



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
ARQUITECTO**

TEMA

**PROCESO DE CURADO CON DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN
LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO**

TUTOR

Mg. Arq. GENARO GAIBOR ESPÍN

AUTOR

RAISSA LETICIA ROJAS FRANCO

GUAYAQUIL

2021

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Proceso de curado con Dióxido de carbono (CO ₂) en losas de hormigón armado.	
AUTOR/ES: Rojas Franco Raissa Leticia	REVISORES O TUTORES: Msc. Arq. Genaro Gaibor Espín
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Arquitecta
FACULTAD: FACULTA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: ARQUITECTURA
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2021	N. DE PAGS: 98
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción	
PALABRAS CLAVE: Hormigón, Dióxido de Carbono, método experimental, Arquitectura	
RESUMEN: Tras el descubrimiento del Dióxido de Carbono (CO ₂), el develamiento de sus variadas propiedades, acarrearón consigo el desarrollo de múltiples estudios y experimentos ejecutados no solo por científicos, o investigadores, como fue en un principio, sino también de casas comerciales que, impulsadas por el desarrollo industrial se dedicaron a la búsqueda de su aprovechamiento en múltiples campos y diferentes usos, encontrado	

hasta la fecha aplicaciones que van desde la investigación médica, la industria alimenticia,		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES/ES: Rojas Franco Raissa Leticia	Teléfono: +593 984886576	E-mail: raissy@msn.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<p>Mg. Ing. Civ. Alex Bolívar Salvatierra Espinoza, Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.</p> <p>Teléfono: (04)2596500 Ext. 213</p> <p>E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec</p> <p>Mgs. Dis. María Eugenia Dueñas Barberan, Directora de la carrera de Arquitectura.</p> <p>Teléfono: (04)2596500 Ext. 209</p> <p>E-mail: mavilaa@ulvr.edu.ec</p>	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

Tesis Rojas-Gaibor

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	0%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.clarin.com Fuente de Internet	1%
2	www.caracteristicas.co Fuente de Internet	1%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	www.acidoclorhidrico.org Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%


Mgs. Genaro Gaibor S.
Tutor.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

La estudiante egresada RAISSA LETICIA ROJAS FRANCO, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Proceso de curado con dióxido de carbono (CO₂) en losas de hormigón armado, corresponde totalmente a la suscrita y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.



Firma:

RAISSA LETICIA ROJAS FRANCO

C.I. 0924986862

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “*PROCESO DE CURADO CON DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN LOSAS DE HORMIGÓN*”, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “*PROCESO DE CURADO CON DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN LOSAS DE HORMIGÓN*”, presentado por la estudiante *RAISSA LETICIA ROJAS FRANCO* como requisito previo, para optar al Título de ARQUITECTA, encontrándose apta para su sustentación.



Firma:

MSC. ARQ. GENARO RAYMUNDO GAIBOR ESPÍN

C.C. 0910498229

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento imperecedero a mi familia, por ser la motivación fundamental en este logro profesional, a cada uno de los docentes que con su accionar evidenciaron la valía de esta carrera y por ende el reconocimiento al alma Mater que abrió sus puertas y formó dinámicamente el conocimiento que permitirá ser un ente colaborador del progreso de la sociedad a la que pertenezco. Al dador de la vida, del intelecto y la tenacidad, nuestro Padre Celestial, sin cuya voluntad me sería imposible haber llegado hasta aquí.

DEDICATORIA

A mis hijos, Juan José Barrera Rojas y Elizabeth Amelia Barrera Rojas, razón de mi existencia, para que llegado su tiempo logren apreciar que todo esfuerzo tiene su recompensa, el alcanzar una meta sólo depende del entusiasmo y compromiso con uno mismo, y a mi padre, Rolando Alberto Rojas Sánchez, ángel del cielo.

INDICE GENERAL

Pág.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	I
REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	II
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO.....	IV
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES.....	V
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR	VI
AGRADECIMIENTO	VII
INDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1 TEMA.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.7 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.8 HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER.....	5
1.9 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL/FACULTAD.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES.....	6
2.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO	6
2.1.2 HORMIGÓN	13
2.1.3 CURADO DE HORMIGÓN.....	16
2.2 GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	19
2.2.1 UBICACIÓN.....	19
2.2.2 COORDENADAS	19
2.2.3 LIMITES.....	20

2.2.4	SUPERFICIE.....	20
2.2.5	DIVISIÓN POLÍTICA Y POBLACIÓN.....	20
2.2.6	ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	21
2.2.7	EL HORMIGÓN Y DIÓXIDO DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	22
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	23
2.3.1	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	23
2.3.2	HIELO SECO	23
2.3.3	HORMIGÓN	23
2.3.4	HORMIGÓN DE PESO NORMAL	23
2.3.5	HORMIGÓN ESTRUCTURAL	24
2.3.6	HORMIGÓN LIVIANO.....	24
2.3.7	CURADO	24
2.3.8	GRIETAS.....	24
2.3.9	SUBLIMACIÓN	24
2.3.10	RALENTIZAR	24
2.3.11	CONDENSACIÓN	25
2.3.12	VIGUETA.....	25
2.3.13	BOVEDILLA.....	25
2.3.14	LOSA	25
2.3.15	LOSA DE CIMENTACIÓN.....	25
2.3.16	CIMENTACIÓN	25
2.3.17	MOLDES	26
2.3.18	PROBETAS	26
2.3.19	CILINDROS COMPAÑEROS.....	26
2.3.20	ENSAYOS DE HORMIGÓN	26
2.4	MARCO LEGAL.....	26
2.4.1	PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR.....	27
2.4.2	NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC).....	27
	CAPÍTULO III.....	28
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3	METODOLOGÍA	28
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3	ENFOQUE	29
3.4	TÉCNICA E INSTRUMENTOS	29

3.5	ENTREVISTAS	30
3.6	CONCLUSIONES	34
3.7	POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.8	CÁLCULO DE MUESTRA.....	35
3.9	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
3.10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
	CAPÍTULO IV	43
	INFORME FINAL	43
4	PROPUESTA	43
4.1	FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	43
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	43
4.3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS	45
4.4	MATERIALES	45
4.5	HERRAMIENTAS	46
4.6	PREPARACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS	48
4.7	ELABORACIÓN DE MEZCLA	49
4.8	RELLENO DE MOLDES.....	51
4.9	CURADO INICIAL	52
4.10	DESMOLDADO DE MUESTRAS	53
4.11	CURADO CON DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	56
4.12	PRUEBAS DE LABORATORIO	66
4.13	REGISTRO DE RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES.....	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
	ANEXOS.....	80

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Línea de investigación de FIIC	5
Tabla 2. Datos de entrevistados.....	30
Tabla 3. Peso y tipo de tratamiento a darse en probetas de hormigón	54
Tabla 4. Cálculo de Dióxido de Carbono (CO ₂) a utilizarse	56
Tabla 5. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al séptimo día	66
Tabla 6. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al día catorce	69
Tabla 7. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al día veintiocho.....	70
Tabla 8. Resultados de pruebas de compresión a los siete días	72
Tabla 9. Resultados de pruebas de compresión a los catorce días	72
Tabla 10. Resultados de pruebas de compresión a los veintiocho días	73

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Probetas de distintos tipos de hormigón	2
Figura 2. Curado de losa de hormigón	3
Figura 3. Joseph Black	7
Figura 4. Hielo seco	7
Figura 5. Diagrama de fases del CO2	9
Figura 6. El ciclo del carbono	9
Figura 7. Hielo seco tipo nieve.....	10
Figura 8. Hielo seco tipo pellets de 3 mm.....	11
Figura 9. Hielo seco tipo Nuggets	11
Figura 10. Hielo seco tipo placas	12
Figura 11. Hielo seco tipo bloque	12
Figura 12. Losa de hormigón armado	14
Figura 13. Sistema de pretensado.....	14
Figura 14. Sistema de pos tensado	14
Figura 15. Cimiento de hormigón ciclópeo.....	15
Figura 16. Muestra de hormigón auto compactable	15
Figura 17. Muestra de hormigón con fibras	16
Figura 18. Cámara de curado por evaporación.....	18
Figura 19. Ubicación del cantón Guayaquil.....	19
Figura 20. División parroquial del cantón Guayaquil	20
Figura 21. Número de habitantes por cantón de Guayaquil	21
Figura 22. Tabla climática de Guayaquil	21
Figura 23. Horas de luz natural y crepúsculo.....	22
Figura 24. Aplicación de viguetas y bovedillas en losas prefabricada de alma abierta	23
Figura 25. Experiencia en la fundición de losa de hormigón armado	37
Figura 26. Consideración hacia el tipo de curado en la construcción	37
Figura 27. Variación del sistema de curado	38
Figura 28. Régimen en el curado de losas.....	38
Figura 29. Consideración económica para el tipo de curado	39
Figura 30. Facilidad de ejecución al escoger tipo de curado.....	39
Figura 31. Consideración de eficacia al escoger tipo de curado	40
Figura 32. Innovación en métodos de curado.....	40
Figura 33. Disponibilidad para la innovación en métodos de curado	41
Figura 34. Disponibilidad a la implementación del hielo seco en el curado.....	41
Figura 35. Disponibilidad para capacitaciones.....	42
Figura 36. Flujo de la propuesta.....	44
Figura 37. Materiales para probetas y segmentos de losa	45
Figura 38. Herramientas para probetas y segmentos de losa	47
Figura 39. Preparación de herramientas para obtención de probetas	48
Figura 40. Preparación de moldes para segmentos de losas.....	48
Figura 41. Materiales para preparación de mezcla.....	49

Figura 42. Aditivo para mezcla	50
Figura 43. Mezcla en concreteira	50
Figura 44. Ensayo de cono de Abrams.....	51
Figura 45. Relleno de probetas de hierro fundido	51
Figura 46. Acabado de probetas	52
Figura 47. Fundición y acabado de segmentos de losa	52
Figura 48. Curado inicial de probetas	53
Figura 49. Desmolde de probetas	53
Figura 50. Probetas de hormigón desmoldadas.....	55
Figura 51. Segmentos de losa antes del curado.....	55
Figura 52. Probetas de hormigón previo a curado.....	56
Figura 53. Toma de peso del hielo seco a usarse	57
Figura 54. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - día.....	57
Figura 55. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - noche	58
Figura 56. Probetas de hormigón al segundo día tras fundición	58
Figura 57. Probetas de hormigón al tercer día tras fundición.....	59
Figura 58. Probetas de hormigón al cuarto día tras fundición.....	59
Figura 59. Probetas de hormigón al quinto día tras fundición	59
Figura 60. Probetas de hormigón al sexto día tras fundición	60
Figura 61. Probetas de hormigón al séptimo día tras fundición	60
Figura 62. Probeta de hormigón 3	60
Figura 63. Probeta de hormigón 5	61
Figura 64. Probeta de hormigón 12.....	61
Figura 65. Probeta de hormigón 13	61
Figura 66. Diferenciación de segmentos de losa.....	62
Figura 67. Segmentos de losa humedecidos.....	64
Figura 68. Segmentos de hormigón al primer día tras fundición	64
Figura 69. Segmentos de hormigón al segundo día tras fundición.....	64
Figura 70. Segmentos de hormigón al tercer día tras fundición.....	65
Figura 71. Segmentos de hormigón al cuarto día de fundición.....	65
Figura 72. Segmento de hormigón al quinto día tras fundición	65
Figura 73. Segmento de hormigón al sexto día tras fundición	65
Figura 74. Segmentos de losa de hormigón al séptimo día tras fundición	66
Figura 75. Probetas de hormigón en laboratorio para prueba tras siete días	67
Figura 76. Máquina para pruebas de compresión.....	67
Figura 77. Rotura de Probeta #1.....	68
Figura 78. Rotura de probeta #5.....	68
Figura 79. Rotura de probeta #9.....	68
Figura 80. Rotura de probeta #13.....	68
Figura 81. Rotura de probeta #2.....	69
Figura 82. Rotura de probeta #6.....	69
Figura 83. Rotura de probeta #10.....	70
Figura 84. Rotura de probeta #3.....	70
Figura 85. Rotura de probeta #7.....	71
Figura 86. Rotura de probeta #11	71

Figura 87. Rotura de probeta #14.....	71
Figura 88. Desarrollo de la resistencia en probetas de hormigón.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Encuesta.....	83
Anexo 2 Tabla registro de datos.....	77

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo constructivo de la sociedad, un elemento fundamental ha sido el hormigón, hoy en día es posible encontrarlo a simple vista a nuestro alrededor, ya sea en paredes, piso o techos, su uso, aunque variado, también posee limitaciones que surgen por un incorrecto proceso, ya sea de elaboración, mezcla, o curado, que pueden restringir su rendimiento, manejo y características en gran medida.

El método más común de curado, es humedecer continuamente la superficie con agua, este proceso se puede llegar a convertir en un problema en su ejecución, ya sea por falta de supervisión, recursos o tiempo, ocasionando un incorrecto curado, otro método es el uso de aditivos, o agregados, pero dependiendo del agregado a usarse el valor proyectado para su construcción se incrementará.

El objetivo de este proyecto es determinar la factibilidad de este nuevo uso para el Dióxido de Carbono, su importancia no se limita a la zona en la que se desarrolla, es aplicable a otras zonas, ciudades o países, de clima similar, planteando un cambio en el modo de realizar curado, al ser un sistema innovador, puede otorgar un nuevo papel al Dióxido de Carbono dentro de la construcción.

Esta investigación se desarrolla en cuatro capítulos, en el capítulo I, se aborda la problemática, el proceso tradicional al producirse el curado, sus ventajas y desventajas, se trazan los objetivos y se plantea la hipótesis, en el capítulo II se hace distinción de los conceptos que se manejan, tanto del Dióxido de Carbono (CO₂) como del curado, sus usos y ramas en los que se aplican en la actualidad.

En el capítulo III se establece la metodología de la investigación, los términos, técnicas y métodos de análisis en las muestras que se toman al plantear la propuesta. En el capítulo IV se presenta la propuesta para el uso del Dióxido de Carbono (CO₂) aplicado al curado de las losas de hormigón, tomando como referencia sus usos ya conocidos, aplicado en muestras.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1 Tema.

Proceso de curado con Dióxido de Carbono (CO₂) en losas de hormigón de armado.

1.1 Planteamiento del Problema.

Las edificaciones de hormigón requieren cumplir procedimientos, para su correcto desempeño, estos van desde la correcta selección del material antes de construir, hasta la supervisión tras su fundición, entre ellas está el curado, esta acción consiste en mantener una temperatura favorable para el fraguado del hormigón ya que, durante el fraguado, se eleva su temperatura.



Figura 1. Probetas de distintos tipos de hormigón
Fuente: (Alario, 2011)

Realizado el proceso de fundición, se debe continuar con el curado a realizarse durante las primeras semanas posterior al fraguado, esto mantendrá a sus componentes hidratados y permitirá el paso de una mezcla con varios materiales diferentes, a un cuerpo homogéneo, de descuidarse su desarrollo, se puede provocar un prematuro secado y posterior agrietamiento, la correcta temperatura del hormigón es crucial, ya que permite el desarrollo aglutinante de la mezcla esto evitará los desperfectos.

Se busca la implementación de un nuevo método de curado, mediante el uso del Dióxido de Carbono (CO₂) conservando la temperatura del hormigón por debajo de los 36°C. a la sombra, protegiendo la humedad del hormigón.



Figura 2. Curado de losa de hormigón
Fuente: (Tecnoprenco, 2016)

Estas y otras variables pueden reducir la eficacia del método actual del curado, y por ende reduciendo la calidad del hormigón ya fraguado, la conclusión de estas observaciones es el requerimiento de innovación en el mismo, que cumpla con la función refrigerante en el hormigón.

1.2 Formulación del Problema.

¿Se puede realizar el proceso de curado mediante el Dióxido de Carbono (CO₂) en la ciudad de Guayaquil?

1.3 Sistematización del Problema.

¿Qué características y aplicaciones se le conoce al Dióxido de carbono (CO₂)?

¿Cuál es el proceso que se debe efectuar para el estudio del efecto del Dióxido de carbono (CO₂) en el curado del hormigón?

