales de magnesita para obtener 170,000 toneladas de Oxido de magnesio. En la figura 1.1 se describe el proceso utilizado por las instalaciones de la planta de Zaburi para la obtención de óxido de magnesio. Poner imagen de proceso de obtención del óxido de magnesio.

2.3.2. Usos y aplicaciones del Oxido de Magnesio

Al oxido de magnesio se le pueden dar diferentes usos y aplicaciones como aplicaciones en fertilizantes, tratamiento de aguas residuales, procesos químicos industriales y en la industria farmacéutica (Marketizer.com, 2016), dependiendo de la reactividad de este la cual depende de la temperatura que se utilizó para producirse. El autor (Alvarez, 2016) en su tesis doctoral “Estudio del proceso de Condensación de Knoevenagel catalizado por sistemas basados en óxido de magnesio modificado”, describe los usos que se le puede dar al oxido de magnesio dependiendo la temperatura de calcinación que se utilizó para obtener este.

- Entre 700 °C y 1000 °C, se obtiene un producto de una amplia variedad de aplicaciones industriales, tales como pigmento para pintura, relleno para papel y otros materiales sintéticos. Se trata de una magnesia en forma reactiva, que a veces se llama magnesia cáustica.
- Entre 1000 °C y 1500 °C, se obtiene un producto químicamente menos reactivo que es muy adecuado para aplicaciones que requieren un lento deterioro: fertilizantes, suplementos alimenticios para el ganado, etc.

Entre 1500 °C y 2000 °C, la magnesia obtenida se denomina "sinterizada" y es muy estable, incluso a alta temperatura. Encuentra su principal uso como material

refractario: ladrillos para hornos, crisoles de revestimiento interno utilizados en la metalurgia, retardante de llama para la industria de la construcción, etc.

2.4. ¿Qué es el cemento hidráulico?

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas. Esta categoría tecnológicamente importante de materiales incluye no solo el cemento sino también limos, asfaltos y alquitranes, tal como se usan en la construcción de carreteras y otros. Para la fabricación del concreto estructural se utilizan exclusivamente los llamados cementos hidráulicos. Para completar el proceso químico (hidratación) mediante el cual el polvo de cemento fragua y endurece para convertirse en una masa sólida se requiere la adición de agua. De los diferentes cementos hidráulicos desarrollados, el cemento Portland, patentado por primera vez en Inglaterra en 1824, es el más común de todos (Nilson, 2010).

El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio. Las materias primas usuales a partir de las cuales se fabrica son calizas que proporcionan el CaO y arcillas y esquistos que proveen el SiO_2 y el Al_2O_3 . Estos materiales se muelen, se mezclan, se funden en hornos hasta obtener el llamado clinker, se enfrían y se muelen de nuevo para lograr la finura requerida. Cuando el cemento se mezcla con el agua para conformar una pasta suave, esta se rigidiza gradualmente hasta conformar una masa sólida. Este proceso se conoce como fraguado y endurecimiento. Se dice que el cemento ha fraguado cuando ha ganado la suficiente rigidez para resistir una presión arbitrariamente definida, punto a partir del cual continúa endureciendo durante un largo tiempo, o sea que sigue ganando resistencia (Nilson, 2010).

3. METODOLOGÍA

La metodología consta de pruebas experimentales, las cuales se realizan de una manera planificada y ordenada con el único fin de obtener las propiedades físicas y mecánicas de interés para esta investigación.

Las pruebas que aquí se muestran están regidas por la siguiente normatividad internacional y nacional:

- ASTM (American Society for Testing Material).
- NOM (Normas Oficiales Mexicanas).
- NTC-2004 (Normas Técnicas Complementarias).

Todas las pruebas realizadas para esta investigación, fueron realizadas en el laboratorio de suelos y el laboratorio de geotecnia ambiental, ambos laboratorios se encuentran ubicados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro y cuentan con el equipo manual y mecánico que cumplen con los estándares que describen las normas utilizadas en cada una de las pruebas.

Para los procedimientos y especificaciones que no se describan, se hará referencia a la norma utilizada.

3.1 Trabajo experimental.

La experimentación para este proyecto se desarrolló en tres etapas, las cuales son:

- I. Etapa de trabajos previos a la experimentación.
- II. Etapa de pruebas preliminares.
- III. Etapa de pruebas finales.

Y se describen a continuación.

3.1.1. Etapa de trabajos previos a las pruebas de experimentación.

En esta etapa, se plantean diferentes actividades como visitas a granjas porcinas y asistencia a congresos nacionales enfocados a la crianza del cerdo y la producción de su carne, fueron necesarias para tener un panorama de la situación actual de este sector.

3.1.1.1. Inscripción a congresos relacionados con el sector porcino.

La construcción de instalaciones porcinas requiere una colaboración multidisciplinaria para obtener granjas eficientes y funcionales.

Médicos Veterinarios Zootecnistas, Ingenieros industriales, Ingenieros civiles, Ingenieros en automatización; son algunos de los profesionistas que se pueden encontrar en los congresos relacionados con el sector porcino, ya que es necesario saber cuáles son las últimas tendencias en la crianza de este animal para ofrecer al cliente los equipos o instalaciones más novedosos.



Figura 6. Constancia de asistencia al Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos en la ciudad de Querétaro, Querétaro. *Fuente propia.*



Figura 7. Constancia de asistencia al Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos en la ciudad de Mérida, Yucatán. *Fuente propia.*

3.1.1.2. Visitas a granjas porcinas.

Las visitas a las granjas fueron realizadas gracias al apoyo de diferentes compañías dedicadas al diseño, construcción y equipamiento de diferentes instalaciones para el sector agropecuario, pero todas especialistas en el sector porcino.

Cada empresa que colaboro en esta etapa de la investigación, era informada mediante una carta de consentimiento que, al ser firmada, autorizaban que toda la información obtenida durante la visita a las distintas granjas podía ser divulgada siempre y cuando sea de manera anónima y no afecte a los intereses de la empresa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Santiago de Querétaro, Qro. 11 de mayo de 2017

Ing. Bogar Martínez
Jefe de Proyectos.
GSI Cumberland de México S. de R.L. de C.V.

Por medio de este conducto se hace la invitación a participar en el proyecto de investigación titulado "Diseño de una mezcla de mortero con baja permeabilidad para el recubrimiento de fosas de almacenamiento dentro de naves porcinas" a cargo del alumno Carlos Eduardo Hernández Arreguín, que actualmente cursa la Maestría en Ciencias con línea terminal en Construcción de la división de investigación y posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

El objetivo de solicitar información es para conocer los elementos que forman parte de una nave porcina; para el estudio, usted deberá contestar algunas preguntas y también le serán solicitados algunos datos generales.

Al firmar este documento usted da autorización para lo siguiente:

- Autoriza tomar fotografías dentro de sus instalaciones en zonas de interés para la investigación.
- Autoriza el manejo de los datos obtenidos y esta enterado que los datos serán utilizados exclusivamente para los fines de la presente investigación y serán analizados de manera agregada y no individualmente.
- Autoriza la divulgación de datos obtenidos dentro de sus instalaciones siempre y cuando se haga de manera anónima y no afecte los intereses de la empresa a la que representa.

Es importante señalar que su anonimato esta garantizado y usted esta en la libertad de abandonar su participación en esta investigación en cualquier momento sin tener que dar explicación alguna.

Ing. Bogar Martínez
Jefe de proyectos
GSI Cumberland de México S. de R.L. de C.V.

Ing. Carlos Eduardo Hernández Arreguín
Estudiante

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Director de Tesis

Dr. José Luis Reyes Araiza
Coordinador de la Maestría en Construcción

Figura 8. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa GSI Cumberland de México S. de R.L. de C.V. *Fuente propia.*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Santiago de Querétaro, Qro. 18 de enero de 2018

Sr. Francisco Poveda Morales
Gerente de Ventas.
Aplitecno S.A. de C.V.

Por medio de este conducto se hace la invitación a participar en el proyecto de investigación titulado "Diseño de una mezcla de mortero con baja permeabilidad para el recubrimiento de fosas de almacenamiento dentro de naves porcinas" a cargo del alumno Carlos Eduardo Hernández Arreguín, que actualmente cursa la Maestría en Ciencias con línea terminal en Construcción de la división de investigación y posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.


El objetivo de solicitar información es para conocer los elementos que forman parte de una nave porcina; para el estudio, usted deberá contestar algunas preguntas y también le serán solicitados algunos datos generales.

Al firmar este documento usted da autorización para lo siguiente:

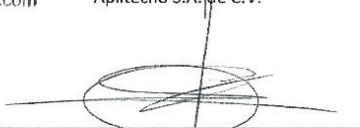
- Autoriza tomar fotografías dentro de sus instalaciones en zonas de interés para la investigación.
- Autoriza el manejo de los datos obtenidos y esta enterado que los datos serán utilizados exclusivamente para los fines de la presente investigación y serán analizados de manera agregada y no individualmente.
- Autoriza la divulgación de datos obtenidos dentro de sus instalaciones siempre y cuando se haga de manera anónima y no afecte los intereses de la empresa a la que representa.

Es importante señalar que su anonimato esta garantizado y usted esta en la libertad de abandonar su participación en esta investigación en cualquier momento sin tener que dar explicación alguna.

APLITECNO, S.A. DE C.V.
Instalaciones Agroindustriales
Lázaro Cárdenas # 612 Col. Rancho Seco C.P. 38070
Celaya, Qro. México R.F.C. APL-010724-81A
Tel: 01 (461) 818-4167 Tel/Fax 01 (461) 818-4166
Email: aplitecno@aplitecno.com


Sr. Francisco Poveda Morales
Gerente de Ventas
Aplitecno S.A. de C.V.


Ing. Carlos Eduardo Hernández Arreguín
Estudiante


Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Director de Tesis


Dr. José Luis Reyes Araiza
Coordinador de la Maestría en Construcción

Figura 9. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa Aplitecno S.A. de C.V. *Fuente propia.*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Santiago de Querétaro, Qro. 1 de junio de 2018

Sr. Juan Carlos Rentería Machuca
Gerente General.
Suministro y Mantenimiento Avipecuario S.A. de C.V.

Por medio de este conducto se hace la invitación a participar en el proyecto de investigación titulado "Diseño de una mezcla de mortero con baja permeabilidad para el recubrimiento de fosas de almacenamiento dentro de naves porcinas" a cargo del alumno Carlos Eduardo Hernández Arreguín, que actualmente cursa la Maestría en Ciencias con línea terminal en Construcción de la división de investigación y posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

El objetivo de solicitar información es para conocer los elementos que forman parte de una nave porcina; para el estudio, usted deberá contestar algunas preguntas y también le serán solicitados algunos datos generales.

Al firmar este documento usted da autorización para lo siguiente:

- Autoriza tomar fotografías dentro de sus instalaciones en zonas de interés para la investigación.
- Autoriza el manejo de los datos obtenidos y esta enterado que los datos serán utilizados exclusivamente para los fines de la presente investigación y serán analizados de manera agregada y no individualmente.
- Autoriza la divulgación de datos obtenidos dentro de sus instalaciones siempre y cuando se haga de manera anónima y no afecte los intereses de la empresa a la que representa.

Es importante señalar que el anonimato está garantizado y usted está en la libertad de abandonar su participación en esta investigación en cualquier momento sin tener que dar explicación alguna.



Sr. Juan Carlos Rentería Machuca
Gerente de General
Suministro y Mantenimiento Avipecuario S.A. de C.V.

Ing. Carlos Eduardo Hernández Arreguín
Estudiante

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Director de Tesis

Dr. José Luis Reyes Araiza
Coordinador de la Maestría en Construcción

Figura 10. Carta con firma y autorización para la divulgación de la información obtenida por parte de la empresa Suministro y Mantenimiento Avipecuario S.A. de C.V. *Fuente propia.*

3.1.1.3. Equipo.

A continuación, se menciona el equipo indispensable utilizado en esta etapa.

3.1.1.3.1. Cámara fotográfica.

Cámara fotográfica de 12 mega pixeles incorporada en teléfono celular de la marca Apple.

3.1.2. Etapa de pruebas preliminares.

Para comenzar con las pruebas preliminares, se decidió hacer mezclas de pasta donde los componentes eran cemento portland compuesto, agua y oxido de magnesio.

Se utilizaron 5 mezclas, de las cuales se fabricaron cuarenta y cinco probetas, nueve probetas para cada mezcla.

Para todas las mezclas se utilizó la misma cantidad de cemento portland compuesto y agua. El único componente que tuvo variación en cuanto a la cantidad de material que se agregaba a la mezcla, fue el óxido de magnesio.

Para la elaboración de los especímenes, se utilizaron moldes de 50x50x50 mm de acuerdo con la norma ASTM C-109.

Las pruebas realizadas a las probetas en esta etapa fueron:

- 1.- Densidad.
- 2.- Absorción en 24 horas.
- 3.- Resistencia a compresión simple.

Todos los resultados obtenidos de las mezclas de pastas donde se incorporó óxido de magnesio fueron analizadas en contraste con los resultados obtenidos de la mezcla de pasta donde no se incorporó cantidad alguna de óxido de magnesio.

3.1.2.1. Materiales y equipo.

A continuación, se mencionan los materiales y equipos más importantes para la realización de esta etapa de pruebas preliminares.

3.1.2.1.1. Materiales.

3.1.2.1.1.1. Óxido de Magnesio.

El óxido de magnesio que se utilizó en este proyecto es distribuido por la empresa Central de Drogas S.A. de C.V. en el municipio de Naucalpan en el Estado de México. En la tabla 4 se indican algunas propiedades de este material proporcionadas por la empresa Central de Drogas S.A. de C.V.

Tabla 4. Propiedades del óxido de magnesio. (Central de Drogas S.A. de C.V.)

Óxido de Magnesio	
Especificaciones	Resultados
Descripción	Polvo blanco
Densidad	0.361 g/ml
Humedad	0.50%

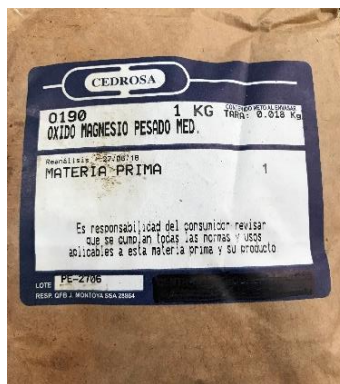


Figura 11. Presentación de empaque de 1 kg de óxido de magnesio distribuido por la empresa Central de Drogas S.A. de C.V. *Fuente propia.*

3.1.2.1.1.2. Cemento Portland compuesto.

Se trabajó con un Cemento Portland Compuesto 30R comercialmente disponible fabricada por la empresa cementera Moctezuma en México. Este cemento cumple con los lineamientos establecidos en la norma vigente mexicana la NMX- C-414-ONNCCE-2009 “Industria de la Construcción –Cementos Hidráulicos- Especificaciones y métodos de prueba”.



Figura 12. Presentación de saco con 50 kg de Cemento Portland Compuesto 30R distribuido por la empresa Moctezuma. (*Moctezuma*).

3.1.2.1.1.3. Agua de mezclado.

El agua utilizada para la creación de los cubos de pasta de cemento y óxido de magnesio. tiene la característica de ser potable, adecuada para consumo humano; el análisis y muestreo de las partículas contenidas en el agua no fueron requeridas.

