

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS
DE CONCRETOS CON PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS A DIFERENTES
ÁNGULOS DE INCLINACIÓN**

**SEBASTIÁN JOSÉ MORALES LIZARAZO
DIANA PATRICIA PÁEZ CONTRERAS**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA**

2019

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS
DE CONCRETOS CON PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS A DIFERENTES
ÁNGULOS DE INCLINACIÓN**

**SEBASTIÁN JOSÉ MORALES LIZARAZO
DIANA PATRICIA PÁEZ CONTRERAS**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero(a) Civil

Director del Proyecto

ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

MSc. Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander, Colombia

VISTO BUENO DIRECTOR



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA**

2019

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de proyecto, el ingeniero Elkin Mauricio López Morantes por confiar y colaborar en el proceso y culminación de este proyecto de grado. Además, agradecer a la ingeniera Margareth Viecco por habernos brindado su apoyo y cocimiento al proyecto.

Así mismo agradecer a nuestros compañeros y amigos Sergio Andrés Vargas Pérez y Alix Yelitza Díaz Carvajal, por su acompañamiento y aporte en la realización del proceso experimental, igualmente agradecemos al Ing. Juan Arias por su aporte al conocimiento; finalmente agradecemos a la empresa Toxement por su colaboración al proyecto.

Dedicatoria

A Dios por permitirnos llegar a este momento tan importante de nuestra formación profesional, por darnos fuerzas para seguir y no dejarnos vencer, a nuestros padres por apoyarnos en cada paso que damos, por ser nuestro ejemplo de vida, por sus sacrificios y siempre confiar en lo que nos proponemos, a nuestros hermanos por ser apoyo incondicional en nuestras vidas, gracias por todo y tengan por seguro que esto es solo el comienzo de todo lo bueno que la vida nos traerá.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. OBJETIVOS	5
4.1 Objetivo general.....	5
4.2 Objetivos específicos	5
5. ANTECEDENTES	6
6. MARCO TEÓRICO.....	9
6.1 CONCRETO	9
6.1.1 Estados del concreto.....	10
6.1.1.1 Estado fresco:	10
6.1.1.2 Estado fraguado:	10
6.1.1.3 Estado endurecido.....	11
6.1.2 Componentes del concreto	11
6.1.2.1 Agregados.....	11
6.1.2.2 Agua para concreto	12
6.1.2.3 Cemento Portland.....	12
6.2 JUNTAS EN CONCRETO	13
6.2.1 Tipos de juntas en concreto.....	13
6.2.1.1 Juntas de contracción	13
6.2.1.2 Juntas de aislamiento o expansión.....	13
6.2.1.3 Juntas de construcción	13
6.3 JUNTAS FRÍAS.....	14
6.3.1 Efecto de las juntas frías en la construcción.....	15
6.3.2 Manejo de las juntas frías en concreto	15
6.3.2.1 Adhesivos	16
6.3.2.2 Resinas	16
6.3.2.2.1 Tipos de resinas.....	17
6.3.2.2.1.1 Resinas epóxicas.....	17
7. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	20
7.1 Materiales y métodos	20

7.2 Materiales.....	21
7.3 Características del adhesivo epóxico EPOTOC 1-1	22
7.4 Moldes y herramientas.....	24
7.5 Elaboración probetas de concreto	25
7.5.1 Preparación molde	25
7.5.2 Preparación de la muestra	26
7.5.3 Procedimiento de vaciado y compactación de los especímenes.....	26
7.5.4 Elaboración de muestras.....	26
7.5.5 Proceso de curado y Refrentado	31
7.6 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....	32
8. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA	34
8.1 Densidad del cemento hidráulico.....	34
8.2 Análisis granulométrico para agregados gruesos y finos.....	34
8.3 Determinación de contenido de humedad en los agregados	35
8.4 Determinación de la masa unitaria de los agregados gruesos y finos.....	35
8.5 Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos.....	36
8.6 Diseño de mezcla	36
9. RESULTADOS.....	37
9.1 Resultados de la caracterización de los materiales	37
9.2 Resultados diseño de mezcla.....	39
9.3 Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto	40
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	66
11.1 Análisis estadístico no paramétrico	66
11.2 Diseño experimental factorial.....	72
12. CONCLUSIONES.....	77
13. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.....	79
14. BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXO A.....	84
ANEXO B.....	92
ANEXO C.....	99
ANEXO D.....	102

LISTADO DE TABLAS

Tabla1. Definiciones para el concreto.	9
Tabla2. Tipos de resinas epóxicas según su aplicación.	18
Tabla3. Clasificación según su grado de Viscosidad.	18
Tabla4. Materiales.	23
Tabla5. Moldes y herramientas.	25
Tabla6. Densidad del cemento.	37
Tabla7. Resumen resultados caracterización agregado fino y grueso primer material.	38
Tabla8. Resumen resultados caracterización agregado fino y grueso segundo material.	38
Tabla9. Asentamiento del concreto.	39
Tabla10. Resumen resultados diseño de mezcla primer material.	39
Tabla11. Dosificación final para un cilindro de concreto.	39
Tabla12. Resumen resultados diseño de mezcla segundo material.	40
Tabla13. Dosificación final para un cilindro de concreto.	40
Tabla 14. Convenciones.	41
Tabla15. Resumen resultados de ensayos a compresión en especímenes con presencia de junta fría.	41
Tabla16. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 7 días.	42
Tabla17. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 14 días.	42
Tabla18. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 28 días.	42
Tabla19. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico.	43
Tabla20. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal sin epóxico.	44
Tabla21. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical con epóxico.	45
Tabla22. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical sin epóxico.	46
Tabla23. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) con epóxico.	47
Tabla24. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) sin epóxico.	48
Tabla25. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 7 días. .	49
Tabla26. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 14 días. 50	
Tabla27. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 28 días. 51	
Tabla28. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico y sin epóxico.	53
Tabla29. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical con epóxico y sin epóxico.	55
Tabla30. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) con epóxico y sin epóxico.	57

Tabla31. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría horizontal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.	59
Tabla32. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.	61
Tabla33. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.....	63

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de concreto.....	10
Figura 2. Estados del concreto.	11
Figura 3. Agregados.	12
Figura 4. Agrietamiento de superficies.....	13
Figura 5. Juntas en concreto.....	14
Figura 6. Mezcla de adhesivo.	16
Figura 7. Exudación de resinas naturales.	17
Figura 8. Unión de concreto endurecido y fresco mediante la aplicación de resinas epóxicas.	19
Figura 9. Experimentos de cilindros de concreto con junta fría lisa.....	21
Figura 10. Cargas aplicadas en cilindros con junta y testigo.....	21
Figura 11. Elaboración de cilindros horizontales.....	27
Figura 12. Elaboración cilindros verticales.....	27
Figura 13. Elaboración cilindros 45°.....	28
Figura 14. Cilindros testigo.....	28
Figura 15. Compactación de cilindros.....	29
Figura 16. Aplicación de Epotoc 1-1 juntas horizontal, vertical, diagonal.....	29
Figura 17. Identificación probetas.....	30
Figura 18. Desencofrado de probetas cilíndricas metálicas.....	30
Figura 19. Cámara de curado.....	31
Figura 20. Refrentado espécimen.....	31
Figura 21. Máquina de compresión simple.....	32
Figura 22. Especímenes con presencia de junta horizontal, vertical y diagonal.....	33
Figura 23. Densidad del cemento hidráulico, frasco de Le Chatelier.....	34
Figura 24. Proceso de tamizado de los agregados fino y grueso.....	35
Figura 25. Contenido de humedad de los agregados.....	35
Figura 26. Masa unitaria compacta y suelta de los agregados.....	36
Figura 27. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.....	36
Figura 28. Campana de Gauss diferencia epóxico vs sin epóxico.....	69
Figura 29. Campana de Gauss epóxico vs testigo.....	70
Figura 30. Codificación de niveles y factores para el diseño experimental.....	73

LISTADO DE GRAFÍCAS

Gráfica1. Pérdida de resistencia junta horizontal con epóxico.	44
Gráfica2. Pérdida de resistencia junta horizontal sin epóxico.....	45
Gráfica3. Pérdida de resistencia junta vertical con epóxico.....	46
Gráfica4. Pérdida de resistencia junta vertical sin epóxico.....	47
Gráfica5. Pérdida de resistencia junta diagonal (45°) con epóxico.....	48
Gráfica6. Pérdida de resistencia junta diagonal (45°) sin Epóxico.	49
Gráfica7. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 7 días.	50
Gráfica8. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 14 días.	51
Gráfica9. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 28 días.	52
Gráfica10. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 7 días.....	53
Gráfica11. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 14 días.....	54
Gráfica12. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 14 días.....	54
Gráfica13. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 28 días.....	55
Gráfica14. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta vertical edad de 14 días.	56
Gráfica15. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta vertical edad de 28 días.	56
Gráfica16. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 7 días.....	57
Gráfica17. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 14 días.	58
Gráfica18. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 28 días.	58
Gráfica19. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 4 horas.	59
Gráfica20. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 6 horas.	60
Gráfica21. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 8 horas.	60
Gráfica22. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal (45°) de 4 horas.	61
Gráfica23. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal (45°) de 6 horas.	62
Gráfica24. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría 45° de 8 horas.....	63
Gráfica25. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 4 horas.....	64
Gráfica26. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 6 horas.....	64
Gráfica27. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 8 horas.....	65

Gráfica28. Boxplot resultados de resistencia a compresión de especímenes.	67
Gráfica29. Distribución cumplimiento de Normalidadresistencia especímenes con epóxico.	71
Gráfica30. Distribución resistencia cumplimiento de Normalidad especímenes sin epóxico.	71
Gráfica31. Diferencia de distribución cumplimiento de Normalidad resistencia especímenes con epóxico y sin epóxico.	72
Gráfica32. Efecto en la orientación de los tipos de junta horizontal (0°), diagonal (45°), vertical (90°).	75
Gráfica33. Incidencia edad de falla 7, 14 y 28 días.	75
Gráfica34. Efecto de la adherencia para especímenes con epóxico, sin epóxico y monolítico.	76

RESUMEN

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETOS CON PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS A DIFERENTES ÁNGULOS DE INCLINACIÓN

AUTOR(ES): SEBASTIÁN JOSÉ MORALES LIZARAZO
DIANA PATRICIA PÁEZ CONTRERAS

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

RESUMEN

Los elementos de concreto pueden verse afectados por la presencia de juntas frías, las cuales originan planos débiles generados por la interrupción involuntaria en los procesos de vaciado, lo cual incide en la capacidad portante del mismo alterando su continuidad debido a la pérdida de adherencia en el plano débil generado. En la práctica constructiva, suele recurrirse al uso de adhesivos epóxicos que generen un efecto de puente de adherencia que permita contrarrestar el plano débil en el elemento. Por tal motivo, este trabajo estudia el efecto de los adhesivos epóxicos en el tratamiento de juntas frías lisas, a partir de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con presencia de juntas frías lisas, para los diferentes ángulos de inclinación (0° , 45° y 90°) y diferentes tiempos de formación de junta (4, 6 y 8 horas), a edades de 7, 14 y 28 días mediante el uso del adhesivo epóxico EPOTOC 1-1. Se elaboran un total de 216 especímenes de concreto incluyendo testigos, con juntas tratadas y juntas no tratadas con adhesivo epóxico, para las diferentes inclinaciones y edades de formación de junta en estudio. En las pruebas de resistencia a la compresión (7, 14 y 28 días), se encuentra que a edades tempranas (7 días) la incidencia del adhesivo epóxico no es significativa. No obstante, a edades de 14 y 28 días, se presenta un aumento en la resistencia del 20% en juntas con inclinación de 90° o vertical y del 22% en juntas con inclinación de 45° , respecto a especímenes sin tratamiento epóxico. Asimismo, también se presenta un análisis estadístico paramétrico y un diseño factorial experimental. Este trabajo plantea la posibilidad de realizar estudios experimentales o analíticos encaminados a estudiar la eficiencia de los adhesivos epóxicos en el tratamiento de juntas frías en elementos de concreto.

PALABRAS CLAVE:

Junta fría, concreto, resistencia a compresión, adhesivo epóxico.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT

GENERAL SUMMARY OF WORK DE GRADE

TITLE: DETERMINATION OF THE COMPRESSION RESISTANCE OF CONCRETE CYLINDERS WITH THE PRESENCE OF COLD SEALS TO DIFFERENT INCLINATION ANGLES

AUTHOR(S): SEBASTIÁN JOSÉ MORALES LIZARAZO
DIANA PATRICIA PÁEZ CONTRERAS

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

ABSTRACT

Concrete elements may be affected by the presence of cold joints, which cause weak planes generated by the unintentional interruption in emptying processes during the casting of a particular concrete element, which significantly affects the bearing capacity of the element by altering its continuity due to the loss of adhesion in the generated weak plane. In constructive practices, epoxy adhesives are often used which generate a bonding bridge effect that allows counteracting the weak plane in the element caused by cold joints. For this reason, this investigation studies the effect of epoxy adhesives on the treatment of smooth old joints in partially hardened concrete, through the compressing resistance of standard concrete cylinders with the presence of smooth cold joints, for the different angles (0°, 45° and 90°) and different joint formation times (4, 6 and 8 hours), at ages 7, 14 and 28 days by using the epoxy adhesive EPOTOC 1-1. For this purpose, an extensive experimental campaign is on course, where a total of 216 specimens or concrete cylinders are produced including witness specimens, with treated joints and untreated joints, for the different inclinations and ages of joint formation under study. When the respective compression resistance tests are performed (7, 14 and 28 days), it is found that at an early age (7 days) the incidence of epoxy adhesive is not significant in the compression resistance of the specimens for none of the considered ages formation joints. However, at ages of 14 and 28 days, there is an increase in resistance of 20% in joints with inclination of 90 degrees or vertical and 22% in joints with an inclination of 45 degrees, compared to specimens without epoxy treatment. In addition to this a parametric statistical analysis and an experimental factorial design. This study poses the possibility to perform experimental or analytical studies aimed at studying the efficiency of epoxy adhesives in the treatment of cold joints in concrete elements.

KEYWORDS:

Cold joint, concrete, compressive strength, epoxy adhesive.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Una junta fría es una superficie plana entre dos elementos de concreto causado por la interrupción del suministro de concreto en el vaciado de mezcla, de forma que uno es colocado sobre el otro en diferentes tiempos de fraguado (el inicial endurecido) dejando la estructura con un plano de interrupción que afecta el desempeño estructural disminuyendo su durabilidad y resistencia.

A continuación, el siguiente proyecto tiene como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con presencia de juntas frías lisas, variando su orientación siendo tratadas con adhesivos epóxicos, en otras palabras se estudiara la afectación de la resistencia del concreto y el funcionamiento de puentes de adherencia (aditivos epóxicos), induciendo cilindros con juntas frías lisas a diferentes ángulos de inclinación con diferentes horas de interrupción de mezcla con y sin adherente epóxico evaluados a compresión .

El trabajo está distribuido de la siguiente manera; en los primeros capítulos se aborda el planteamiento del problema y su respectiva justificación.

En los capítulos 5 y 6 se abre paso a una investigación profunda acerca de las juntas frías, sus antecedentes y tratamientos.

Posterior a esto en los capítulos 7 y 8 se describen los diferentes ensayos realizados, el desarrollo experimental y como se ejecutaron los procesos de laboratorio.

Finalmente, en los capítulos 10, 11,12 y 13 se muestran los resultados finales, se realizan los respectivos análisis, para así dar paso a las conclusiones y recomendaciones.

Con este trabajo se pretende dar una idea más clara a los ingenieros sobre la baja resistencia de las juntas frías lisas y de cómo deben tratarlas cuando estas se presentan en obra para que la afectación a la estructura sea la mínima.

2. PLANTEAMIENTO PROBLEMA

En el campo de la ingeniería se emplea el concreto para los procesos constructivos de estructuras, aprovechando sus propiedades mecánicas, su comportamiento y la resistencia a la compresión. El conocimiento del comportamiento de las estructuras es un tema que requiere mucho estudio y en especial al momento de entender la respuesta del sistema estructural ante diferentes situaciones[1].

Siguiendo lo estipulado del diseño estructural se debe tener en cuenta que se exponen a defectos constructivos no previstos en la planificación de la obra por interrupciones involuntarias, por ejemplo, cuando se interrumpe la producción o al momento del vaciado presenta una junta fría, que estuvo compuesta por elementos diferentes en tiempos distintos que pueden variar en horas e incluso días, o también se pueden encontrar en obras inconclusas que han sido retomadas, también pueden producirse por causas de fuerza mayor como condiciones climáticas desfavorables, entre otros.

Una junta fría lisa en el concreto es un plano débil causado por la interrupción de suministro de mezcla en el vaciado[2]. Entre las muchas consecuencias que tiene la aparición de este plano de debilidad, se encuentra la pérdida de la resistencia del elemento, la cual dependerá de la diferencia de tiempo entre la colocación de dos lotes de concreto, de la edad del miembro, de la orientación del plano de la junta fría respecto a la carga aplicada, entre otros[2].

Las juntas frías es una discontinuidad resultante de la demora en la colocación del concreto de forma no inmediata y siempre han sido causa de fallos y problemas en los procesos constructivos. Si estas juntas, no alcanzan una adherencia adecuada son puntos débiles en toda la estructura en los que la resistencia de los elementos estará en riesgo.

Debido a que esto ocasiona un debilitamiento en la resistencia del elemento, surge la necesidad de mitigar el efecto de las juntas frías en la ejecución de las obras de concreto que han obligado a estudiar el comportamiento de las estructuras por la presencia de estas, específicamente en el área de construcción. Por eso nace la necesidad que exista una adecuada adherencia entre el concreto fresco con un concreto endurecido, para lo cual suele recurrirse al uso de resinas epóxicas como puentes de adherencia que permitan contrarrestar la pérdida de resistencia por efecto de la junta formada.