¿Qué características presenta el hormigón resultante luego de aplicar CO₂ durante el proceso de curado?

¿Cuáles son los cambios físicos visibles y mecánicos medibles en el hormigón, al ser expuesto durante su curado al Dióxido de Carbono (CO₂)?

1.4 Objetivo General.

Determinar los efectos de la implementación del Dióxido de Carbono (CO₂) en el proceso de curado del hormigón para establecer su factibilidad como nueva técnica de curado.

1.5 Objetivos Específicos.

- Elaborar pruebas en probetas de hormigón, aplicando Dióxido de Carbono (CO₂) durante su curado como proyección para estructuras de tamaño real.
- Determinar las características resultantes de las pruebas en el hormigón tras la aplicación del Dióxido de Carbono (CO₂) en su curado mediante ensayos físicos y mecánicos para reconocer sus afectaciones.
- Analizar los pros y contra de la implementación del Dióxido de Carbono (CO₂) en el curado para determinar la factibilidad del mismo en la construcción.

1.6 Justificación.

El agua es un elemento fundamental en el hormigón, a pesar de contar con ella en varios procedimientos de la construcción, aún no se ha explorado la posibilidad de reemplazarla o minimizar su uso como estabilizador de temperatura, durante el curado del hormigón, mediante el uso del Dióxido de Carbono (CO₂), el mismo permitiría reducir la pérdida de humedad en el hormigón, a causa de altas temperaturas.

Con esta aplicación, su impacto trascendería a más allá de la zona a desarrollarse, también es posible de forma global, al volverse un procedimiento estándar, su relevancia se presenta como legado a generaciones futuras tal cual lo ha sido en su momento la implementación de nuevas herramientas, al iniciar el camino para la aplicación del Dióxido de Carbono (CO₂).

Este modo de emplearlo en la construcción es aún desconocido, ya que no se ha probado en ninguno de los procesos del hormigón, en la actualidad el Dióxido de Carbono (CO₂) es un recurso abundante en nuestro medio, al ser un subproducto resultante del refinamiento del azúcar, una de las mayores líneas de producción en la franja ecuatoriana,

la mayoría de veces es desechado, reutilizado por las plantas azucareras como fungicida y revendido a fabricantes de hielo seco.

1.7 Delimitación del Problema.

Campo:	Educación Superior, Tercer nivel de grado.
Área:	Arquitectura
Aspecto:	Investigación experimental
Tema:	Proceso de curado con Dióxido de Carbono (CO ₂) en losas de hormigón armado.
Delimitación Espacial:	Ciudad de Guayaquil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte
Delimitación Temporal:	6 meses

1.8 Hipótesis o Idea a Defender.

El uso del Dióxido de Carbono (CO₂) como estabilizador de la temperatura en el proceso de curado de losas de hormigón, permitirá implementar una nueva técnica de curado.

1.9 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1. Línea de investigación de FIIC

Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	LINEA: Materiales de Construcción	SUBLINEA: Materiales innovadores en la construcción
---	---	---

Fuente: (FIIC, 2019)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2 Marco Teórico

2.1 Antecedentes

La historia de la construcción ha sido variante y progresiva en las diversas etapas de desarrollo de la humanidad, tanto en diseño como en el empleo de los materiales, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, desde las cuevas, la tierra, la caña, el concreto, estas características dependen del terreno y las técnicas edificantes, al mismo tiempo la influencia del soporte económico del dueño de la construcción. Es loable considerar que en muchas zonas rurales las familias compartían la vivienda con los animales. En la actualidad las viviendas de residencias cuentan con espacios no habitables como garajes, invernaderos, talleres, esto en las áreas urbanas, estos espacios determinan el uso de los materiales, madera, ladrillo, piedra, hierro y hormigón, en la mayoría de las construcciones se aplica la combinación de los materiales, esto depende del gusto del propietario o del proyecto arquitectónico que se vaya a construir.

2.1.1 Dióxido de Carbono

En el siglo XVIII, el químico escocés Joseph Black descubre el Dióxido de Carbono, (CO₂), tras experimentar con la descomposición química de la margita y la caliza, llamando al gas resultante “aire fijo” o “gas fijado”, tras un nuevo experimento con un frasco y una vela encendida estableció, que este se obtiene de procesos como la combustión, al incluir a un ratón descubrió que era un gas irrespirable, y lo ligo a la fermentación. (Esacademic, 2019)

Fue un pionero al obtener mediante el aislamiento el dióxido de carbono en estado puro, tras Black, siguieron las investigaciones del químico Antoine Lavoisier, que, al realizar experimentos para conocer los procesos del oxígeno, identificó este gas por las características descritas por Black, denominándolo como Dióxido de Carbono.

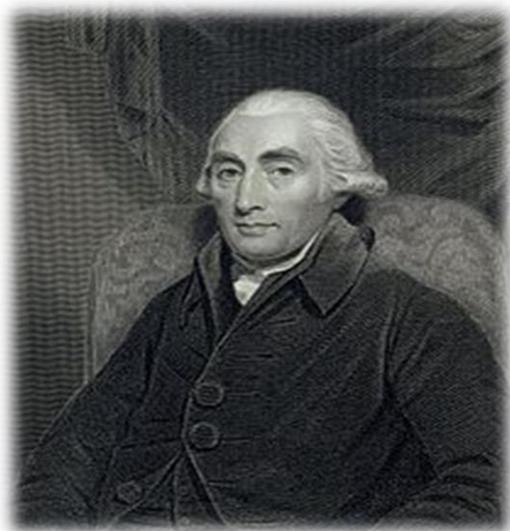


Figura 3. Joseph Black

Fuente: (Esacademic, 2019)

El Dióxido de Carbono, es una molécula con la fórmula CO_2 , es decir la unión de un átomo de carbono con dos átomos de oxígeno, se puede encontrar en su forma natural como un gas incoloro, también posee forma líquida y sólida, esta última solo a temperaturas por debajo de los -78° , también se la conoce como hielo seco o nieve carbónica, llamado así porque no pasa del estado sólido al líquido, sino directamente al gaseoso. (Ecured, 2019)



Figura 4. Hielo seco

Fuente: (Infrasal, 2019)

El CO_2 que se utiliza para la producción del hielo seco, es un subproducto natural, que se deriva de varios procesos de la fabricación industrial, ya sea la refinación petroquímica, como la fermentación, en los cuales se captura y almacena hasta ser necesario, esto lo hace amigable con el entorno, ya que no se consume nueva energía para su producción,

(Antelo, 2015) habla del CO₂ como uno de los productos residuales de otros procesos, entre sus características este ofrece una ventaja económica, y un bajo poder contaminante. entre sus propiedades tenemos:

- Fórmula: CO₂
- Masa molecular: 44.0 g/mol.
- Densidad: 1,842 kg/m³; 0,001842 g/cm³
- Punto de sublimación: -79° C.
- Punto de ebullición: 216 K (-57 °C)
- Punto de fusión: 194,7 K (-78 °C)
- S₀gas, 1 bar: 213,79 J·mol⁻¹·K
- Color: Transparente
- Olor: Nulo
- Solubilidad (ml /100 ml a 20° C): 88
- Presión de vapor (Kpa a 20° C): 5720
- Densidad relativa (aire =1g/ml): 1.5 g/ml.
- No flamable
- Poco reactivo
- No conduce electricidad

Entre sus propiedades físicas se debe considerar la magnitud física (temperatura) dióxido de carbono puede solidificarse a temperaturas menores a -79° C, de igual manera llega a descomponerse si se expone a temperaturas mayores a 2000°C. Es soluble en agua, los expertos consideran que cada volumen de agua permite la irrigación y el flujo constantes, a este proceso se le conoce como el ciclo hidrológico que es de vital importancia para el enfriamiento atmosférico y la estabilidad climática de las diversas regiones, el agua disuelve 0,9 volumen de CO₂ y su densidad es de 1,5 g/cm³ (una vez y media la del aire).

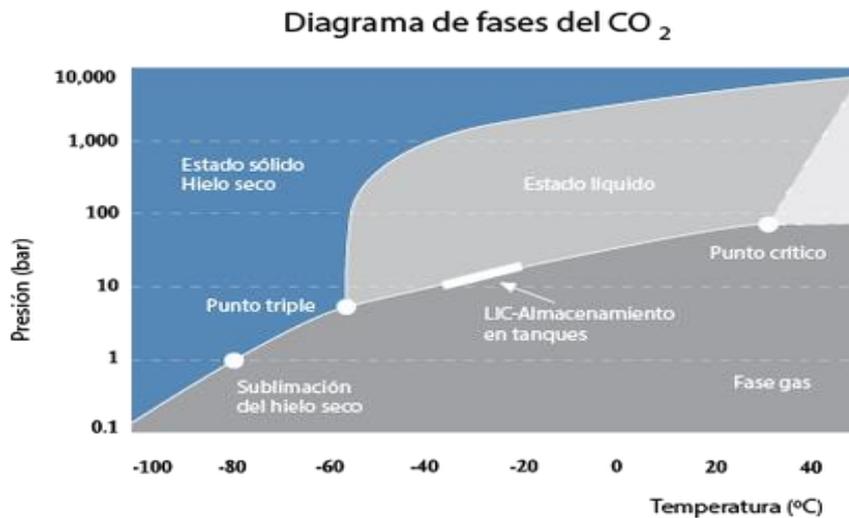


Figura 5. Diagrama de fases del CO₂
Fuente: (gaseslaestrella, 2019)

El Dióxido de Carbono, es una parte esencial en el ciclo del carbono, se encuentra presente en los procesos geológicos, como las emisiones volcánicas e incendios forestales, y en el intercambio de carbono de organismos, al ser expulsado a través de la respiración. (es.khanacademy.org, 2019)



Figura 6. El ciclo del carbono
Fuente: (cnx, 2019)

El dióxido de carbono se forma a partir de diversos procesos, entre ellos:

- *Combustión.* De materiales fósiles y no fósiles, carbón, gas.
- *Fermentación.* La fermentación de azúcares que realizan bacterias y levaduras que conducen a la liberación ácidos y CO₂.

- *Respiración.* Tanto las plantas como animales superiores respiran, en este proceso toman el oxígeno y liberando dióxido de carbono.
- *Reacción.* La reacción de carbonatos en medio ácido
- *Refrigeración.* El dióxido de carbono en su forma sólida resulta por la exposición a bajas temperaturas.

El dióxido de carbono se usa para fabricar, insumos de limpieza, bebidas gaseosas y gracias a su falta de combustión, es empleado comúnmente en extintores contra fuego, llenos de carbono líquido, que al ser expulsado se solidifica como nieve en polvo enfriando el entorno, reduciendo las llamas, en su forma sólida es utilizado como refrigerante, ya que tiene capacidad de enfriar casi el doble que la del hielo del agua. (Ecured, 2019) El hielo seco se lo puede encontrar en varias presentaciones y tipos:

- *Tipo Nieve.* Similar en forma a la nieve normal, con una velocidad de sublimación superior a otras formas, su velocidad de sublimación es la más elevada, no requiere equipos complejos pero su durabilidad es muy breve, no tiene un tamaño determinado, pero puede ser menor al 1 mm, se lo aplica en congelaciones tipo flash, es utilizado en las plantas de procesamiento cárnico



Figura 7. Hielo seco tipo nieve

Fuente: (gaseslaestrella, 2019)

- *Tipo Pellets.* Su tamaño es parecido al de un grano de arroz, va del 1 mm a los 3 mm, es utilizado en la limpieza criogénica, y paquetes de envío pequeños a distancias cortas.



Figura 8. Hielo seco tipo pellets de 3 mm
Fuente: (carbueros-hieloseco, 2019)

- *Tipo Nugget.* Con un tamaño que va de los 6 a los 19 mm de diámetro, su velocidad de sublimación y durabilidad es media, es utilizado para procesar alimentos y enviar paquetes en grandes distancias, en plantas de procesamiento cárnico, para servicios biológicos (laboratorios) y el sector panadero.



Figura 9. Hielo seco tipo Nuggets
Fuente: (carbueros-hieloseco, 2019)

- *Tipo Placas/Laminas.* Su presentación se da en forma de láminas o placas de hielo, su tamaño estándar es de 210 x 125 x 18 mm. Su velocidad de sublimación es baja y tiene una alta durabilidad, es utilizado en el catering de líneas aéreas, para realizar envíos.



Figura 10. Hielo seco tipo placas
Fuente: (carbueros-hieloseco, 2019)

- *Tipo Bloque.* En una presentación de tamaño 250 x 250 x 125 mm, que puede variar según la empresa o país, debido a su tamaño, la velocidad de sublimación es menor, y tiene mayor durabilidad, se utiliza en almacenes de comestibles, helados o depósitos de cadáveres.



Figura 11. Hielo seco tipo bloque
Fuente: (gaseslaestrella, 2019)

Según (Pacheco, 2018) del uso del Dióxido de Carbono (CO₂), como elemento refrigerante se tiene bastante conocimiento, también es denominado como R744, es aplicado en sistemas frigoríficos, funcionando de modo eficiente en climas cálidos, la propuesta de implementar el Dióxido de Carbono (CO₂) nace de la gran disponibilidad del mismo en nuestro medio.

2.1.2 Hormigón

El hormigón se define como un material de construcción resultado de la mezcla de cemento portland, cenizas, escorias o cualquier otro cemento hidráulico, que haga las veces de material aglutinante, árido o agregado ya sea fino o grueso y agua, se incluya o no aditivos. (MIDUVI, 2014) al hablar del hormigón, en la actualidad existen variedades, se subdivide en distintos tipos, por su densidad, constitución, aplicación o uso específico. (umacon, 2017)

La densidad del hormigón, depende de la cuantía de piedras que se agregan en su mezcla, esta particularidad es la principal responsable de su resistencia a las cargas que se someta, se lo puede encontrar:

- *Liviano*: Su peso está en los 800 y 1800 Kg/cm³, su constitución requiere áridos livianos y aditivos específicos, se utiliza para rellenos, nivelación, construcción de contra pisos, tabiques no estructurarles y para cañerías.
- *Normal*: Su peso va por sobre los 2000Kg/cm³, se utiliza en estructuras armadas en cimentaciones, pilares, paredes, bóvedas, pavimentos y elementos decorativos.
- *Pesado*: Su peso está por encima de los 3000Kg/cm³, está constituido por aditivos más densos, se lo utiliza para blindar estructuras, bloquear la radiación, contrapesos de puentes y cimentaciones especiales.

En relación a su uso el hormigón se encuentran varios tipos:

- *Ordinario*: Es la mezcla de cemento Portland, agua y áridos de varios tamaños entre los 5 mm, incluyendo grava y arena.
- *En masa*: Sin estructura de acero está diseñado para resistir solo esfuerzos de compresión.
- *Armado*: En su interior se encuentra estructura de acero, que se mantendrá fija después de su fundición, este refuerzo se lo realiza para que pueda resistir cargas de tracción y compresión.



Figura 12. Losa de hormigón armado

Fuente: (Edificativa, 2011)

- *Pretensado:* La estructura de acero que va en su interior, no tiene contacto directo con el concreto al momento de colado, es tensada después de verterlo, o al colocarse la mezcla, su objetivo es mejorar su resistencia a la tracción, se utiliza para cubiertas, entrepisos, viguetas, pilotes.

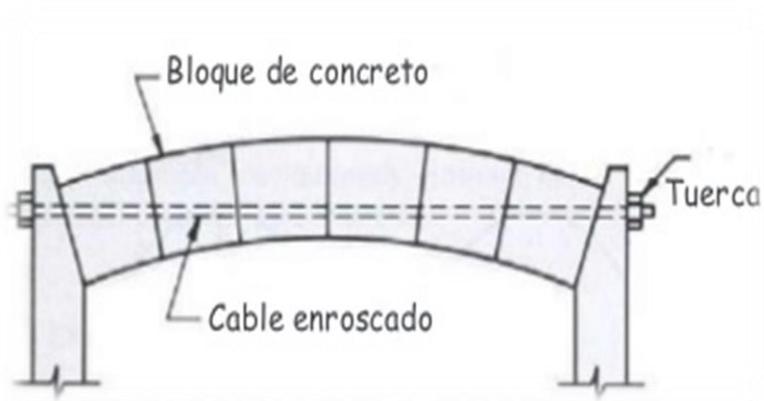


Figura 13. Sistema de pretensado

Fuente: (SlideShare, 2014)

- *Postensado:* La estructura de acero en su interior es tensada después del fraguado y endurecimiento del cemento.