3.1.2.1.2. Equipo.

3.1.2.1.2.1. Moldes.

Fueron utilizados moldes con dimensiones de 50x50x50 mm, para la realización de cubos de pasta de cemento y óxido de magnesio, que cumplen con la normativa ASTM C-109.

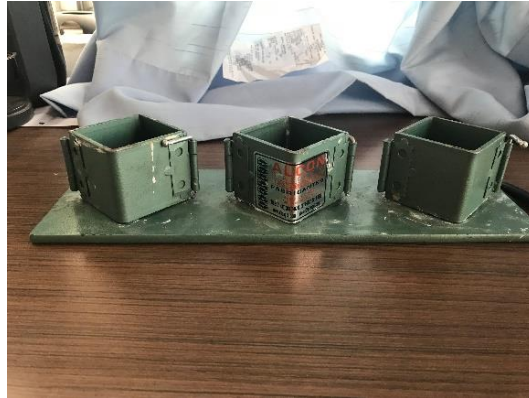


Figura 13. Moldes cúbicos de 50 x 50 x 50 mm. *Fuente propia.*

3.1.2.1.2.2. Revolvedora estándar.

Se utilizó una revolvedora industrial para la realización de las pastas de cemento y óxido de magnesio, la revolvedora cuenta con tres velocidades y con una capacidad de 25 litros acorde a la ASTM C-305.



Figura 14. Revolvedora industrial. *Fuente propia.*

3.1.2.1.2.3. Maquina Universal.

Se utilizó, para el ensayo de compresión, una maquina universal de la marca Tinius Olsen de tracción hidráulica capaz de ensayar materiales a tensión y compresión hasta 30 toneladas fuerza, el cual cumplió con las especificaciones para realizar este tipo de ensayos.

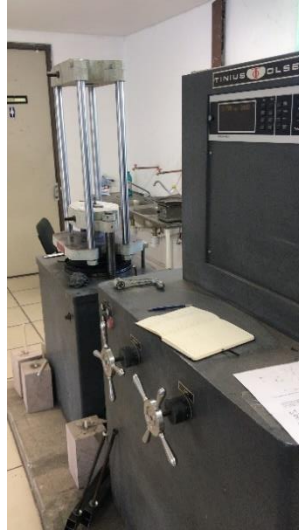


Figura 15. Maquina universal. Fuente propia.

3.1.2.1.3. Muestras de cemento, agua y oxido de magnesio

En esta etapa de la investigación, el cemento fue usado para la preparación de mezclas incorporando el óxido de magnesio; además, el cemento se utilizó para elaborar muestras de referencia.

Se tomaron las siguientes concentraciones de óxido de magnesio: 0%, 2%, 4%, 6% y 8% con respecto al peso del cemento.

La combinación del cemento con el óxido de magnesio se realizó en estado seco mediante un proceso de homogenización manual. Un total de 5 mezclas fueron realizadas y llamadas como C/A/OX/0%, C/A/OX/2%, C/A/OX/4%, C/A/OX/6% y C/A/OX/8% respectivamente.



Figura 16. Probetas fabricadas para pruebas preliminares. *Fuente propia.*

3.1.2.2. Prueba de densidad a probetas de cemento, agua y óxido de magnesio.

Esta prueba se realizó en el laboratorio mediante el uso de un vernier electrónico para medir la sección transversal y la altura de cada una de las probetas de PL, posteriormente se pesaron y finalmente la densidad se calculó mediante la ecuación

$$\rho = \frac{W_s}{V} \quad (8)$$

En donde:

Ws: Peso de la probeta en estado seco, (kg).

V: Volumen de la probeta, (m³).



Figura 17. Pesado de probetas utilizadas en pruebas preliminares. *Fuente propia.*

3.1.2.3. Prueba de absorción en 24 horas a probetas de cemento, agua y óxido de magnesio.

La prueba de absorción consiste en determinar la cantidad de agua absorbida por el espécimen en 24 horas. Según la norma ASTM C 67-03 se pesa el espécimen, posteriormente se somete a inmersión total en agua a fría donde permanece durante 24 horas, después se extrae del agua y se seca su superficie; por último, se pesa nuevamente la probeta. La absorción se calcula de manera con la siguiente ecuación:

$$Absorción = \frac{W_{24h} - W_s}{W_s} \times 100 \quad (9)$$

En donde:

W_{24h}: Peso del espécimen después de inmersión en agua por 24 horas, (kg).

W_s: Peso del espécimen en estado seco, (kg).



Figura 18. Probetas utilizadas en pruebas preliminares totalmente sumergidas en agua. *Fuente propia.*



Figura 19. Pesado de probetas utilizadas en pruebas preliminares después de haber sido sumergidas en agua durante 24 horas. *Fuente propia.*

3.1.2.4. Prueba de resistencia a compresión simple a probetas de cemento, agua y óxido de magnesio.

El mezclado fue realizado conforme a lo establecido en la norma ASTM C-305 para mezclas de pastas y morteros. Las muestras fueron preparadas en moldes cúbicos de 50x50x50 mm conforme a la ASTM C-109. Los especímenes fueron guardados por 24 horas. Al final de esta duración, los especímenes fueron desmoldados y curados acordes a la norma ASTM C-192. Los especímenes fueron ensayados a compresión conforme a la ASTM C-109 a una edad de curado de 28, 14 y 3 días.

Para obtener la resistencia a compresión de las probetas se utiliza la ecuación 10.

$$R_c = \frac{F_c}{S} \quad (10)$$

En donde:

R_c = resistencia a compresión de la probeta, (kgf/cm²).

F_c = carga máxima soportada durante la prueba, (kgf).

S = sección transversal de la probeta, (cm²).



Figura 20. Probeta colocada en la maquina universal antes de ser sometida a carga. *Fuente propia.*

3.1.3. Etapa de pruebas finales.

Posterior a las pruebas preliminares, se comenzó con la preparación de las mezclas de mortero, donde los componentes eran cemento portland compuesto, arena, agua y oxido de magnesio.

Nuevamente se utilizaron 5 mezclas, de las cuales se fabricaron sesenta probetas, doce probetas para cada mezcla.

Para todas las mezclas se utilizó la misma cantidad de cemento portland compuesto, arena y agua. El único componente que tuvo variación en cuanto a la cantidad de material que se agregaba a la mezcla, fue el óxido de magnesio.

Para la elaboración de los especímenes, se utilizaron moldes de 50x50x50 mm de acuerdo con la norma ASTM C-109.

Las pruebas realizadas a las probetas en esta etapa fueron:

- 1.- Densidad.
- 2.- Fluidez.
- 3.- Absorción en 24 horas.
- 4.- Resistencia a compresión simple.

Todos los resultados obtenidos de las mezclas de mortero donde se incorporó óxido de magnesio fueron analizadas en contraste con los resultados obtenidos de la mezcla de mortero donde no se incorporó cantidad alguna de óxido de magnesio.

Además, se realizó un análisis de precios unitarios del material utilizado para la fabricación de las cinco diferentes mezclas, esto con el único fin de conocer los incrementos en el precio que se tendría si se deseara utilizar óxido de magnesio en la construcción de las fosas de almacenamiento dentro de las naves porcinas.

3.1.3.1. Materiales y equipo.

A continuación, se mencionan los materiales y equipos más importantes para la realización de esta etapa de pruebas preliminares.

3.1.3.1.1. Materiales.

3.1.3.1.1.1. Óxido de Magnesio.

Se utilizó el mismo óxido de magnesio de la etapa de pruebas preliminares, distribuido por la empresa Central de Drogas S.A. de C.V. en el municipio de Naucalpan en el Estado de México.



Figura 21. Óxido de magnesio. *Fuente propia.*

3.1.3.1.1.2. Agregado fino.

El agregado fino utilizado en esta investigación es una arena sílica de granulometría 20/30, distribuida por la empresa PIBSA BAJIO S.A. de C.V. en el municipio de Apaseo el Alto en el Estado de Guanajuato.



Figura 22. Arena sílica 20/30. *Fuente propia.*

3.1.3.1.1.3. Cemento Portland compuesto.

Se trabajó con el mismo cemento de la fase de pruebas preliminares, CPC 30R fabricado por la empresa cementera Moctezuma en México.

3.1.3.1.1.4. Agua de mezclado.

El agua utilizada para la creación de los cubos de mortero fue la misma que se utilizó en la etapa de las pruebas preliminares.

3.1.3.1.2. Equipo.

3.1.3.1.2.1. Moldes.

Fueron utilizados moldes con dimensiones de 50x50x50 mm, para la realización de cubos de mortero, que cumplen con la normativa ASTM C-109.

3.1.3.1.2.2. Revolvedora estándar.

Se utilizó una revolvedora industrial igual a la fase de pruebas preliminares para la realización de mezclas de mortero.

3.1.3.1.2.3. Mesa de fluidez y tronco cono de bronce.

La mesa de fluidez como lo establece la ASTM C-1437 con especificación de la ASTM C-311 y ASTM C-109.



Figura 23. Equipo utilizado para la prueba de fluidez. *Fuente propia.*

3.1.3.1.2.4. Maquina Universal.

Se utilizó la maquina universal de la marca Tinius Olsen igual que en la fase pruebas preliminares.

3.1.3.1.2.5. Horno eléctrico.

Un horno de la marca Felisa capaz de mantener una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ fue utilizado en el proceso de caracterización del agregado fino.



Figura 24. Horno eléctrico. *Fuente propia.*

3.1.3.1.3. Muestras de mortero.

Para esta etapa de pruebas finales, el cemento y la arena fueron usados para la preparación de mezclas incorporando como ultimo componente de la mezcla el óxido de magnesio; además, el cemento y la arena se utilizaron para elaborar muestras de referencia.

Se tomaron las siguientes concentraciones de óxido de magnesio: 0%, 2%, 4%, 6% y 8% con respecto al peso del cemento, de la misma forma en que se hicieron las mezclas en la etapa de pruebas preliminares.

La combinación del cemento, arena y oxido de magnesio se realizó en estado seco mediante un proceso de homogenización manual igual que la etapa de pruebas preliminares. Un total de 5 mezclas fueron realizadas y llamadas como MO/OX/0%, MO/OX/2%, MO/OX/4%, MO/OX/6% y MO/OX/8% respectivamente.

3.1.3.1.4. Caracterización del agregado fino.

Una caracterización fue realizada para determinar las condiciones que presenta el agregado fino antes de ser utilizado en la preparación de las mezclas de mortero, la Tabla 5 muestra las distintas pruebas que se realizaron con respecto a la normativa.

De acuerdo a las especificaciones del agregado fino, la arena sílica utilizada se encuentra dentro de los límites tolerables. La humedad superficial en estado natural proporciona información acerca de las condiciones de humedad en las que se encuentra la arena antes de convertirse en agregado fino para una mezcla cementicia. Más específico, indica la humedad libre, donde esta se refiere a la película superficial de agua que rodea el agregado fino; la humedad libre es igual a la diferencia entre la humedad total y la absorción del agregado, donde la humedad total es aquella que se define como la cantidad total que posee un agregado. Cuando la humedad libre es positiva se dice que el agregado está aportando agua

a la mezcla, para el diseño de mezclas es importante saber esta propiedad; y en los agregados aparentemente secos la humedad es negativa se dice que el agregado está quitando agua a la mezcla.

Tabla 5. Características del agregado fino utilizado en la experimentación. *Fuente propia.*

Prueba	Normatividad	Resultados
Humedad superficial en condición saturada superficialmente seco.	ASTM C-70	Humedad: 0.14%
Gravedad específica	ASTM C-128	Gravedad específica (seco): 2.61 Gravedad específica (saturado superficialmente seco): 2.612 Gravedad específica (aparente): 2.62
Absorción	ASTM C-128	Absorción: 0.2%
Contenido de humedad evaporable	ASTM C-566	Humedad evaporable: 0.133%
Humedad superficial en estado natural	ASTM C-566	Humedad superficial: -0.0673%

3.1.3.2. Prueba de densidad a probetas de mortero.

Para esta prueba se realizó el mismo procedimiento que se describe en el apartado 3.1.2.2 Prueba de densidad a probetas de cemento, agua y óxido de magnesio.

3.1.3.3. Prueba de fluidez a mezclas de mortero.

Esta prueba consiste en colocar el cono sobre la mesa de fluidez, colocar una capa de mortero y apisonarlo con 25 golpes de la varilla, esto se debe de hacer en 3 capas hasta llegar a la superficie superior del cono y enrasar. Posteriormente se retira el cono de fluidez y en la mesa de fluidez se aplican 25 golpes para que la muestra de mortero se expanda, se termina el ensayo midiendo el diámetro final de la masa de mortero. La fluidez se calcula por medio de la ecuación siguiente:

$$Fluidez = \frac{D_p - D_i}{D_i} \times 100 \quad (11)$$

En donde:

D_p = Diámetro promedio de cuatro mediciones realizadas, (cm).

D_i = Diámetro inferior inicial de la pasta de mortero, (cm).

La fluidez requerida depende del uso que se le dé a la mezcla de mortero, el mortero usado para pegar piezas debe de tener una fluidez de 105% a 130% y el mortero usado para relleno una fluidez de 125% a 130%. Cabe mencionar que en algunos casos esta prueba se sustituye en campo por la prueba de revenimiento con el fin de tener una idea clara en campo sobre la trabajabilidad de las mezclas.

3.1.3.4. Prueba de absorción en 24 horas a probetas de mortero.

Para esta prueba se realizó el mismo procedimiento que se describe en el apartado 3.1.2.3 Prueba de absorción en 24 horas a probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.

3.1.3.5. Prueba de resistencia a compresión simple a probetas de mortero.

Para esta prueba se realizó el mismo procedimiento que se describe en el apartado 3.1.2.4 Prueba de resistencia a compresión simple a probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la etapa experimental, en el mismo orden que fueron descritos en el capítulo de metodología.

4.1. Resultados obtenidos en la etapa de pruebas preliminares.

Con las pruebas preliminares, obtenemos datos de entrada que después utilizaremos para efectuar los cálculos (Densidad promedio, Absorción en 24 horas y resistencia a compresión), así como nos permite conocer el rango entre los cuales se situaran los valores obtenidos de las pruebas finales.