Con base en lo anterior, y mediante la presente propuesta de investigación, se busca dar respuesta al siguiente interrogante:

¿Qué tanto varía la resistencia a compresión en cilindros de concreto normalizados con presencia de juntas frías lisas variando su orientación y tratadas con adhesivo epóxico?

3. JUSTIFICACIÓN

Con todas las implicaciones que traen las juntas frías lisas en construcción, es necesario llegar a un planteamiento de solución para estos problemas. Por ello se pretende evaluar la resistencia y el comportamiento estructural de concreto de los componentes del sistema de adherencia utilizando cilindros de concreto de 3000 psi, simulando el comportamiento empleado en obra, produciendo una discontinuidad de junta fría lisa con variación en su orientación en el plano inclinado de la superficie con junta fría diagonal de 45°, horizontal y vertical, con dos mezclas a distintos periodos de tiempo unidas o adheridas por un material epóxico. Los cilindros que se estudiarán serán sometidos a ensayos de compresión.

Este trabajo de grado buscar abrir una línea de investigación al proveer información sobre los efectos de las juntas frías en el concreto con diferentes tiempos de formación y diferentes inclinaciones. Adicionalmente, pretende ser un aporte significativo para los ingenieros en campo, ya que tendrán presente los efectos que trae la interrupción del vaciado de concreto en la resistencia a la compresión y una forma de mitigarlo mediante el uso de epóxicos.

El sector constructivo también será favorecido ya que muchas veces no se toma en cuenta la influencia de la formación de juntas frías en la calidad, resistencia y seguridad de las estructuras.

Además de su importancia, busca determinar la influencia de la junta fría con diferentes tiempos de formación, utilizando agregados locales en la resistencia a compresión en los testigos de concreto. Ya que nos permitirá conocer cómo se ven afectadas las propiedades resistentes del concreto cuando el vaciado es interrumpido [3].

Con las consideraciones anteriores nace el objetivo de la ejecución de este proyecto, evaluar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con presencia de juntas frías lisas, variando su orientación y tratadas con adhesivo epóxico. De tal manera que se pueda dar un punto de partida a futuras investigaciones, obteniéndose una medida que permita cuantificar los efectos del uso de aditivos epóxicos en el tratamiento de juntas frías en la resistencia a la compresión de cilindros normalizados de concreto.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con presencia de juntas frías lisas, variando su orientación y tratadas con adherente epóxico.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con ángulos de orientación de juntas frías lisas de 0° , 45° y 90° para edades de formación de juntas de 4, 6 y 8 horas.
- Evaluar la variación de la resistencia a la compresión en cilindros con juntas frías tratadas con adherente epóxico.
- Determinar la incidencia de la orientación de las juntas frías en los modos de falla de los cilindros de concreto.

5. ANTECEDENTES

Sobre el comportamiento de juntas frías mediante los puentes de adherencia se han hecho investigaciones de la eficiencia de los diferentes tipos de adherentes epóxicos existentes. A continuación, se presentan los estudios sobre la influencia que han tenido estas:

En el estudio de Gustavo A. Archila en el 2007, desarrolló un análisis comparativo del comportamiento entre un concreto viejo de 28 días y concreto nuevo de baja, alta resistencia y estructural, utilizando dos tipos de adherentes (Tipo A y Tipo S). La adherencia resultó ser más efectiva utilizando el adhesivo tipo S el cuál incrementó la resistencia de las probetas[4].

En la tesis de Guillermo A. Castillo en el 2008, se observa el comportamiento de las juntas de hormigonados a los esfuerzos de compresión y flexo tracción en hormigones H30, H20 y H25, a edades de 7, 14 y 28 días. Se comparan los resultados de los concretos con junta de hormigonado con tiempo de formación de 28 días. En los tres tipos de concreto ensayados alcanzan una menor pérdida de la resistencia a edades tempranas en comparación con hormigones patrones[5].

A. Torres; M. Botia; A. Ramos; F. Prada en el 2010, estudiaron para conocer mejor la influencia que tienen las juntas frías en la resistencia del concreto, y los especímenes fueron ensayos a compresión uniaxial y tracción indirecta a diferentes edades del concreto. Finalmente se concluyó que la pérdida de resistencia de la probeta dependía del tiempo de interrupción de mezcla, es decir, del tiempo de formación de junta fría, de la edad del concreto y del grado de inclinación del plano de la junta[2].

En el diseño sistema de Adherencia planteado por Oscar E. Pinzón en el 2011, determina la adherencia en vigas de concreto con platinas de acero A-36 adhiriéndose con una resina epóxica Coneresive pasta y con anclajes metálicos integrados químicamente a la sección de concreto. Como conclusión se demuestra que existe una condición de fuerzas internas necesarias para garantizar la correcta adherencia entre elementos de la sección, que no necesariamente se tienen que expresar en función de la fuerza cortante, y que pueden obtenerse a partir del momento flector[6].

El artículo por Duarte P. Y Brito E. en el 2011, presenta un estudio para evaluar la influencia de la contracción diferencial y la rigidez en la resistencia de la unión de las interfaces de concreto nuevas a viejas. Se demostró que ambos parámetros tienen una influencia significativa en la resistencia de la unión y el modo de falla de las interfaces de concreto a concreto[7].

Rodríguez J. 2012, propuso utilizar una malla metálica como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado, atribuyendo una solución constructiva para las juntas frías de hormigonado en elementos estructurales evaluadas en su resistencia mecánica, ensayo de corte y de la infiltración de agua. Para el esfuerzo de corte en juntas donde se utilizó una malla de acero galvanizado como elemento contenedor del hormigón aumento el porcentaje de resistencia, considerando como impermeable el plano de la junta fría de hormigonado por el coeficiente de Darcy[8].

La investigación de Valencia E. en el 2013, evalúa la resistencia a la compresión, de especímenes de concreto utilizando el adhesivo Chema Epox adhesivo 32 en juntas frías. Los especímenes ensayados tuvieron un comportamiento monolítico adquiriendo la resistencia a compresión esperada[9].

V. R Rathi y P. K. Kolase (2013), En el ensayo experimental a compresión, flexión y a la tracción dividida, se utilizó azúcar retardante en tres tipos de concreto de grado M25, como concreto teñido, concreto teñido con agente retardante y concreto fresco; dando como resultado que el concreto teñido con agente retardante da resistencia mejorada en comparación con el concreto teñido y fresco en el plano de falla horizontal[10].

Bernal C. 2014, el artículo presenta el estudio del efecto cortante en las columnas de concreto armado con presencia de junta fría, evaluando el comportamiento estructural en el efecto con la junta rustica horizontal, junta inclinada a 45°. En los elementos inducidos con junta frías de 45° en esfuerzo de tensión y corte, provoca una pérdida de la tenacidad, ductilidad y resistencia[11].

Ganesh V. Tapkire 2014, este estudio proporciona resultados con lechada de cemento en tres tipos de concreto de M20 grande, concreto teñido, concreto teñido con cemento lodo y concreto fresco en lapsos de tiempo de 60 min, 230 min y 24 hrs. La resistencia a la tracción por compresión, flexión, muestran que el concreto teñido con lechada de cemento brinda una resistencia mejorada en comparación con el teñido y fresco hormigón en plano de falla horizontal[12].

A. Torres 2014, realiza una simulación numérica del efecto de las juntas frías en la resistencia pico de cilindros normalizados de concreto, mediante modelos en un programa de elementos finitos, para comprender el comportamiento de la junta fría dentro de la probeta cilíndrica, basados en el ensayo experimental de la anterior investigación. En el programa de elementos finitos propicia la falla prematura del material cuando se somete a esfuerzos mecánicos[13].

C. Paredes, C. Reyes 2015, el proyecto de investigación estudia la influencia del adhesivo epóxico Colma fix 32 como puente adherente en vigas de concreto armado

sujetas a flexión para la recuperación de su monolitismo a diferentes edades, concluyendo en que los especímenes ensayados con el adhesivo tuvieron un comportamiento monolítico, permitiendo que el reforzamiento le dé una mayor ductilidad a la estructura[14].

J. Sandoval 2016, ejecuta un estudio experimental enfocado en el comportamiento y la efectividad de usar tres epóxicos adherentes (Sikadur 32 gel, Zeta Epox y Chema Epox 32) en juntas frías en elementos de concreto, elaborando probetas monolíticas de tres tipos con resistencia 210, 245, y 280 Kg/cm², generando juntas frías rugosas con ángulos de 30, 37 y 45°. Cuyas juntas frías con valores promedio de 60% y 64% por Sikadur 32 gel y Zeta Epox obtuvieron mayor resistencia, siendo el ángulo de 45° más óptimo para unir concretos[15].

El análisis experimental de J. Gómez 2016, Pretende evaluar la unión del concreto fraguado y concreto plástico en adherencia del tipo estructural analizando las variables, edad del concreto y la eficiencia que tiene los adherentes epóxicos (Epotoc 1-1, Sikadur 32) en el puente de adherencia. Se determinó un grado alto de confiabilidad y eficiencia para las uniones de 45° en las que se usan adherentes epóxicos utilizados para unir concreto fraguado y plástico[16].

El propósito de M. Quispe 2017, determinar en la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 1 1 2 , 2, 3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción indirecta en testigos de concreto $f'_c=210$ kg/cm² a edades de 7, 14 y 28 días. Siendo la pérdida de resistencia a compresión y a tracción en un porcentaje no mayor a 4.79% y 13.85% respectivamente en el concreto a los 28 días de edad[3].

E.M Pianzastelli, A.G. Magalhães, F. J. Silva, J. S. White, en el 2016, presentaron los principales aspectos para determinar la resistencia y la influencia de la unión entre el concreto de una columna de una estructural existente y el concreto de fortalecimiento. Los resultados obtenidos de la regresión lineal a corte de 45°, la adherencia entre el concreto viejo y nuevo fue de 5,03 MPa, por debajo en comparación de las muestras prueba. En las pruebas de doble manga el comportamiento monolítico depende del ancho del manguito de refuerzo y su relación de refuerzo transversal[17].

La investigación de C. Quispe 2018, tiene como finalidad la variación de la resistencia mecánica de elementos sometidos a compresión aumentando su sección resistente mediante un encamisado, haciendo uso del epóxico Chema Epox Adhesivo 32 como puente epóxico. Se llegó a la conclusión de que el encamisado a una columna de concreto armado aumenta su resistencia a la compresión en un 10.01%, con respecto a la columna sin encamisar[18].

6. MARCO TEÓRICO

6.1 CONCRETO

El concreto es un elemento compuesto por cemento, agregados y agua, conformando un material consistente, que en estado plástico se puede moldear. Cuando el concreto fragua y se endurece adquiere diferentes propiedades (resistencia, impermeabilidad entre otros).

Dependiendo del uso y los agregados que sean utilizados para la elaboración del concreto, este tiene algunas definiciones Ver Tabla 1.

Tabla1. Definiciones para el concreto.

Concreto = Agregados gruesos + Pasta
Concreto de cemento Portland = Agregado (fino + grueso) + Pasta
Cemento Mortero = Agregado fino + Pasta
Pasta = Cemento + Agua

Nota. Adaptado [15].

Los agregados normalmente utilizados para elaborar cemento son obtenidos de fuentes naturales dentro de las cuales las rocas son las más utilizadas, dichos materiales son separados por sus tamaños siendo divididos entre gruesos y finos. Algo similar pasa con el cemento el cual está compuesto por diferentes materiales químicos [15] tales como piedra caliza, arcilla y mineral de hierro, entre otros.

De igual forma es importante tener en cuenta que las cantidades utilizadas en cada mezcla dependen de la función que el concreto realice, por lo que las resistencias en columnas y techos siempre serán superiores a las resistencias en cimientos y pisos falsos (Ver Figura1).



*Figura1. Estructura de concreto.
Fuente: Revista EMB de construcción[19].*

Después de vaciar el concreto, es de vital importancia que este reaccione químicamente y empiece a aumentar su resistencia, dicho proceso normalmente inicia en los primeros siete días, por lo cual es importante que el concreto durante ese tiempo tenga un proceso de curado [18].

Como se mencionó anteriormente, el proceso de curado consiste en que el concreto permanezca húmedo por un tiempo, pues al mantener el concreto en estado húmedo la adherencia entre partículas de agregados y la pasta se hace más fuerte. Entonces el curado es la relación de temperatura y humedad la cual debe ser satisfactoria, por un periodo de tiempo el cual inicia desde el momento en el que se funde el concreto. El curado del concreto tiene una gran influencia sobre sus propiedades; entre más dure el curado, mayor puede ser la resistencia, impermeabilidad, durabilidad, estabilidad dimensional del concreto, entre otras. El tiempo de curado depende de la resistencia y la durabilidad que deseemos para nuestro concreto; mientras más tiempo se cure, mayores son las posibilidades de esté en un óptimo de resistencia y durabilidad [20].

6.1.1 Estados del concreto

El concreto presenta tres estados (fresco, fraguado y endurecido), cada uno con propiedades y características diferentes como se describe a continuación:

6.1.1.1 Estado fresco: Es cuando el concreto tiene una textura blanda y puede ser trabajado y manipulado con facilidad obteniendo diferentes formas. Algunas de las propiedades más importantes de este son la trabajabilidad y la cohesividad.

6.1.1.2 Estado fraguado: Es el estado del concreto donde este empieza su proceso de rigidez, ya no es blando y se conoce como el estado de fraguado es el proceso que comienza después de la compactación y el acabo.

6.1.1.3 Estado endurecido: Es el estado del concreto donde empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia y durabilidad [21] (Figura 2).



Figura 2. Estados del concreto.
Fuente: 360 Concretos-Argos Colombia [22].

6.1.2 Componentes del concreto

El concreto es un material pre mezclado que tiene una resistencia específica, esta mezcla está compuesta por algunos elementos como son: cemento, grava, arena, agua y en algunos casos aditivos.

6.1.2.1 Agregados

Los agregados son aquellos inertes, de forma granular, pueden ser naturales o artificiales, que en presencia de agua y cemento forman un elemento compacto y homogéneo, conocido como mortero o concreto. Se pueden considerar como agregados de mezclas de concreto aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente, no afecten desfavorablemente las propiedades y características de la mezcla y garantizan una adherencia suficientemente buena con la pasta [23].

Los agregados pueden usados en el concreto son normalmente gravas y arenas (Ver Figura 3), las cuales no deben causar deterioro del elemento debido a reacciones químicas de los demás componentes del concreto.

Además de eso los agregados deben tener una buena distribución granulométrica, forma y textura ya que este es uno de los factores que más influye en las carteristas del concreto.

- **Agregado grueso:** Es material grueso aquel que es retenido en el Tamiz de 4.75 mm (N° 4). Este agregado consiste en gravas naturales o trituradas, piedras partidas entre otros. Este agregado debe estar limpio de perfiles preferiblemente [23].

- **Agregado fino:** Es agregado fino aquel que es producto de la desintegración de rocas, que pasa al tamiz 3/8" (9.52 mm). El agregado fino normalmente consiste en arenas, sus partículas deben estar limpias, duras y compactas [18].



*Figura 3. Agregados.
Fuente: Ernest Maier [24].*

6.1.2.2 Agua para concreto

Debe usarse agua potable o no potable, si se escoge la segunda esta debe tener una autorización de inspección. No se deben usar por ningún motivo aguas ácidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, aguas de minas, aguas con residuos minerales o industriales, aguas con contenido de sulfatos mayor del 1%, aguas con materia orgánica, aguas que contengan azúcares o sus derivados. De igual manera no se deben usar aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas [23].

6.1.2.3 Cemento Portland

El cemento es una mezcla de caliza, arcillas calcinadas y molidas, que tiene la propiedad de endurecer con el agua[25]. Al moler estas rocas obtenemos un producto llamado CLINKER y se convierte en cemento cuando se le agrega yeso para que adquiera la propiedad de fraguar y endurecerse posteriormente. El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con algunos requisitos según su tipología[23].

Algunas de las propiedades del concreto son:

Trabajabilidad, consistencia, resistencia, durabilidad, peso unitario, calor de hidratación, elasticidad, escurrimiento plástico, dilatación térmica [23].

6.2 JUNTAS EN CONCRETO

El concreto, se expande o se contrae con los cambios de temperatura y humedad. La tendencia general es a contraerse, causando el agrietamiento a edades tempranas del mismo (Figura 4).

Las grietas irregulares se ven mal visualmente y son difíciles de manejar, pero estas no afectan la estructura y es por estas razones entre otras que se crean las juntas.



*Figura 4. Agrietamiento de superficies.
Fuente: 360 Concretos-Argos Colombia[22].*

6.2.1 Tipos de juntas en concreto

Para controlar fisuras ocasionadas por los movimientos que se generan en las estructuras, se recurre a la construcción de juntas ya que son el método más eficiente para el control de las mismas. A continuación, se presentan los diferentes tipos de juntas (véase Figura 5):

6.2.1.1 Juntas de contracción: Son las que se crean para generar planos débiles en el concreto y regular la ubicación de las grietas que se formaran como resultado del dimensionamiento.

6.2.1.2 Juntas de aislamiento o expansión: Son aquellas que separan o dividen las losas en de otras partes de la estructura (paredes o columnas). Ellas hacen posibles los movimientos independientes de la estructura (horizontal o vertical) y ayudan a minimizar las grietas.

6.2.1.3 Juntas de construcción: Son aquellas donde se encuentran vaciados de diferentes edades (vertimiento del concreto) sucesivos del concreto. Ellas son consecuencia de la interrupción de actividades en una obra por diferentes razones por un tiempo mayor al tiempo de fraguado inicial del concreto. Algunas otras pueden ser diseñadas para permitir el

movimiento de la estructura y para transmitir cargas, la ubicación de estas debe ser planificada.