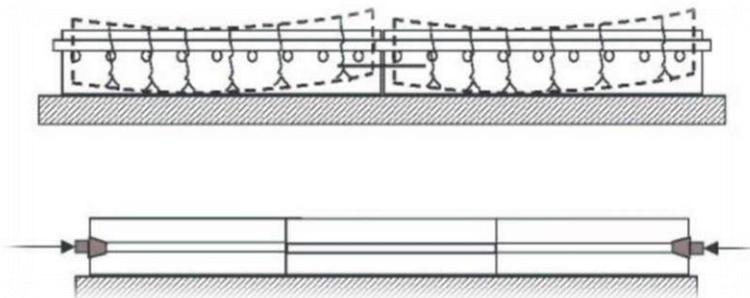


Figura 14. Sistema de pos tensado

Fuente: (docplayer, 2018)

- *Ciclópeo*: En su constitución se utilizan piedras de un tamaño igual o superior a los 30 cm.

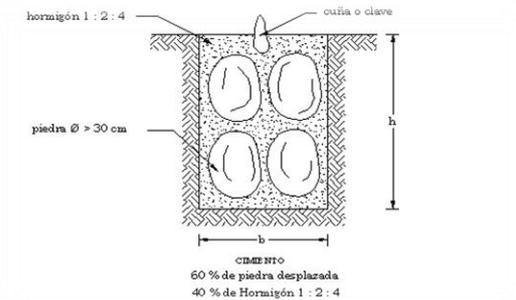


Figura 15. Cimiento de hormigón ciclópeo
Fuente: (Ingenierocivilinfo, 2010)

- *Autocompactante*: Es un hormigón especial, compuesto de aditivos superplastificantes, que lo ayudan a compactar por su propio peso.



Figura 16. Muestra de hormigón auto compactable
Fuente: (Alario, 2010)

- *Celular o aireado*: Mezcla de hormigón que requiere aire u otros gases a su mezcla, entre sus propiedades esta la capacidad de calcar el encofrado que lo contiene.
- *Hormigón con fibras*: Son aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y distribuidas aleatoriamente en la masa, con esto se busca mejorar alguna propiedad, las fibras pueden ser de acero, poliméricas o de vidrio.



Figura 17. Muestra de hormigón con fibras
Fuente: (proyectosyobrasmetrocubico, 2019)

En experimentación de (Torres, Arias, 2018) se puede mezclar el hormigón con otros materiales, cumpliendo la norma INEN 1576, preservando en lo máximo posible su estado físico sin golpes ni presiones externas, al implementarse el Dióxido de Carbono (CO₂) durante el curado, debe ser exponiendo el hormigón, para que tenga efecto estabilizador de su temperatura.

2.1.3 Curado de Hormigón

El Curado es el proceso que realiza el constructor posterior a la fundición de un elemento de hormigón, este busca permitir el desarrollo de las propiedades como resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad manteniendo condiciones de humedad y temperatura favorables, las técnicas existentes tienden a mantener la saturación del hormigón, reducir la evaporación o la aceleración del desarrollo de resistencia. (Becker, 2016)

El tipo de curado a realizarse depende de varios factores, la disponibilidad, practicidad, necesidad y un previo análisis de costo beneficio, por parte del constructor, teniendo presente las necesidades del proyecto, del tipo prácticas, resistentes y estéticas.

Entre los sistemas más comunes de curado tenemos:

- *Mantener la humedad en el encofrado colocado:* Consiste en mantener los laterales del encofrado, al ser de madera se deben mantener permanentemente saturados, de ser metálicos no requiere este tipo de cuidados.
- *Cubrir la superficie:* Este método se utiliza en la cara superior de las estructuras de hormigón, como es el caso de losas, pisos y pavimentos, se coloca arpillera húmeda o un film de un material no absorbente que disminuya la pérdida de

humedad del hormigón, este método suele afectar la estética al colocarse en estado fresco, es decir inmediatamente después de la fundición

- *Riego Superficial:* En este método se mantiene la saturación del hormigón mediante el riego por aspersión, este se debe dar de forma permanente para evitar su secado superficial, debe ser de forma que parezca una leve neblina.
- *Mediante la reducción de la evaporación:*

Uso de compuestos químicos líquidos, que sea capaz de formar una membrana protectora, esta debe ser capaz de retener una humedad no inferior al 80% en la superficie del hormigón tras 7 días de tratamiento.

Resguardo de la superficie, mediante el uso de mantas impermeables o piezas textiles como yute o cáñamo, que reduzcan la evaporación, en el caso de ser piezas textiles se debe cuidar continuamente de la reposición de la humedad.

Sellando la superficie, este se puede utilizar incluso en hormigones ya secos, mediante compuestos selladores se protege al hormigón del ingreso de humedad.

- *Curado Acelerado:* Curado a vapor, se utiliza generalmente en piezas pequeñas de hormigón prefabricado, en cámaras para este uso se da la aplicación controlada de calor y humedad, se utiliza un generador de vapor (1) en combinación con sensores térmicos (2) y válvulas motorizadas de regulación(3), que distribuyen el vapor mediante tuberías (4), extractores (5), ventiladores (6), protegidos por medio de aislamiento (7), estos generadores de vapor existen de varias especificaciones y potencias, pueden utilizar gas natural o propano. (Kraftcuring, 2019)

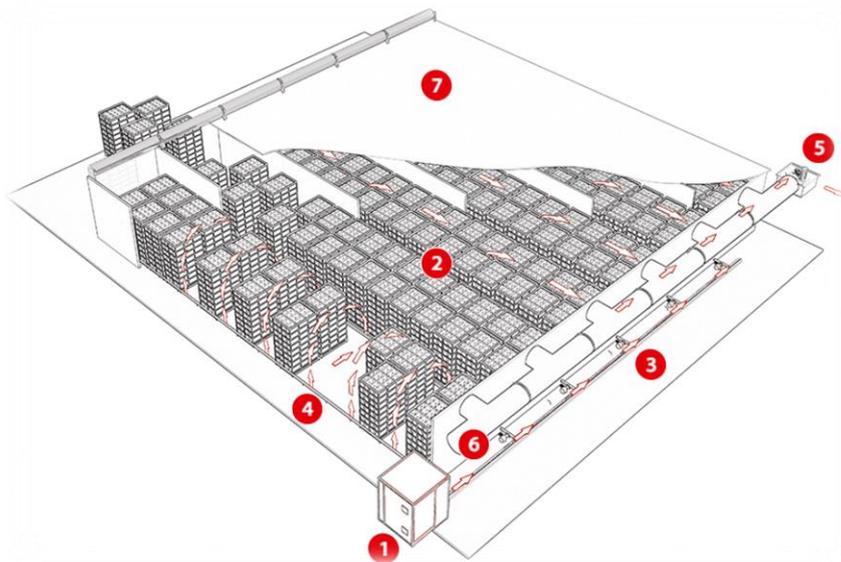


Figura 18. Cámara de curado por evaporación

Fuente: (Kraftcuring, 2019)

Se realiza en 4 etapas, un periodo de espera, con el reposo de la pieza por 2 o 5 horas, el periodo de elevación, se eleva la temperatura de forma paulatina, hasta llegar a los 65 y 80° a una velocidad máxima de 20°C/hora, la tercera etapa, se mantiene la pieza en una temperatura fija durante 6 a 10 horas, dependiendo de las necesidades de diseño del hormigón, en la cuarta etapa se da el descenso de temperatura hasta llegar a la temperatura ambiente, respetando el descenso a 15°C/hora.

- *Curado por temperatura:* Este es un método que se realiza mediante el calentamiento del hormigón mediante resistencias eléctricas externas o internas para acelerar las reacciones de hidratación.
- *Curado por Carbonatación:* Se utiliza en piezas pequeñas, se realiza en cámaras de curado mezclando Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 y Dióxido de calcio Ca(OH)_2 , para que mediante el carbonato de calcio CaCO_3 se produzca una leve contracción de la pasta cementicia y una mayor dureza, este método se puede combinar con el curado mediante secado, se baja rápidamente la humedad de las piezas permitiendo su inmediata comercialización y uso, este es efectivo en piezas que no requieren asentamiento ni un alto grado de hidratación en su composición. (Becker, 2016)

El método de curado a realizarse, se verá influenciado por el tipo de hormigón, la temperatura del ambiente en que se desarrolla, la constancia y el tiempo de tratamiento que se le da, (Cuellar, Sequeiros, 2017), realizaron un estudio comparativo en la ciudad de Arequipa, con sus conclusiones demuestran la importancia del curado, y como su

incorrecto desarrollo disminuye el tiempo de vida útil del hormigón, se ha demostrado que el curado es una etapa de gran influencia en el concreto, (Contreras, Velazco, 2018) realizaron un estudio de los efectos en el cemento tipo I y Tipo I en condiciones diferentes, en estas pruebas comparativas se demostró que la resistencia a la compresión puede cambiar radicalmente.

2.2 Generalidades de la ciudad de Guayaquil

2.2.1 Ubicación

El cantón Guayaquil, se encuentra ubicado en la provincia del Guayas, su cabecera cantonal es la Ciudad de Guayaquil.

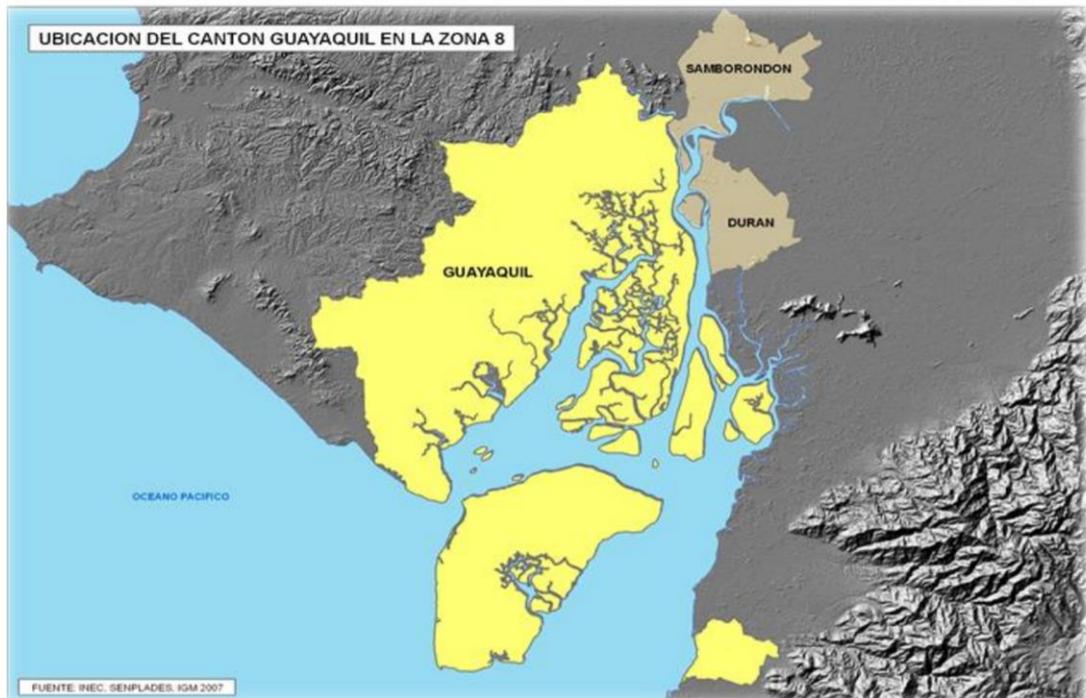


Figura 19. Ubicación del cantón Guayaquil

Fuente: (INEC, 2010)

2.2.2 Coordenadas

La ciudad de Guayaquil se encuentra ubicada en las coordenadas 2°11'46.2" S 79°53'10.3" O (Geodatos.net, 2019)

2.2.3 Limites

La ciudad de Guayaquil limita así:

- Al Este: Con las parroquias de: Santa Elena, Juan Gómez Rendón (Progreso), Morro, Pedro Carbo y Posorja
- Al Oeste: Samborondon, Durán, Naranjal Balao
- Al Norte: Isidro Ayora, Nobol, Daule
- Al Sur: La isla Puna



Figura 20. División parroquial del cantón Guayaquil
Fuente: (INEC, 2010)

2.2.4 Superficie

Cuenta con una superficie de 345 Kilómetros cuadrados (guayaquilesmidestino, 2019).

2.2.5 División política y población

La ciudad de Guayaquil tiene 21 parroquias, 16 urbanas y 5 rurales, en el año 2010 se registró una población total de 2.350.915, con el 49.3% de género masculino y el 50.7% femenino.

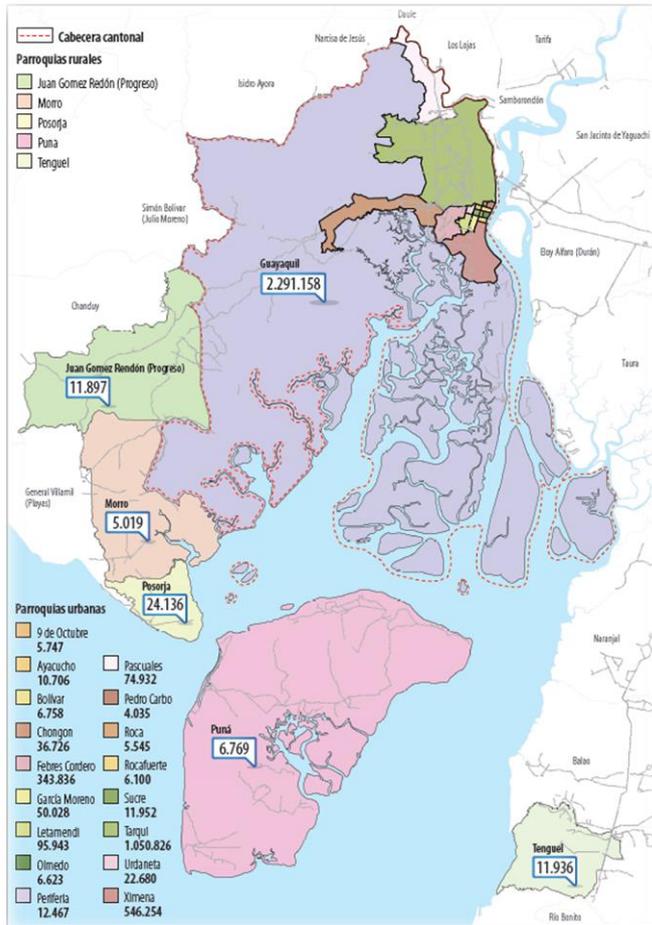


Figura 21. Número de habitantes por cantón de Guayaquil
Fuente: (INEC, 2010)

2.2.6 Aspectos Climatológicos

Por la ubicación en la que se encuentra la ciudad de Guayaquil, su clima es del tipo estepa, las precipitaciones no son del tipo abundante, en el sistema Köppen - Geiger se encuentra clasificado como tipo BSh – Semiárido cálido, con una temperatura media anual por encima de los 18°C, su mes más caluroso es marzo, con un promedio de 31.5°, y el más frío agosto cuando puede bajar hasta los 19.6° C

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26.4	26.7	27.1	26.9	26.4	25	24.2	24.4	24.8	25.1	25.5	26.2
Temperatura mín. (°C)	22	22.5	22.7	22.5	21.9	20.8	19.9	19.6	19.8	20.4	20.8	21.5
Temperatura máx. (°C)	30.9	30.9	31.5	31.4	30.9	29.3	28.6	29.3	29.9	29.8	30.2	31
Temperatura media (°F)	79.5	80.1	80.8	80.4	79.5	77.0	75.6	75.9	76.6	77.2	77.9	79.2
Temperatura mín. (°F)	71.6	72.5	72.9	72.5	71.4	69.4	67.8	67.3	67.6	68.7	69.4	70.7
Temperatura máx. (°F)	87.6	87.6	88.7	88.5	87.6	84.7	83.5	84.7	85.8	85.6	86.4	87.8
Precipitación (mm)	167	197	199	148	35	6	1	0	1	1	5	31

Figura 22. Tabla climática de Guayaquil
Fuente: (Climate-data, 2019)

La duración del día en Guayaquil, no tiene mayores variaciones en el año, para el 2019 se conoce como su día más corto el 21 de junio y el más largo el 21 de diciembre, en promedio lleva el día 12 horas y 15 minutos de luz natural.