4.1.1. Resultados obtenidos de la prueba de densidad en las probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.

Tabla 6. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%. *Fuente propia.*

Muestra	No. Probeta	Densidad						Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
		Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)					
C/A/OX/0%	1	5.00	5.03	5.08	5.07	5.02	5.03	234.74	235.82	128.19	1.84	1839.59
	2	5.02		5.10		5.05		235.31				
	3	5.06		5.04		5.01		237.40				

Tabla 7. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%. *Fuente propia.*

Muestra	No. Probeta	Densidad						Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
		Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)					
C/A/OX/2%	1	5.03	5.01	5.01	4.98	5.02	5.02	229.46	229.83	125.33	1.83	1833.81
	2	5.00		4.97		5.00		229.98				
	3	5.00		4.96		5.05		230.06				

Tabla 8. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%. *Fuente propia.*

Muestra	No. Probeta	Densidad						Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
		Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)					
C/A/OX/4%	1	4.91	4.98	5.02	5.02	5.03	5.01	230.97	232.03	125.42	1.85	1850.12
	2	4.96		5.00		5.00		233.62				
	3	5.08		5.05		5.00		231.51				

Tabla 9. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
C/A/OX/6%	1	4.98	4.99	5.00	5.00	5.01	5.00	237.33	237.02	125.00	1.90	1896.14
	2	5.00		5.00		5.00		237.55				
	3	5.00		5.01		5.00		236.17				

Tabla 10. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
C/A/OX/8%	1	5.00	5.01	5.05	5.01	5.04	5.00	235.30	234.12	125.67	1.86	1863.03
	2	5.01		5.00		5.00		234.71				
	3	5.03		4.98		4.97		232.36				

Tabla 11. Densidades promedio de las mezclas C/A/OX. *Fuente propia.*

Densidad	
Muestra	Densidad (Kg/m ³)
C/A/OX/0%	1839.59
C/A/OX/2%	1833.81
C/A/OX/4%	1850.12
C/A/OX/6%	1896.14
C/A/OX/8%	1863.03

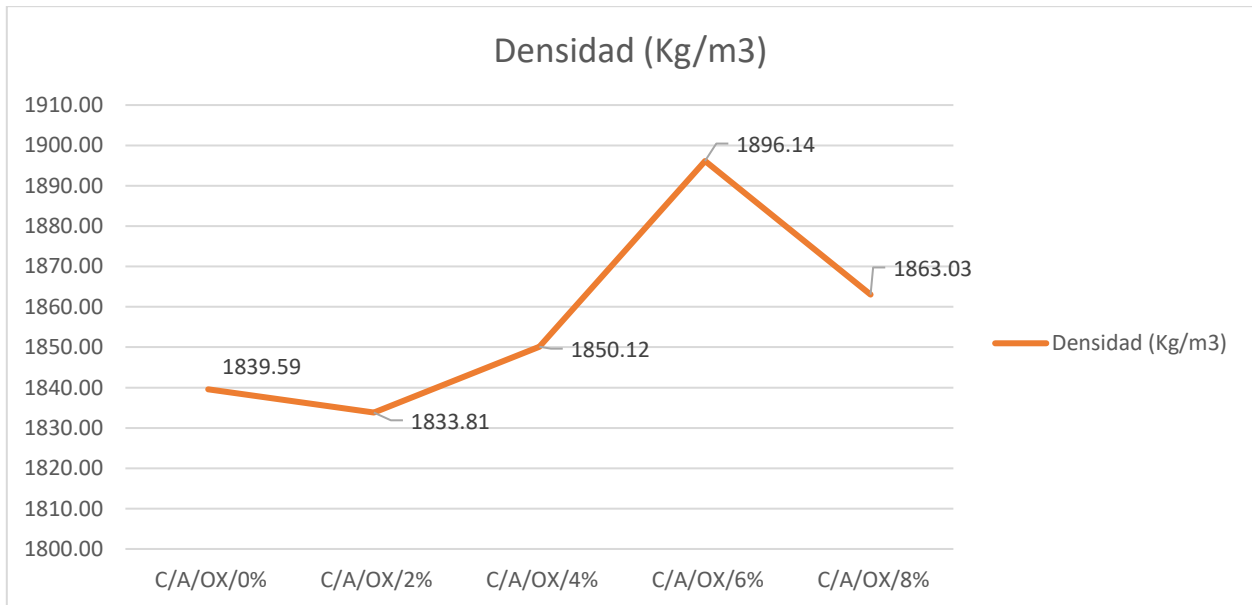


Figura 25. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de densidad en las mezclas C/A/OX. *Fuente propia.*

4.1.2. Resultados obtenidos de la prueba de absorción en 24 horas en las probetas de cemento, agua y oxido de magnesio.

La absorción en cada mezcla se determinó mediante la ecuación 9. La absorción afecta directamente a los concretos y/o moteros que quedan en contacto con líquidos. Su importancia radica en que la absorción determina la permeabilidad del material. La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y en consecuencia se presentará una menor absorción.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en la prueba de absorción a 24 horas de las probetas utilizadas para cada una de las 5 mezclas.

Tabla 12. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
C/A/OX/0%	1	234.74	235.82	255.17	254.87	8.08
	2	235.31		252.42		
	3	237.40		257.03		

Tabla 13. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
C/A/OX/2%	1	229.46	229.83	245.96	244.42	6.35
	2	229.98		241.08		
	3	230.06		246.22		

Tabla 14. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
C/A/OX/4%	1	230.97	232.03	244.24	244.41	5.34
	2	233.62		243.25		
	3	231.51		245.75		

Tabla 15. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
C/A/OX/6%	1	237.33	237.02	247.55	248.26	4.74
	2	237.55		247.49		
	3	236.17		249.73		

Tabla 16. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
C/A/OX/8%	1	235.30	234.12	245.02	243.77	4.12
	2	234.71		242.41		
	3	232.36		243.89		

Tabla 17. Absorción promedio de las mezclas C/A/OX. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas	
Muestra	Absorción (%)
C/A/OX/0%	8.08
C/A/OX/2%	6.35
C/A/OX/4%	5.34
C/A/OX/6%	4.74
C/A/OX/8%	4.12

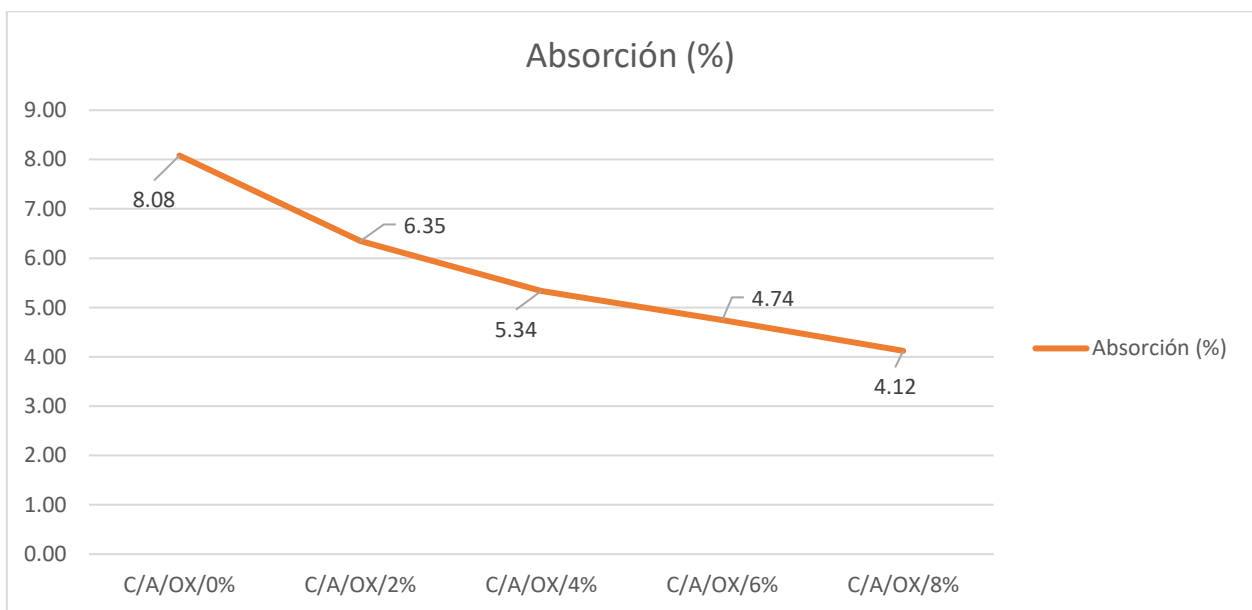


Figura 26. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de absorción en 24 horas en las mezclas C/A/OX. *Fuente propia.*

En la gráfica que se muestra en la figura 26 podemos identificar un marcado patrón de proporcionalidad, entre mayor es el grado de concentración de óxido de magnesio en una mezcla de mortero, menor será el porcentaje de absorción de agua de la probeta, por lo que se deduce que la concentración de óxido de magnesio afecta de manera inversamente proporcional al porcentaje que las probetas absorberán de agua.

4.1.3. Resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple en las probetas de cemento, agua y óxido de magnesio.

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos de los morteros con concentraciones de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de óxido de magnesio. Estos fueron ensayados a edades de 3, 14 y 28 días para documentar su progreso en la ganancia de resistencia. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 18. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.
Fuente propia.

C/A/OX/0%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	4.95	4.95	5.03	5.03	4.98	4.95	5.21	5.26	5.29	24.82	130.37	3666.40	147.74	156.01	
		4.98			4.99			5.25								
	2	5.01	4.94	4.86	4.99	5.08	5.07	5.12	5.08	5.07	24.91	126.81	4531.30	181.88		
		4.94			5.05			5.09								
	3	3	5.00	5.01	5.06	5.06	5.06	5.10	5.00	5.01	5.08	25.49	128.19	3527.70		138.42
			5.02			5.07			5.03							

Tabla 19. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.
Fuente propia.

C/A/OX/0%/14																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
14	1	4.95	4.96	5.04	5.00	5.02	5.00	5.10	5.09	5.08	24.95	126.99	6562.40	263.02	213.34	
		4.98			5.01			5.09								
	2	5.14	5.07	5.06	4.90	4.86	4.95	5.04	5.02	5.00	24.96	125.29	5522.00	221.25		
		5.09			4.90			5.02								
	3	3	5.08	4.95	4.98	5.20	5.10	5.09	4.19	4.12	5.10	25.67	114.73	3997.20		155.73
			5.00			5.13			4.47							

Tabla 20. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/0%.
Fuente propia.

C/A/OX/0%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.08	5.10	5.03	4.98	4.95	4.96	5.02	5.05	5.04	25.16	126.74	3705.10	147.24	297.32
		5.07			4.96			5.04							
	2	5.00	5.02	5.06	5.08	5.10	5.04	5.02	5.05	5.01	25.50	128.19	7842.00	307.51	
		5.03			5.07			5.03							
	3	4.92	4.92	4.98	4.99	4.96	4.99	5.00	5.01	5.03	24.60	123.33	10756.00	437.21	
		4.94			4.98			5.01							

Tabla 21. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/0% por edades de ensayo. Fuente propia.

C/A/OX/0%	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
	0	0
	3	156.01
	14	213.34
	28	297.32

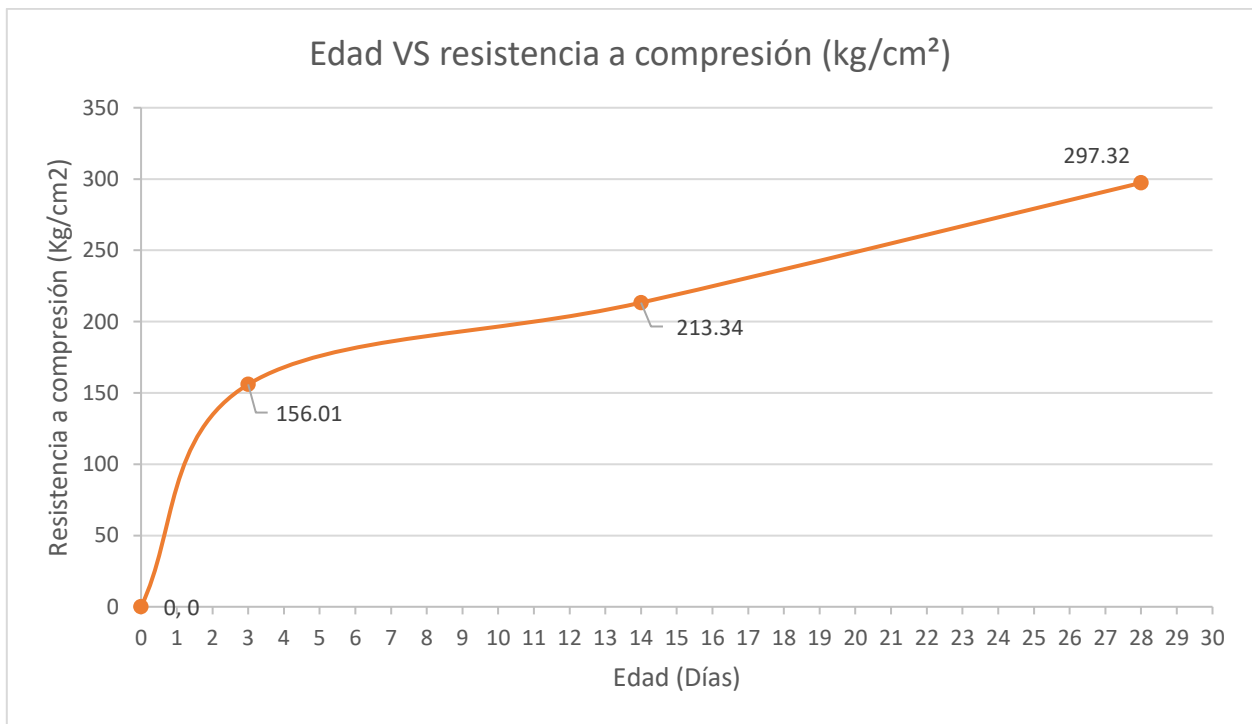


Figura 27. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/0%. Fuente propia.

Tabla 22. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.
Fuente propia.

C/A/OX/2%/3															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
3	1	5.00	5.15	5.18	4.94	4.91	4.90	4.98	5.03	4.90	25.12	124.87	6136.20	244.23	206.93
		5.11			4.92			4.97							
	2	5.20	5.23	5.24	4.92	4.96	5.00	4.82	4.86	4.94	25.91	126.26	5096.00	196.70	
		5.22			4.96			4.87							
	3	5.09	5.03	5.00	4.96	4.94	4.95	5.00	4.92	4.86	24.95	122.91	4487.30	179.87	
		5.04			4.95			4.93							

Tabla 23. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.
Fuente propia.

C/A/OX/2%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	5.24	5.29	5.31	5.03	4.94	4.93	5.27	5.22	5.10	26.22	136.28	5318.30	202.80	221.18
		5.28			4.97			5.20							
	2	5.10	5.15	5.14	4.98	4.85	4.84	4.93	4.96	5.01	25.09	124.59	5232.90	208.60	
		5.13			4.89			4.97							
	3	4.94	5.00	5.04	5.04	5.06	5.11	4.93	5.00	5.08	25.32	126.67	6383.30	252.14	
		4.99			5.07			5.00							

Tabla 24. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/2%.
Fuente propia.

C/A/OX/2%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.03	5.00	5.00	5.01	4.97	4.96	5.02	5.00	5.05	24.95	125.33	8013.10	321.17	297.32
		5.01			4.98			5.02							
	2	5.14	5.06	5.00	5.08	5.14	5.22	5.07	5.03	5.02	26.08	131.43	8256.60	316.63	
		5.07			5.15			5.04							
	3	5.20	5.15	5.08	5.16	5.11	5.07	5.07	5.07	5.08	26.30	133.43	6684.40	254.16	
		5.14			5.11			5.07							

Tabla 25. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/2% por edades de ensayo. Fuente propia.