*Figura 5. Juntas en concreto.
Fuente: 360 Concretos-Argos Colombia[22].*

Como se menciona anteriormente las juntas aparecen para controlar y minimizar las grietas en el concreto, algunas de las causas de dicho fenómeno pueden ser:

Concreto frágil ante cargas de tracción, su tendencia natural a retraerse es restringida y se generan esfuerzos de tracción que exceden la resistencia a esa fuerza, dando como resultado el agrietamiento

A edades tempranas, antes de que el concreto seque se generan agrietamientos por cambios de temperatura o por la ligera contracción cuando el concreto fragua y endurece. Cuando este concreto seca, se retraerá adicionalmente formando nuevas grietas o aumentando el tamaño de las que ya existían.

Teniendo en cuenta estos aspectos, para la construcción de juntas se debe tener mucho cuidado en el diseño ya que si se cometen errores se generará un agrietamiento descontrolado del acabado del concreto[26].

6.3 JUNTAS FRÍAS

Las juntas frías son elementos conformados por mezclas que son colocadas una sobre la otra en diferentes tiempos (una mezcla más fraguada que la otra) debido a interrupciones inesperadas en el momento del vaciado, este tipo de juntas forman planos de debilidad que afectan las propiedades del elemento disminuyendo su resistencia y afectando de manera considerable el desempeño de la estructura.

Esta pérdida de resistencia depende de factores como la inclinación de la junta, el tiempo de formación de junta y la relación de la inclinación con la dirección de los esfuerzos[2].

Para compensar la pérdida de resistencia en el plano débil de la junta se suelen emplear adhesivos o resinas epóxicas.

Se debe tener en cuenta que en caso de ser necesaria una junta fría esta debe realizarse de tal manera que no afecte el comportamiento mecánico ni de estabilidad de la estructura.

Aunque no se conoce con claridad las características que se afectan con la presencia de juntas frías, y no es clara la pérdida de la resistencia del concreto con respecto a edades tempranas donde el concreto inicial se encuentra en estado de fraguado, este tema se debe estudiar más a profundidad para analizar el comportamiento de este tipo de juntas que afectan de forma considerable en obra.

6.3.1 Efecto de las juntas frías en la construcción

Las juntas frías son el efecto de la colocación de dos concretos de un mismo elemento con una diferencia de tiempo considerable entre ellos, esta formación es imprevista ya que no se contempla durante el diseño y la construcción de la estructura.

Este tipo de juntas son consecuencia de imprevistos de último momento en obra, son involuntarias y deben ser tratadas de manera que la adherencia entre los concretos sea la óptima.

La aparición de este tipo de juntas en la construcción genera que el plano donde se encuentra se debilite, disminuyendo la resistencia y adherencia de los elementos dependiendo del tiempo colocación del concreto nuevo con el antiguo.

Uno de los mecanismos más usados en obra para el tratamiento de las juntas frías se basa en eliminar todos los residuos sólidos de la superficie de concreto antiguo (que preferiblemente este rugoso) con un chorro de agua a presión o chorro de arena húmeda dependiendo de la estructura para luego verter el concreto nuevo; otra forma de ser tratadas las juntas frías es mediante el picado de la superficie de concreto antiguo para luego vaciar sobre este el concreto nuevo, aunque este tipo de tratamiento es totalmente desaconsejado ya que algunos ensayos realizados demuestran que el picado produce una micro-fisuración del hormigón que debilita la adherencia de la junta.

6.3.2 Manejo de las juntas frías en concreto

Las juntas frías en concreto se generan debido a interrupciones inesperadas en el vaciado del mismo, para el control y manejo de este tipo de juntas existen adhesivos y resinas, las cuales tienen como función generar un puente de adherencia entre los concretos evitando que fallen por el plano débil.

6.3.2.1 Adhesivos

Son conocidos desde la antigüedad, fueron usados en civilizaciones como la egipcia y asiria donde se usaban adhesivos de origen animal para pegar papiros e incluso se descubrieron algunos mantos bituminosos además de usar la brea como material cementante.

Los adhesivos se han usado a lo largo de la historia, es un sector que crece constantemente, desarrolla soluciones similares o mejores en el ensamblaje y sellado de los materiales tradicionales, además es una solución de menor costo comparado con los anclajes adhesivos. Aunque es una solución más económica y sencilla comparada con otros métodos o sistemas de unión, se debe tener conocimientos básicos para poder darle uso adecuado y obtener resultados satisfactorios [18].

Los adhesivos son materiales no metálicos, compuestos por polímeros orgánicos; los adhesivos son capaces de unir 2 partes de materiales iguales o diferentes, mediante mecanismos de adhesión y de cohesión (Figura 6).



*Figura 6. Mezcla de adhesivo.
Fuente: EPOXEMEX.*

6.3.2.2 Resinas

Se aplican generalmente en reparación de grietas, para reemplazar pequeñas cantidades de concreto dañado, para juntar o unir concreto el cual fue aplicado a diferentes edades (concreto nuevo/concreto viejo), también sirve para anclar o unir elementos.

Son sistemas compuesto por diferentes tipos de resinas (epóxicas, poliéster, acrílica, poliuretano, etc.) y un catalizador; cuando mezclamos estos dos elementos, la resina presenta un comportamiento de endurecimiento. Después del curado estas presentan propiedades de resistencia y rigidez[27].

Las resistencias que presentan las estructuras de concreto con presencia de junta frías tratadas con resinas a compresión, flexión y torsión son normalmente mayores que las resistencias del concreto con presencia de juntas frías pero sin tratamiento[15]; de igual forma se recomienda que las resinas no se utilicen en temperaturas mayores a 100°C ya que presentan un deterioro y tampoco se utilicen a temperaturas menores de 10°C porque puede que se suspenda su endurecimiento[18].

6.3.2.2.1 Tipos de resinas

Se dividen en naturales y sintéticas, las primeras hacen referencia a las que se encuentran en el medio ambiente, hay de diferentes tipos como la resina verdadera, gomorresinas, oleorresinas, bálsamos, lacto resinas. Las segundas son las elaboradas por procesos químicos dentro de estas se encuentran las epóxica, poliéster, poliuretano, acrílicos, las resinas que tienen aplicación en la construcción son las resinas sintéticas [27] (Figura 7).



Figura 7. Exudación de resinas naturales.

Fuente: Estudio de las utilizaciones y componentes de la resina natural de pino[28].

6.3.2.2.1.1 Resinas epóxicas

Las resinas epóxicas tienen poca aplicación en la construcción, salvo que sirvan como agentes de curado o agentes endurecedores. Las diversas proporciones entre resina y endurecedor, así como la amplia gama de elementos, permiten obtener gran variedad de compuestos en los cuales las diferentes conexiones entre moléculas proveen al material gran cantidad de propiedades mecánicas específicas. Los epóxicos o resinas epóxicas tienen un lugar muy amplio en el mercado, van desde líquidos de baja viscosidad, hasta sólidos. Las más usadas en construcción son las líquidas, para la preparación y uso de estas se debe tener en cuenta las instrucciones específicas de cada fabricante[27].

Las resinas epóxicas se clasifican de acuerdo a sus aplicaciones y propiedades mecánicas (Ver Tabla 2 y 3).

Tabla2. Tipos de resinas epóxicas según su aplicación.

TIPO	APLICACIÓN
I	Para unir concreto endurecido con concreto endurecido (sin soportar carga).
II	Para unir concreto fresco con concreto endurecido (sin soportar carga).
III	Para unir otros materiales con concreto endurecido y como aglutinante de morteros y concretos epóxicos.
IV	Para unir concreto endurecido con concreto endurecido y como aglutinante de morteros y concretos epóxicos (soportando carga).
V	Para unir concreto fresco con concreto endurecido (soportando carga).
VI	Para unir y sellar elementos prefabricados
VII	Como sellador de elementos prefabricados

Nota: Adaptado de [29].

Tabla3. Clasificación según su grado de Viscosidad.

GRADO	VISCOSIDAD
1	Viscosidad baja (2000 cp); se utiliza para inyección de grietas
2	Viscosidad media (2000-10000 cp); se utiliza para propósitos generales.
3	Viscosidad alta, se utiliza para trabajos especiales.

Nota: Adaptado de [29].

Algunas de las funciones y aplicaciones de las resinas epóxicas son [18]:

- **Adhesivo estructural**

Uniones de concreto fresco y endurecido / Uniones de pre fabricados / Uniones de elementos estructurales como se observa en la Figura 8.

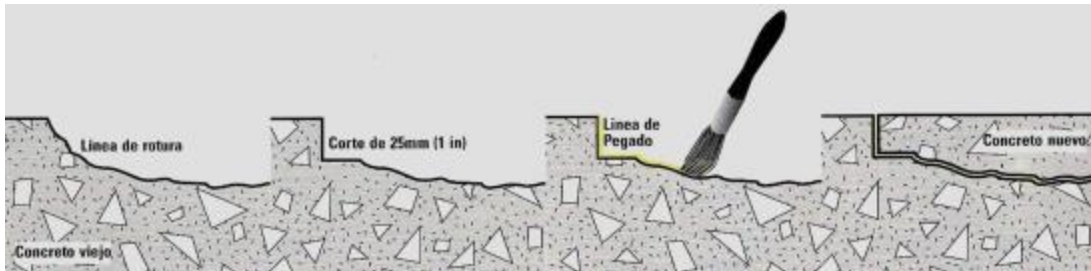


Figura 8. Unión de concreto endurecido y fresco mediante la aplicación de resinas epóxicas.
Fuente: Concrete Protection and Repair Products Specialist.

- **Protección y revestimientos de superficies**

Revestimientos de depósitos / Membranas epóxicas impermeabilizantes / Suelos industriales resistentes al desgaste, deslizamiento y agentes agresivos/ Pinturas anticorrosivas.

- **Refuerzos y reparaciones**

Morteros para reparaciones de Juntas / Reparaciones en obras hidráulicas [18].

Las propiedades más importantes de las resinas son, resistencia a compresión, resistencia a la adherencia, módulo de elasticidad, resistencia química, viscosidad, coeficiente de expansión térmico entre otras [18].

En la presente investigación cuantificar la pérdida de la resistencia debido a las juntas frías por medio de una serie experimental de cilindros de concreto.

Se mostrará el comportamiento de las juntas frías lisas y así determinar qué tan desfavorable es para las estructuras, analizando el tratamiento que se emplee [2].

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para este trabajo se tomó como referencia el proyecto de grado de A. Torres, A. Ramos-Cañón, F. Prada-Sarmiento, M. Botía-Díaz; titulada “Comportamiento mecánico de juntas frías lisas de concreto”[2], para complementar dicha investigación se busca indagar acerca del efecto de los adherentes epóxicos en las juntas frías lisas a edades tempranas.

A continuación, se muestra el proceso realizado para la elaboración, curado y refrentado de 216 especímenes cilíndricos de concreto en el laboratorio, bajo diferentes controles de calidad de los materiales que fueron usados y ensayos realizados, escritos en la normas NTC 673[30] y ASTM C31[31].

7.1 Materiales y métodos

Para el ensayo de la resistencia a la compresión de muestras curadas en agua se efectúan sobre especímenes cilíndricos de concreto de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura proporcionadas por la Norma NTC 1377 [32].

El ensayo se llevó a cabo con un total de 216 especímenes cilíndricos que se dividen de la siguiente manera:

- 108 cilindros completos de referencia (cilindros testigo sin junta).
- 54 especímenes cilíndricos (con presencia de junta fría lisa con diferentes inclinaciones incorporando adhesivo epóxico EPOTOC 1-1).
- 54 especímenes cilíndricos (con presencia de junta fría lisa con diferentes inclinaciones sin adhesivo epóxico EPOTOC 1-1).

Estas juntas frías adquieren tiempos comprendidos de 4,6 y 8 horas empleándose moldes impermeabilizados para establecer el aspecto plano y liso. En cada muestra de ensayo se evalúa la resistencia a la compresión en determinada edad de 7, 14 y 28 días como lo indican las Figuras 9 y 10. Durante este periodo deben mantenerse condiciones de temperatura y humedad.

Todos los cilindros son fabricados de acuerdo a las especificaciones de las normas NTC 1377[32]y ASTM C31[31] y fallados de acuerdo a la norma NTC 673[30].



Figura 9. Experimentos de cilindros de concreto con junta fría lisa.
Fuente: Adaptado de [2].

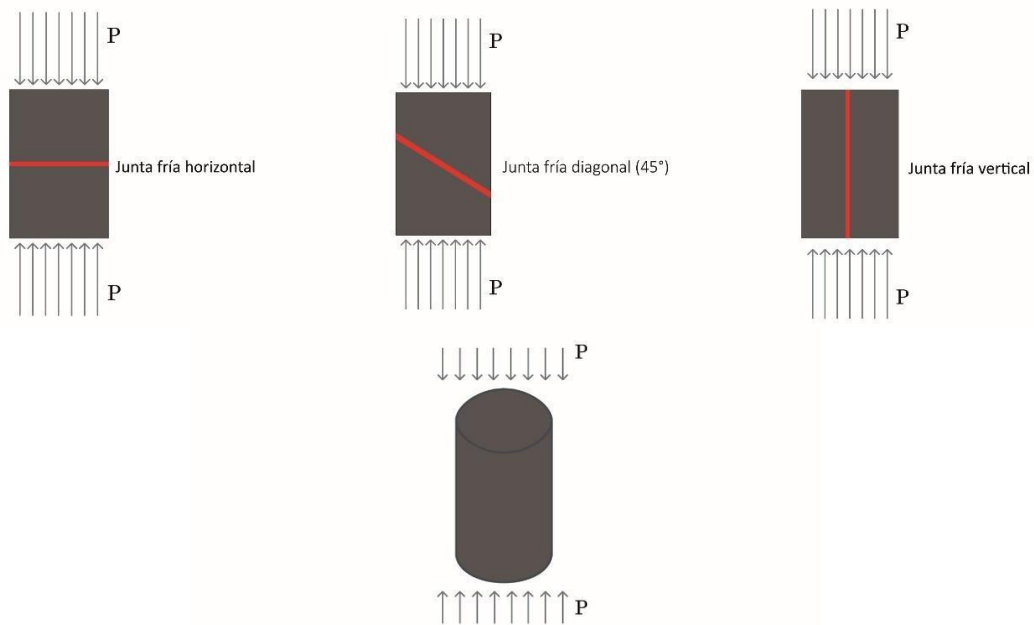


Figura 10. Cargas aplicadas en cilindros con junta y testigo.
Fuente: Adaptación de [2].

7.2 Materiales

De acuerdo a la normatividad son necesarios los siguientes materiales (Véase Tabla 4) para la realización de los ensayos:

- **Cemento**

Se usó cemento portland hidráulico tipo 1 de la marca Holcim para elaborar la dosificación. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer con presencia de agua mediante una reacción química. Descrito en la norma NTC 30[33].

- **Agua**

El agua de mezclado se define como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento con el fin de producir una pasta hidratada. Regida para la elaboración de los especímenes siguiendo la norma NTC 3459[34].

- **Agregados**

Los agregados son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales, que en conjunto con el cemento y el agua conforman todo un compacto conocido como concreto, garantizando una adherencia con la pasta endurecida del cemento (Figura 12), regido por la norma NTC 174[35].

- **Yeso**

El yeso, se deshidrata y logra endurecerse con rapidez en el momento en que se mezcla con el agua, para dar un acabado liso y nivelar la superficie del espécimen para el correspondiente ensayo de compresión.

7.3 Características del adhesivo epóxico EPOTOC 1-1

Con base en lo que establece la ficha técnica del producto se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- **Descripción**

EPOTOC 1-1, es una soldadura epóxica de dos componentes, 100% sólidos, de baja sensibilidad a la humedad, ideal para adherir concreto nuevo a concreto endurecido. Cumple con la norma ASTM C-881[36], tipo V, grado 2.

- **Usos**

EPOTOC 1-1 es especialmente recomendado para adherir concreto nuevo a concreto viejo o endurecido.

- Para adherir reparaciones en elementos estructurales.
- Elementos prefabricados.
- Para adherir morteros epóxicos en superficies húmedas.

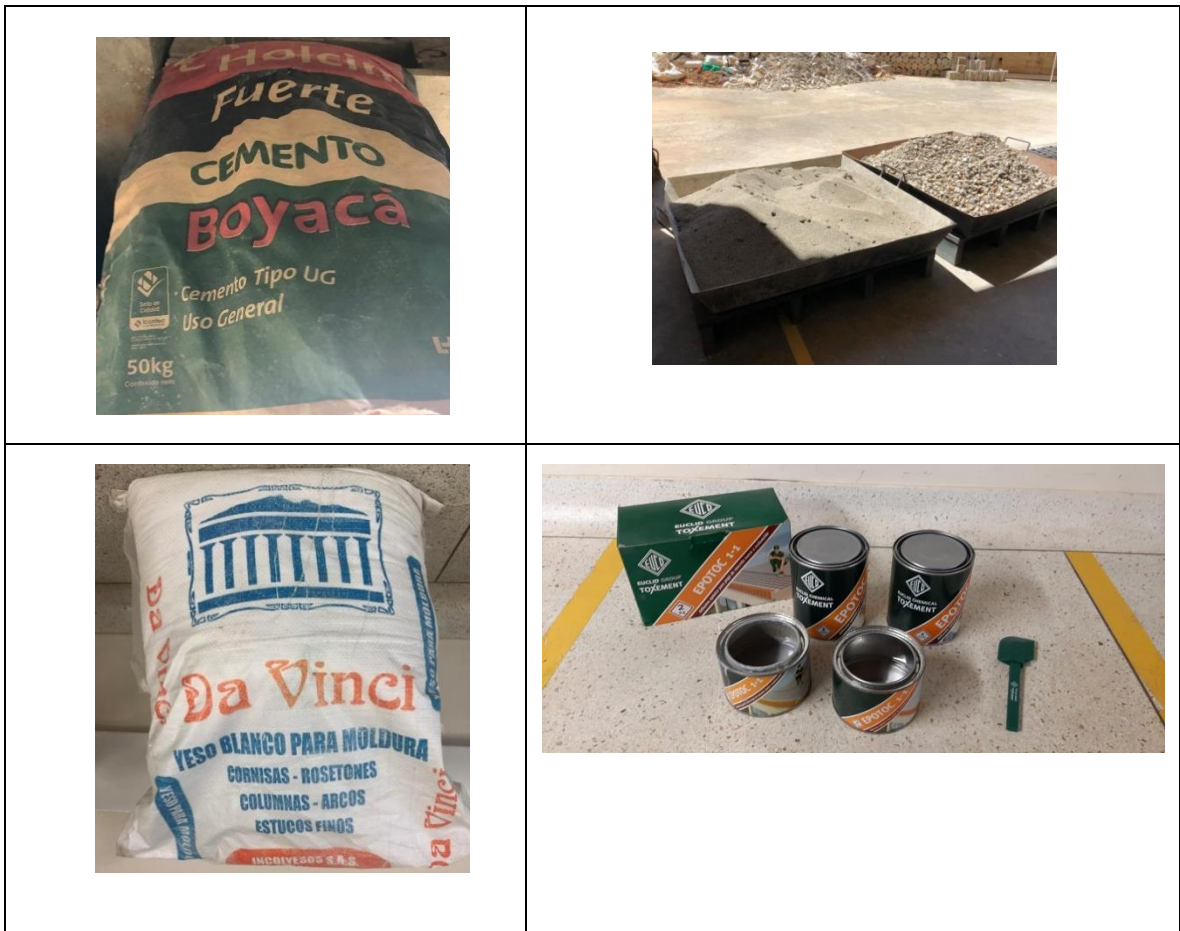
➤ **Ventajas**

- Garantiza alta adherencia entre concreto endurecido y concreto nuevo.
- Facilidad de mezcla y aplicación.
- Adhiere a superficies húmedas.
- No contiene solventes.
- Relación de mezcla 1:1 en volumen.