Figura 23. Horas de luz natural y crepúsculo

Fuente: (Sweatherspark, 2019)

2.2.7 El Hormigón y Dióxido de Carbono en la construcción

Por las características, previamente dichas del Dióxido de Carbono (CO₂), su aplicación es viable en construcciones ubicadas en el clima de la ciudad de Guayaquil, si tenemos presente la primera Ley de la termodinámica, la temperatura tiene un flujo cuya velocidad es directamente proporcional a la distancia entre el inicio y el término (36°C a -79° C), por lo que corresponde a la necesidad del enfriamiento del concreto en la construcción, la aplicación del Dióxido de Carbono (CO₂) es viable en su estado sólido (hielo seco) al sublimarse no genera ningún tipo de líquido, agua o humedad que afecte a la estructura.

Es necesario recordar que el kilogramo de hielo seco genera 136 frigorías de energía, al estar a una temperatura de -78,5°C, cede 16 frigorías extra lo que permite que se pueda obtener 152 frigorías por cada kilogramo de hielo seco, funciona como un agente bacteriológico y un fungistático, cuando se produce su sublimación se genera una atmosfera cuya concentración de CO₂ es tan alta que ejerce una acción antimicrobiana, por ello es un excelente gas para ralentizar el desarrollo de las bacterias, mohos y levaduras, creando un ambiente totalmente desinfectado.

(Flores, 2017) expresó que su aplicación es posible, pero siempre contando con el direccionamiento de un profesional experto, (Rodríguez, 2017) recomienda que antes de aplicar el sistema se debe revisar el tipo de cimentación, de la aplicación del Dióxido de Carbono ya se posee de precedentes, aplicándose en la creación de pequeñas piezas en serie, (Cruz, 2017) manifiesta su uso eficiente comprobado en viguetas y bovedillas.

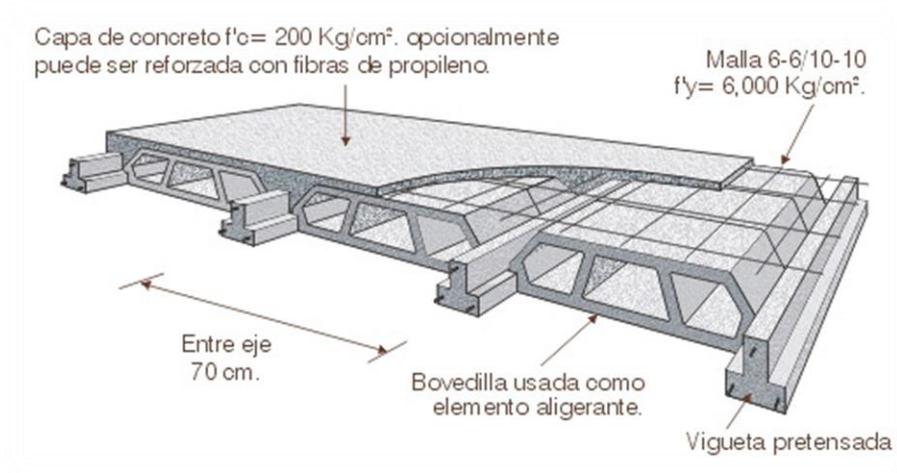


Figura 24. Aplicación de viguetas y bovedillas en losas prefabricada de alma abierta
Fuente: (Pretensur, 2019)

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Dióxido de Carbono (CO₂)

Citando a Raffino (2019)

Es un gas incoloro, inodoro e incombustible, soluble en agua, compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno, unidos por enlaces dobles covalentes.

2.3.2 Hielo Seco

Citando a Raffino (2019)

Es También conocido como hielo carbónico, es el estado sólido del dióxido de carbono o CO₂. (Raffino, 2019)

2.3.3 Hormigón

Desde el punto de vista de Pérez (2019)

Es un material utilizado en la construcción, resultado de la mezcla de cal o cemento con grava, arena y agua.

2.3.4 Hormigón de peso Normal

De acuerdo al (MIDUVI, 2014)

Es el Hormigón que contienen agregados que cumplen la norma ASTM C33

2.3.5 Hormigón estructural

Según el (MIDUVI, 2014)

Es todo hormigón utilizado con propósitos estructurales, puede ser simple o reforzado.

2.3.6 Hormigón liviano

A saber por (MIDUVI, 2014)

Es el hormigón que se compone de agregado liviano que tiene una densidad de equilibrio entre 1440 y 1840 kg/m³.

2.3.7 Curado

De acuerdo con (Becker, 2016)

Es un proceso a través del cual el constructor intenta brindar adecuadas condiciones de humedad y temperatura que permiten lograr el grado de hidratación necesario que permita al hormigón desarrollar las propiedades de resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad para las que ha sido diseñado.

2.3.8 Grietas

Desde el punto de vista de (Construmatica, 2019)

Es una hendidura o abertura longitudinal, de ancho mayor de 1mm, que se hace en un cuerpo sólido producido por diferentes causas tales como acciones exteriores o por defectos del material.

2.3.9 Sublimación

Citando a (Ecured, 2019)

Es el acto y consecuencia de sublimar, pasar de forma directa del estado sólido al vapor.

2.3.10 Ralentizar

De acuerdo a (definicion.de, definicion.de, 2019)

Acto mediante el cual una cosa, fenómeno o proceso se vuelve más lento.

2.3.11 Condensación

Citando a (significados.com, 2019)

Es el cambio del estado físico de una sustancia del estado gaseoso al líquido.

2.3.12 Vigüeta

Según (Construmatica, 2019)

Viga pequeña, elemento longitudinal resistente, generalmente prefabricada que puede ser de hormigón, madera o acero, que sirve de soporte del forjado o entarimado de pisos o cubiertas.

2.3.13 Bovedilla

Citando a (Construmatica, 2019)

Elemento de construcción, pequeño que se usa para cubrir el espacio entre dos vigas, para cubrir espacios.

2.3.14 Losa

De acuerdo con (definicion.de, 2019)

Elemento de construcción horizontal, piedra lisa de escaso grosor, utilizado en la construcción.

2.3.15 Losa de cimentación

Desde la perspectiva de (definicion.de, 2019)

Es una placa de concreto, hormigón, apoyado en el terreno, que sirve para repartir las cargas y peso de la construcción.

2.3.16 Cimentación

De acuerdo a (edu.xunta.es, 2019)

Conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.

2.3.17 Moldes

Citando a (notasdehormigonarmado.blogspot.com, 2019)

Son elementos metálicos o de PVC, que pueden ser cubicas, o cilíndricas, en donde se colocan muestras de hormigón para su posterior uso en pruebas, pueden ser de 10, 15, 20, 25 y 30 cm, en el caso de cilindros la mayoría de veces 15 cm.

2.3.18 Probetas

En concordancia con (notasdehormigonarmado.blogspot.com, 2019)

Son elementos de hormigón que se obtienen de los moldes.

2.3.19 Cilindros compañeros

De acuerdo a (MIDUVI, 2014)

Conjunto de cilindros hechos de la misma muestra de hormigón y mantenidos bajo las mismas condiciones de curado.

2.3.20 Ensayos de hormigón

En concordancia con (construmatica.com, 2019)

Son estudios o ensayos que se realizan en muestra de hormigón para determinar mediante máquinas o pruebas las características del mismo.

2.4 Marco Legal

Para toda clase de proyectos, se debe contar con los fundamentos legales que lo impulsen y dinamicen en su accionar para con la sociedad, sobreponiéndose a lo previamente establecido, en el caso de la implementación del Dióxido de Carbono en el Curado del hormigón contamos con dos reglamentos que lo afectan e impulsan de forma directa.

2.4.1 Plan Nacional para el Buen Vivir

Este proyecto se alinea con el objetivo 3 del plan del buen vivir, que es garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y las futuras generaciones, al efectuar este proyecto se busca reducir la usanza de agua en las construcciones de hormigón, e implementar un mayor manejo de un elemento resultante de actividades industriales como lo es el Dióxido de Carbono.

2.4.2 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, han creado guías basada en la normativa para la construcción de estructuras con hormigón armado, basadas en el código NEC-SE-HM.

En el artículo 9.2.6 nos dice, que los compuestos para el curado deben cumplir con la especificación ASTM C309, y en el caso del Dióxido de Carbono se cumple.

En el artículo 9.5.4 se habla del acabado del hormigón, la calidad dependerá de su condición y apariencia, al ser el Dióxido de Carbono un agente no perjudicial para la misma, se respeta este requerimiento en el curado.

El artículo 9.6.1 se hace hincapié en la importancia de mantener la humedad en el hormigón, el Dióxido de Carbono se utilizará en el proceso como un agente refrigerante, evitado la resequedad del hormigón deteniendo el proceso de evaporación del agua.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3 Metodología

3.1 Metodología de la investigación

El desarrollo de este proyecto tiene contexto experimental porque se pretende determinar los efectos de la investigación experimental descriptiva. Creswell (2013), quien menciona a los experimentos como estudios de intervención, porque es el investigador quien instala el escenario, tratando de explicar cómo se afectan los involucrados. Mediante esta descripción el escenario a plantear radica en determinar los riesgos y efectos del Dióxido de Carbono en muestras de hormigón diseñadas para la fundición de losas, la información resultante servirá como base estadística para aplicar y controlar la solidificación de las losas con el uso del Dióxido de Carbono.

3.2 Tipo de investigación

Rodríguez A. R. Tesis de Doctorado, 2001. Expresa:

"En el saber arquitectónico y urbano, se produce una relación dialéctica entre el conocimiento empírico y el teórico. No puede hablarse de una teoría totalmente formalizada de la arquitectura y el urbanismo, con leyes generales y cuadros que expliquen el comportamiento más esencial del fenómeno. Los principios a los que se han arribado, parten de una elaboración teórica sustentada en siglos de experiencia práctica. Luego, en cada propuesta arquitectónica o urbana entran en juego los conocimientos anteriores en forma de técnicas y procedimientos para resolver el problema planteado”.

Lo que permite aseverar que las técnicas arquitectónicas aplicadas no quedan en el olvido, sino que son los pilares que con otras innovaciones fortalecen los conocimientos teóricos en este proyecto se aplican dos tipos de investigación: experimental y descriptiva, la primera se da porque se realizarán ensayos en laboratorio, con distintos rangos de tiempo y porcentajes de proporción en relación superficie/Kg, para realizar pruebas de flexión, corte y comprensión, comparando el curado tradicional y el curado implementando Dióxido de Carbono (CO₂).

A respecto, Ávila Baray (2014) expresa “Un experimento tiene como propósito evaluar o examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente cuando se introduce la variable independiente, es decir, se trata de probar una relación causal” mediante los resultados del experimento se obtendrán datos de interés que permitirán determinar la factibilidad del uso del Dióxido de Carbono (CO₂) en el proceso de curado del hormigón, su comportamiento y la resultante de su aplicación en muestras.

Es investigación descriptiva, por cuanto permite caracterizar un objeto en la construcción, revelando sus características, sus tendencias y regularidades, permite también establecer relaciones entre el objeto de investigación que se está implementando, se pretende sintetizar la información obtenida para llegar a caracterizar y definir los rasgos esenciales del empleo del Dióxido de Carbono (CO₂) en el curado del hormigón, predecir nuevas cualidades, en el desarrollo del proceso de investigación, los trabajos transitan diversas etapas por ello una investigación exploratoria pasa a ser descriptiva y luego a explicativa, depende del objetivo que haya trazado el investigador y del impacto que se quiera lograr.

3.3 Enfoque

Este proyecto se efectúa mediante un enfoque mixto, ya que es cualitativo y cuantitativo, pues busca medir y predecir los resultados, mediante el uso de análisis de causa – efecto, empleando muestras y pruebas de laboratorio.

3.4 Técnica e instrumentos

Observación: Durante todo el proceso del curado de las muestras se observaron las interacciones de los recursos materiales al realizar la fundición, se puede deducir de ello que el Dióxido de Carbono por ser un gas más pesado que el aire, ligeramente toxico, no alimenta la combustión y se sublima con facilidad.

Encuesta: La técnica es una encuesta en la cual se realizará una recopilación de datos, dirigido a trabajadores o concedores en el sector de la construcción a los cuales sea de su interés el tema de este proyecto.

Entrevista: se realizaron tres entrevistas, a un Ingeniero Civil, a un arquitecto y a un maestro albañil en obra.

Perfiles:

Tabla 2. Datos de entrevistados

Nombre	Profesión	Edad	Educación
Francisco Grau	Ingeniero	60	Universitaria
Rodolfo Aguilera	Arquitecto	46	Universitaria
Ricardo Ordoñez	Albañil	32	Básica

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

3.5 Entrevistas

PREGUNTA 1:

¿Cuánto tiene tiempo trabajando en la construcción, por qué? (Ingeniero)

Un tiempo considerable, más de 20 años, contando con las prácticas de la universidad, estoy convencido que la realización personal del ser humano depende de la buena selección de la profesión y la mía es hermosa, pues proporciono la dirección del lugar donde una familia disfruta momentos agradables en cada uno de sus espacios, no puedo dejar a un lado al equipo que complementa y realiza el trabajo que se me confía, una urbanización, un condominio, una casa, un centro comercial, un complejo deportivo en el lugar que sea el trabajo voy y me adapto a las condiciones para ver nacer, crecer y entregar una obra, una satisfacción personal y colectiva al mismo tiempo.

¿Cuánto tiene tiempo trabajando en la construcción, por qué? (arquitecto)

Bueno, empecé como dibujante por 5 años visitando obras y luego pase a residente, donde luego de 7 años aprendiendo de las distintas áreas me independice, yo considero que el arte merece toda admiración y una obra terminada es eso, una obra de arte, por lo que me apropio de la frase de Leonardo Da Vinci” La belleza perece en la vida, pero es inmortal en el arte” en realidad para un arquitecto el arte de construir se inicia en el papel plano.

¿Cuánto tiene tiempo trabajando en la construcción, por qué? (albañil)

Toda una vida, inicie como ayudante a pasar materiales a los 13 años, como ayudante de mi abuelo, la curiosidad por llegar a ser maestro me obligo a ser observador de todo lo

que hacían los demás hasta que a los 17 años ya tenía la noción y pasión por la construcción no he ido a la universidad, no poseo título profesional, pero en ocasiones he corregido a los ingenieros, por la experiencia que tengo, ellos me consultan y confían el trabajo de los que dependen de mí.

PREGUNTA 2:

**¿Está familiarizado, o a realizado la fundición de losas de hormigón armado?
(Ingeniero)**

Oh, claro, es lo primero que pienso para que la obra sea la esperada, los materiales, su resistencia y la cantidad adecuada, yo soy el profesional, dirijo la obra y decido lo que se debe hacer, en el fondo en mis hombros cae el peso más grande de la obra, he sido supervisor y constructor de varias losas.

**¿Está familiarizado, o a realizado la fundición de losas de hormigón armado?
(Arquitecto)**

Bueno, sí, es de noción y conocimiento general que toda construcción según el tipo y tamaño, a de requerir cierta cantidad de hormigón, es el material más empleado en las estructuras, cual sea el tipo losa.

**¿Está familiarizado, o a realizado la fundición de losas de hormigón armado?
(Albañil)**

Sí, realizo de 1 a 3 como mínimo al mes, lo más común son losas para casas.

PREGUNTA 3:

Posterior a la fundición de la losa ¿Realiza curado del hormigón? (Ingeniero)

Claro, porque el fraguado perfecto, depende del curado, aunque lo usual es reducir el tiempo de curado mediante aditivos, para evitar fisuras y desniveles, las reparaciones son perdida de dinero, recursos, mano de obra y sobretodo tiempo.

Posterior a la fundición de la losa ¿Realiza curado del hormigón? (Arquitecto)

Por supuesto, se deben tomar medidas para mantener hidratado el hormigón, o se verán afectadas su durabilidad y resistencia de diseño, el hormigón es un material susceptible a los cambios de temperatura drásticos.