	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
C/A/OX/2%	0	0
	3	206.93
	14	221.18
	28	297.32

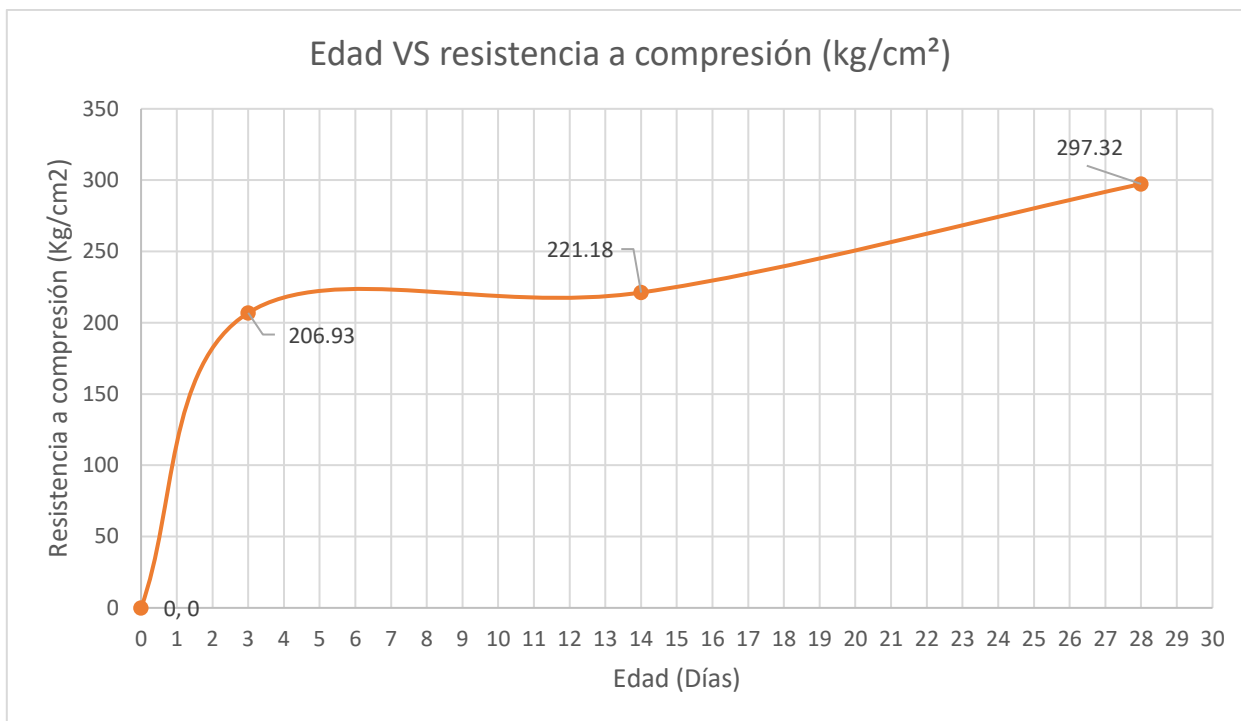


Figura 28. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/2%. *Fuente propia.*

Tabla 26. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%. *Fuente propia.*

C/A/OX/4%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	4.91	4.96	5.08	5.02	5.00	5.05	5.03	5.00	5.00	25.03	125.42	3090.10	123.44	140.02	
		4.98			5.02			5.01								
	2	5.06	5.10	5.16	5.07	5.03	5.02	5.14	5.06	5.00	25.74	130.40	3866.50	150.23		
		5.11			5.04			5.07								
	3	3	5.02	4.98	5.01	5.07	5.07	5.08	5.20	5.15	5.08	25.38	130.56	3715.80		146.39
			5.00			5.07			5.14							

Tabla 27. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%. *Fuente propia.*

C/A/OX/4%/14																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
14	1	5.12	5.11	5.16	5.27	5.22	5.10	5.03	4.94	4.93	26.66	132.41	5607.20	210.33	227.52	
		5.13			5.20			4.97								
	2	5.00	4.94	5.00	4.93	4.96	5.01	4.98	4.85	4.84	24.73	120.95	6521.80	263.68		
		4.98			4.97			4.89								
	3	3	5.04	5.13	5.22	4.93	5.00	5.08	5.04	5.06	5.11	25.67	130.13	5352.70		208.54
			5.13			5.00			5.07							

Tabla 28. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/4%.
Fuente propia.

C/A/OX/4%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	4.98	5.03	4.90	5.06	5.07	5.13	5.00	5.15	5.18	25.28	129.18	7930.00	313.68	293.41
		4.97			5.09			5.11							
	2	4.82	4.86	4.94	5.19	5.01	5.07	5.20	5.23	5.24	24.81	129.57	5277.40	212.75	
		4.87			5.09			5.22							
	3	5.00	4.92	4.86	5.14	5.12	5.13	5.09	5.03	5.00	25.27	127.38	8942.20	353.81	
		4.93			5.13			5.04							

Tabla 29. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/4% por edades de ensayo. Fuente propia.

	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
C/A/OX/4%	0	0
	3	140.02
	14	227.52
	28	293.41

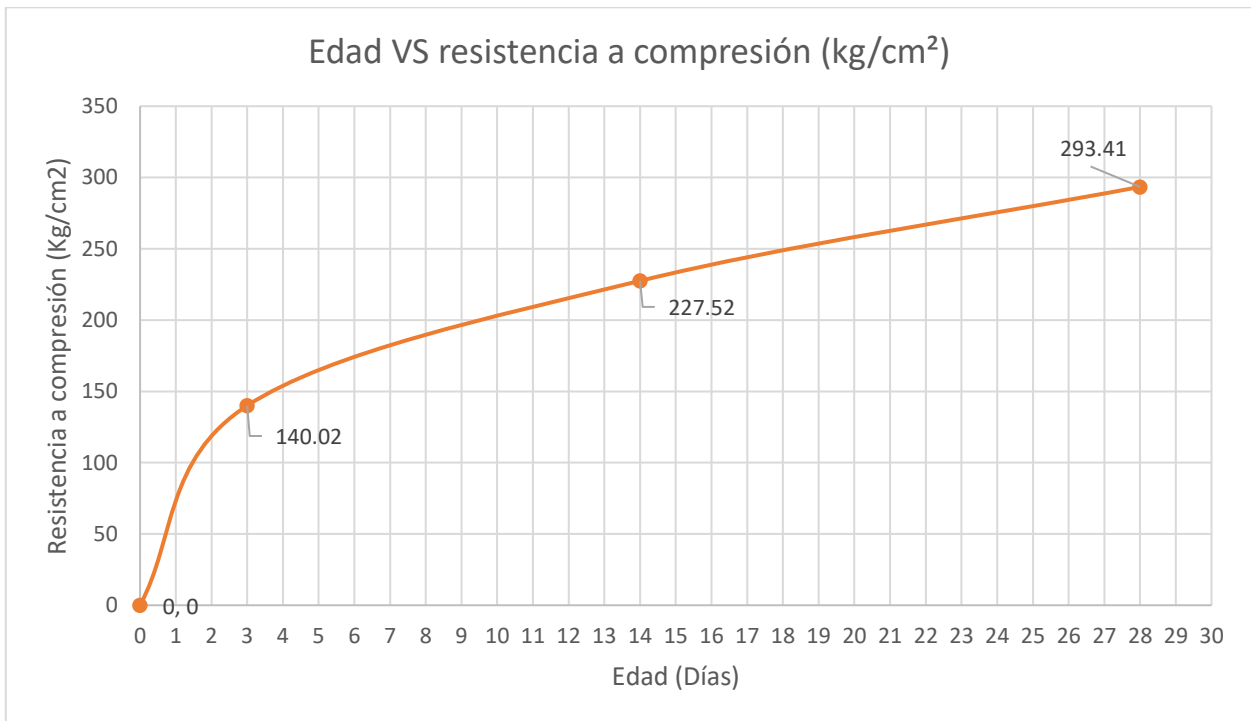


Figura 29. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/4%. Fuente propia.

Tabla 30. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.

Fuente propia.

C/A/OX/6%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	4.98	4.94	4.99	5.00	4.98	5.01	5.01	4.97	4.96	24.83	123.67	6603.80	265.92	215.46	
		4.97			5.00			4.98								
	2	5.01	5.05	5.09	5.00	5.03	5.01	5.08	5.14	5.22	25.32	130.30	6163.50	243.45		
		5.05			5.01			5.15								
	3	5.08	5.07	5.04		5.00	4.98	4.95	5.16	5.11	5.07	25.20	128.85	3452.50		137.01
			5.06			4.98			5.11							

Tabla 31. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.

Fuente propia.

C/A/OX/6%/14																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
14	1	5.03	5.09	5.08	5.06	4.97	4.90	5.24	5.29	5.31	25.22	133.14	6452.20	255.89	228.01	
		5.07			4.98			5.28								
	2	5.14	5.17	5.22	4.93	4.96	4.93	5.10	5.15	5.14	25.57	131.19	6927.60	270.90		
		5.18			4.94			5.13								
	3	5.03	5.06	5.14		5.10	5.07	5.14	4.94	5.00	5.04	25.91	129.37	4073.70		157.24
			5.08			5.10			4.99							

Tabla 32. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/6%.

Fuente propia.

C/A/OX/6%/28																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
28	1	5.06	5.04	5.06	5.05	5.07	5.12	5.00	5.15	5.18	25.67	131.18	8966.60	349.29	252.65	
		5.05			5.08			5.11								
	2	5.00	5.06	5.16	5.00	5.00	5.05	5.20	5.23	5.24	25.45	132.94	4671.00	183.53		
		5.07			5.02			5.22								
	3	4.93	4.93	5.07		4.97	5.00	5.13	5.09	5.03	5.00	25.05	126.25	5639.40		225.13
			4.98			5.03			5.04							

Tabla 33. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/6% por edades de ensayo. *Fuente propia.*

C/A/OX/6%	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
	0	0
	3	215.46
	14	228.01
	28	252.65

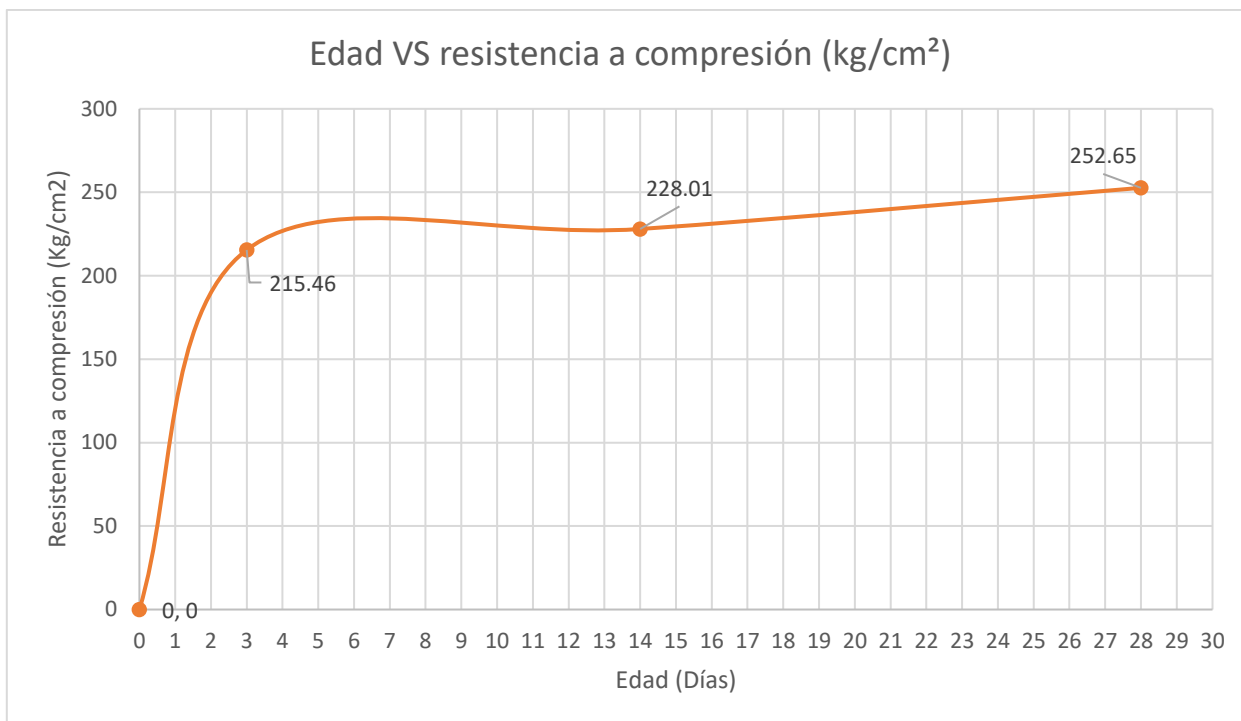


Figura 30. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/6%. *Fuente propia.*

Tabla 34. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%. *Fuente propia.*

C/A/OX/8%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	5.02	5.05	5.04	5.12	5.10	5.08	5.08	5.10	5.03	25.69	130.23	4905.00	190.95	188.57	
		5.04			5.10			5.07								
	2	5.02	5.05	5.01	4.95	4.98	5.01	5.00	5.02	5.06	25.03	125.83	6680.50	266.87		
		5.03			4.98			5.03								
	3	3	5.00	5.01	5.03	5.01	4.98	4.98	4.92	4.92	4.98	25.02	123.58	2698.60		107.87
			5.01			4.99			4.94							

Tabla 35. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%. *Fuente propia.*

C/A/OX8%/14																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
14	1	5.21	5.26	5.29	5.01	5.02	4.95	4.95	4.96	5.04	26.23	130.72	7709.00	293.88	251.91	
		5.25			4.99			4.98								
	2	5.12	5.08	5.07	4.98	4.94	5.00	5.14	5.07	5.06	25.31	128.85	5216.30	206.06		
		5.09			4.97			5.09								
	3	3	5.00	5.01	5.08	5.05	5.00	4.98	5.08	4.95	4.90	25.20	125.41	6446.10		255.79
			5.03			5.01			4.98							

Tabla 36. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla C/A/OX/8%.
Fuente propia.

C/A/OX/8%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.07	5.04	5.08	5.10	5.09	5.08	4.95	4.95	5.03	25.77	128.26	9233.60	358.28	315.90
		5.06			5.09			4.98							
	2	5.23	5.10	5.22	5.04	5.02	5.00	5.01	4.94	4.86	26.02	128.45	5874.80	225.78	
		5.18			5.02			4.94							
	3	5.04	4.93	4.94	4.19	4.12	5.10	5.00	5.01	5.06	22.22	111.60	8078.70	363.64	
		4.97			4.47			5.02							

Tabla 37. Esfuerzos promedios de la mezcla C/A/OX/8% por edades de ensayo. Fuente propia.