➤ **Rendimiento**

Como adherente: 400 g/m² a 700 g/m², dependiendo de la rugosidad de la superficie. Si el EPOTOC 1-1 ha secado, pero tiene menos de 12 horas a 20°C, es posible colocar otra capa del material y continuar con la aplicación[37].

Tabla 4. Materiales.



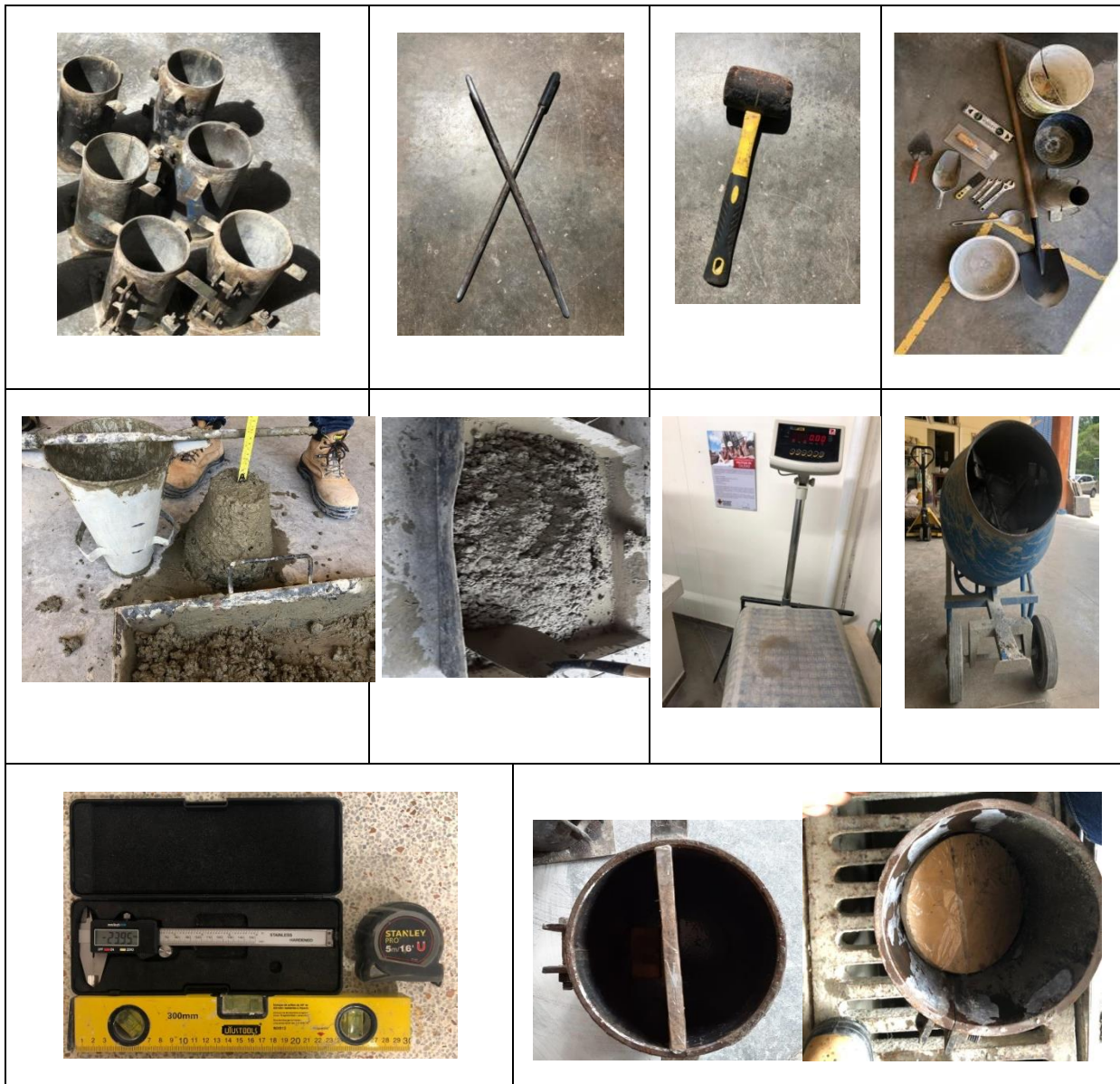
Fuente: Propia.

7.4 Moldes y herramientas

Dentro de los parámetros requeridos para la fabricación de probetas de concreto, son indispensables el uso de las herramientas y equipos adecuados que cumplan con la normativa, para una adecuada fabricación de estas probetas (Ver Tabla 5).

- **Moldes Impermeables:** Modelos de dimensiones rectangular 14x29 cm, ovalado 15x22 cm, circular 14x14 cm todos los moldes tiene un espesor de $e= 5\text{mm}$ para fundición en el vaciado de concreto en las probetas cilíndricas diseñando la junta fría plana y lisa.
- **Probetas cilíndricas:** Las probetas para pruebas de aceptación de forma cilíndrica de base de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, son fabricados en acero inoxidable, rígido, no absorbente y no reactivo con el cemento.
- **Varilla compactadora de apisonado:** Varilla rectilínea, lisa de acero de 1.6 cm de diámetro y de 60 cm de longitud, teniendo un extremo terminado en forma de semiesfera, se utilizan para penetrar y compactar en las muestras cilíndricas.
- **Martillo de goma:** Se usa un mazo rígido con cabezal de caucho, para eliminar el contenido de aire atrapado en la mezcla durante el llenado y compactación del cilindro, golpeando 15 veces a los lados del molde.
- **Herramienta menor:** Brocha, carretilla, balanza electrónica, baldes, una llana o palustre, pala, enrasadores, cuchara y paleta de albañil.
- **Cono de Abrams para asentamiento:** Molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas Se debe medir el asentamiento cuando ya esté hecha la mezcla, para que así cumpla con las especificaciones de consistencia.
- **Plancha de albañilería:** El recipiente para mezcla debe ser un recipiente de fondo plano, de material duro, impermeable y con capacidad para permitir mezclar el material de forma fácil con pala o palustre.
- **Mezcladora de concreto:** Se usa un tambor giratorio con motor, se debe inclinar con capacidad para mezclar a fondo todo el material.
- **Instrumento de medida:** Regla, metro, o calibrador empleado para la toma del tamaño del espécimen para evaluar la resistencia del concreto que se ve afectada por el efecto del tamaño.

Tabla5. Moldes y herramientas.



Fuente: Propia.

7.5 Elaboración probetas de concreto

Previamente las probetas cilíndricas deben cumplir con lo establecido en la norma NTC 1377[32] para no afectar los resultados del ensayo.

7.5.1 Preparación molde

Se verifica que los moldes cilíndricos estén libres de residuos, esté fijo el molde de la placa base firmemente bien armado a sus abrazaderas para que la mezcla no se

salga. Se procede a lubricar impregnando la superficie interna de los moldes con aceite derivados de petróleo utilizando una brocha en su adecuada aplicación.

7.5.2 Preparación de la muestra

Antes de ejecutar la elaboración de todos los especímenes se deberá realizar un diseño de mezcla con dosificación cuyos resultados se muestra en el Capítulo 8, para obtener cantidad de materiales a usar para el momento de batir el concreto.

7.5.3 Procedimiento de vaciado y compactación de los especímenes

El proceso de mezcla, se realiza utilizando una mezcladora o concreteira, incorporando los agregados grueso y fino junto con el agua, se inicia la rotación de la mezcladora, adicionando el cemento, se deja girar el trompo durante 3 a 5 minutos, hasta que se presente totalmente homogénea, se descarga la mezcla en la plancha de albañilería, se mezcla nuevamente con una pala o palustre hasta que quede concisa con apariencia uniforme.

Inmediatamente después del mezclado del concreto, se mide el asentamiento de acuerdo con la NTC 396 [38].

7.5.4 Elaboración de muestras

La fundición de los especímenes debe comenzar previamente diez minutos después de la batida simultáneamente, se realizaron dos mezclas colocando el concreto en el molde.

Los requerimientos que se deben cumplir en la elaboración y curado de especímenes de concreto en Colombia, están ajustados a la Norma NTC 1377 [32].

- **Moldeado de cilindros**

La mezcla fue vertida en los moldes metálicos, en tres capas de alturas determinadas e igualmente proporcionada para cada una de las diferentes juntas; vertical, horizontal e inclinada a 45°.

La cantidad de cilindros por mezcla se dividió de la siguiente manera (Véase Figuras 11, 12, 13 y 14). En la primera mezcla llenado hasta la mitad o altura determinada los que presentan formación de junta y cilindros sin formación de junta (testigos) llenados completamente.

Cilindros con junta horizontal



Figura 11. Elaboración de cilindros horizontales.
Fuente: Adaptación de [2] y Fuente Propia.

Cilindros con junta vertical

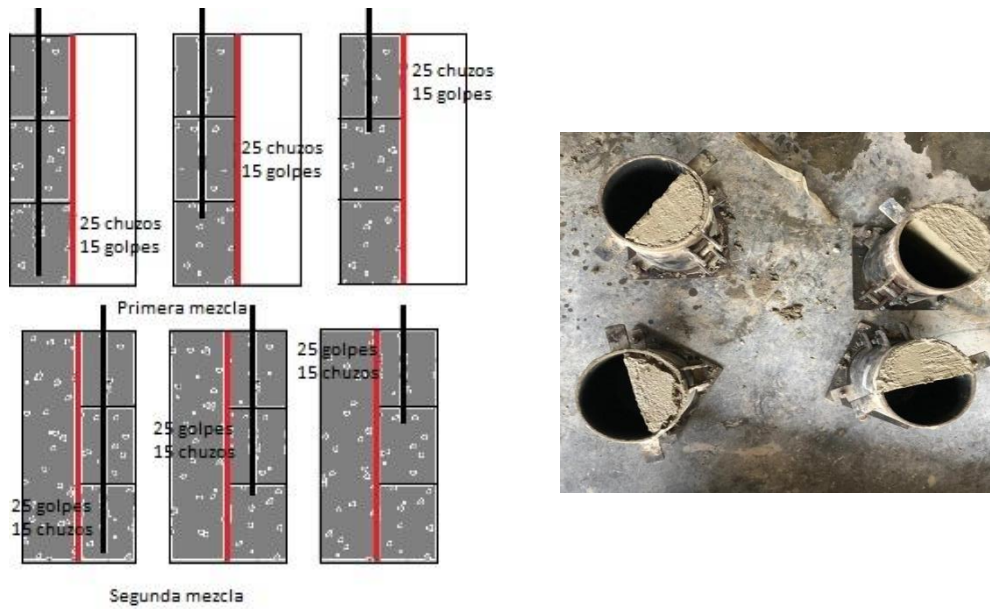


Figura 12. Elaboración cilindros verticales.
Fuente: Adaptación de [2] y Fuente Propia.

Cilindros con junta diagonal a 45°

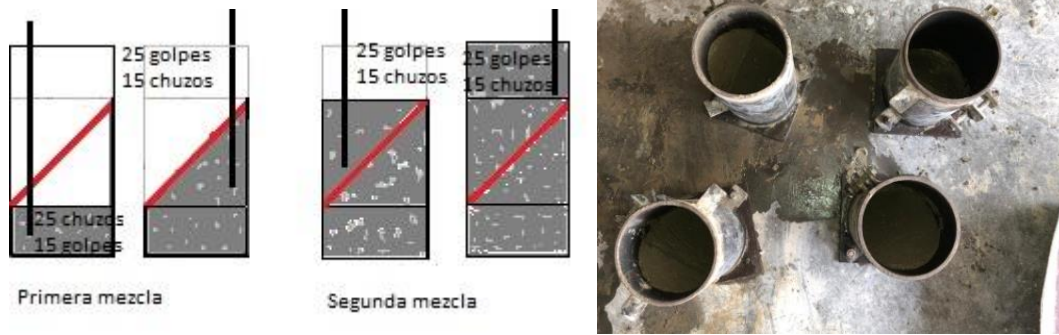


Figura 13. Elaboración cilindros 45°.
Fuente: Adaptación de [2] y Fuente Propia.

Cilindros testigo

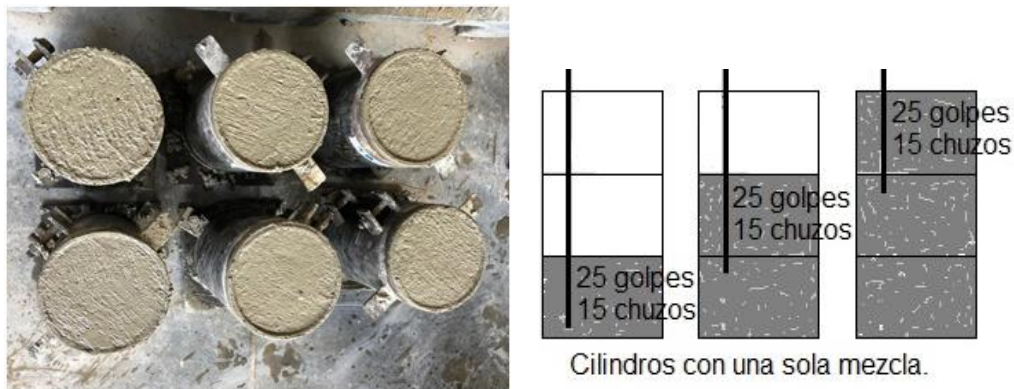


Figura 14. Cilindros testigo.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.

- **Compactación de los especímenes**

Durante el proceso de colocación del concreto se realiza una distribución simétrica, en capas iguales, correspondientemente se debe compactar mediante apisonamiento manual con la varilla lisa de acero, la cual se penetra 25 veces en cada capa en diferentes partes de la superficie del concreto; teniendo en cuenta que alcanzara la profundidad total de la capa uniformemente, de manera ligera evitando que pase y altere la anterior capa compactada.

Inmediatamente después de que cada capa es apisonada distribuidamente se dan 15 golpes por la parte exterior de los lados del molde cilíndrico, empleando un martillo de goma por cada capa, con el fin de eliminar los vacíos de aire que quedan atrapados y así mismo la superficie este uniformemente como se muestra en la (Véase Figura 15).



*Figura 15. Compactación de cilindros.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

- **Retiro de junta Aplicación de Epotoc 1-1**

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se retiran los moldes impermeabilizados de diferentes inclinaciones supervisando que la superficie este limpia. Después de consolidar el concreto fresco del espécimen en la primera mezcla a altura media para inducir la discontinuidad con puente adherencia, se prepara y aplica el adhesivo epóxico descrito en el Numeral 7.3 características EPOTOC 1-1.



*Figura 16. Aplicación de Epotoc 1-1 juntas horizontal, vertical, diagonal.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

Poco antes de cumplir los tiempos de formación de junta fría se prepara y funde la segunda mezcla de concreto fresco para completar de altura media a altura completa como se evidencia en la Figura 16, se repite el mismo procedimiento para el llenado completo de los cilindros con presencia de puente de adherencia sin adhesivo epóxico.

Al final de la elaboración de los especímenes cilíndricos se enrasa el exceso de concreto con la varilla apisonadora y se termina la superficie del concreto junto con una llana para darle un mejor acabado.

- **Identificación probetas y desencofrado**

Los moldes cilíndricos metálicos son marcados con una cinta adhesiva en su exterior con referencias para identificar el tipo de junta fría que representa y su correspondiente tiempo de formación (Figura 17).



*Figura 17. Identificación probetas.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

Las probetas se retirarán de los moldes en las próximas 24 horas y se procede a desencofrarlas, se asignó la cara circular de los especímenes las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde (Figura 18).



*Figura 18. Desencofrado de probetas cilíndricas metálicas.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

7.5.5 Proceso de curado y Refrentado

Después de desmoldar las probetas se colocan en la pileta de curado (Figura 19), conteniendo una solución saturada de agua y cal.

La cura y protección de los especímenes moldeados tanto en su estado fresco como endurecido son importantes para que no se vean afectados los resultados de resistencia. El curado de los 216 cilindros se realizó siguiendo los procedimientos indicados en las normas NTC 1377[32] y ASTM C 192 [39].