Posterior a la fundición de la losa ¿Realiza curado del hormigón? (Albañil)

Por lo general se hace curado al día siguiente de fundir losa, se rocía agua en la superficie hasta tener una capa de 1 centímetro de espesor de agua, la idea es evitar que se hagan grietas o que luego tenga filtraciones, se hace una o dos veces al día, cuando alcanza el tiempo, y si se sigue trabajando, si no queda como cosa del dueño.

PREGUNTA 4:

¿Cuántos métodos de curado conoce usted? (Ingeniero)

Existen varios métodos de curado, mediante sombreado, que es usar una lona extendida a unos metros sobre el hormigón fundido, el recubrimiento del hormigón mediante arena de río o si la tierra del mismo terreno es buena, se la humedece, la común que es con aspersión de agua, sé que también hay un método que resulta de combinar el uso de arena y agua creando pequeños estanques de agua sobre el hormigón, y el uso de membranas, que es un plástico que reduce la pérdida de agua.

¿Cuántos métodos de curado conoce usted? (Arquitecto)

Sé que hay varios, el curado con agua, con lona, tela o el papel de los mismos sacos de cemento mojados, recientemente me entere del curado por vapor, que es mediante el uso de agua caliente.

¿Cuántos métodos de curado conoce usted? (Albañil)

Los que se usan en obra, mojar las losas, o cuando el calor es demasiado se pone el papel de los sacos de cemento sobre la losa y se los moja.

PREGUNTA 5:

¿Cuál es el método de curado que más utiliza? (Ingeniero)

Bueno, lo común en Ecuador, es el uso de agua, arena húmeda, o sacos de cemento mojados que se colocan sobre la losa, la mayoría de las veces utilizo el curado por aspersión, porque es el método más económico y rápido.

¿Cuál es el método de curado que más utiliza? (Arquitecto)

Generalmente se usa agua para el curado, aunque desde el momento de la fundición se usa aditivos que reducen el tiempo de curado, en obra siempre se trata de acelerar los procesos, porque se cumplen fechas de entrega.

¿Cuál es el método de curado que más utiliza? (Albañil)

El que más uso es mojar la losa, solo si el calor es demasiado se ponen los sacos de cemento encima.

PREGUNTA 6:

¿Qué aspectos positivos cree usted que brinda el curado con agua? (Ingeniero Civil)

Los principales, rapidez y economía, que son los que como constructor me interesan, otro beneficio es el acabado de la superficie, aunque es poco perceptible cuando se van a colocar baldosas o cerámicas.

¿Qué aspectos positivos cree usted que brinda el curado con agua? (Arquitecto)

En mi opinión lo que más se aprovecha es el dinero, además por ser el método más común, los maestros ya saben lo que deben hacer y cómo, no se pierde tiempo comprando extra material o con explicaciones.

¿Qué aspectos positivos cree usted que brinda el curado con agua? (Albañil)

La apariencia, con agua la superficie del hormigón queda lisita.

PREGUNTA 7:

¿Cuándo considera usted que se ha llevado a cabo un correcto curado? (Ingeniero)

El objetivo del curado es garantizar la correcta solidificación del hormigón, así que, si la superficie no presenta ninguna fisura, o filtración al nivel inferior, el curado se ha realizado correctamente.

¿Cuándo considera usted que se ha llevado a cabo un correcto curado? (Arquitecto)

Lo ideal es cuando se ha seguido el proceso de humedecer la losa, por lo menos durante tres días para garantizar que no aparezcan fisuras ni filtraciones.

¿Cuándo considera usted que se ha llevado a cabo un correcto curado? (Albañil)

Cuando la superficie de la losa no está ni cuarteada ni polvosa.

PREGUNTA 8:

¿Qué opina usted de la implementación de hielo seco para regular la temperatura del hormigón durante el curado de losas? (Ingeniero)

Me sorprende, la idea, pero no estoy seguro como se podría implementar, porque el hielo seco al ambiente desaparece, y el hormigón a temperaturas muy bajas puede resultar

afectada su estructura, sin mencionar el precio o manejo, seguramente encarecería el proceso.

¿Qué opina usted de la implementación del hielo seco para regular la temperatura del hormigón durante el curado de losas? (Arquitecto)

No había oído del uso del hielo seco, aunque si sabía que, en ocasiones al mezclar el hormigón en lugar de usar agua, se utiliza un porcentaje de hielo tipo granizado, habría que tener presente cuales serían los efectos en la resistencia del hormigón, su costo y que tan fácil de manejar resultaría para los maestros en obra.

¿Qué opina usted de la implementación del hielo seco para regular la temperatura del hormigón durante el curado de losas? (Albañil)

La verdad, yo no he trabajado con eso, yo sé que se usa para la venta de helados, no veo cómo se lo podría usar en una losa.

3.6 Conclusiones

El rol de constructor suele ser escogido, en el caso de un ingeniero o un arquitecto, muchas veces no pasa de ser el diseñador. En el caso de un albañil, la construcción se considera una profesión heredada o visto como oficio accesible, en la rama es bastante conocida la práctica para la fundición de losas de hormigón armado, aunque no por ello se realice continuamente, respecto al curado, la practica ejecutada en el medio es el uso de aditivos que ayuden al hormigón a alcanzar en el menor tiempo posible su resistencia, y reducir así el tiempo de espera y por lo tanto de curado, aun cuando el ingeniero y arquitecto conozcan varios tipos de curado, el que más se suele aplicar es la irrigación con agua, por lo general el albañil suele conocer menos y aplica la mayoría de las veces el mismo, la facilidad de su uso, los resultados en la apariencia, como el previo conocimiento en su ejecución mantienen el método de curado por irrigación como el favorito, más aún porque se logra alcanzar un correcto curado, en cuanto al uso de hielo seco durante el curado, el precio es la principal preocupación, seguida de su aporte en el diseño de la resistencia del hormigón, y la preocupación de su posible ejecución.

3.7 Población y muestra

Para determinar una muestra, se ha de tomar para la realización de las encuestas, hemos de aplicar la formula instituida por (Hernández, Fernández, & Baptista, 2013), su fórmula y desarrollo son:

$$n = \frac{Z^2(p)(q) N}{E^2(N-1) + p q(Z)^2}$$

n = Muestra

N = Población

Z = Nivel de confianza

p = Probabilidad de éxito

q = Probabilidad de fracaso

e = Error permitido

3.8 Cálculo de muestra

De la ciudad de Guayaquil, se escogió el sector centro y centro norte de Guayaquil, de acuerdo al NEC (Instituto Nacional de estadísticas y censos) la población, en el censo del 2017 corresponde a 2644.891 personas.

n = Muestra

N = Población (2644.8919 habitantes)

Z = Nivel de confianza 90% (1.96)

p = Probabilidad de éxito 50% (0.5)

q = Probabilidad de fracaso (1-p): 0.5

e = Error permitido 10% (0.1)

Siguiendo estos delineamientos el cálculo de nuestra muestra es:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5) (0.5) (2644.891)}{0.1(2644.891-1) + (0.5) (0.5) (1.96)^2}$$

$$n = \frac{(3.8416) (0.25) (2644.891)}{0.1(2644.891-1) + (0.9604)}$$

$$n = \frac{2'540.153.316}{2'644.890.960}$$

$$n = 96$$

La fórmula da como resultado 96 personas, número que se tomara para la muestra de personas en la rama de la construcción, en lo que respecta a las zonas norte, y centro norte de Guayaquil, se realizó el martes 5 de noviembre del 2019.

Encuestas: Se realizó encuesta a los trabajadores de distintas obras en construcción, en el sector norte y centro norte de Guayaquil, para conocer la aceptación que tendría la implementación del Dióxido de Carbono en losas de hormigón armado, se pudo conocer la respuesta a esta innovación en la fundación, en el contexto de la construcción los entes inmersos se muestran interesados.

3.9 Análisis e interpretación de resultados

Pregunta 1

¿A realizado o estado presente en la fundición de una losa de hormigón armado?

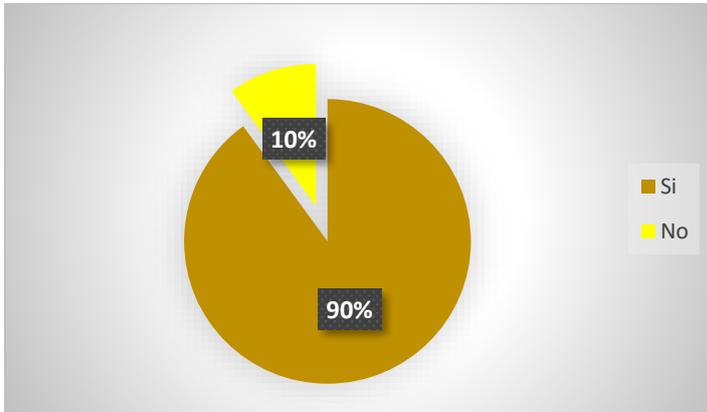


Figura 25. Experiencia en la fundición de losa de hormigón armado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

La mayoría, el 90% de personas presentes en distintas construcciones, tienen experiencia, ya sea dirigiendo o ayudando en lo que es fundición de losas de hormigón armado solo 10% dice que no ha estado presente en una fundición.

Pregunta 2

¿Considera usted que se evalúa el tipo de curado a realizarse con el mismo cuidado que la calidad de los materiales antes de una fundición?

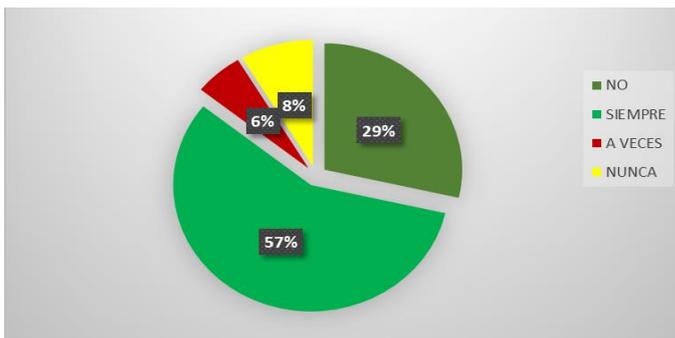


Figura 26. Consideración hacia el tipo de curado en la construcción
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

La apreciación de la mayoría de los entrevistados, el 57% fue siempre, seguida de la opinión del 29% que decían que no, el 8% decían que, si se evaluaba el tipo de curado a utilizarse, y la menor parte, el 6% decía que nunca habían oído de algún tipo de evaluación al curado.

Pregunta 3

¿Aplica el mismo tipo de curado de a todo tipo de losa?

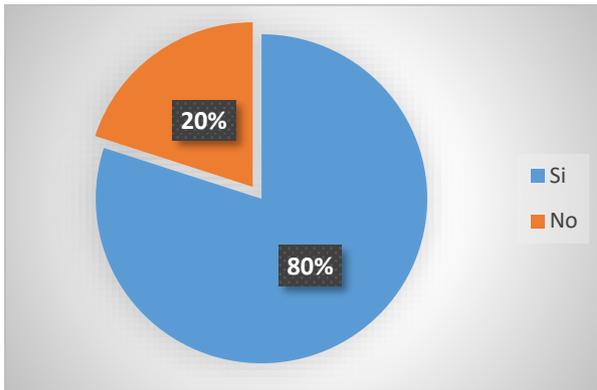


Figura 27. Variación del sistema de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

La apreciación del personal es que la gran mayoría de veces, el 80% se utiliza un solo tipo de curado, que es el humedecimiento de la superficie con agua, el 20% indica que si ha variado el tipo de método.

Pregunta 4

¿Diría usted que el curado de losa lo realiza bajo un régimen estricto?

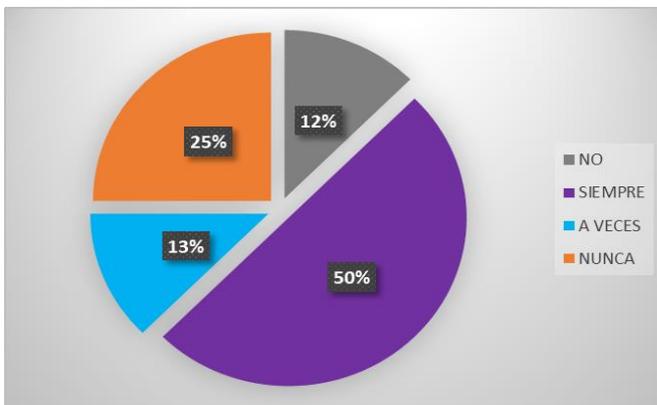


Figura 28. Régimen en el curado de losas
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

De los encuestados, el 50% opina que siempre, ya que explican que en obra siempre está presente el fiscalizador o un residente que ordena realizar el curado de losas, seguido de la opinión que nunca con un 25%, cuando hablaban de obras que tras su fundido se “abandonan” o se dan por concluidas, en proporciones casi iguales se considera que no, con un 12% o que se realizar el curado a veces con un 13%.

Pregunta 5

¿Considera el costo económico un factor importante para escoger el tipo de curado?

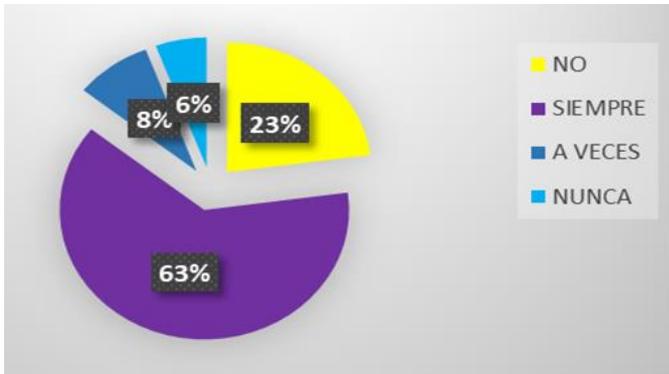


Figura 29. Consideración económica para el tipo de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

El 63% considera que siempre, seguido en menor parte por el no con un 23%, seguido por un 8% con un a veces, con muy poca diferencia al 6% que dice que nunca.

Pregunta 6

¿Considera la facilidad de ejecución un factor importante para escoger el tipo de curado?

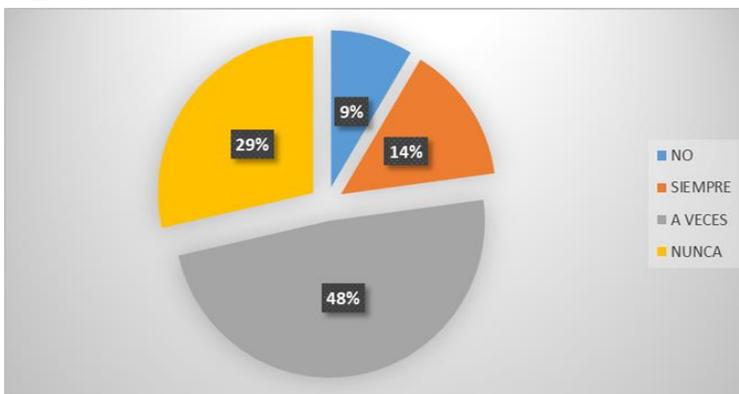


Figura 30. Facilidad de ejecución al escoger tipo de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

El 48% considera que a veces es importante la facilidad con que se pueda hacer el curado, seguido por una tercera parte, el 29% que considera que nunca es un factor importante a considerarse, seguido del 14% que indica que siempre se debe tener presente, y un 9% que piensa que no.

Pregunta 7

¿Considera la eficacia un factor importante para escoger el tipo de curado?

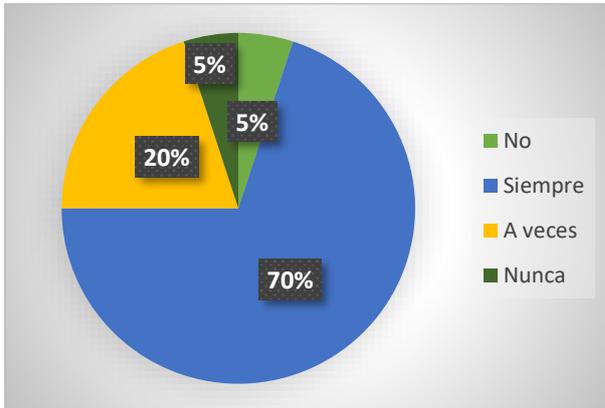


Figura 31. Consideración de eficacia al escoger tipo de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

El 70% considera que debe ser lo primero en tenerse presente, el 20% considera que se debe considerar ocasionalmente, el 5% considero que no y otro 5% que nunca.