	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
C/A/OX/8%	0	0
	3	188.57
	14	251.91
	28	315.90

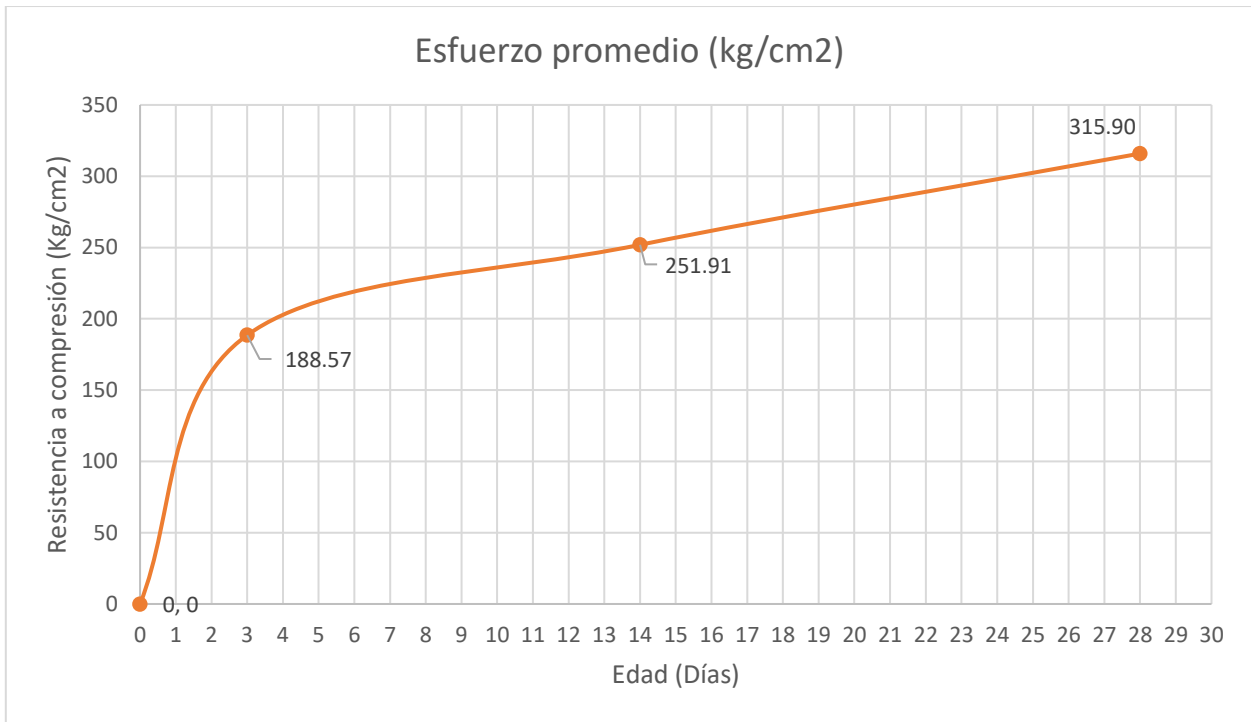


Figura 31. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla C/A/OX/8%. Fuente propia.

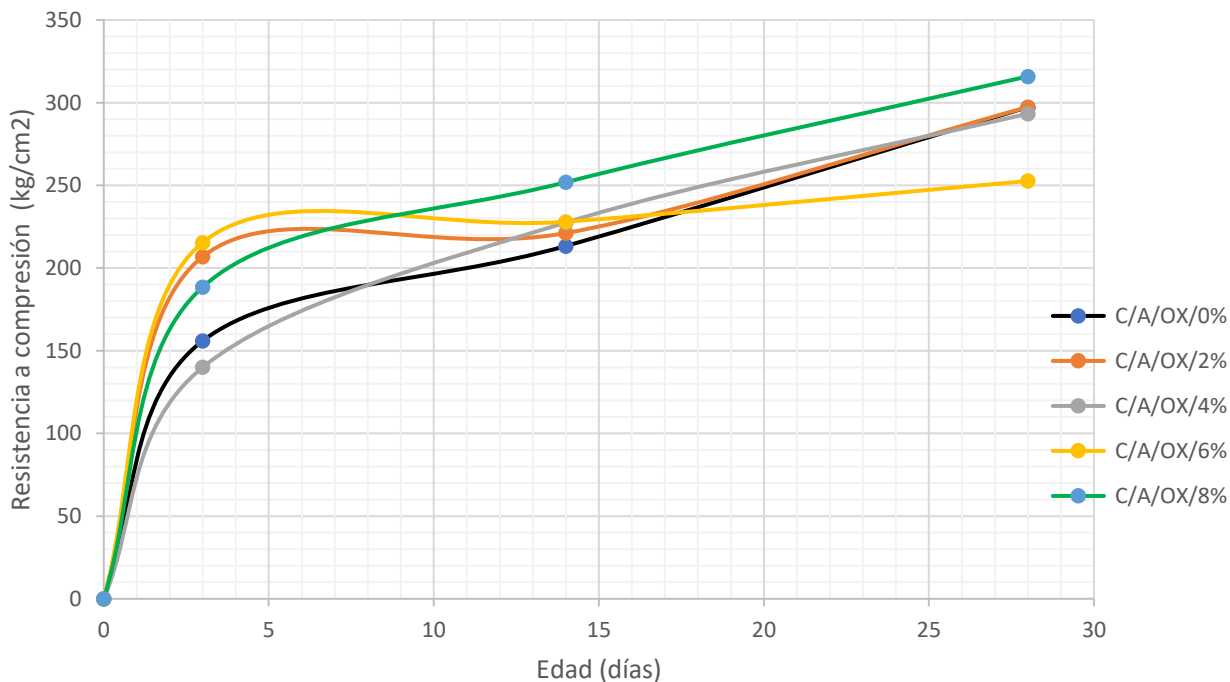


Figura 32. Grafica comparativa de los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple de las mezclas C/A/OX. *Fuente propia.*

En cuanto a los resultados de esta propiedad, podemos observar en las gráficas de las diferentes mezclas que tienen un crecimiento exponencial según el paso de los días, lo que hasta cierto punto es “normal” ya que va adquiriendo dureza mientras el proceso de fraguado avanza, lo interesante aquí es que los valores de resistencia para las diferentes concentraciones permanece en un rango de valores casi sin variación (de 293 – 315 kg/cm²) con excepción de la mezcla con un 6% de concentración que nos arroja un valor de resistencia a compresión de 251.91 kg/cm², lo que pareciera ser un dato atípico. Esto significa que, al aumentar la concentración de óxido de magnesio en la mezcla, la resistencia de esta se verá casi sin cambios en lo absoluto, si al caso una muy leve tendencia a ser incrementada, pero casi imperceptible.

4.2. Resultados obtenidos en la etapa de pruebas finales.

4.2.1. Resultados obtenidos en la prueba de densidad en las probetas de mortero.

Tabla 38. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/0%	1	5.02	5.03	4.95	4.98	5.00	5.03	277.63	277.62	125.83	2.21	2206.31
	2	5.05		4.98		5.02		276.76				
	3	5.01		5.01		5.06		278.48				

Tabla 39. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/2%	1	4.93	4.98	4.97	5.03	5.09	5.04	280.60	282.00	126.25	2.23	2233.70
	2	4.93		5.00		5.03		283.01				
	3	5.07		5.13		5.00		282.39				

Tabla 40. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/4%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/4%	1	4.91	4.98	5.02	5.02	5.03	5.01	284.01	284.50	125.42	2.27	2268.44
	2	4.96		5.00		5.00		285.44				
	3	5.08		5.05		5.00		284.04				

Tabla 41. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/6%	1	4.91	4.98	5.02	5.02	5.03	5.01	287.54	287.04	125.42	2.29	2288.69
	2	4.96		5.00		5.00		286.15				
	3	5.08		5.05		5.00		287.42				

Tabla 42. Densidad promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

Densidad												
Muestra	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)	Promedio lado 1 (cm)	Longitud lado 2 (cm)	Promedio lado 2 (cm)	Longitud lado 3 (cm)	Promedio lado 3 (cm)	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/8%	1	5.00	5.03	5.08	5.07	5.02	5.03	294.21	292.62	128.36	2.28	2279.66
	2	5.02		5.10		5.05		292.15				
	3	5.06		5.04		5.03		291.49				

Tabla 43. Densidad promedio de las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

Densidad	
Muestra	Densidad (Kg/m ³)
MO/OX/0%	2206.31
MO/OX/2%	2233.70
MO/OX/4%	2268.44
MO/OX/6%	2288.69
MO/OX/8%	2279.66

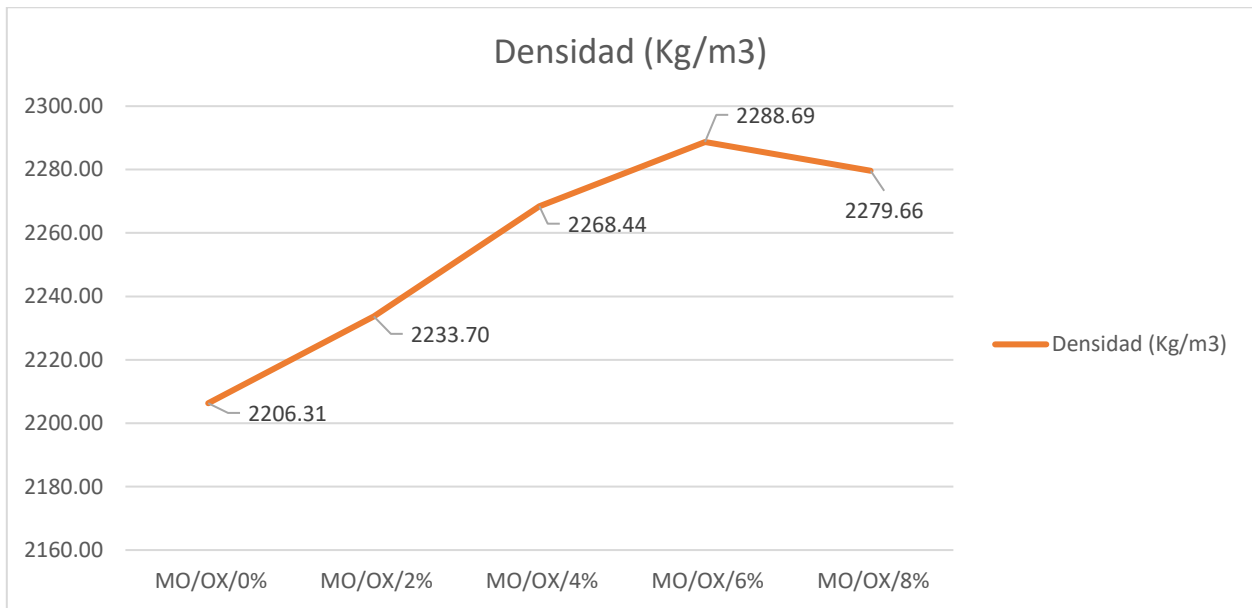


Figura 33. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de densidad en las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

4.2.2. Resultados obtenidos en la prueba de fluidez en las probetas de mortero.

Tabla 44. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

Fluidez				
Muestra	Diámetro final (cm)	Diámetro final promedio (cm)	Diámetro inicial (cm)	Fluidez (%)
MO/OX/0%	20.88	19.90	10.16	95.90
	19.22			
	19.61			

Tabla 45.Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

Fluidez				
Muestra	Diámetro final (cm)	Diámetro final promedio (cm)	Diámetro inicial (cm)	Fluidez (%)
MO/OX/2%	19.19	18.92	10.16	86.25
	18.69			
	18.89			

Tabla 46. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/4%. *Fuente propia.*

Fluidez				
Muestra	Diámetro final (cm)	Diámetro final promedio (cm)	Diámetro inicial (cm)	Fluidez (%)
MO/OX/4%	17.89	18.51	10.16	82.19
	18.55			
	19.09			

Tabla 47. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

Fluidez				
Muestra	Diámetro final (cm)	Diámetro final promedio (cm)	Diámetro inicial (cm)	Fluidez (%)
MO/OX/6%	16.66	16.38	10.16	61.22
	16.36			
	16.12			

Tabla 48. Fluidez promedio obtenida de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

Fluidez				
Muestra	Diámetro final (cm)	Diámetro final promedio (cm)	Diámetro inicial (cm)	Fluidez (%)
MO/OX/8%	16.48	16.38	10.16	61.19
	16.35			
	16.30			

Tabla 49. Fluidez promedio de las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

Fluidez	
Muestra	Fluidez (%)
MO/OX/0%	95.90
MO/OX/2%	86.25
MO/OX/4%	82.19
MO/OX/6%	62.20
MO/OX/8%	61.19

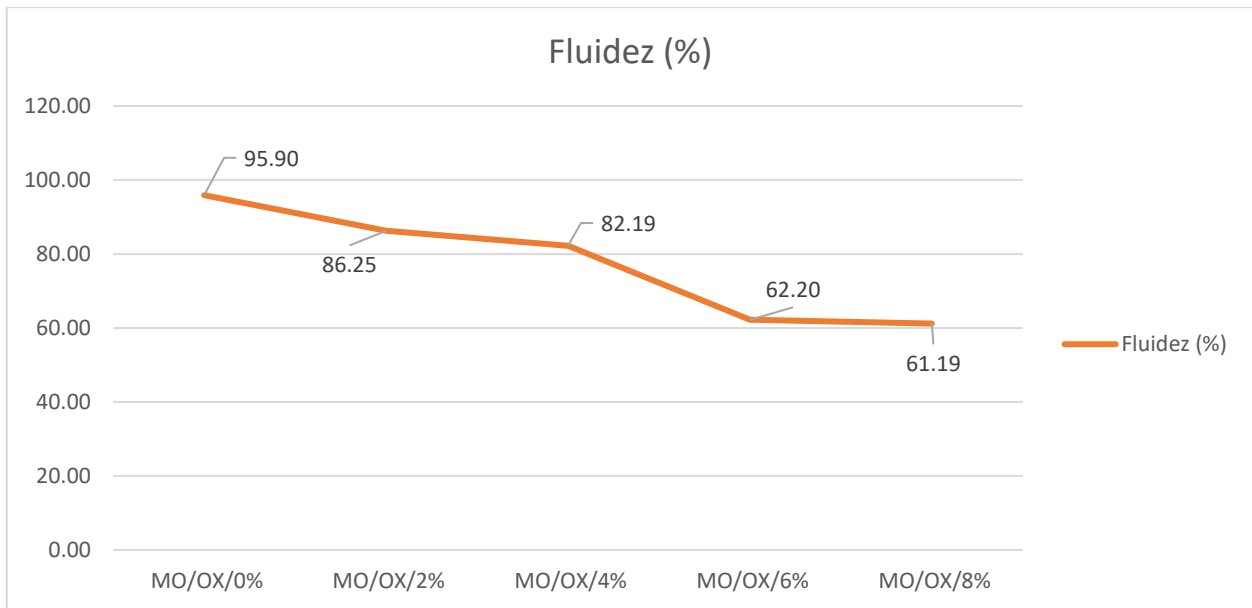


Figura 34. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de fluidez en las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

4.2.3. Resultados obtenidos en la prueba de absorción en 24 horas en las probetas de mortero.

Tabla 50. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
MO/OX/0%	1	277.63	277.62	289.42	286.84	3.32
	2	276.76		287.31		
	3	278.48		283.78		

Tabla 51. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
MO/OX/2%	1	280.60	282.00	289.95	290.70	3.09
	2	283.01		289.69		
	3	282.39		292.46		

Tabla 52. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/4%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
MO/OX/4%	1	284.01	284.50	291.40	291.36	2.41
	2	285.44		290.12		
	3	284.04		292.55		

Tabla 53. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
MO/OX/6%	1	287.54	287.04	293.48	292.52	1.91
	2	286.15		291.35		
	3	287.42		292.72		

Tabla 54. Absorción promedio obtenida de las probetas de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas						
Muestra	No. Probeta	Peso estado seco (gr)	Peso promedio estado seco (gr)	Peso saturado 24 h (gr)	Peso promedio saturado 24 h (gr)	Absorción (%)
MO/OX/8%	1	294.21	292.62	297.19	297.73	1.75
	2	292.15		297.07		
	3	291.49		298.94		

Tabla 55. Absorción promedio de las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

Absorción a 24 horas	
Muestra	Absorción (%)
MO/OX/0%	3.32
MO/OX/2%	3.09
MO/OX/4%	2.41
MO/OX/6%	1.91
MO/OX/8%	1.75