*Figura 19. Cámara de curado.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

Posteriormente se retiran los especímenes de la pileta de curado dejando que se sequen de forma parcial para realizar el ensayo a compresión; antes de esto se realiza el proceso de refrentado que tiene como fin, nivelar la superficie de los especímenes para asegurarse que la carga aplicada se distribuya uniformemente por toda la cara superior del espécimen y así se obtengan resultados más precisos (Figura 20).



*Figura20. Refrentado espécimen.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

7.6 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

Los requerimientos para realizar ensayos de compresión simple en cilindros de concreto en Colombia, deben estar de acuerdo a los requerimientos dados en la Norma NTC 673 [30].

El ensayo consiste en determinar la máxima resistencia a la compresión de un cilindro de muestra de un concreto frente a una carga aplicada axialmente; para luego ser comparados entre si los cilindros que presentan puente de adherencia con Epotoc 1-1, sin Epotoc 1-1 y cilindros testigos.

Cada uno de los resultados de las resistencias del ensayo a compresión es el promedio de la falla de dos cilindros de concreto.

Para realizar el ensayo a compresión simple de los cilindros concreto se emplea la máquina de ensayo a compresión (Figura 21). Debe estar correctamente calibrada de acuerdo a la norma ASTM E4[40].



*Figura 21. Máquina de compresión simple.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

En la Figura 22, se muestran los especímenes cilíndricos con los diferentes tipos de juntas frías (45°, vertical y horizontal), con puente de adherencia epóxica.



*Figura 22. Especímenes con presencia de junta horizontal, vertical y diagonal.
Fuente: Propia. Universidad pontificia Bolivariana.*

Los ensayos de compresión deben realizarse tan pronto como se pueda después de que los especímenes sean retirados del proceso de curado (los especímenes deben estar parcialmente secos).

Nota: La máquina da la resistencia experimental del cilindro, pero también se debe calcular la resistencia teórica dividiendo la máxima carga soportada por la probeta entre el área promedio de la sección fallada (Ver ecuación 1).

Ecuación 1. Resistencia teórica.

$$\text{Resistencia Teorica} = \frac{\text{Carga de falla (N)}}{\text{Area de falla (mm}^2\text{)}}$$

8. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA

Las características de los agregados influyen directamente en la resistencia del concreto por esta razón se deben analizar de forma detallada, con el fin de conocer sus propiedades físicas como: densidad, masa, absorción, humedad, para así obtener un adecuado diseño de mezcla, con la verificación y cumplimiento de los requisitos establecidos.

8.1 Densidad del cemento hidráulico

Para este ensayo se usó cemento Holcim Fuerte tipo uso general (UG). Este es un producto avalado con el sello de calidad Icontec para cemento uso general de acuerdo con la norma NTC 121 [41], éste será el mismo tipo de cemento a en el ensayo experimental de los 216 cilindros.

Ensayo realizado de acuerdo a la norma NTC 221 [42]; se emplea para el diseño y control de mezclas de concreto (Figura 23).



*Figura 23. Densidad del cemento hidráulico, frasco de Le Chatelier.
Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivariana.*

8.2 Análisis granulométrico para agregados gruesos y finos

El ensayo tiene por finalidad determinar cuantitativamente, los tamaños de las partículas de los agregados finos y finos contenidos en muestras secas, a través de tamices consecutivos de mayor a menos abertura como se muestran en la Figura 24, Proceso y serie de tamizado de los agregados.

Este ensayo se realiza de acuerdo a las normas NTC 77[32] y NTC 174[35].



*Figura 24. Proceso de tamizado de los agregados fino y grueso.
Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivariana.*

8.3 Determinación de contenido de humedad en los agregados

El ensayo tiene por finalidad determinar el porcentaje de humedad de los agregados finos y gruesos, de acuerdo a la norma NTC 1776 [43]. (Véase Figura 25. Contenido de humedad de los agregados).



*Figura25. Contenido de humedad de los agregados.
Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivariana.*

8.4 Determinación de la masa unitaria de los agregados gruesos y finos

El propósito de este ensayo es obtener la masa unitaria en condición suelta y apisonada, y el cálculo de los vacíos entre las partículas, mediante la Norma Técnica Colombiana NTC 92 [44], (Véase Figura 26. Masa unitaria compacta y suelta de los agregados).



Figura 26. Masa unitaria compacta y suelta de los agregados.
Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivariana.

8.5 Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos

Ensayo tiene como fin, determinar el peso específico y la absorción de los agregados descritos en la normas NTC 176[45] y NTC 237[46] (Figura 27).



Figura 27. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.
Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivarian0a.

8.6 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla es un procedimiento empírico, que se realiza para determinar las cantidades de los materiales que se usaran en el concreto, dependiendo de las características que este requiera según la estructura (trabajabilidad, duración, resistencia).

Para este diseño de mezcla se usó el método A.C.I., el cual es un método usado en la dosificación para diseño de mezclas en concreto; es un procedimiento de diseño bastante simple, el cual se basa en dosificar los materiales de forma volumétrica y en peso. La norma que rige este tipo de diseño de mezcla es la A.C.I. 211.1[47] que está regida por la ASTM C33[48], donde se hace referencia a varias especificaciones granulométricas.

9. RESULTADOS

Debido a la gran cantidad de material que se usó, se realiza la compra en dos fases para tener las cantidades necesarias, se realiza la debida caracterización a cada uno de los materiales, para luego en el diseño ajustar las propiedades a cada uno de ellos.

NOTA: La compra de los materiales se realiza en la misma cantera.

Los resultados, análisis y sus correspondientes cálculos completos de la caracterización y diseño de los materiales se pueden apreciar en el Anexo A y B.

9.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los requerimientos que deben cumplir los agregados tanto finos como gruesos que se empleen en la elaboración de concretos en Colombia, deben cumplir con los requerimientos dados en la Norma NTC 174 [35].

❖ Resultados caracterización primer material

El cemento hidráulico tipo 1 Holcim, posee una densidad 2,9 gr/cm³ como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Densidad del cemento.

Densidad del cemento	2,9	gr/cm ³
-----------------------------	-----	--------------------

Fuente: Propia.

De forma resumida se encuentran los resultados obtenidos al realizar los diferentes ensayos de caracterización de los agregados finos y grueso descritos anteriormente en el Numeral 8, se evidencian en la Tabla 7.

Tabla 7. Resumen resultados caracterización agregado fino y grueso primer material.

Agregado Grueso	Valor
Tamaño máximo	1 ½"
Tamaño máximo nominal	¾"
Contenido de humedad	0,95%
Porcentaje de vacíos	39.36 %
Masa Unitaria	1516 kg/m ³
Densidad aparente Bulk	2,55
Densidad aparente (SSS)	2,52
Densidad nominal	2,58
Absorción	1,56 %

Agregado Fino	Valor
Módulo de finura	2,88
Contenido de humedad	3,31%
Porcentaje de vacíos	41.34%
Masa Unitaria	1490kg/m ³
Densidad aparente Bulk	2,54
Densidad aparente (SSS)	2,59
Densidad nominal	2,68
Absorción	2,04%

Fuente: Propia.

❖ Resultados caracterización segundo material

Resumen de los resultados obtenidos al realizar los diferentes ensayos de caracterización de los agregados finos y grueso para el segundo material descritos anteriormente en el Numeral 8, los valores obtenidos se expresan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen resultados caracterización agregado fino y grueso segundo material.

Agregado Grueso	Valor
Tamaño máximo	1 ½"
Tamaño máximo nominal	1"
Contenido de humedad	3,40%
Porcentaje de vacíos	41,35 %
Masa Unitaria	1478 kg/m ³
Densidad aparente Bulk	2,52
Densidad aparente (SSS)	2,56
Densidad nominal	2,65
Absorción	1,94%

Agregado Fino	Valor
Módulo de finura	2,69
Contenido de humedad	4,12%
Porcentaje de vacíos	43,44%
Masa Unitaria	1431 kg/m ³
Densidad aparente Bulk	2,53
Densidad aparente (SSS)	3,57
Densidad nominal	2,66
Absorción	1,83%

Fuente: Propia.

9.2 RESULTADOS DISEÑO DE MEZCLA

Con base en los resultados obtenidos de la caracterización, se realizó el correspondiente el diseño de mezcla.

El ensayo de asentamiento del cono de Abrams para medir la consistencia del concreto se indica en la Tabla 9.

Tabla 9. Asentamiento del concreto.

Asentamiento	8	cm
---------------------	---	----

Fuente: Propia.

❖ Resultados diseño de mezcla primer material

Los resultados obtenidos del primer diseño de mezcla corresponden a la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen resultados diseño de mezcla primer material.

Diseño de mezcla	
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Contenido de agua y aire	0,2m ³
Resistencia diseño F'cr	29 MPa
Agua/Cemento (A/C)	0,55
Contenido de cemento	363,6 Kg
Cantidad agregado grueso	927,792 Kg
Cantidad agregado fino	795,13 Kg

Fuente: Propia.

A continuación, en la Tabla 10, se presenta la dosificación final para un cilindro de concreto correspondiente para el primer material.

Tabla 11. Dosificación final para un cilindro de concreto.

A	C	F	G
1,4	2,29	5.01	5.84

Fuente: Propia.

❖ Resultados diseño de mezcla segundo material

En resumen, se aprecia en la Tabla 12, los resultados del diseño de mezcla segundo material.

Tabla 12. Resumen resultados diseño de mezcla segundo material.

Diseño de mezcla	
Tamaño máximo del agregado	1"
Contenido de agua y aire	0,19m ³
Resistencia diseño F'cr	29 MPa
Agua/Cemento (A/C)	0,55
Contenido de cemento	345,45 Kg
Cantidad agregado grueso	1006,518 Kg
Cantidad agregado fino	768,84 Kg

Fuente: Propia.

En la Tabla 13, se observa la dosificación final para un cilindro de concreto correspondiente para el segundo material.

Tabla 13. Dosificación final para un cilindro de concreto.

A	C	F	G
1,22	2,20	4,91	6,402

Fuente: Propia.

9.3 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Los resultados obtenidos se dividen en los resultados obtenidos para 7, 14 y 28 días que corresponde a los 108 cilindros con junta fría con Epóxico y sin Epóxico, siendo 4, 6 y 8 horas los diferentes tiempos de formación de junta (horizontal, vertical, diagonal 45°); así mismo, con sus respectivos especímenes testigos para los 7, 14 y 28 días. El análisis más detallado se encuentra en el Anexo C.

Se puede observar que a edades tempranas el adhesivo epóxico EPOTOC 1-1 no empieza a aportar al aumento de la resistencia a compresión, este aumento de resistencia se ve reflejado en edades posteriores como se puede constatar en los especímenes de junta fría lisa a 45° formación de 8 horas de junta presenta aumento del 94,16% en cuanto a la resistencia a compresión a la edad de 28 días con respecto al espécimen testigo.

En la Tabla 14, se encuentran las convenciones.

Tabla 14. Convenciones.

Convenciones	
H	Horizontal
V	Vertical
45°	Inclinada
Ep	Epóxico
S.Ep	Sin Epóxico

Fuente: Propia.

En las siguientes Tablas 15, 16 y 17 se detallan los resultados de esfuerzo de compresión de los especímenes, tomado de la máquina de ensayo.

Las ganancias de endurecimiento del concreto se producen en los días iniciales, se obtiene un 67% a los 7 días que alcanza una resistencia de 14,72 MPa; se obtiene un 87% en tan solo los 14 días con una resistencia de 19,12 MPa y llega a alcanzar un 100% a los 28 días con su respectiva resistencia de 21,95 MPa, en relación con espécimen testigo sin junta.

En la Tabla 15, se aprecia que los especímenes a edad de 28 días con formación de junta de 8 horas con presencia de junta fría tratadas con adhesivo epóxico superan en resistencia al espécimen con junta fría sin adherente epóxico, siendo 21,95 MPa la mayor resistencia en junta horizontal, seguido de 20,62 MPa en junta diagonal y por ultimo junta vertical de 17,03 MPa la más crítica.

Tabla 15. Resumen resultados de ensayos a compresión en especímenes con presencia de junta fría.

Cilindro	Tipo junta	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]								
		7 días - 4 h	7 días - 6 h	7 días - 8 h	14 días - 4h	14 días - 6h	14 días - 8h	28 días - 4h	28 días - 6h	28 días - 8h
Ep	H	14,67	14,56	14,72	18,48	18,73	19,12	21,61	21,87	21,95
S.Ep	H	14,52	14,31	14,28	18,11	18,43	19,10	21,66	21,48	21,60
Ep	V	5,90	7,78	9,13	10,28	11,59	13,64	14,09	15,45	17,03
S.Ep	V	7,72	6,20	4,89	12,70	10,62	9,06	16,36	13,84	12,17
Ep	45°	9,68	10,98	11,98	12,92	14,64	16,98	17,16	18,55	20,62
S.Ep	45°	11,37	10,37	8,98	14,76	13,72	12,42	18,70	16,63	15,67

Fuente: Propia.

En la Tabla 16, se aprecia que los especímenes testigo sin junta fría a la edad de 7 días alcanzan un 71% de la resistencia de diseño.

Tabla 16. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 7 días.

Testigo	Tipo junta	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]								
		7 días - 4 h	7 días - 6 h	7 días - 8 h	14 días - 4h	14 días - 6h	14 días - 8h	28 días - 4h	28 días - 6h	28 días - 8h
A	-	14,64	14,75	14,26	14,94	12,06	14,42	14,16	14,20	13,64
B	-	14,37	14,10	14,90	14,60	13,37	14,78	13,99	13,61	14,78

Fuente: Propia.

Conforme la Tabla 17, los especímenes testigos obtienen a la edad de 14 días un 91% respecto a la resistencia de diseño.

Tabla 17. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 14 días.

Testigo	Tipo junta	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]								
		7 días - 4 h	7 días - 6 h	7 días - 8 h	14 días - 4h	14 días - 6h	14 días - 8h	28 días - 4h	28 días - 6h	28 días - 8h
A	-	18,04	18,37	16,39	19,05	18,67	19,18	17,97	17,62	18,05
B	-	17,38	17,80	17,58	18,09	18,51	19,12	17,13	18,03	19,38

Fuente: Propia.

La Tabla 18, indica un 100% de la resistencia de diseño a la edad de 28 días para los especímenes testigo.

Tabla 18. Resumen resultados de ensayo a compresión en especímenes testigo edad de 28 días.

Testigo	Tipo junta	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]								
		7 días - 4 h	7 días - 6 h	7 días - 8 h	14 días - 4h	14 días - 6h	14 días - 8h	28 días - 4h	28 días - 6h	28 días - 8h
A	-	22,15	21,38	20,82	21,88	21,84	21,07	21,94	21,63	21,77
B	-	20,96	20,39	21,52	20,99	22,20	21,75	21,85	21,99	22,19

Fuente: Propia.

El análisis, descripción e identificación de falla de ruptura de cilindros sometidos a compresión se puede apreciar en el Anexo D. Se observó que la ruptura de falla a edades tempranas (evaluado a los 7 y 14 días) con tiempo de formación de junta de 4 horas, la falla se da por la junta. En el caso de los especímenes con junta vertical la falla en todos los casos siempre se dio por la junta.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determina el porcentaje de pérdida de resistencia a compresión de especímenes con junta fría a edad de formación de 7, 14 y 28 días en tiempos comprendidos de 4, 6 y 8 horas respecto a los cilindros testigo.

Cabe resaltar, que en el caso particular de los especímenes con junta horizontal (Ver Tablas 19 y 20), los valores negativos representan un aumento de resistencia, estos valores se presentan exclusivamente en especímenes con junta horizontal.

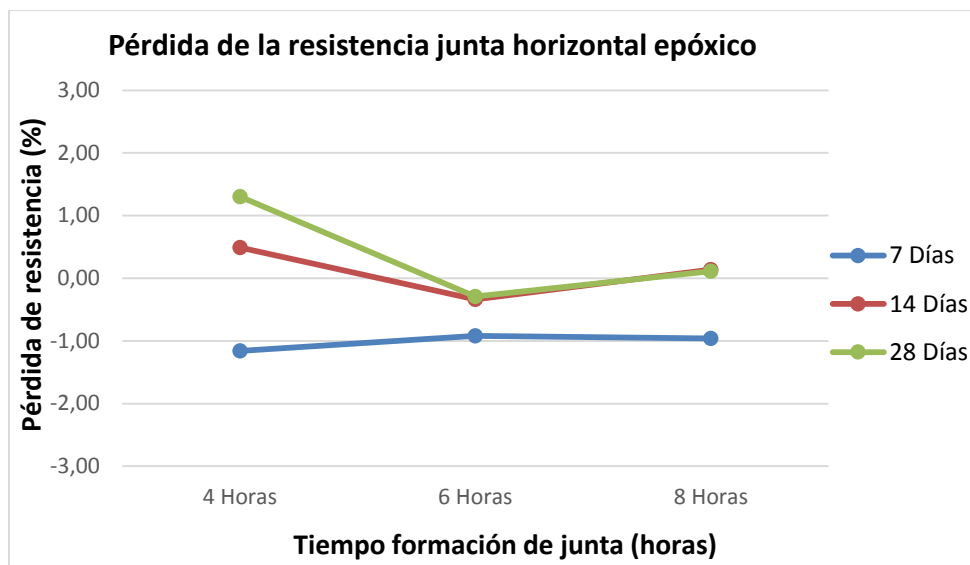
En la Tabla 19, se encuentra el resumen de la resistencia promedio a compresión en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico, cilindros testigo y el porcentaje de pérdida de la resistencia de acuerdo con la edad y las horas de formación de la junta.

Tabla 19. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico.

Formación de Junta Horizontal Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
7 días	14,67	14,56	14,72	14,51	14,43	14,58	-1,16	-0,92	-0,96
14 días	18,48	18,73	19,12	18,57	18,67	19,14	0,49	-0,34	0,14
28 días	21,61	21,87	21,95	21,90	21,81	21,98	1,30	-0,29	0,11

Fuente: Propia.