Pregunta 8

¿A su parecer el sector de la construcción innova en los métodos de curado?

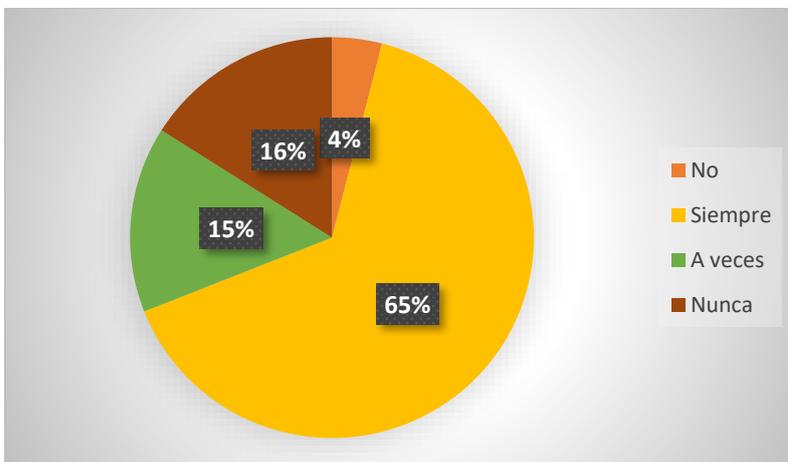


Figura 32. Innovación en métodos de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

En esta pregunta el 65% considera que, si los cambios o innovaciones son buenos y en construcción se justifica por el tiempo de trabajo, existe un 15% de personas que considera que a veces está presente la innovación en la construcción, un 16% cree que nunca, que lo tradicional es lo mejor, y el 4% cree que no se debe hacer ningún cambio.

Pregunta 9

¿Estaría dispuesto a probar nuevos tipos de curado para losas de hormigón armado?

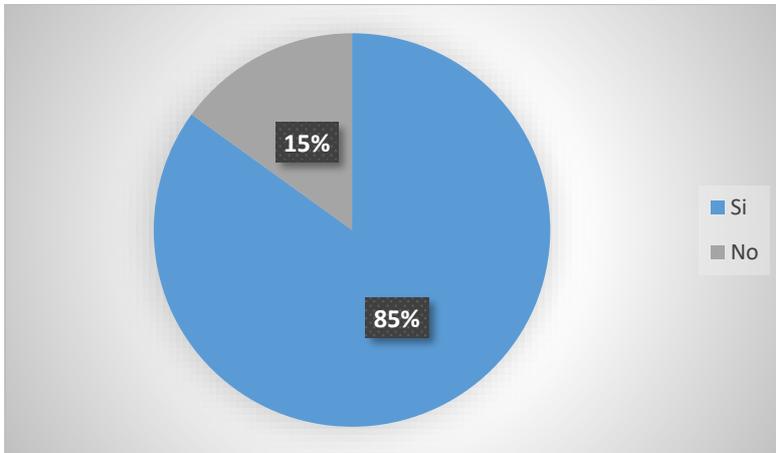


Figura 33. Disponibilidad para la innovación en métodos de curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

En esta pregunta el 85% está de acuerdo en probar nuevos tipos de curado, siempre y cuando faciliten el tiempo o disminuyan el esfuerzo, mientras un 15% no está de acuerdo.

Pregunta 10

¿Estaría de acuerdo en emplear hielo seco en el curado de losas de hormigón armado?

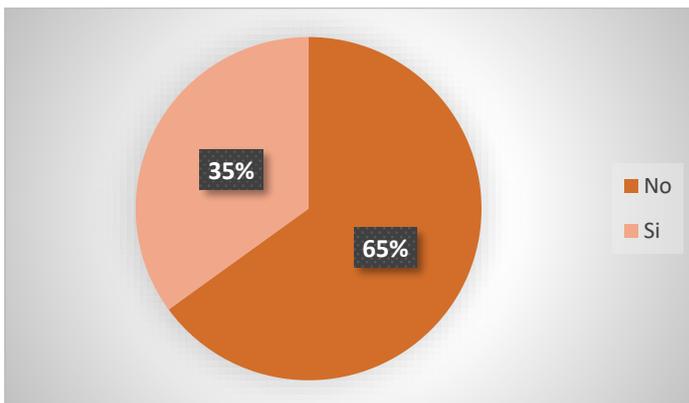


Figura 34. Disponibilidad a la implementación del hielo seco en el curado
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

En este caso el uso de un material como el hielo seco intriga e interesa al 35%, mientras el 65% no lo considera posible.

Pregunta 11

¿Dispondría de tiempo para recibir capacitaciones para emplear este tipo de curado?

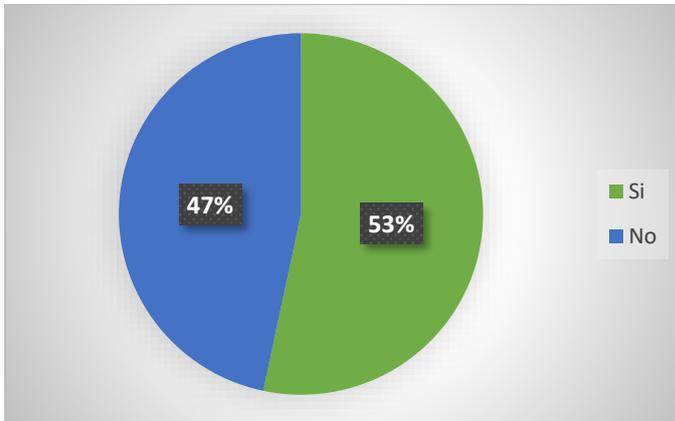


Figura 35. Disponibilidad para capacitaciones
Elaborado por: (Rojas, 2019)

Análisis

En este caso la predisposición para recibir capacitaciones es casi igualitaria, el 53% está de acuerdo y el 47% no está tan dispuesto.

3.10 Conclusiones y recomendaciones

De la presente encuesta se ha concluido, que la fundición de losa, es un procedimiento común en la construcción, donde se vincula no solo el diseño y la construcción, sino también la experiencia de cada rama, el curado, es realizado más por costumbre que por otro tipo de criterio, por ello muy pocas veces se varía el tipo de curado, el cuidado que se le pone, puede como no darse, eso dependerá de la supervisión del encargado de la obra, el dueño o su residente, el costo económico se considera desde el inicio de la fundición, ya que se utiliza aditivos para minimizar el tiempo de curado, si se considera la facilidad para realizar el curado, ya que si no se dispone de fuentes de agua cercanas o tiempo se lo suele variar, aunque el constructor conoce de más la eficacia que tiene el agua en el curado del hormigón, se aplica la innovación en la construcción siempre y cuando convenga, ya sea economizando o reduciendo el tiempo de espera, por ello están abiertos a innovar en lo que es para tipos de curado, aunque el hielo seco no es un material que se vea como una posibilidad de primera mano por la mayoría, más de la mitad de los encuestados si está dispuesto a capacitarse.

CAPÍTULO IV

INFORME FINAL

4 Propuesta

4.1 Fundamentación de la propuesta

Esta propuesta tiene como fundamento la innovación en la construcción, dirigido a la metodología del curado de losas de hormigón, implementando el uso de CO₂ (Dióxido de Carbono), como elemento refrigerante, la información recopilada deja en evidencia, la escases de innovación en este campo, y la viabilidad del uso del CO₂ (Dióxido de Carbono) como refrigerante en otros, con el sondeo realizado por medio de encuestas a profesionales e informales de la construcción, se confirmó el uso de un procedimiento de curado aplicado por habito más que por técnica, sin embargo está presente, la predisposición a la innovación, con el uso de Dióxido de Carbono (CO₂) en alusión a sus características físicas como su uso cual refrigerante, lo cualifica para mantener la saturación de la humedad en el hormigón, en este trabajo de investigación se registrará el efecto del Dióxido de Carbono (CO₂) durante el curado en muestras de hormigón, tanto probetas como losas de hormigón a escala, mediante ensayos a las probetas de hormigón y observación a su acabado.

4.2 Descripción de la propuesta

El método que este proyecto propone, la inclusión del Dióxido de Carbono (CO₂) en el curado de losas de hormigón armado, consiste en su aplicación en un segmento de losa, y probetas de hormigón con resistencia de 310 Kg/cm², durante su curado, manteniendo así la humedad del hormigón, este proyecto busca la innovación en sistemas de curado con el uso de Dióxido de Carbono (CO₂), con menor impacto ambiental al disminuir el uso del agua y mayor sanitización al ser un germicida natural.

El proceso a seguir se muestra en el siguiente flujo de la propuesta:

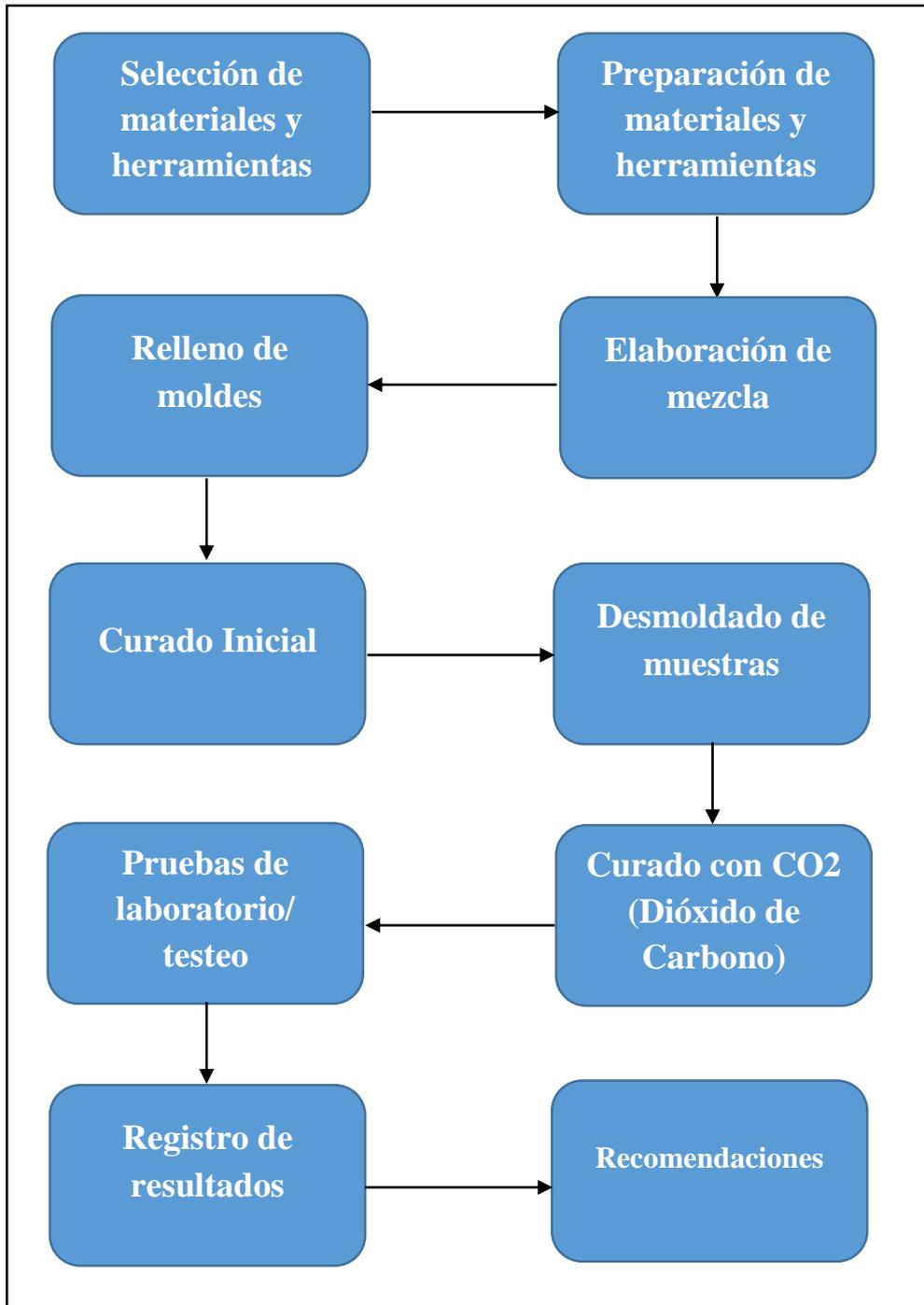


Figura 36. Flujo de la propuesta

Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.3 Materiales y herramientas

Para la fabricación de las probetas, se preparó la mezcla de hormigón necesario para producir 14 probetas de hormigón y para los 3 segmentos de losa, se consideró mezcla suficiente según sus dimensiones de 0.50 x 0.50 mts. y 0.20 mts de altura.

4.4 Materiales

En la Figura 37, tenemos los materiales a emplearse en la preparación de la mezcla de hormigón.



Figura 37. Materiales para probetas y segmentos de losa

Elaborado por: (Rojas, 2021)

1 Saco de cemento Portland

2 Sacos de arena de río

3 Sacos de Piedra chispa de $\frac{3}{4}$

3.5 Gls de agua

Aditivo Acelerante, Sika Plastocrete

Aceite

Varilla de 5.5 mm

Bloque de piedra pómez de 39 x 19 x 9 cm

Tablas de madera para encofrado

Alambre recocido

Dióxido de Carbono (CO₂) en sólido, conocido como Hielo Seco

4.5 Herramientas

En la Figura 37, tenemos las herramientas a emplearse en la preparación de la mezcla de hormigón.

Concreteira con capacidad de 1 saco de cemento

Balde plastico de 0.32 x 0.36 mts.

Balanza digital, Scout Pro

Carretilla metpalica

Cono de Abrams

Moldes de hierro fundido para probetas de 10 x 20 cms

Espátula

Varilla compactadora lisa de acero

Martillo con cabeza de caucho de 2 Kgs

Pala metálica

Moldes de plástico para curado definitivo

Barra para el doblado de varillas

Sierra

Vailejo

Borrador y regla de aluminio

Rollo de film

Guantes aislantes impermeables



Figura 38. Herramientas para probetas y segmentos de losa

Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.6 Preparación de materiales y herramientas

Antes de iniciar la fundición de las muestras, preparamos las herramientas, verificamos su perfecto aseo, como es el caso de la concretetera, se realiza un lavado previo con agua para garantizar la pureza y homogeneidad de la mezcla, se preparan los moldes de hierro fundido donde se habrán de preparar las probetas, aceitándolas para evitar la adherencia excesiva que podría dificultar su desmolde.



Figura 39. Preparación de herramientas para obtención de probetas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

En el caso de los segmentos de losa, se procede con el armado de los cajones de madera que hará las veces de encofrado del hormigón, armamos la estructura interna tal cual procederíamos con una losa, y humedecemos antes de verter la mezcla para garantizar su adherencia y homogeneidad.



Figura 40. Preparación de moldes para segmentos de losas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.7 Elaboración de mezcla

La resistencia que se ha elegido para este proyecto, es 310 Kg/cm², al ser una resistencia promedio, ni tan fuerte como requieren piezas de mayor importancia estructural ni tan débil como la mezcla a colocarse en mampostería, para ello utilizaremos la proporción 1-2-3, es decir, 1 saco de cemento, 2 parihuelas de arena, y 3 parihuelas de piedra, para efecto de mayor control en peso y movilidad, se ha utilizado un balde cuyas medidas son 32 cm x 36 cm, procediendo posteriormente al cálculo equivalente.