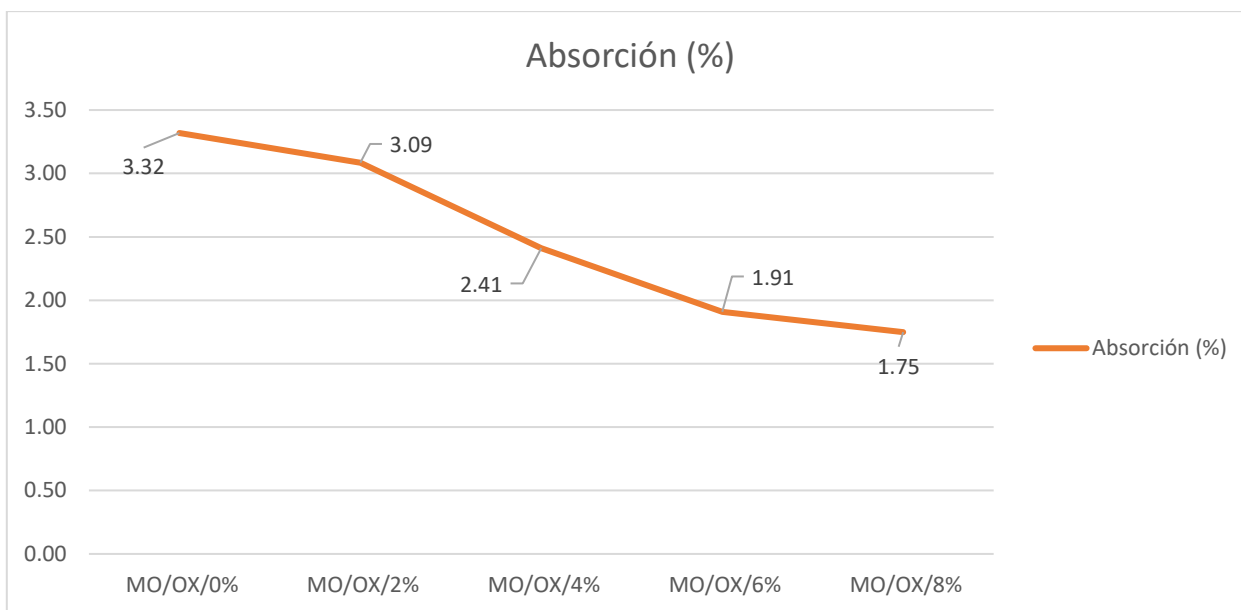


Figura 35. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de absorción en 24 horas en las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

4.2.4. Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a compresión simple en las probetas de mortero.

Tabla 56. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

MO/OX/0%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	5.07	5.04	5.08	5.10	5.09	5.08	4.95	4.95	5.03	25.77	128.26	3751.60	145.57	131.33	
		5.06			5.09			4.98								
	2	5.23	5.10	5.22	5.04	5.02	5.00	5.01	4.94	4.86	26.02	128.45	3270.60	125.69		
		5.18			5.02			4.94								
	3	3	5.04	4.93	4.94	4.19	4.12	5.10	5.00	5.01	5.06	22.22	111.60	2726.60		122.73
			4.97			4.47			5.02							

Tabla 57. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%.
Fuente propia.

MO/OX/0%/7															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
7	1	5.21	5.26	5.29	5.01	5.02	4.95	4.95	4.96	5.04	26.23	130.72	3806.40	145.11	170.74
		5.25			4.99			4.98							
	2	5.12	5.08	5.07	4.98	4.94	5.00	5.14	5.07	5.06	25.31	128.85	4719.00	186.42	
		5.09			4.97			5.09							
	3	5.00	5.01	5.08	5.05	5.00	4.98	5.08	4.95	4.90	25.20	125.41	4553.70	180.70	
		5.03			5.01			4.98							

Tabla 58. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%.
Fuente propia.

MO/OX/0%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	5.02	5.05	5.04	5.12	5.10	5.08	5.08	5.10	5.03	25.69	130.23	5483.80	213.49	214.16
		5.04			5.10			5.07							
	2	5.02	5.05	5.01	4.95	4.98	5.01	5.00	5.02	5.06	25.03	125.83	5389.90	215.31	
		5.03			4.98			5.03							
	3	5.00	5.01	5.03	5.01	4.98	4.98	4.92	4.92	4.98	25.02	123.58	5345.30	213.67	
		5.01			4.99			4.94							

Tabla 59. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/0%.
Fuente propia.

MO/OX/0%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	4.95	4.95	5.03	5.03	4.98	4.95	5.21	5.26	5.29	24.82	130.37	6951.20	280.10	244.50
		4.98			4.99			5.25							
	2	5.01	4.94	4.86	4.99	5.08	5.07	5.12	5.08	5.07	24.91	126.81	5374.80	215.74	
		4.94			5.05			5.09							
	3	5.00	5.01	5.06	5.06	5.06	5.10	5.00	5.01	5.08	25.49	128.19	6057.10	237.67	
		5.02			5.07			5.03							

Tabla 60. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/0% por edades de ensayo. Fuente propia.

	EDAD (DÍAS)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
MO/OX/0%	0	0
	3	131.33
	7	170.74
	14	214.16
	28	244.50

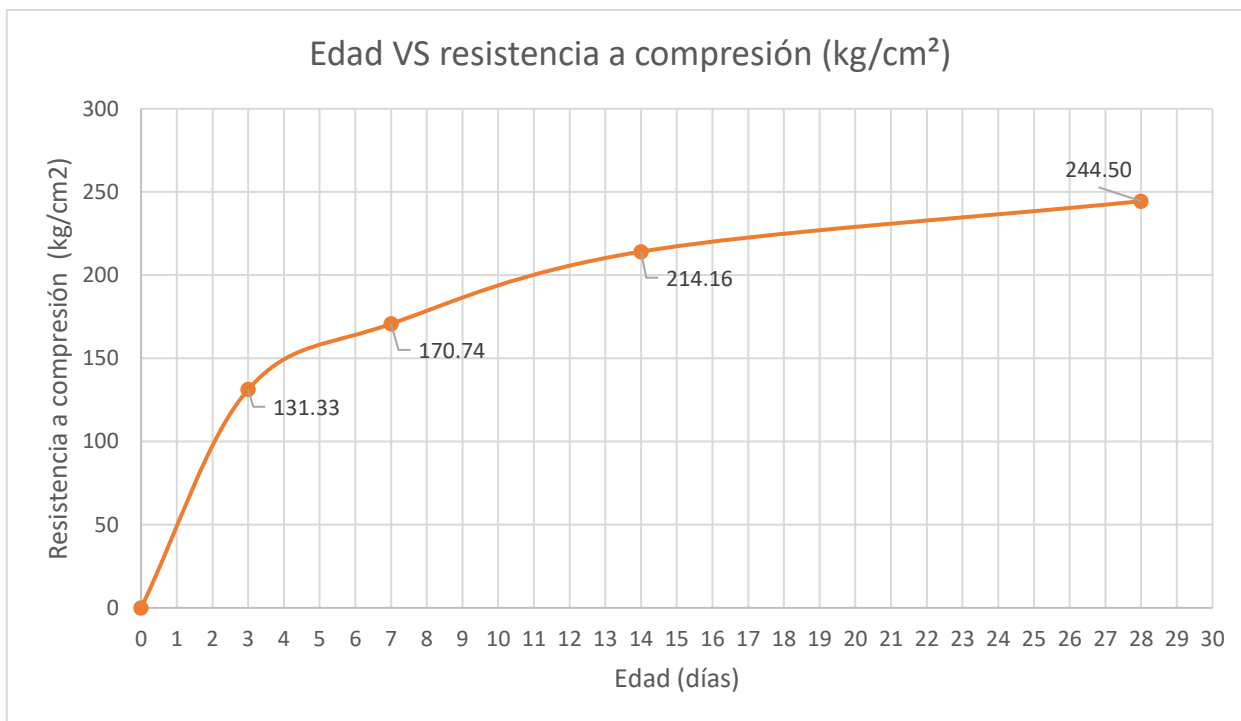


Figura 36. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

Tabla 61. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

MO/OX/2%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	5.06	5.04	5.06	5.05	5.07	5.12	5.00	5.15	5.18	25.67	131.18	3295.90	128.39	131.71	
		5.05			5.08			5.11								
	2	5.00	5.06	5.16	5.00	5.00	5.05	5.20	5.23	5.24	25.45	132.94	3273.10	128.60		
		5.07			5.02			5.22								
	3	4.93	4.93	5.07		4.97	5.00	5.13	5.09	5.03	5.00	25.05	126.25	3460.30		138.14
			4.98			5.03			5.04							

Tabla 62. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

MO/OX/2%/7																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
7	1	5.03	5.09	5.08	5.06	4.97	4.90	5.24	5.29	5.31	25.22	133.14	4225.60	167.58	170.72	
		5.07			4.98			5.28								
	2	5.14	5.17	5.22	4.93	4.96	4.93	5.10	5.15	5.14	25.57	131.19	4574.20	178.87		
		5.18			4.94			5.13								
	3	5.03	5.06	5.14		5.10	5.07	5.14	4.94	5.00	5.04	25.91	129.37	4293.20		165.71
			5.08			5.10			4.99							

Tabla 63. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%.
Fuente propia.

MO/OX/2%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	4.98	4.94	4.99	5.00	4.98	5.01	5.01	4.97	4.96	24.83	123.67	4798.80	193.24	212.50
		4.97			5.00			4.98							
	2	5.01	5.05	5.09	5.00	5.03	5.01	5.08	5.14	5.22	25.32	130.30	5243.80	207.12	
		5.05			5.01			5.15							
	3	5.08	5.07	5.04	5.00	4.98	4.95	5.16	5.11	5.07	25.20	128.85	5975.30	237.13	
		5.06			4.98			5.11							

Tabla 64. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/2%.
Fuente propia.

MO/OX/2%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.03	5.09	5.08	5.06	4.97	4.90	5.24	5.29	5.31	25.22	133.14	6522.30	258.67	249.58
		5.07			4.98			5.28							
	2	5.14	5.17	5.22	4.93	4.96	4.93	5.10	5.15	5.14	25.57	131.19	6164.20	241.05	
		5.18			4.94			5.13							
	3	5.03	5.06	5.14	5.10	5.07	5.14	4.94	5.00	5.04	25.91	129.37	6451.70	249.02	
		5.08			5.10			4.99							

Tabla 65. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/2% por edades de ensayo. Fuente propia.

	EDAD (DÍAS)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
MO/OX/2%	0	0
	3	131.71
	7	170.72
	14	212.50
	28	249.58

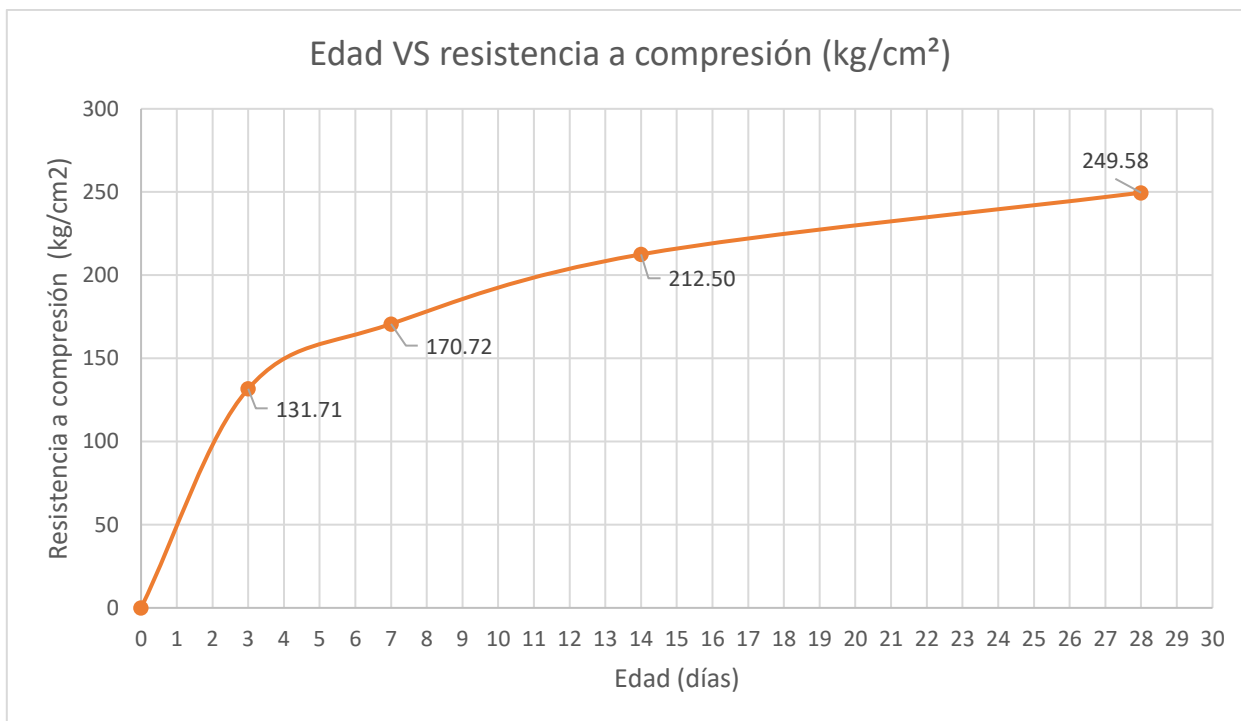


Figura 37. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/2%. Fuente propia.

Tabla 66. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%. Fuente propia.

MO/OX/4%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	4.98	5.03	4.90	5.06	5.07	5.13	5.00	5.15	5.18	25.28	129.18	3701.50	146.42	130.94	
		4.97			5.09			5.11								
	2	4.82	4.86	4.94	5.19	5.01	5.07	5.20	5.23	5.24	24.81	129.57	2613.10	105.34		
		4.87			5.09			5.22								
	3	3	5.00	4.92	4.86	5.14	5.12	5.13	5.09	5.03	5.00	25.27	127.38	3565.20		141.06
			4.93			5.13			5.04							

Tabla 67. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%. Fuente propia.

MO/OX/4%/7																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
7	1	5.12	5.11	5.16	5.27	5.22	5.10	5.03	4.94	4.93	26.66	132.41	4157.20	155.94	147.31	
		5.13			5.20			4.97								
	2	5.00	4.94	5.00	4.93	4.96	5.01	4.98	4.85	4.84	24.73	120.95	3439.80	139.07		
		4.98			4.97			4.89								
	3	3	5.04	5.13	5.22	4.93	5.00	5.08	5.04	5.06	5.11	25.67	130.13	3771.10		146.92
			5.13			5.00			5.07							

Tabla 68. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%.
Fuente propia.

MO/OX/4%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	4.91	4.96	5.08	5.02	5.00	5.05	5.03	5.00	5.00	25.03	125.42	5310.70	212.15	201.65
		4.98			5.02			5.01							
	2	5.06	5.10	5.16	5.07	5.03	5.02	5.14	5.06	5.00	25.74	130.40	5198.30	201.97	
		5.11			5.04			5.07							
	3	5.02	4.98	5.01	5.07	5.07	5.08	5.20	5.15	5.08	25.38	130.56	4844.10	190.84	
		5.00			5.07			5.14							

Tabla 69. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/4%.
Fuente propia.