Se denota en la Gráfica 1, que las muestras de concreto con junta fría horizontal con epóxico con tiempo de formación de 4 horas a 28 días de edad, presentan un porcentaje de pérdida de su resistencia respecto al espécimen testigo de 1,30%. En cambio, las muestras con junta fría con tiempo de formación de 8 horas a 28 días, presentan una pérdida menor de 0,11% de la resistencia respecto al cilindro testigo, siendo el porcentaje de pérdida de pérdida los más bajos para las juntas horizontales con epóxico.



Gráfica 1. Pérdida de resistencia junta horizontal con epóxico.
Fuente: Propia.

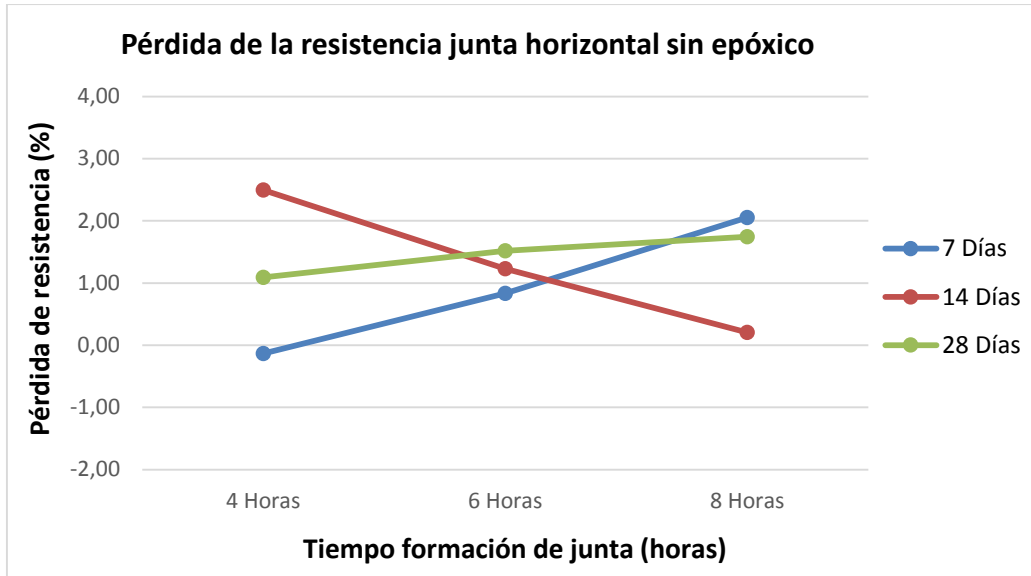
En la Tabla 20, se contemplan el resumen de los datos de la resistencia promedio a la compresión en especímenes con formación de junta horizontal sin epóxico y en los cilindros testigo. De igual forma se puede apreciar el porcentaje de pérdida de resistencia que se calculó comparando la resistencia promedio de los cilindros con presencia de junta respecto a los especímenes testigo.

Tabla 20. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal sin epóxico.

Formación de Junta Horizontal sin Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
7 días	14,52	14,31	14,28	14,51	14,43	14,58	-0,13	0,83	2,05
14 días	18,11	18,44	19,10	18,57	18,67	19,14	2,49	1,23	0,20
28 días	21,66	21,48	21,60	21,90	21,81	21,98	1,09	1,52	1,74

Fuente: Propia.

Según la Gráfica 2, la resistencia a compresión de las muestras con presencia de junta fría horizontal sin epóxico, presenta un porcentaje de pérdida de 1,09% cuando el tiempo de formación de la junta es de 4 horas a la edad de 28 días, esto incrementa a medida que aumentan las horas para los 28 días.



Gráfica 2. Pérdida de resistencia junta horizontal sin epóxico.
Fuente: Propia.

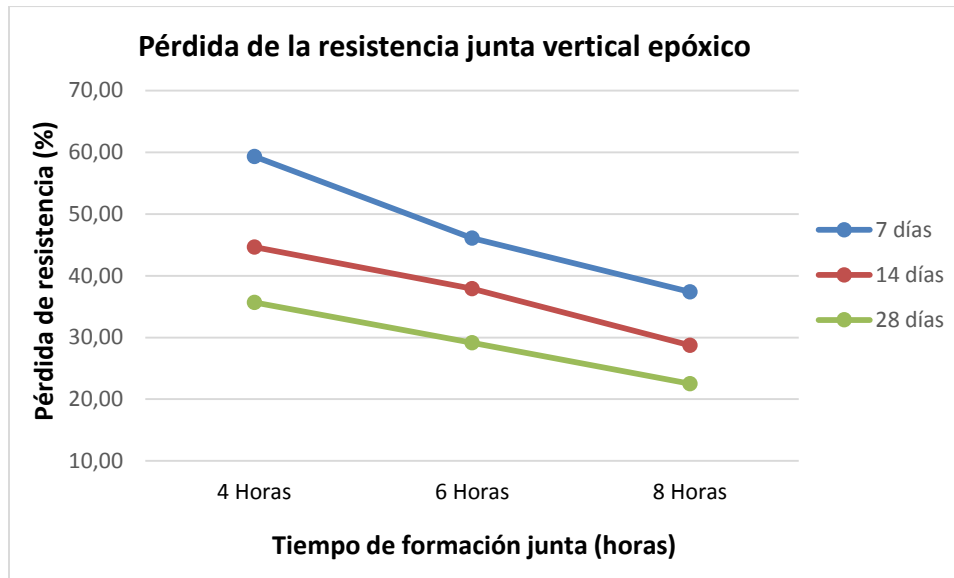
En la Tabla 21, se aprecia el resumen de los datos de la resistencia promedio a la compresión en especímenes de formación de junta vertical con epóxico, cilindros testigo y el porcentaje de pérdida de la resistencia de acuerdo con la edad y las horas de formación de la junta.

Tabla 21. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical con epóxico.

Formación de Junta Vertical Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
7 días	5,90	7,79	9,13	14,51	14,43	14,58	59,30	46,09	37,38
14 días	10,28	11,59	13,64	18,57	18,67	19,14	44,62	37,93	28,76
28 días	14,09	15,45	17,03	21,90	21,801	21,98	35,67	29,16	22,51

Fuente: Propia.

En el Gráfico 3, se observa que la pérdida de resistencia respecto al cilindro testigo es más evidente en las muestras con junta fría de formación vertical de 4 horas con epóxico, obteniendo la mayor pérdida de resistencia a los 7 días de 59,30%.



Gráfica3. Pérdida de resistencia junta vertical con epóxico.
Fuente: Propia.

En la Tabla 22, se contemplan los datos resumen promedio de la resistencia a compresión en especímenes de formación de junta vertical sin epóxico, cilindros testigo y el porcentaje de pérdida de la resistencia de acuerdo con la edad y las horas de formación de la junta.

Tabla 22. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical sin epóxico.

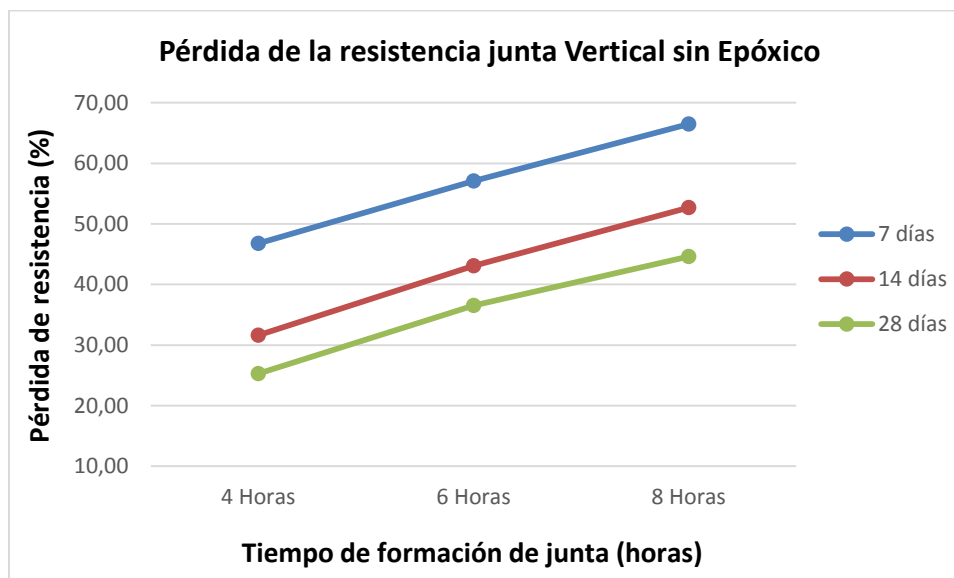
Formación de Junta Vertical sin Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
7 días	7,72	6,20	4,89	14,51	14,43	14,58	46,79	57,06	66,46
14 días	12,70	10,62	9,06	18,57	18,665	19,141	31,63	43,10	52,69
28 días	16,36	13,84	12,17	21,90	21,807	21,979	25,27	36,55	44,61

Fuente: Propia.

Se observa en la Gráfica 4, una relación lineal de aumento de pérdida de resistencia a compresión respecto al tiempo de formación de junta fría vertical sin epóxico, siendo la pérdida de resistencia más notoria que los otros tipos de juntas, obteniendo la mayor pérdida de resistencia a los 7 días de 66,46% en tiempo de formación de 8 horas.

Esta presenta una curva creciente debido a que a edades tempranas el los concretos aún están frescos y la adherencia entre ellos es mayor , a medida que

aumenta el intervalo de horas de edad de junta estos se endurecen perdiendo adherencia entre ellos.



Gráfica 4. Pérdida de resistencia junta vertical sin epóxico.
Fuente: Propia.

En la Tabla 23, se contemplan los datos resumen promedio de la resistencia a compresión en especímenes de formación de junta diagonal (45°) con epóxico, especímenes testigo y el porcentaje de pérdida de la resistencia de acuerdo a la edad y las horas de formación de la junta.

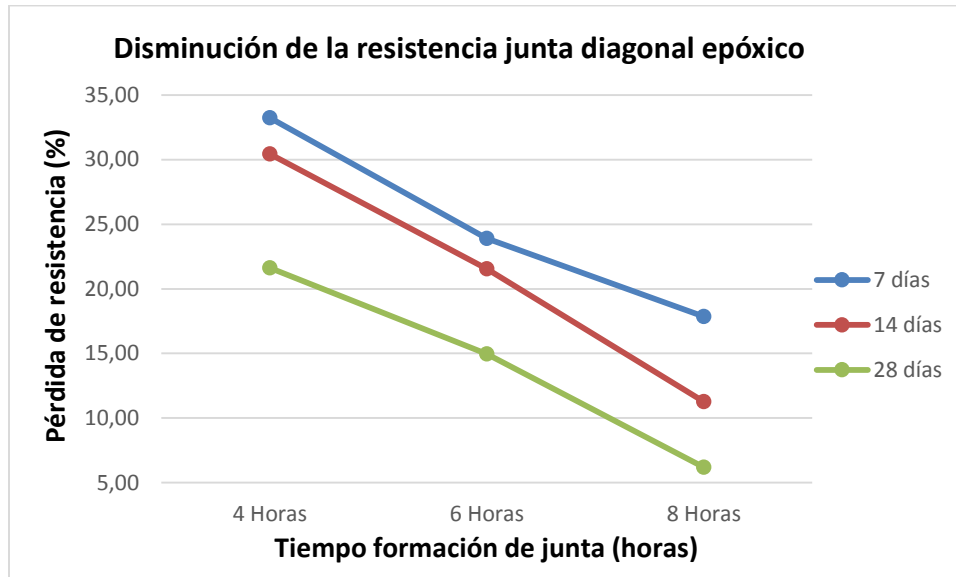
Tabla 23. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) con epóxico.

Formación de Junta Diagonal (45°) Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
7 días	9,68	10,98	11,98	14,51	14,43	14,58	33,24	23,90	17,87
14 días	12,92	14,64	16,98	18,57	18,67	19,14	30,44	21,56	11,27
28 días	17,17	18,55	20,62	21,90	21,80	21,98	21,61	14,95	6,20

Fuente: Propia.

Se observa en la Gráfica 5, que la mayor variación de pérdida resistencia a compresión entre 7, 14 y 28 días se presentan en la formación de junta diagonal a (45°) con epóxico. La muestra de concreto con junta fría con tiempo de formación

de 4 horas tiene una mayor pérdida de su resistencia a compresión de 33,24% respecto al cilindro testigo.



Gráfica5. Pérdida de resistencia junta diagonal (45°) con epóxico.
Fuente: Propia.

En la Tabla 24, se contemplan los datos resumen promedio de la resistencia a compresión en especímenes de formación de junta diagonal (45°) sin epóxico, cilindros testigo y el porcentaje de pérdida de la resistencia de acuerdo con la edad y las horas de formación de la junta.

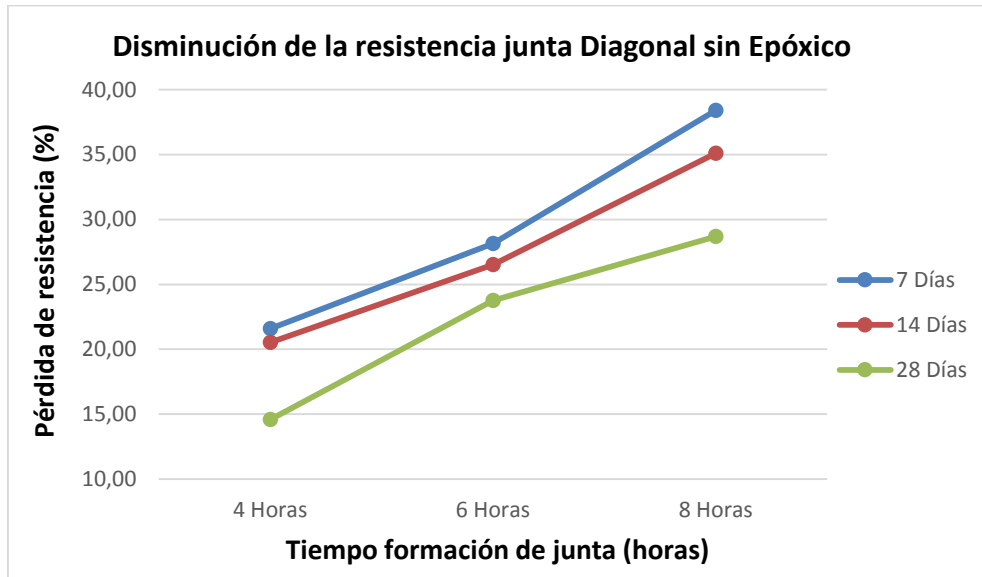
Tabla 24. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) sin epóxico.

Formación de Junta Diagonal (45°) sin Epóxico	Cilindros con junta			Cilindros sin junta			Pérdida de resistencia (%)		
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			4 Horas	6 Horas	8 Horas
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas			
Edad									
7 días	11,37	10,37	8,98	14,51	14,43	14,58	21,59	28,13	38,41
14 días	14,76	13,72	12,42	18,57	18,67	19,14	20,51	26,52	35,11
28 días	18,70	16,63	15,67	21,90	21,80	21,98	14,59	23,75	28,69

Fuente: Propia.

En el Gráfico 6, presenta que la pérdida de resistencia respecto al cilindro testigo es más evidente en las muestras con junta fría diagonal (45°) sin epóxico con tiempo

de formación de 8 horas, obteniendo la mayor pérdida de resistencia a los 7 días de 38,41%.



Gráfica 6. Pérdida de resistencia junta diagonal (45°) sin Epóxico.
Fuente: Propia.

A continuación, se presenta una evolución de resistencia de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión entre especímenes con presencia de junta fría lisa con epóxico y sin epóxico respecto al espécimen testigo.

Los resultados de las pruebas de compresión ejecutadas a los especímenes, es uno de los puntos de mayor interés del presente estudio, pues se comparará la resistencia esperada a la experimental.

En la Tabla 25, se muestran los datos resumen promedio de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a diferentes tiempos de formación e inclinación a la edad de 7 días con respecto al espécimen testigo.

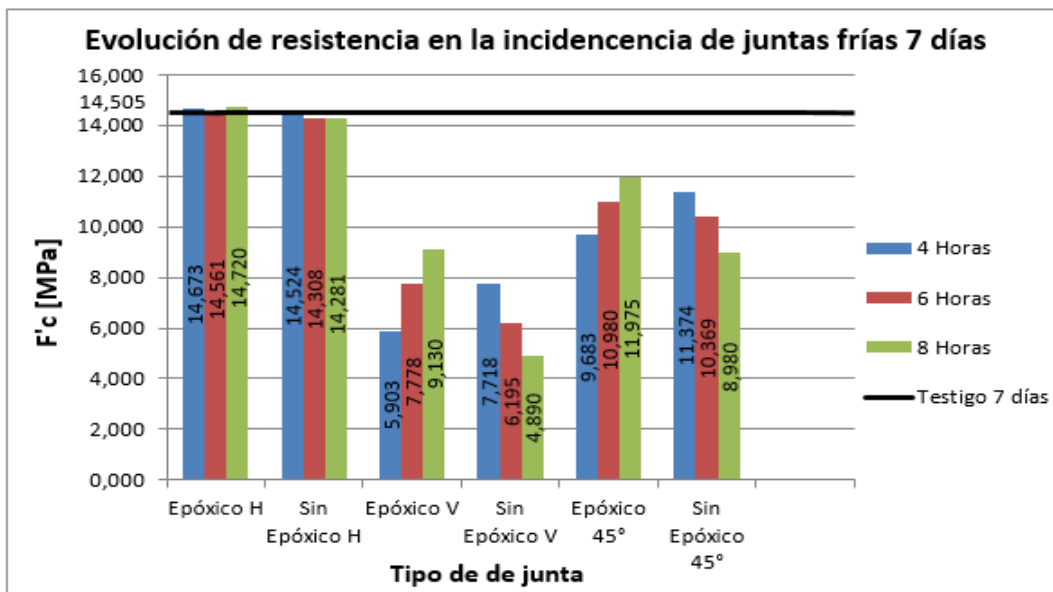
Tabla 25. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 7 días.