Figura 41. Materiales para preparación de mezcla
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Las medidas de una parihuela son de 20cm x 40cm x 40cm, y su volumen corresponde a:

$$V = 20 * 40 * 40 = 32000 \text{ cm}^3 /$$

Las medidas del balde a utilizarse son de 32 cm x 36 cm

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3.1416 * 16^2 * 36$$

$$V = 28953 \text{ cm}^3$$

Las 2 porciones de arena corresponden a 64000 cm^3 y 3 porciones de piedra corresponden a 96000 cm^3 , el equivalente resulta en:

$$64000 \text{ cm}^3 \div 28953 \text{ cm}^3 = 2,21 \text{ porciones de arena}$$

$$96000 \text{ cm}^3 \div 28953 \text{ cm}^3 = 3,31 \text{ porciones de piedra}$$

Adicional a los 3.5 Galones de agua, se mezclaron con 143 gr. de aditivo para colocar durante la preparación.



Figura 42. Aditivo para mezcla
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Una vez limpia la concreteira, se procede a preparar la mezcla, se coloca la piedra, la mitad del agua y el saco de cemento, se deja mezclar durante medio minuto, y poco a poco se agregó la arena con el restante de agua, dejamos mezclar durante tres minutos más, antes del vaciado en carretilla.



Figura 43. Mezcla en concreteira
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Obtenida la homogeneidad de la mezcla, se procede a vaciar una parte en la carretilla y a esta mezcla, le realizamos el ensayo de Cono de Abrams, para poder verificar su consistencia, dándonos un asentamiento de 8 cm. con este asentamiento procedemos al llenado de los moldes.



Figura 44. Ensayo de cono de Abrams
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.8 Relleno de moldes

Para el relleno de los moldes de hierro fundido, se toma la mezcla en dos capas, con la ayuda de una espátula y una pequeña pala, tras la primera capa de mezcla, se la compacta con una varilla lisa de acero, mediante 25 penetraciones, y se golpea en el costado con un martillo con cabeza de caucho de 2 Kg, durante 15 veces, este procedimiento se realiza para eliminar posibles burbujas de aire.



Figura 45. Relleno de probetas de hierro fundido
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Al finalizar el relleno de la segunda capa, el exceso de hormigón se enrasa con la varilla, y se aliso la superficie con la espátula.



Figura 46. Acabado de probetas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Respecto a los segmentos de losa, empezamos el vaciado en el encofrado anteriormente armado y humedecido, se cubre con la mezcla de forma equilibrada en cada espacio, poco a poco se llena y se va varillando para evitar las burbujas de aire, una vez concluido el llenado, se paletea la superficie, para darle un acabado liso.



Figura 47. Fundición y acabado de segmentos de losa
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.9 Curado Inicial

Una vez llenados los moldes de las probetas, la superficie superior es alisada para colocar los datos de su fundición, una vez listos, se los protege con una lámina de plástico para evitar pérdida de humedad durante las primeras 24 horas posterior a la toma de los cilindros.



Figura 48. Curado inicial de probetas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.10 Desmoldado de muestras

Pasadas más de doce horas, se procede a desmoldar, en el protector plástico podemos observar condensación del agua, los moldes se abren con la ayuda de una llave de tuerca y se retiran con cuidado los cilindros de hormigón.



Figura 49. Desmolde de probetas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Pasadas más de doce horas, se procede a desmoldar, en el protector plástico podemos observar condensación, antes de comenzar el proceso de curado, realizamos la toma del peso de los cilindros, los clasificamos según el tipo de curado que se les hará, para comprobar los efectos y diferenciarlos del curado con CO₂ (Dióxido de Carbono), curado en obra, ausencia de curado, y en piscina de curado, tal cual se realiza en un laboratorio.

Tabla 3. Peso y tipo de tratamiento a darse en probetas de hormigón

# DE CILINDRO	Peso (Kg)	Tipo de Curado
1	3.804	Agua + Dióxido de Carbono (CO2) como hielo Seco
2	3.755	Agua + Dióxido de Carbono (CO2) como hielo Seco
3	3.755	Agua + Dióxido de Carbono (CO2) como hielo Seco
4	3.777	Agua + Dióxido de Carbono (CO2) como hielo Seco
5	3.787	Curado en obra
6	3.667	Curado en obra
7	3.660	Curado en obra
8	3.782	Curado en obra
9	3.802	Supresión de curado
10	3.755	Supresión de curado
11	3.806	Supresión de curado
12	3.674	Supresión de curado
13	3.759	Piscina de curado
14	3.722	Piscina de curado

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

Tras realizar la toma del peso de los cilindros, se implementó sus distintos tratamientos, se humedeció los cilindros del 1 al 8, del 1 al 4 con hielo seco, y del 5 al 8 semejante al curado que recibe una losa en obra, humedeciéndolos cada 4 horas en este caso para generar una situación de mayor control, con el equivalente a la mitad de su peso.



Figura 50. Probetas de hormigón desmoldadas
Elaborado por: (Rojas, 2021)

A nuestros segmentos de losa, no se los desmolda, ya que el procedimiento estándar es el desmolde pasados los 28 días, su tratamiento de curado será, el primero con hielo seco y agua, el segundo, con agua, tal como se procedería en obra y el tercero, será libre de cualquier tratamiento de curado



Figura 51. Segmentos de losa antes del curado
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.11 Curado con Dióxido de Carbono (CO₂)

Tras medirlos, se efectuó sus distintos tratamientos, se humedeció los cilindros del 1 al 8, el curado de las probetas del 1 al 4 seguirán con Dióxido de carbono (CO₂) en hielo seco, del 5 al 8 semejante al curado que recibe una losa en obra, humedeciéndolos cada 4 horas en este caso para generar una situación de mayor control, con el equivalente a la mitad de su peso, las probetas del 9 al 12 se dejaron al ambiente, y las probetas 13 y 14 quedaron totalmente sumergidas.



Figura 52. Probetas de hormigón previo a curado
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Pasada una hora de humedecer los cilindros, se retiró el agua, al sumar el hielo seco a las probetas del 1 al 4, de forma empírica se usó la proporción de $\frac{1}{4}$ del peso total de las probetas.

Tabla 4. Cálculo de Dióxido de Carbono (CO₂) a utilizarse

# DE CILINDRO	Peso (Kg)
1	3.804
2	3.755
3	3.755
4	3.777
Peso total	15.091
Peso de Dióxido de Carbono (CO ₂) a usarse	$0.943 * 4 = 3.772 \text{ Kg}$

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 53. Toma de peso del hielo seco a usarse
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Agregado el hielo seco se aisló las probetas con film, esto porque su sublimación es superior expuesto totalmente al aire libre.



Figura 54. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - día
Elaborado por: (Rojas, 2021)

A las 8 horas de su colocación, se puede detectar en los cilindros con hielo seco, que tienen una temperatura de 20°, los cilindros que fueron humedecidos manejaban una temperatura de 24° un grado superior al ambiente y los de ningún tratamiento tenían una temperatura igual.



Figura 55. Probetas de hormigón al primer día tras fundición - noche
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Al segundo día de fundidos, amaneció la ciudad de Guayaquil con una ligera garúa, que bajo la temperatura hasta los 21°, humedeciendo ligeramente todas las probetas de hormigón.



Figura 56. Probetas de hormigón al segundo día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)

A las 8 a.m. tal cual se procedería en obra, se humedeció las muestras del 1 al 8, durante 1 hora, luego se aplicó el hielo seco a los cilindros del 1 al 4, en la misma cantidad utilizada previamente y se recubrieron con papel film, pasadas 4 horas se humedecieron los cilindros del 5 al 8, durante 1 hora, los demás cilindros no sufren alteración alguna, continuamos con este procedimiento hasta completar los siete días de curado.



Figura 57. Probetas de hormigón al tercer día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 58. Probetas de hormigón al cuarto día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 59. Probetas de hormigón al quinto día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 60. Probetas de hormigón al sexto día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 61. Probetas de hormigón al séptimo día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Al séptimo día, procedemos a revisar el estado físico de las probetas, escogemos una muestra representante de cada grupo, de las probetas del 1 al 4, se toma como muestra la probeta #3, de los cilindros del 5 al 8, se toma el cilindro #5, de los cilindros del 9 al 12, se tomó el cilindro #12, del grupo de los cilindros 13 y 14, tomamos el #13.



Figura 62. Probeta de hormigón 3
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 63. Probeta de hormigón 5
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 64. Probeta de hormigón 12
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 65. Probeta de hormigón 13
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Tras el curado de las probetas podemos indicar mediante la observación, dos características sobresalientes que las diferencian unas de otras, su color y textura al tacto, de la probeta #3, cuyo tratamiento de curado consistió en agua y hielo seco, podemos observar un color gris neutro, al tacto, su textura se siente lisa, agradable al tacto, de la probeta #5, con tratamiento de curado, similar al que se da en obra, se distingue una coloración un poco más oscura al anterior, con una textura un poco más polvosa, pero liso, de la probeta #12, perteneciente al grupo que se le suprimió cualquier tipo de curado, resalta a la vista un color gris un poco más blanquecino, una textura mucho más áspera y polvosa, incluso se observaba desprendimiento en su parte superior e inferior, la probeta #13, perteneciente al grupo que permaneció sumergida en agua, era la mejor conservada de todas, presentaba un color mucho más oscuro, con una superficie lisa, agradable al tacto, temperatura mucho más fresca y una menor cantidad de desprendimientos de su cara superior.

Para continuar el tratamiento de curado con los segmentos de losa, primero, las diferenciamos según el tipo de curado que se les habrá de dar, la losa #1 recibirá curado de agua con hielo seco, la losa #2 curado con agua, semejante al que se da en obra, la losa #3 estará exento de cualquier tipo de curado.



Figura 66. Diferenciación de segmentos de losa
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Procurando mantener la similitud de condiciones, se ha buscado la similitud en la cantidad de Hielo seco al que se expondrá la losa #2, en el caso de las probetas utilizamos $\frac{1}{4}$ del peso de las mismas, de este primer experimento, podemos utilizar la cantidad de

Hielo seco y correlacionarlo con la superficie cubierta, cada probeta media 10 x 20 cm, al momento de calcular su área, obtenemos:

$$A = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

$$A = 2(3.14)(5)(20) + 2(3.14)(5)^2$$

$$A = 628 + 157 = 785 \text{ cm}^2$$

Para continuar el tratamiento de curado con los segmentos de losa, se ha utilizado esta proporción, considerando el área de la superficie del segmento de losa.

$$A = L \times L$$

$$A = 50 \times 50 = 2500 \text{ cm}^2$$

Al considerar ambas proporciones, y manejarlas con una regla de tres, nos da la cantidad de Hielo seco que aplicaremos a los segmentos de losa.

$$785 \text{ cm}^2 = 3.772 \text{ Kg}$$

$$2500 \text{ cm}^2 = ?$$

$$\frac{2500 \text{ cm}^2 \times 3.772 \text{ Kg}}{785 \text{ cm}^2} =$$

$$\frac{9430 \text{ Kg/cm}^2}{785 \text{ cm}^2} =$$

$$12.01 \text{ Kg}$$

Al considerar ambas proporciones, y manejarlas con una regla de tres, nos da la cantidad de 12 Kg para aplicar en la superficie de nuestro segmento de losa, procedemos a humedecer el 1 y 2, mientras el 3 lo mantenemos intacto.



Figura 67. Segmentos de losa humedecidos
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Después de humedecer los segmentos de losa 1 y 2, se procede con la aplicación de los 12 Kg de hielo seco en el segmento #1, después de aplicarlo, se procede a aislarlo mediante un plástico, repetimos este proceso durante los siguientes 6 días tras su fundición



Figura 68. Segmentos de hormigón al primer día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 69. Segmentos de hormigón al segundo día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 70. Segmentos de hormigón al tercer día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 71. Segmentos de hormigón al cuarto día de fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 72. Segmento de hormigón al quinto día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 73. Segmento de hormigón al sexto día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 74. Segmentos de losa de hormigón al séptimo día tras fundición
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Completados los siete días de curado, tal cual se procedió con las probetas, se verifica, el estado físico mediante, tacto y observación de los segmentos de hormigón, del primer segmento se observa un color mucho más oscuro, porosidad agradable al tacto, aunque se observa que la oxidación de las varillas es aún mayor que en los otros segmentos, del segundo segmento se observa un color más claro, un ligero desgaste en la parte superior una porosidad media y poca oxidación en las varillas metálicas, del tercer segmento, se percibe a la vista, una superficie porosa, al tocarlo se percibe polvosa, con un desgaste del hormigón mayor, sus varillas metálicas han permanecido igual.

4.12 Pruebas de laboratorio

Tras los 7 días de fundidos se procedió con la prueba de rotura de cilindro para verificar el nivel de resistencia a la compresión alcanzado, los cilindros escogidos para la prueba fueron, #1, #5, #9 y #13, ya en el laboratorio el primer paso es tomar el peso de las probetas.

Tabla 5. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al séptimo día

# DE CILINDRO	Peso (Kg)	Tipo de Curado
1	3776	AGUA + HIELO SECO
5	3721	AGUA EN OBRA
9	3661	SIN CURADO
13	3781	SUMERGIDO EN AGUA

Fuente: (Rojas, 2021)
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 75. Probetas de hormigón en laboratorio para prueba tras siete días
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Se procedió a calibrar la máquina de roturas de cilindros, se ingresan los datos del tamaño de cilindro y su área, se despeja de restos de pruebas anteriores y se coloca el cilindro listo para la prueba.



Figura 76. Máquina para pruebas de compresión
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Seguidamente se realizó la rotura de los 4 cilindros, y la toma de datos.



Figura 77. Rotura de Probeta #1
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 78. Rotura de probeta #5
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 79. Rotura de probeta #9
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 80. Rotura de probeta #13
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Pasados los 14 días se procede con una nueva prueba de rotura, esta vez las probetas a evaluar son las #2, #6, #10, antes de su evaluación se registra su peso.

Tabla 6. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al día catorce

# DE CILINDRO	Peso (Kg)	Tipo de Curado
2	3673	AGUA + HIELO SECO
6	3563	AGUA EN OBRA
10	3597	SIN CURADO

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 81. Rotura de probeta #2

Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 82. Rotura de probeta #6

Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 83. Rotura de probeta #10
Elaborado por: (Rojas, 2021)

Cumplidos los 28 días se procede con la rotura de las probetas, #3, #7, #11 y #14, antes de ello se procede con el registro de sus datos.

Tabla 7. Peso de probetas antes de realizar pruebas en laboratorio al día veintiocho

# DE CILINDRO	Peso (Kg)	Tipo de Curado
3	3603	AGUA + HIELO SECO
7	3514	AGUA EN OBRA
11	3633	SIN CURADO
14	3757	SUMERGIDO EN AGUA

Fuente: (Rojas, 2021)
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 84. Rotura de probeta #3
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 85. Rotura de probeta #7
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 86. Rotura de probeta #11
Elaborado por: (Rojas, 2021)



Figura 87. Rotura de probeta #14
Elaborado por: (Rojas, 2021)

4.13 Registro de resultados

De la prueba de rotura a las probetas de hormigón, pasados los 7 días logramos distinguir, los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados de pruebas de compresión a los siete días

# DE CILINDRO	Tipo de curado	Tipo de rotura	Resistencia a la compresión
1	Agua + Dióxido de Carbono (CO ₂)	5	74%
5	Agua en obra	2	98%
9	Sin Curado	3	81%
13	Sumergido en piscina de curado	2	91%

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

Durante las pruebas de compresión, la probeta de hormigón con mayor alcance a la resistencia de 310 Kg/cm², es la que se humedeció tal cual se hubiera realizado en obra, demostrando una resistencia del 98% seguida por la probeta de hormigón en la piscina de curado, alcanzando el 91%, siguiéndole la probeta de hormigón tratada con Dióxido de Carbono, y con último lugar la probeta de hormigón que no recibió curado, que llegó al 81%

Tabla 9. Resultados de pruebas de compresión a los catorce días

# DE CILINDRO	Tipo de curado	Tipo de rotura	Resistencia a la compresión
2	Agua + Dióxido de Carbono (CO ₂)	3	96%
6	Agua en obra	4	103%
10	Sin Curado	4	92%

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

En las pruebas de compresión realizadas a los 14 días, la probeta de hormigón con mayor alcance a la resistencia de 310 Kg/cm², fue la que se humedeció tal cual se hubiera realizado en obra, demostrando una resistencia del 103% seguida por la probeta de hormigón tratada con Dióxido de Carbono con el 96%, y con último lugar la probeta de hormigón que no recibió curado, alcanzando un 92%

Tabla 10. Resultados de pruebas de compresión a los veintiocho días

# DE CILINDRO	Tipo de curado	Tipo de rotura	Resistencia a la compresión
3	Agua + Dióxido de Carbono (CO2)	4	101%
7	Agua en obra	2	109%
11	Sin Curado	4	90%
14	Sumergido en piscina de curado	6	112%

Fuente: (Rojas, 2021)

Elaborado por: (Rojas, 2021)

Realizadas las pruebas de los 28 días, la probeta con mayor alcance fue la del curado en piscina, llegando al 112%, seguida con la probeta teniendo curado como si fuera en obra, alcanzando el 109%, la resistencia de la probeta sometida al Dióxido de Carbono (CO2) se mantuvo en crecimiento hasta llegar al 101%, mientras la probeta sin curado, decreció en su alcance al diseño de resistencia, llegando solo al 90%.