MO/OX/4%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.07	5.04	5.08	5.10	5.09	5.08	4.95	4.95	5.03	25.77	128.26	6551.70	254.21	261.73
		5.06			5.09			4.98							
	2	5.23	5.10	5.22	5.04	5.02	5.00	5.01	4.94	4.86	26.02	128.45	5893.70	226.50	
		5.18			5.02			4.94							
	3	5.04	4.93	4.94	4.19	4.12	5.10	5.00	5.01	5.06	22.22	111.60	6764.00	304.47	
		4.97			4.47			5.02							

Tabla 70. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/4% por edades de ensayo. Fuente propia.

	EDAD (DÍAS)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
MO/OX/4%	0	0
	3	130.94
	7	147.31
	14	201.65
	28	261.73

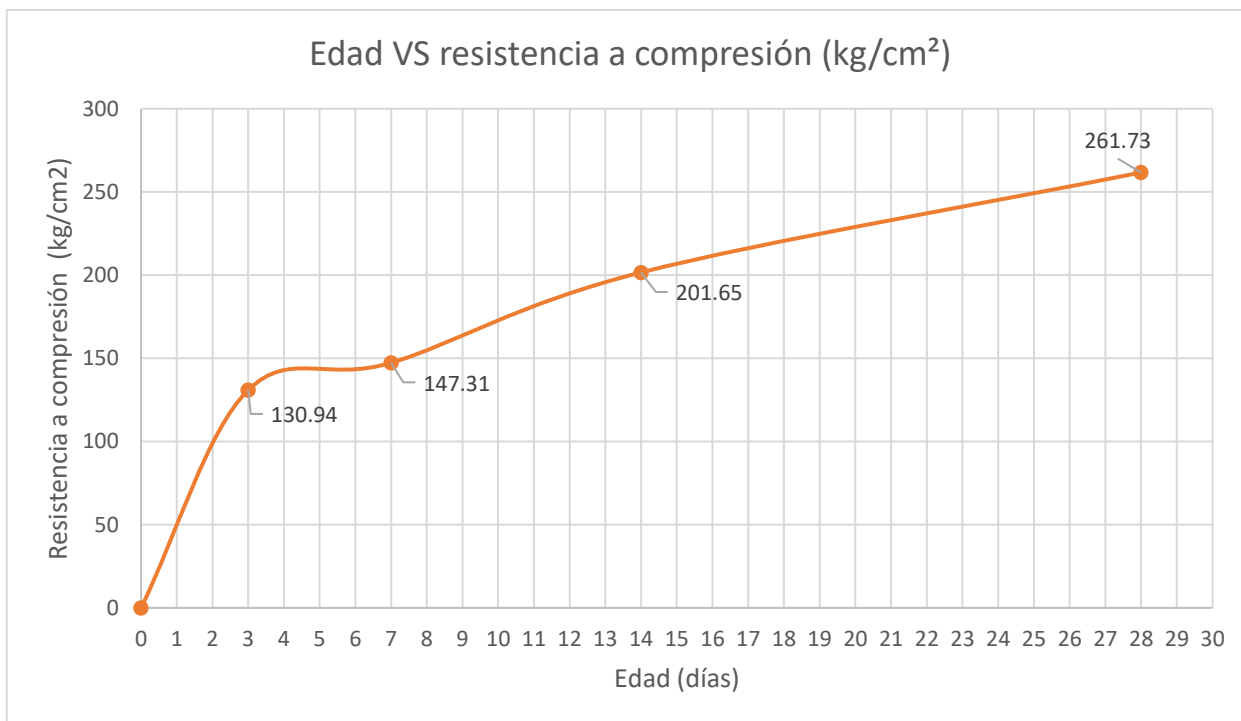


Figura 38. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/4%. *Fuente propia.*

Tabla 71. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

MO/OX/6%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	5.03	5.00	5.00	5.01	4.97	4.96	5.02	5.00	5.05	24.95	125.33	3632.10	145.58	140.64	
		5.01			4.98			5.02								
	2	5.14	5.06	5.00	5.08	5.14	5.22	5.07	5.03	5.02	26.08	131.43	4010.90	153.81		
		5.07			5.15			5.04								
	3	3	5.20	5.15	5.08	5.16	5.11	5.07	5.07	5.07	5.08	26.30	133.43	3222.70		122.54
			5.14			5.11			5.07							

Tabla 72. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

MO/OX/6%/7																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
7	1	5.24	5.29	5.31	5.03	4.94	4.93	5.27	5.22	5.10	26.22	136.28	5327.50	203.15	180.17	
		5.28			4.97			5.20								
	2	5.10	5.15	5.14	4.98	4.85	4.84	4.93	4.96	5.01	25.09	124.59	4521.10	180.23		
		5.13			4.89			4.97								
	3	3	4.94	5.00	5.04	5.04	5.06	5.11	4.93	5.00	5.08	25.32	126.67	3978.30		157.14
			4.99			5.07			5.00							

Tabla 73. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.
Fuente propia.

MO/OX/6%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	5.00	5.15	5.18	4.94	4.91	4.90	4.98	5.03	4.90	25.12	124.87	4546.20	180.95	207.13
		5.11			4.92			4.97							
	2	5.02	5.12	5.08	4.92	4.96	5.00	4.82	4.86	4.94	25.16	122.63	5704.10	226.68	
		5.07			4.96			4.87							
	3	5.09	5.03	5.00	4.96	4.94	4.95	5.00	4.92	4.86	24.95	122.91	5332.90	213.76	
		5.04			4.95			4.93							

Tabla 74. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/6%.
Fuente propia.

MO/OX/6%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	4.91	4.96	5.08	5.02	5.00	5.05	5.03	5.00	5.00	25.03	125.42	6845.00	273.44	244.99
		4.98			5.02			5.01							
	2	5.06	5.10	5.16	5.07	5.03	5.02	5.14	5.06	5.00	25.74	130.40	5939.30	230.76	
		5.11			5.04			5.07							
	3	5.02	4.98	5.01	5.07	5.07	5.08	5.20	5.15	5.08	25.38	130.56	5857.70	230.77	
		5.00			5.07			5.14							

Tabla 75. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/6% por edades de ensayo. Fuente propia.

	EDAD (DÍAS)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
MO/OX/6%	0	0
	3	140.64
	7	180.17
	14	207.13
	28	244.99

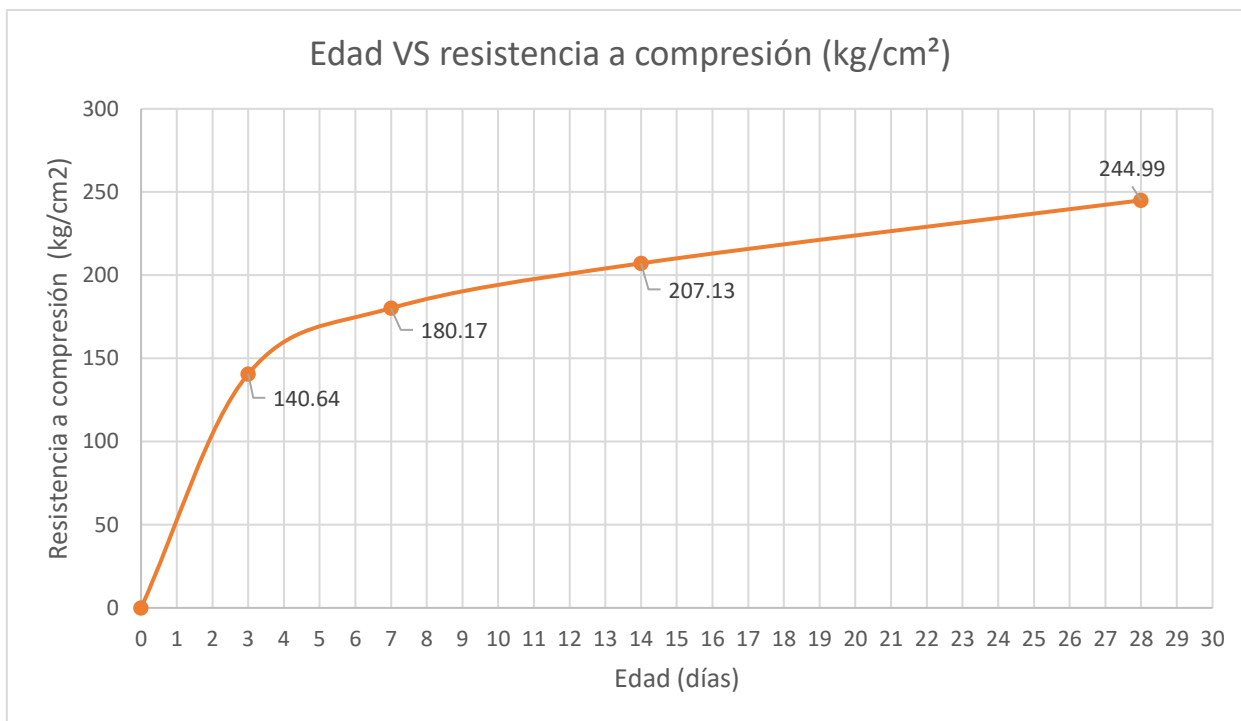


Figura 39. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

Tabla 76. Esfuerzo promedio obtenido a los 3 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

MO/OX/8%/3																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
3	1	5.08	5.10	5.03	4.98	4.95	4.96	5.02	5.05	5.04	25.16	126.74	3678.10	146.16	168.75	
		5.07			4.96			5.04								
	2	5.00	5.02	5.06	5.08	5.10	5.04	5.02	5.05	5.01	25.50	128.19	4552.70	178.52		
		5.03			5.07			5.03								
	3	3	4.92	4.92	4.98	4.99	4.96	4.99	5.00	5.01	5.03	24.60	123.33	4467.00		181.58
			4.94			4.98			5.01							

Tabla 77. Esfuerzo promedio obtenido a los 7 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

MO/OX/8%/7																
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	
7	1	4.95	4.96	5.04	5.00	5.02	5.00	5.10	5.09	5.08	24.95	126.99	4327.50	173.45	182.78	
		4.98			5.01			5.09								
	2	5.14	5.07	5.06	4.90	4.86	4.95	5.04	5.02	5.00	24.96	125.29	4521.10	181.15		
		5.09			4.90			5.02								
	3	3	5.08	4.95	4.90	5.20	5.10	5.19	4.19	4.12	5.10	25.70	114.86	4978.30		193.74
			4.98			5.16			4.47							

Tabla 78. Esfuerzo promedio obtenido a los 14 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.

Fuente propia.

MO/OX/8%/14															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
14	1	4.95	4.95	5.03	5.03	4.98	4.95	5.21	5.26	5.29	24.82	130.37	5655.20	227.88	212.67
		4.98			4.99			5.25							
	2	5.01	4.94	4.86	4.99	5.08	5.07	5.12	5.08	5.07	24.91	126.81	5746.70	230.66	
		4.94			5.05			5.09							
	3	5.00	5.01	5.06	5.06	5.06	5.10	5.00	5.01	5.08	25.49	128.19	4573.90	179.47	
		5.02			5.07			5.03							

Tabla 79. Esfuerzo promedio obtenido a los 28 días de las probetas de la mezcla MO/OX/8%.

Fuente propia.

MO/OX/8%/28															
Edad (Días)	No. Probeta	Longitud lado 1 (cm)			Longitud lado 2 (cm)			Longitud lado 3 (cm)			Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
28	1	5.00	5.15	5.18	4.94	4.91	4.90	4.98	5.03	4.90	25.12	124.87	6957.50	276.92	263.37
		5.11			4.92			4.97							
	2	5.20	5.23	5.24	4.92	4.96	5.00	4.82	4.86	4.94	25.91	126.26	6748.20	260.47	
		5.22			4.96			4.87							
	3	5.09	5.03	5.00	4.96	4.94	4.95	5.00	4.92	4.86	24.95	122.91	6304.40	252.70	
		5.04			4.95			4.93							

Tabla 80. Esfuerzos promedios de la mezcla MO/OX/8% por edades de ensayo. *Fuente propia.*

	EDAD (DÍAS)	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
MO/OX/8%	0	0
	3	168.75
	7	182.78
	14	212.67
	28	263.37

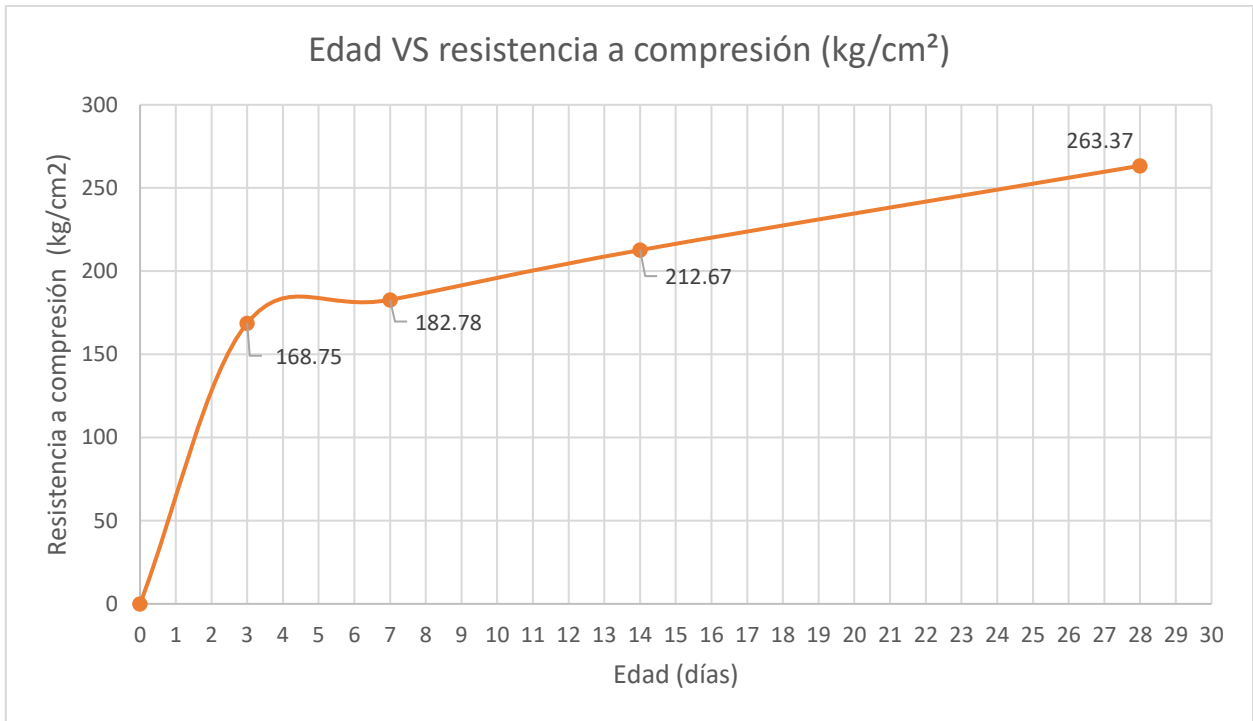


Figura 40. Grafica obtenida con los resultados de la prueba de resistencia a compresión simple de la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