	F'c [MPa]						Testigo 7 días
	Epóxico H	Sin Epóxico H	Epóxico V	Sin Epóxico V	Epóxico 45°	Sin Epóxico 45°	
4 Horas	14,67	14,52	5,90	7,72	9,68	11,37	14,51
6 Horas	14,56	14,31	7,78	6,20	10,98	10,37	
8 Horas	14,72	14,28	9,13	4,89	11,98	8,98	

Fuente: Propia.

De acuerdo con los ensayos realizados en laboratorio, se observó que la resistencia a compresión de los especímenes con presencia de junta fría con epóxico varió, aumentando en un 93% con respecto a los especímenes con presencia de junta fría sin epóxico. De acuerdo con esto, el puente de adherencia con epóxico, aumenta la resistencia a compresión en un 67%.

En el Grafico 7, la evolución de la resistencia a compresión en función de la edad y la formación de junta durante los primeros 7 días, los especímenes con junta fría con epóxico tienen un mayor aumento en la resistencia en la formación de juntas de 8 horas, siendo la resistencia máxima de 14,72 MPa.



Gráfica 7. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 7 días.
Fuente: Propia.

En la Tabla 26, se muestran los datos resumen promedio de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a diferentes tiempos de formación e inclinación a la edad de 14 días con respecto al cilindro testigo.

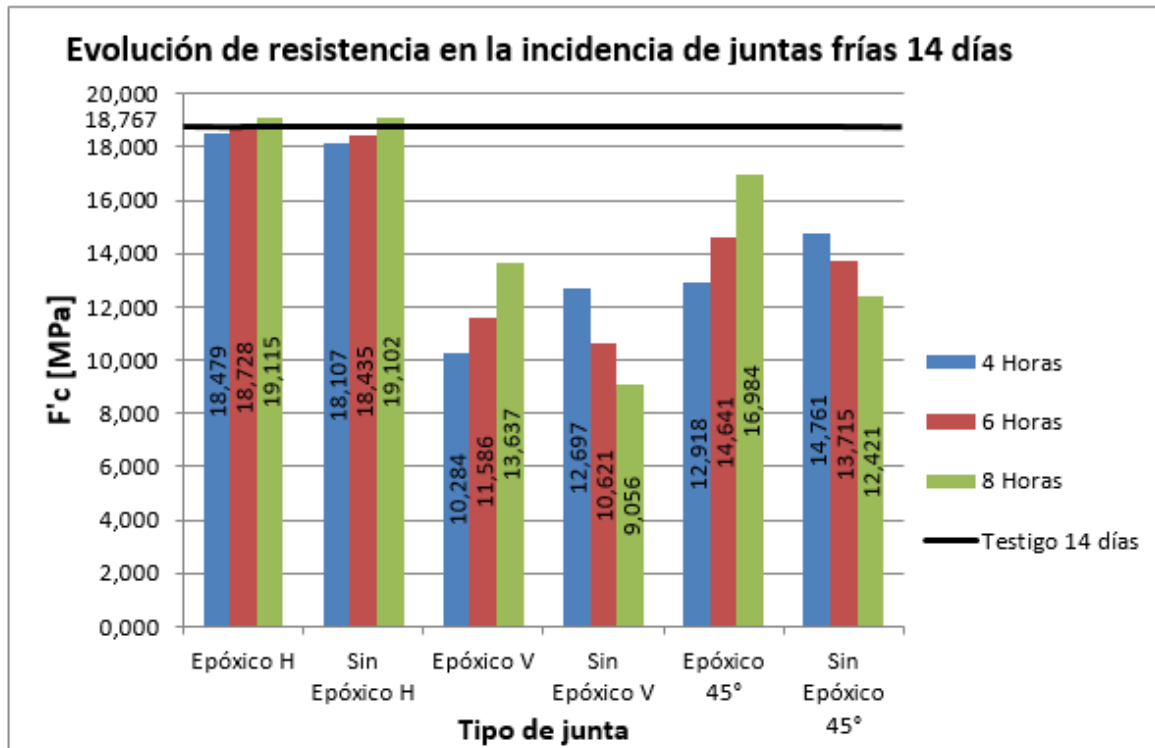
Tabla 26. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 14 días.

	F'c [MPa]						
	Epóxico H	Sin Epóxico H	Epóxico V	Sin Epóxico V	Epóxico 45°	Sin Epóxico 45°	Testigo 14 días
4 Horas	18,45	18,11	10,28	12,70	12,92	14,76	

6 Horas	18,73	18,44	11,59	10,62	14,64	13,72	18,77
8 Horas	19,12	19,10	13,64	9,06	16,98	12,42	

Fuente: Propia.

Al analizar los resultados obtenidos en la Gráfica 8, para la edad de 14 días, se evidencia un valor máximo de resistencia a la compresión de 16,98 MPa, corresponde a la formación de 8 horas de junta diagonal (45°) con epóxico.



Gráfica 8. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 14 días.

Fuente: Propia.

En la Tabla 27, se muestran los datos resumen promedio de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a diferentes tiempos de formación e inclinación a la edad de 28 días con respecto al cilindro testigo.

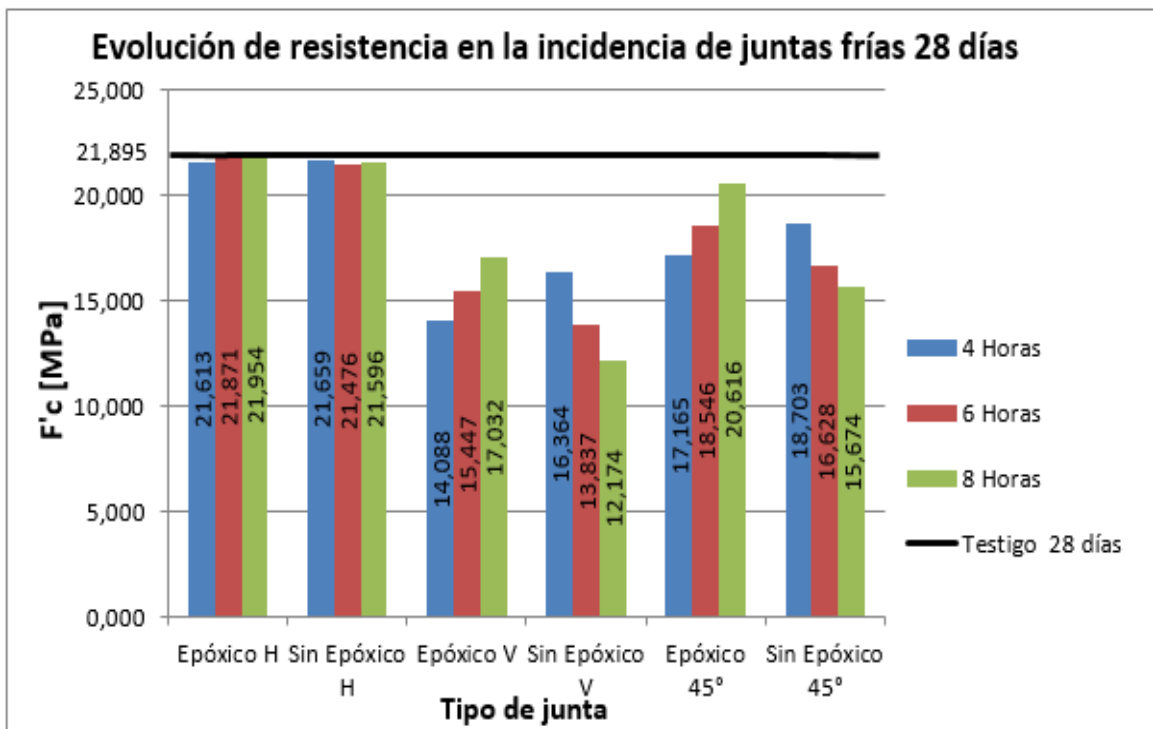
Tabla 27. Resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 28 días.

	F'c [MPa]						Testigo 28 días
	Epóxico H	Sin Epóxico H	Epóxico V	Sin Epóxico V	Epóxico 45°	Sin Epóxico 45°	
4 Horas	21,61	21,66	14,09	16,36	17,17	18,70	21,90
6 Horas	21,87	21,48	15,45	13,84	18,55	16,63	
8 Horas	21,95	21,60	17,03	12,17	20,62	15,67	

Fuente: Propia.

Por otra parte, en la Gráfica 9, a la edad de 28 días, muestra de manera Gráfica el comportamiento de la resistencia a compresión de los cilindros de concreto tanto para la mezcla testigo como para las mezclas con presencia de junta fría a diferentes horas de formación. Se puede observar cómo el puente de adherencia con epóxico aumenta la resistencia a compresión respecto al espécimen testigo, el cual solo se ve reflejado en un 99% en junta fría diagonal 45° y siendo el más crítico en juntas verticales que solo alcanzo un 67%.

Cabe resaltar que en los especímenes con junta fría horizontal siempre tuvieron la resistencia esperada no cambiando significativamente debido a su plano de falla.



Gráfica 9. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría a edad de 28 días.

Fuente: Propia.

A continuación, se muestran los resultados de pérdida de resistencia comparando los especímenes con junta fría lisa tratadas con adhesivo y sin adhesivo epóxico.

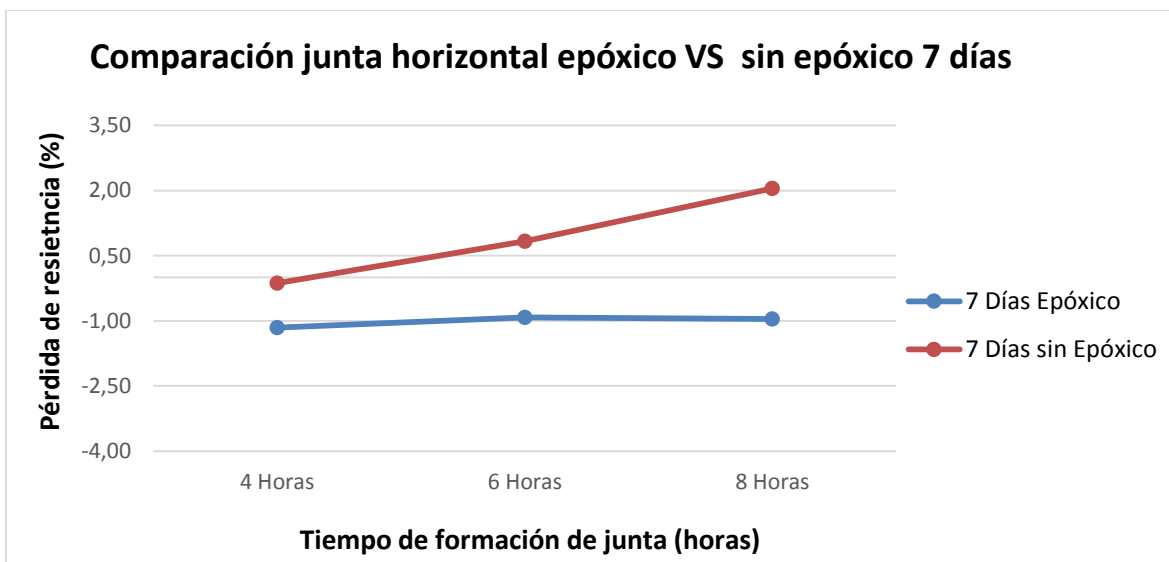
En la Tabla 28, se encuentran los resultados para las Gráficas 10, 11, 12, de pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico y sin epóxico para las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 28. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta horizontal con epóxico y sin epóxico.

Formación de Junta	Horizontal con Epóxico			Horizontal sin Epóxico		
	Pérdida de resistencia (%)			Pérdida de resistencia (%)		
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
7 días	-1,16	-0,92	-0,96	-0,13	0,83	2,05
14 días	0,49	-0,34	0,14	2,49	1,23	0,20
28 días	1,30	-0,29	0,11	1,09	1,52	1,74

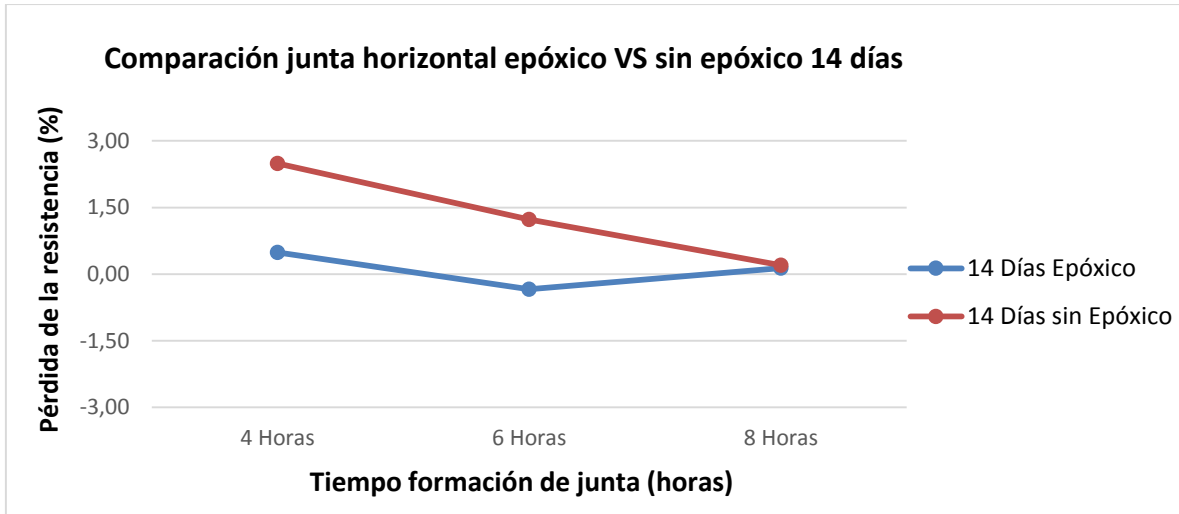
Fuente: Propia.

En la Gráfica 10, al comprar los especímenes con epóxico y sin epóxico de junta horizontal a 7 días, los especímenes sin epóxico tienen una tendencia creciente en relación al tiempo de formación, con mayor pérdida de resistencia de 2.05% a las 8 horas, en cambio la junta horizontal con epóxico a 7 días tiene la misma relación pero no es tan notorio como la de sin epóxico.



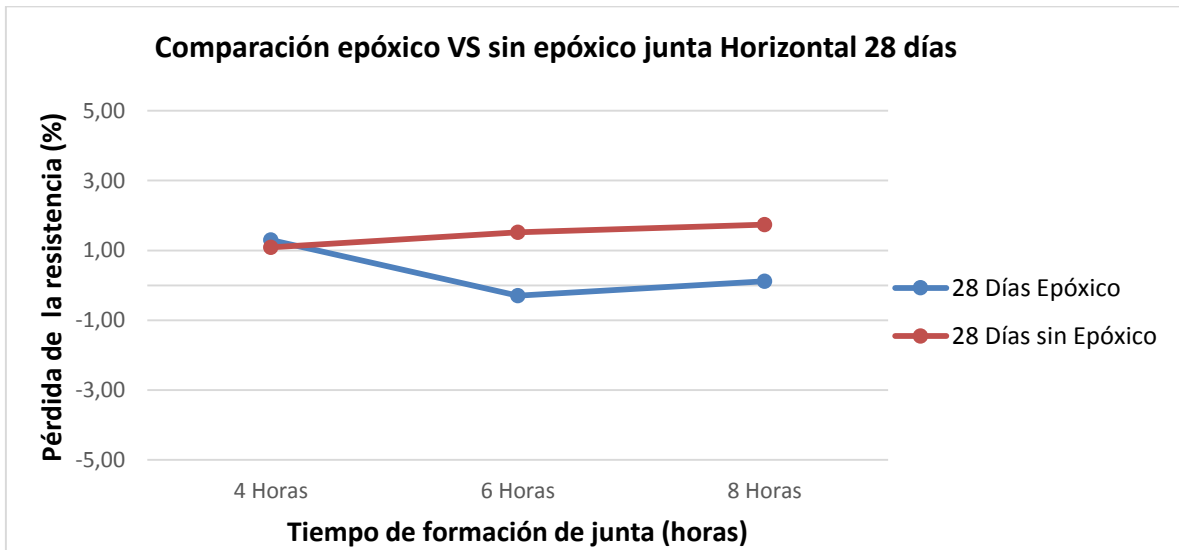
Gráfica 10. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 7 días. Fuente: Propia.

En la Gráfica 11, se observa que la tendencia cambia a la edad de 14 días, la junta horizontal sin epóxico tiene una tendencia decreciente con mayor pérdida de resistencia de 2,49% a los 14 días. Respecto a los especímenes con epóxico decrece y vuelve a ascender en el tiempo de formación de 6 horas.



Gráfica 11. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 14 días.
Fuente: Propia.

Como se observa en la Gráfica 12, la comparación entre la junta horizontal con epóxico y sin epóxico a edad de 28 días, el espécimen con junta fría sin epóxico aumenta a medida del tiempo de formación, sin embargo, el espécimen con junta fría con epóxico disminuye 0,11% a las 8 horas.



Gráfica 12. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 14 días.
Fuente: Propia.