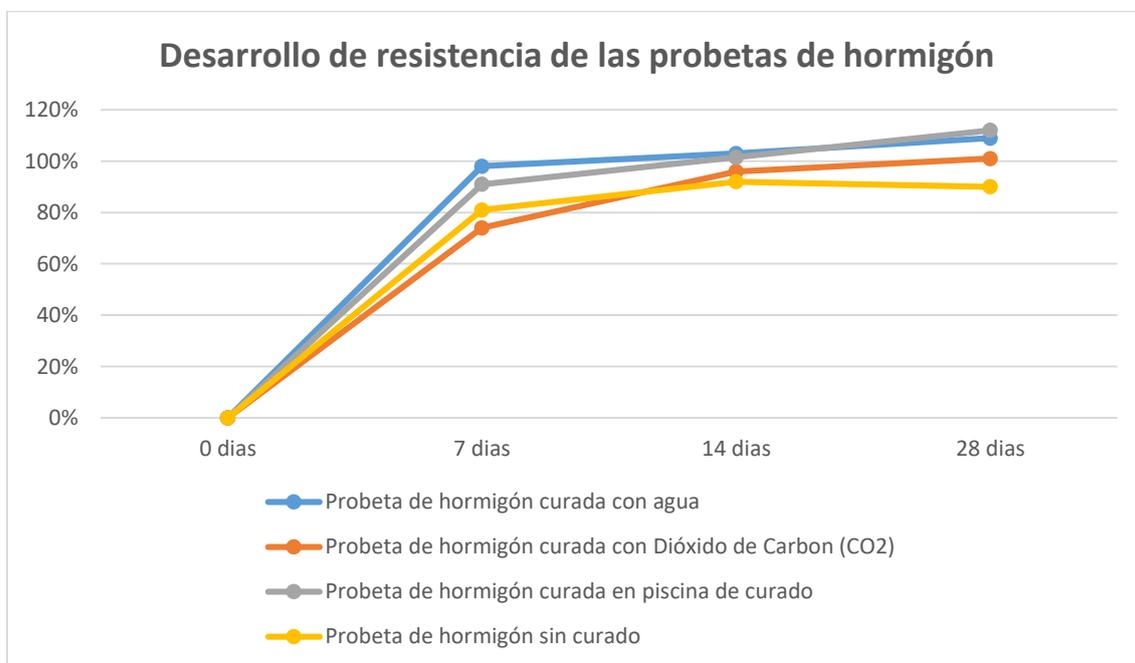


Figura 88. Desarrollo de la resistencia en probetas de hormigón

Elaborado por: (Rojas, 2021)

CONCLUSIONES

Al realizar la ejecución del proyecto, proceso de curado con Dióxido de Carbono (CO₂), en losas de hormigón armado, se concluye, que, si es factible incluirlo como agente en la ayuda al curado del hormigón, esto gracias a las pruebas de compresión realizadas en laboratorio a las probetas de hormigón, acorde al objetivo principal del presente estudio, cumpliéndose en la experimentación documentada, la descripción del proceso y el registro fotográfico de las pruebas.

En lo que a los objetivos específicos se refiere, se cumplió con todos ellos, el primero habla de una proyección de la aplicación de Dióxido de Carbono (CO₂) de las probetas, a estructuras de tamaño real, este se realizó al momento de ejecutar las losetas de hormigón y exponerlas durante su curado al Dióxido de Carbono (CO₂), con una proporción semejante a la realizada en las probetas de hormigón.

En cuanto al segundo objetivo específico, que implica determinar las características mecánicas, lo conseguimos al realizar las pruebas de compresión en laboratorio, demostrándonos, su porcentaje de alcance conforme a la resistencia con la que se diseñaron, en cada probeta de hormigón, las características físicas, las describimos al final del curado de las probetas de hormigón y encontramos su semejanza al final del curado de las losetas de hormigón.

Del tercer objetivo, el conocimiento de los pros y contra de la implementación del Dióxido de Carbono (CO₂) en el curado, se especifican en las recomendaciones de este proyecto, desde el cuidado que se debe tener en su manejo, hasta la poca rentabilidad del método, aun contando con un mínimo tiempo de ejecución.

Al final del proceso, de todas las pruebas realizadas se puede concluir, que a pesar de ser una metodología factible, la implementación del Dióxido de Carbono (CO₂) en losas de hormigón armado, no son el mejor tipo de curado, ya que las pruebas de laboratorio nos demuestran, que es el realizado con agua, ya que el cilindro #14 fue el que mayor resistencia alcanzo, con una resistencia a la compresión de 347.6 Kg/cm², es decir un 112% de la resistencia para la que fue diseñado, seguido del curado en obra, que es el

humedecimiento del hormigón 2 veces al día, con el cilindro #7 con una resistencia a la compresión de 339.1 Kg/cm² es decir un 109% de la resistencia para la que fue diseñado, seguido del curado con hielo seco, con el cilindro #3, con una resistencia a la compresión de 311.9 Kg/cm² es decir un 101% de la resistencia para la que fue diseñado, la más baja resistencia la presento el cilindro #11, a pesar de que en las pruebas de los días 7 y 14 si alcanzaron un porcentaje considerable de su resistencia de diseño, poco a poco fue bajando hasta llegar a una resistencia de 280 kg/cm², que es un 90% de la resistencia de diseño.

RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos de las probetas de hormigón, tras las pruebas de compresión en el laboratorio Geocimientos, se recomienda la aplicación del Dióxido de Carbono (CO₂), en su estado sólido, el hielo seco, durante el curado de losas de hormigón armado, en áreas grandes como losas, en una proporción que por cada 2500cm² se utilizaran 12.01 Kg, y en el caso de piezas pequeñas, como las probetas de hormigón, la proporción de Dióxido de Carbono (CO₂), en estado sólido es decir hielo seco, será en la proporción de ¼ del peso de la pieza a curar.

Se recomienda explorar proporciones mayores o menores de Dióxido de Carbono, (CO₂), en el curado de hormigón, para alcanzar una proporcionalidad en su aplicación aún más exacta.

La humedad previa en las piezas es un agente importante en el método empleado en este proyecto de investigación, se recomienda experimentar con distintos niveles de humedad.

La capacitación al personal, tanto como el correcto equipamiento para el manejo del Dióxido de Carbono (CO₂), es una parte fundamental en su manejo como hielo seco, dadas las proporciones a utilizarse en superficies mayores a los 2500 cm², la exposición excesiva al mismo puede resultar nociva o letal.

El curado con Dióxido de Carbono (CO₂) es un método recomendable, para aplicarse en obras a las cuales no se puede tener acceso constante, ya que al realizarse la aplicación durante la mañana el hormigón permanece fresco a lo largo del día, no es recomendable realizarse en zonas de bajas temperaturas, ni es un método económico dado al costo por Kg del Dióxido de Carbono (CO₂) o hielo seco, en comparación al costo del m³ de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pacheco, 2018**, Refrigeración con CO₂ en aplicaciones comerciales, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:
http://oa.upm.es/52029/1/TFG_ALEJANDRO_SANCHEZ_PACHECO.pdf
- Torres & Arias, 2018**, Comportamiento de losas alivianadas de hormigón tradicional y mezclado con polietileno expandido, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2570/1/T-ULVR-2368.pdf>
- Caamaño, 2015**, Instalación de refrigeración con CO₂, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16635/CaamanoAntelo_Juan_TFG_2015.pdf.pdf;sequence=2
- Cuellar & Sequeiros, 2017**, Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento Portland Tipo I y cemento puzolánico tipo IP en la ciudad de Abancay – Apurímac, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:<http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/106/Tesis-Influencia%20del%20curado%20en%20la%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20concreto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Contreras & Velazco, 2018**, Análisis comparativo del método de curado en especímenes de losas de concreto simple, simulando condiciones constructivas de obra en la ciudad de Arequipa, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5522/ICcoustr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Al-Fakher, Manalo, Ferdous, Aravinthan, Zhuge, Bai & Edo, 2021**, Bending behaviour of precast concrete slab with externally flanged hollow FRP tubes. *Engineering Structures*, 241, 112433, Consultado en Julio de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112433>
- Appel, de Vries, & Weggeman, 2017**, Comportamiento de intercambio de conocimientos: El papel del diseño espacial en los edificios. *Environment and Behavior*, 49(8), 874-903, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1177/0013916516673405>
- Aznar, Hernando, Ortiz, & Cervera, 2017**, Propuesta de unión viga-pilar mediante pernos conectores: Análisis por método de elementos finitos y ensayos experimentales. *Hormigón y Acero*, 68(282), 163-169, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.018>
- Bush, Albanese, Karp, & Karp, 2017**, An Architecture Design Project: “Building” Understanding. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 23(3), 162-169, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.5951/mathteacmidscho.23.3.0162>
- Calderón, & Díaz, 2018**, Dificultades en el planteamiento del refuerzo de pilares de hormigón armado. *Hormigón y Acero*, 69(284), 49-58, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.09.001>

- Cole & Altenburger, 2019**, Framing the Teaching Green Building: Environmental education through multiple channels in the school environment. *Environmental Education Research*, 25(11), 1654-1673, Consultado en Mayo 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1398817>
- Faccin, Prado, Martínez, & Ramajo, 2019**, Evaluación de la resistencia al choque término de hormigones refractarios silicoaluminosos. Efecto del tratamiento térmico. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58(6), 246-254, Consultado en Mayo 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.05.002>
- Jabir, Mhalhal, & Al-Gasham, 2021**, Conventional and bubbled slab strips under limited repeated loads: A comparative experimental study. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00501, Consultado en Mayo 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00501>
- Kaya, & Anil, 2021**, Prediction of load capacity of one way reinforced concrete slabs with openings using nonlinear finite element analysis. *Journal of Building Engineering*, 44, 102945, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102945>
- Kwon, & Wang, 2021**, CO₂ uptake model of limestone-powder-blended concrete due to carbonation. *Journal of Building Engineering*, 38, 102176, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102176>
- Qin, Pang, Tan, & Bao, 2021**, Evaluation of pervious concrete performance with pulverized biochar as cement replacement. *Cement and Concrete Composites*, 119, 104022, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104022>
- Ramesh, Srinath, Ramya, & Vamshi Krishna, 2021**, Repair, rehabilitation and retrofitting of reinforced concrete structures by using non-destructive testing methods. *Materials Today: Proceedings*, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.778>
- Taehee, Hee-Kwon, Gi-Deok, Seung-Woo, Gi-Tak, & Byoung-Woo, 2013**, Analysis on the Chemical and Mechanical Stability of the Grouting Cement for CO₂ Injection Well. *Energy Procedia*, 37, 5702-5709, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en :<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.492>
- Tam, Butera, Le, & Li, 2021**, CO₂ concrete and its practical value utilising living lab methodologies. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100131, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100131>
- Wang, Yang, Wang, Wang, & Huo, 2021**, Experimental investigation of polyisocyanate-oxazodone coated square reinforced concrete slab under contact explosions. *International Journal of Impact Engineering*, 149, 103777, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103777>
- Xian, Zhang, & Shao, 2021**, Flue gas carbonation curing of cement paste and concrete at ambient pressure. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127943, Consultado en Mayo de 2021, Accesible en:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127943>

Alario, 2011, ¿Cuántos hormigones conoces?, Blogspot:<https://enriquealario.com/tipos-de-hormigon/>

Ecured, 2019, Dióxido de Carbono, Blogspot:[www.ecured.cu/Dióxido de carbono](http://www.ecured.cu/Di%C3%B3xido_de_carbono)

NEC, 2019, Hormigón Armado, Consultado en Julio de 2019, Accesible en:<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE							
ENCUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE DIOXIDO DE CARBONO EN EL PROCESO DE CURADO							
Nº DE ENCUESTA:				ENCUESTADOR:			
No.	PREGUNTAS						
Marque con una x su respuesta							
1	¿A realizado o estado presente en la fundición de una losa de hormigón armado?						
	Si		No				
2	¿Considera usted que se evalua el tipo de curado a realizarse con el mismo cuidado que la calidad de los materiales antes de una fundicion?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
3	¿Aplica el mismo tipo de curado a todo tipo de losa?						
	Si		No				
4	¿Diria usted que el curado de losa lo realiza bajo un regimen estricto?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
5	¿Considera el costo economico un factor importante para escoger el tipo de curado?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
6	¿Considera la facilidad de ejecución un factor importante para escoger el tipo de curado?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
7	¿Considera la eficacia un factor importante para escoger el tipo de curado?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
8	¿A su parecer el sector de la construcción innova en los métodos de curado?						
	No		Siempre		A veces		Nunca
9	¿Estaria dispuesto a probar nuevos tipos de curado para losas de hormigón armado?						
	Si		No				
10	¿Estaria de acuerdo en emplear hielo seco en el curado de losas de hormigón armado?						
	Si		No				
11	¿Dispondría de tiempo para recibir capacitaciones para emplear este tipo de curado?						
	Si		No				

INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN ASTM C 39 / C 39M

OBRA : Pruebas de curado en Hormigón
UBICACIÓN :
CONTRATISTA : Raissa Rojas
FISCALIZADOR :

Hoja 1 de 1
ABC-RCC-001

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f _c (Kg/cm ²)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Densidad (Kg/m ³)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
									(Kg/cm ²)	(MPa)	%		
1	8/11/2019	15/11/2019	7	310	100	7854	2292	18040	229.7	22.5	74%	5	
2	8/11/2019	22/11/2019	14	310	100	7854	2230	23290	296.5	29.1	96%	3	Hielo Seco; Rev= 8 cm; CONCRETERA
3	8/11/2019	6/12/2019	28	310	100	7854	2186	24500	311.9	30.6	101%	4	
4	8/11/2019		T	310	100	7854							
5	8/11/2019	15/11/2019	7	310	100	7854	2259	23750	302.4	29.7	98%	2	
6	8/11/2019	22/11/2019	14	310	100	7854	2163	25120	319.8	31.4	103%	4	
7	8/11/2019	6/12/2019	28	310	100	7854	2133	26630	339.1	33.3	109%	2	Curado como en obra; Rev= 8 cm; CONCRETERA
8	8/11/2019		T	310	100	7854							
9	8/11/2019	15/11/2019	7	310	100	7854	2222	19760	251.6	24.7	81%	3	
10	8/11/2019	22/11/2019	14	310	100	7854	2183	22450	285.8	28.0	92%	4	
11	8/11/2019	6/12/2019	28	310	100	7854	2205	22010	280.2	27.5	90%	4	Sin Curado; Rev= 8 cm; CONCRETERA
12	8/11/2019		t	310	100	7854							



Ing. Francisco Grau A.
Jefe de Laboratorio de Suelos
GEOCIMENTOS S.A.

INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN ASTM C 39 / C 39M

OBRA : Pruebas de curado en Hormigón
 UBICACIÓN : -
 CONTRATISTA : Raissa Rojas
 FISCALIZADOR : -

Hoja 1 de 1
ABC-RCC-002

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f'c (Kg/cm ²)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Densidad (Kg/m ³)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
									(Kg/cm ²)	(MPa)	%		
13	8/11/2019	15/11/2019	7	310	100	7854	2295	22110	281.5	27.6	91%	2	Sumergido en Agua
14	8/11/2019	6/12/2019	28	310	100	7854	2281	27300	347.6	34.1	112%	6	



Ing. Francisco Grau A.
 Jefe de Laboratorio de Suelos
GEOCIMENTOS S.A