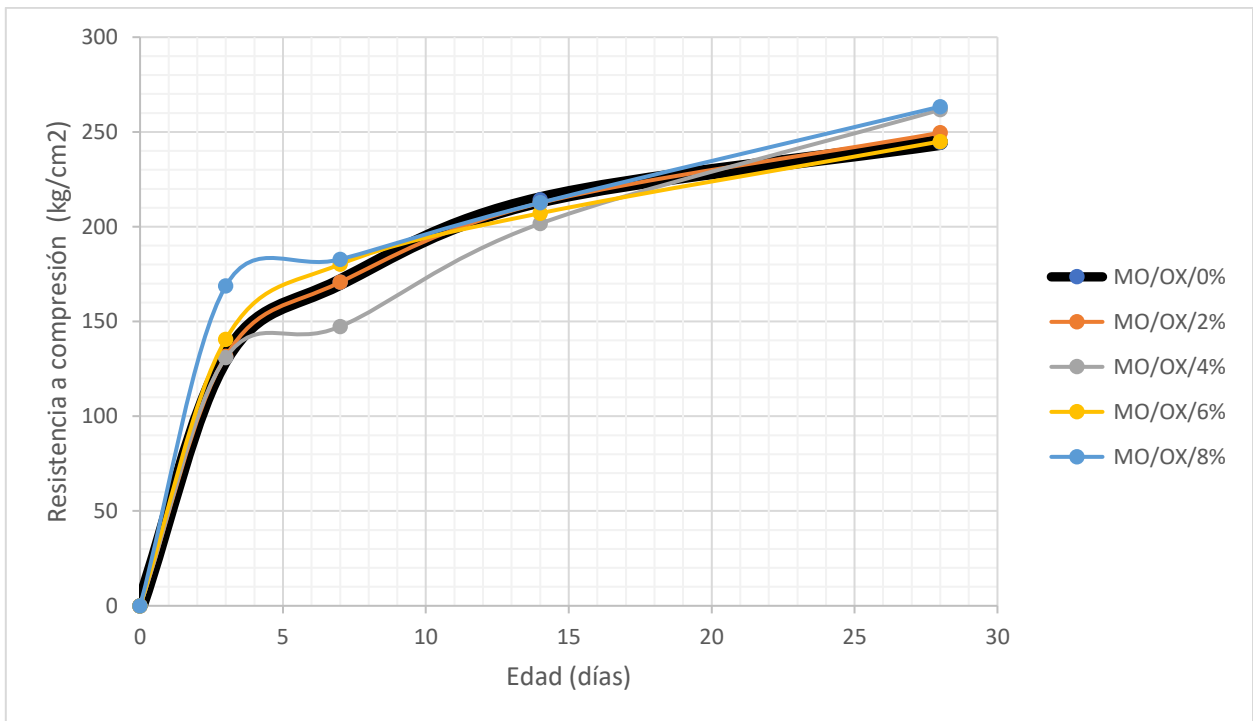


Figura 41. Grafica comparativa de los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a compresión simple de las mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

4.2.5. Análisis de precios unitarios a las mezclas de mortero y óxido de magnesio.

En la construcción de cualquier proyecto existen dos requisitos para tener éxito, los cuales son una administración eficaz del trabajo y la estimación correcta de los precios unitarios de los materiales y de las actividades a realizar en obra.

El análisis de precios unitarios se refiere al estudio de los costos y rendimientos que se tendrán para una partida en una medida unitaria, para este proyecto se analizó el costo de los materiales necesarios para fabricar 1 m³ de las mezclas de mortero que se utilizaron en las pruebas anteriores.

En las siguientes tablas se muestra el costo de 1 m³ de las 5 diferentes mezclas analizadas en esta investigación, los precios de los materiales fueron consultados durante el mes de agosto del año 2018.

Tabla 81. Precio unitario para la mezcla MO/OX/0%. *Fuente propia.*

Precio Unitario					
Mezcla	Material	Cantidades para 1 m ³ (Kg)	Precio Unitario	Importe	Total
MO/OX/0%	Cemento	1345.85	\$3.07	\$4,131.76	\$4,723.86
	Agua	652.73	\$0.10	\$65.27	
	Arena	3701.10	\$0.14	\$526.82	
	Óxido de	0.00	\$3.66	\$0.00	

Tabla 82. Precio unitario para la mezcla MO/OX/2%. *Fuente propia.*

Precio Unitario					
Mezcla	Material	Cantidades para 1 m ³ (Kg)	Precio Unitario	Importe	Total
MO/OX/2%	Cemento	1345.85	\$3.07	\$4,131.77	\$4,822.28
	Agua	652.74	\$0.10	\$65.27	
	Arena	3701.10	\$0.14	\$526.82	
	Óxido de	26.92	\$3.66	\$98.42	

Tabla 83. Precio unitario para la mezcla MO/OX/4%. *Fuente propia.*

Precio Unitario					
Mezcla	Material	Cantidades para 1 m ³ (Kg)	Precio Unitario	Importe	Total
MO/OX/4%	Cemento	1345.85	\$3.07	\$4,131.77	\$4,920.70
	Agua	652.74	\$0.10	\$65.27	
	Arena	3701.10	\$0.14	\$526.82	
	Óxido de	53.83	\$3.66	\$196.83	

Tabla 84. Precio unitario para la mezcla MO/OX/6%. *Fuente propia.*

Precio Unitario					
Mezcla	Material	Cantidades para 1 m ³ (Kg)	Precio Unitario	Importe	Total
MO/OX/6%	Cemento	1345.85	\$3.07	\$4,131.77	\$5,019.12
	Agua	652.74	\$0.10	\$65.27	
	Arena	3701.10	\$0.14	\$526.82	
	Óxido de	80.75	\$3.66	\$295.25	

Tabla 85. Precio unitario para la mezcla MO/OX/8%. *Fuente propia.*

Precio Unitario					
Mezcla	Material	Cantidades para 1 m ³ (Kg)	Precio Unitario	Importe	Total
MO/OX/8%	Cemento	1345.85	\$3.07	\$4,131.77	\$5,117.54
	Agua	652.74	\$0.10	\$65.27	
	Arena	3701.10	\$0.14	\$526.82	
	Óxido de	107.67	\$3.66	\$393.67	

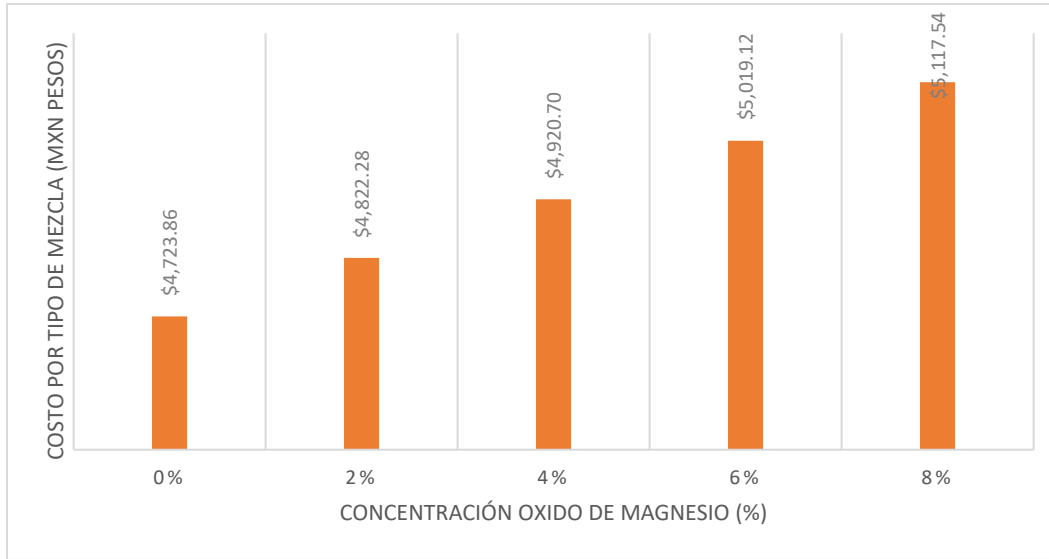


Figura 42. Grafica de los precios unitarios para fabricar 1 m³ la mezclas MO/OX. *Fuente propia.*

Como se puede observar en la gráfica de la figura 42 el costo de los materiales necesarios para fabricar 1 m³ de cada mezcla, tiene un incremento directamente proporcional a la cantidad de óxido de magnesio que se agrega a la mezcla. Esto es congruente, ya que el único material que varía en cuanto a su proporción es el óxido de magnesio. El incremento del precio de cada mezcla varia de un 2% hasta un 8%.

5. CONCLUSIONES

Se debe proveer a los productores de carne de cerdo con modelos para el manejo de excretas adecuados a las condiciones específicas de cada granja, además de utilizar materiales para la construcción que ayuden a reducir el potencial contaminante de los residuos que esta actividad genera.

Tomando como base los resultados obtenidos en la etapa de pruebas finales, la incorporación de óxido de magnesio como aditivo en una mezcla de mortero mejora en gran medida la resistencia a la absorción de líquidos. Por lo tanto, se deduce que una mezcla de mortero con óxido de magnesio podría ser utilizado como material en la construcción de fosas de almacenamiento.

Los resultados obtenidos en las pruebas de absorción a 24 horas muestran una tendencia similar en los especímenes de pasta con óxido de magnesio y los especímenes de mortero con óxido de magnesio. La absorción obtenida en las mezclas es inversamente proporcional al contenido de óxido de magnesio que se agregue a la mezcla. Se logro una reducción de hasta el 49% de la absorción de líquidos en las mezclas de pasta y un 47% de reducción en las mezclas de mortero, cuando se le agregaba un 8% de óxido de magnesio a la mezcla.

La resistencia a compresión de las mezclas de pasta con óxido de magnesio y las mezclas de mortero con óxido de magnesio, no se ven afectadas con la incorporación del óxido de magnesio. Se alcanzan resistencias mayores en edades tempranas en comparación con las muestras de control, pero llegan a resistencias similares a edades de 28 días.

Únicamente se realizaron pruebas a mortero ya que este es un material que puede ser utilizado como recubrimiento o en la reparación de las grietas que se formen en las fosas de almacenamiento; utilizar el óxido de magnesio como aditivo en el concreto no garantizaría una disminución en la absorción de líquidos, ya que

el concreto es utilizado como elemento estructural de contención de la presión hidrostática generada por las excretas en las fosas; una aplicación deficiente del concreto en los muros perimetrales o en el firme de las fosas o asentamientos que pueda sufrir el suelo donde se construya la nave porcina, generarían grietas por donde se puede filtrar las excretas.

En la actualidad no veo probable la aplicación de óxido de magnesio como aditivo en mezclas de mortero para ser utilizadas como recubrimiento en fosas, por el simple motivo que es un material adicional que genera un costo extra en la construcción de una nave porcina y como en todo negocio, el cliente tratará de producir más, intentando que su inversión sea la menor posible. Pero las reglamentos y normas en nuestro país cada vez son más exigentes con el trato que se les da a los animales dentro de esas granjas y con los residuos generados en ese sector. Por lo tanto, en un futuro el productor de carne de cerdo buscara los equipos y materiales necesarios para cumplir los requisitos que se indiquen en los reglamentos y de esta manera comprometer en la menor forma posible la contaminación al medio ambiente en específico al suelo y mantos acuíferos.

Trabajos por realizar:

- Evaluar la absorción de la mezcla de mortero utilizando otras proporciones de óxido de magnesio.
- Evaluar la transferencia de calor de las mezclas a las que se le agrega óxido de magnesio para su posible aplicación como recubrimientos en muros, y de esta manera contribuir al confort térmico de los animales dentro de las naves porcinas.
- Realizar una pequeña construcción para evaluar el comportamiento de las mezclas.

6. REFERENCIAS

Alvarez, L. 2016. Estudio del proceso de condensación de knoevenagel catalizado por sistemas basados en óxido de magnesio modificado. Universidad de Córdoba.

ASTM C 29. (2009). Unit weight and voids in aggregate. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials

ASTM C 33. (2008). Standard specification for concrete aggregates. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 67 - 03. (2009). Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 70. (2001). Standard test method for surface moisture in fine aggregate. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 109. (2009). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens). West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 128. (2012). Specific gravity and absorption of fine aggregates. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 150. (2009). Standard specification for portland cement. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 192. (2009). Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 305. (2009). Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM C 566. (2004). Standard method of test for total evaporable moisture content of aggregate by drying quiz. West Conshohocken, Pensilvania, EE UU: American Society for Testing and Materials.

ASTM 1437. (2004). Standard test method for flow of hydraulic cement mortar. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos: ASTM International.

BOE. (1996). Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE núm. 61 del 11 de marzo de 1996.

Castro-Miranda, O. M., Hernández-Zaragoza, J.B. (2017). Diseño de un concreto de baja densidad con EPS reciclado a través de aditivos poliméricos y óxido de magnesio.

Cardoso V.L. y E. Ramírez C. 2000 Memorias del tercer seminario Control y utilización de residuales porcinos. Composteo de residuos porcinos. Pág.1-8.

Del Distrito Federal, G. (2004). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. México D.F.

Formosa, J. 2012. Formulaciones de nuevos morteros y cementos especiales basadas en productos de magnesio. Universidad De Barcelona.

IMCYC. (2009). Concreto en la obra. Problemas, causas y soluciones(17 Y 18). Determinación del Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson NMX- C-128-1997-ONNCCE. México, D.F.

Landin, G. (2005). Producción de excretas porcinas y contaminación ambiental. Universo porcino. http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/manejo_porcino_03-2013_produccion_de_excretas_porcinas_y_contaminacion_ambiental.html Fecha de consulta 01/11/2017).

Marketizer.com, Q. 2016. Available from: <http://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-oxido-de-magnesio-2681300.htm>

Nilson, A. H. (2010). Diseño de Estructuras de Concreto (14th ed.). Nueva York: Mc Graw Hill.

NMX-C-414-ONNCCE-2010. (2010). Industria de la construcción- cementantes hidraulicos-especificaciones y metodos de ensayo. Mexico, D.F.: Organización Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y de la Edificación.

NMX-C-486-ONNCCE-2014 (2004). Industria de la Construcción. Mortero para uso estructural.

Rayner-Canham, G., R.E. García, H.E. García and S.B. Garcés. (2000). Química inorgánica descriptiva. Pearson Ed. México.

Salazar G. G.. 1996. "Uso y manejo de excretas de cerdo en la alimentación animal". Folleto técnico. CIRPAC-INIFAP. Zapopan, Jalisco, México diciembre de 1996.

Salazar G., G. 1997 "Manejo de Excretas". Dentro de Manual para el manejo de granjas porcinas, Vol. 1. Centro Universitario de los Altos. Universidad de Guadalajara. Tepatitlán, Jalisco, México.

SAGARPA. (2017). Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. Pág. 3.

Sika Mexicana. (2013). Concreto Impermeable, una mirada reciente. Corregidora, Querétaro, México. <https://mex.sika.com/dms/getdocument.get/82b80616-e74b-323e-80fb-0d5f2f96f19f/concreto-impermeable.pdf>
Fecha de consulta 12/05/2017).

7. ANEXO 1. TERMINOLOGÍA EMPLEADA

ASTM: American Standard Test Method.

A/C: Relación agua y cemento

ARP: Aditivos Reductores de la Permeabilidad.

CPC: Cemento Portland Compuesto

NMX: Norma Mexicana.

NTC: Normas Técnicas Complementarias.

NOM: Normas Oficiales Mexicanas

ONNCCE: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

RCDF: Reglamento de Construcción del Distrito Federal.