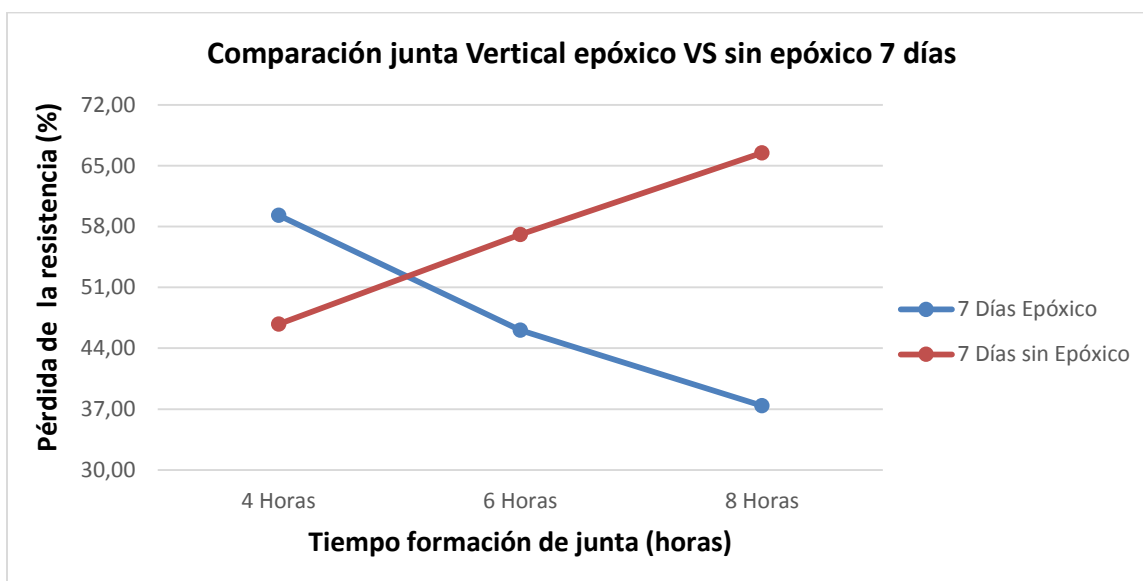
En la Tabla 29, se encuentran los resultados para las Gráficas 13, 14, 15, de pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical con epóxico y sin epóxico para las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 29. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta vertical con epóxico y sin epóxico.

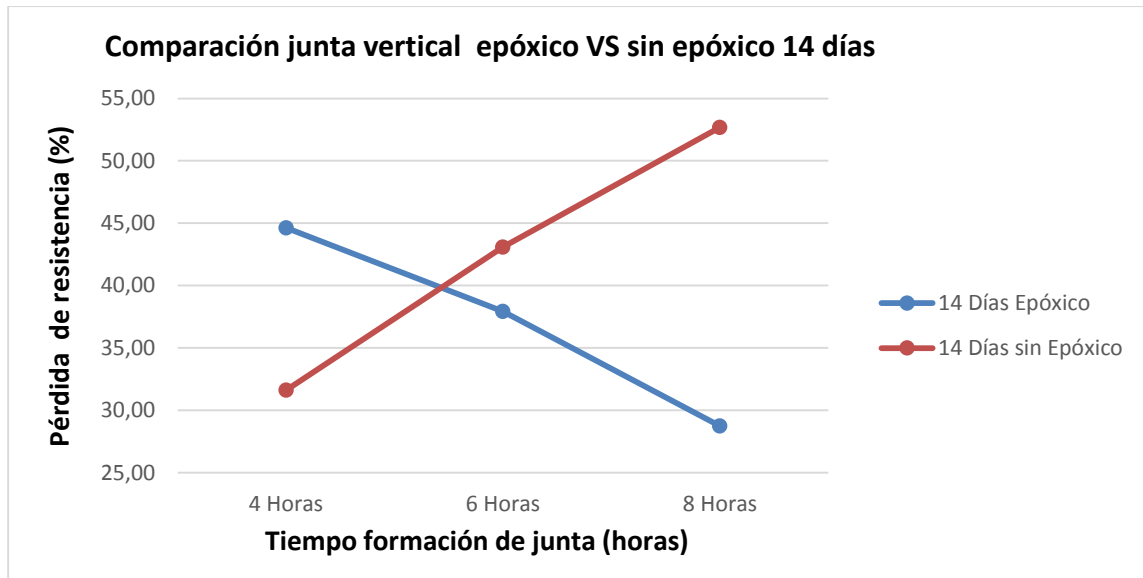
Formación de Junta	Vertical con Epóxico			Vertical sin Epóxico		
	Pérdida de resistencia (%)			Pérdida de resistencia (%)		
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
7 días	59,30	46,09	37,38	46,79	57,06	66,46
14 días	44,62	37,93	28,76	31,63	43,10	52,69
28 días	35,67	29,16	22,51	25,27	36,55	44,61

Fuente: Propia.

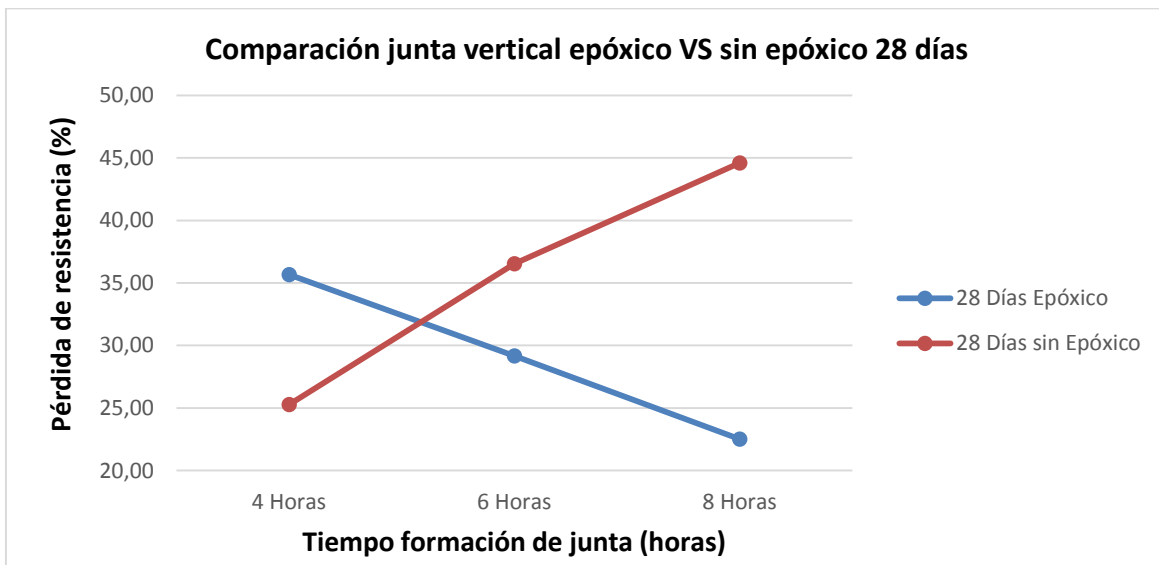
En las Gráficas 13, 14 y 15, al comprar los especímenes con epóxico y sin epóxico de junta vertical a 7 días, se aprecia que el espécimen sin epóxico aumenta de la misma manera que disminuye los especímenes con epóxico, esta misma relación de tendencia se mantiene igual a los 14 y 28 días.



Gráfica 13. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta horizontal a edad de 28 días.
Fuente: Propia.



Gráfica 14. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta vertical edad de 14 días.
Fuente: Propia.



Gráfica 15. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta vertical edad de 28 días.
Fuente: Propia.

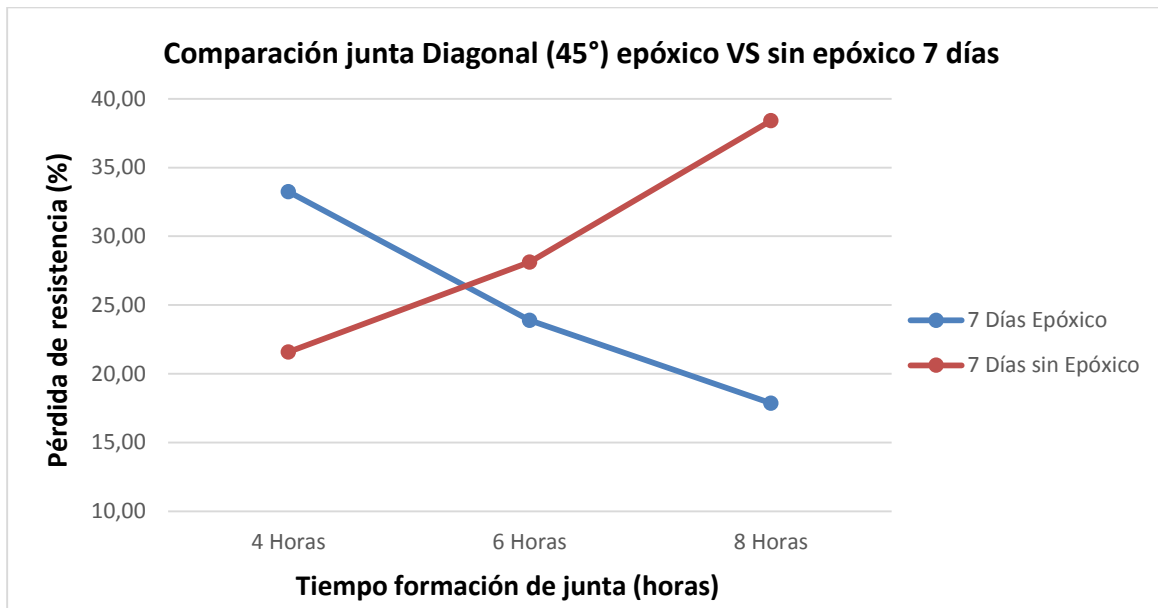
En la Tabla 30, se encuentran los resultados para las Gráficas 16, 17, 18, de pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal con epóxico y sin epóxico para las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla30. Resultados pérdida de resistencia en especímenes de formación de junta diagonal (45°) con epóxico y sin epóxico.

Formación de Junta	Diagonal con Epóxico			Diagonal sin Epóxico		
	Pérdida de resistencia (%)			Pérdida de resistencia (%)		
Edad	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
7 días	33,24	23,90	17,87	21,59	28,13	38,41
14 días	30,44	21,56	11,27	20,51	26,52	35,11
28 días	21,61	14,95	6,20	14,59	23,75	28,69

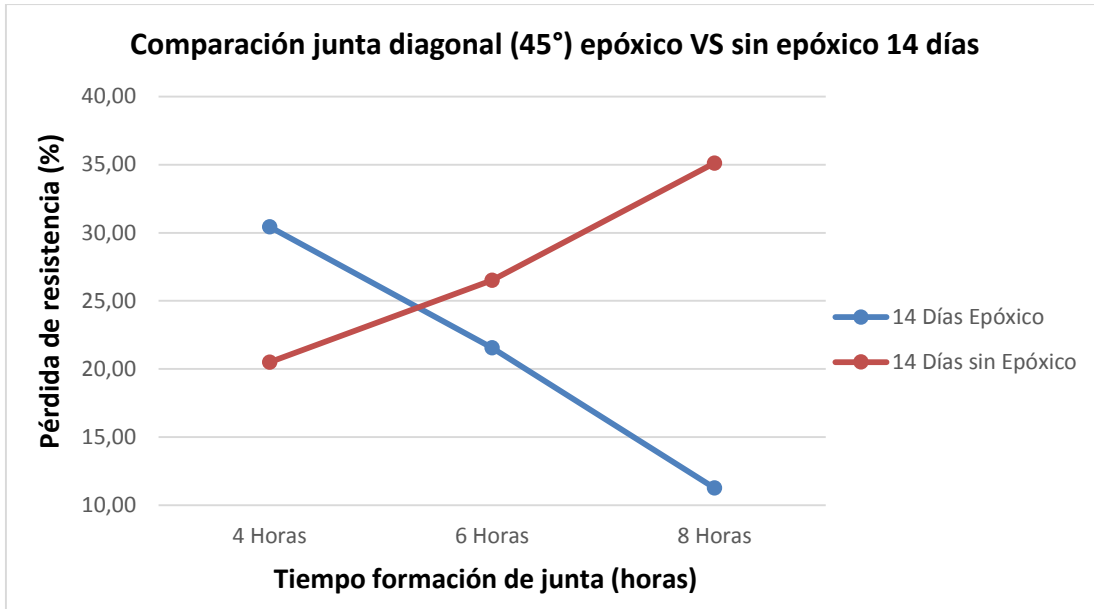
Fuente: Propia.

Por otra parte, como se puede observar, al analizar las Gráficas 16,17 y 18, comparadas de especímenes con junta fría diagonal (45°) con epóxico y sin epóxico a la edad de 7, 14 y 28, se obtiene una diferencia de pérdida de resistencia aunque tienen la misma relación de tendencia, aumentando la resistencia en especímenes sin epóxico a diferencia de con epóxico que disminuye, adquirido en tiempos entre las 4 y 6 horas de formación.

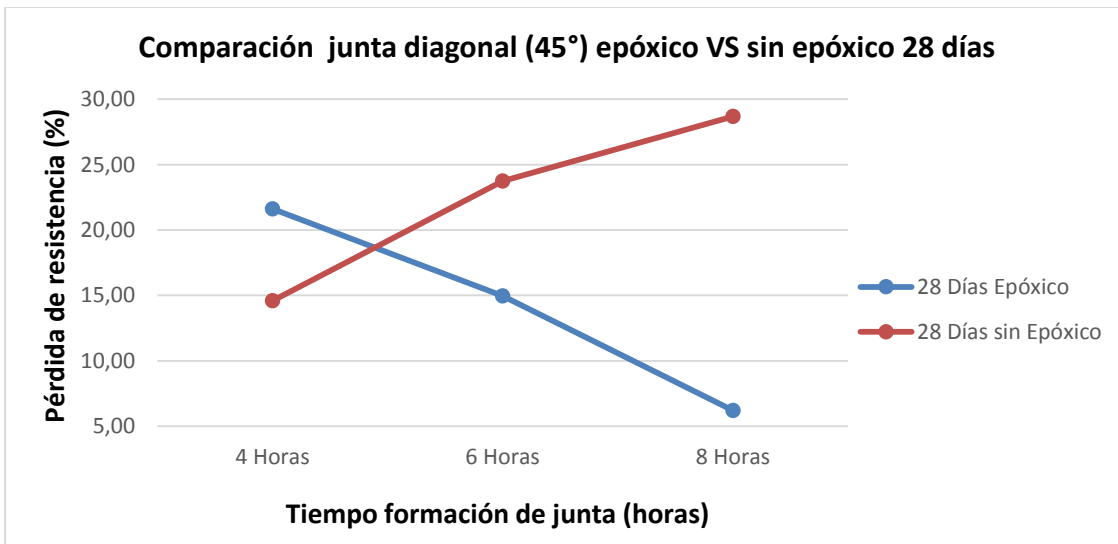


Gráfica 16. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 7 días.

Fuente: Propia.



Gráfica 17. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 14 días.
Fuente: Propia.



Gráfica 18. Comparación epóxico vs sin epóxico formación de junta diagonal (45°) a edad de 28 días.
Fuente: Propia.

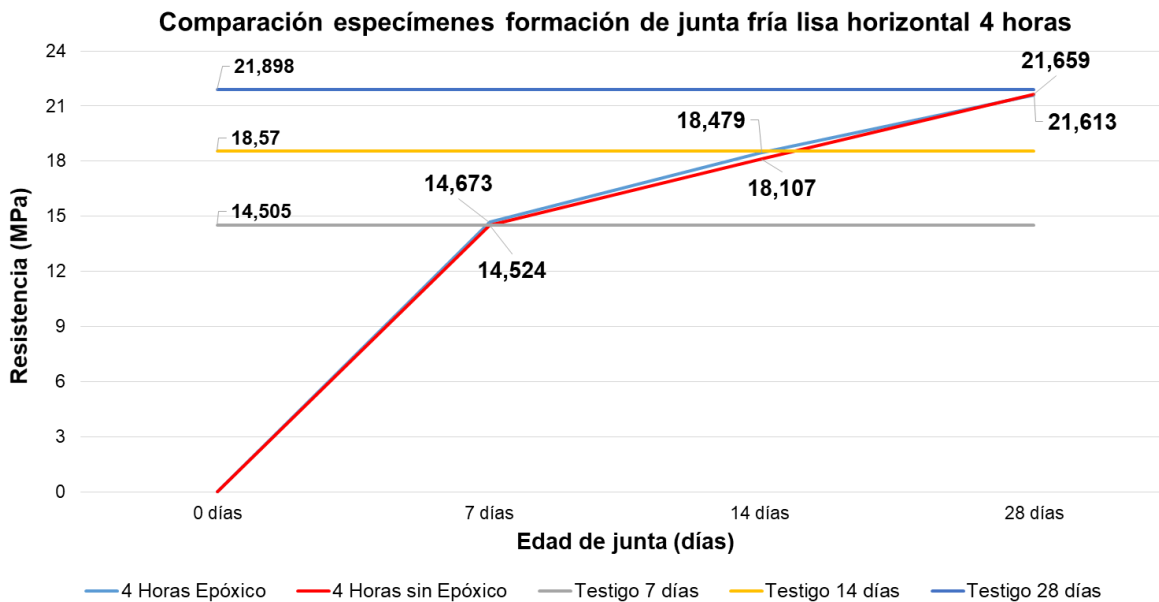
En la Tabla31, se presentan los resultados comparativos de la evolución de la resistencia promedio a la compresión de especímenes con junta fría horizontal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo para las Gráficas 19, 20, 21, a la edad de 7, 14, 28 días con formación de junta de 4, 6 y 8 horas.

Tabla 31. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría horizontal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.

Edad	Cilindros con junta epóxico			Cilindros con junta sin epóxico			Cilindros testigo		
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]		
7 días	14,67	14,56	14,72	14,52	14,31	14,28	14,51	14,43	14,58
14 días	18,48	18,73	19,12	18,11	18,44	19,10	18,57	18,67	19,14
28 días	21,61	21,87	21,95	21,66	21,48	21,60	21,90	21,81	21,98

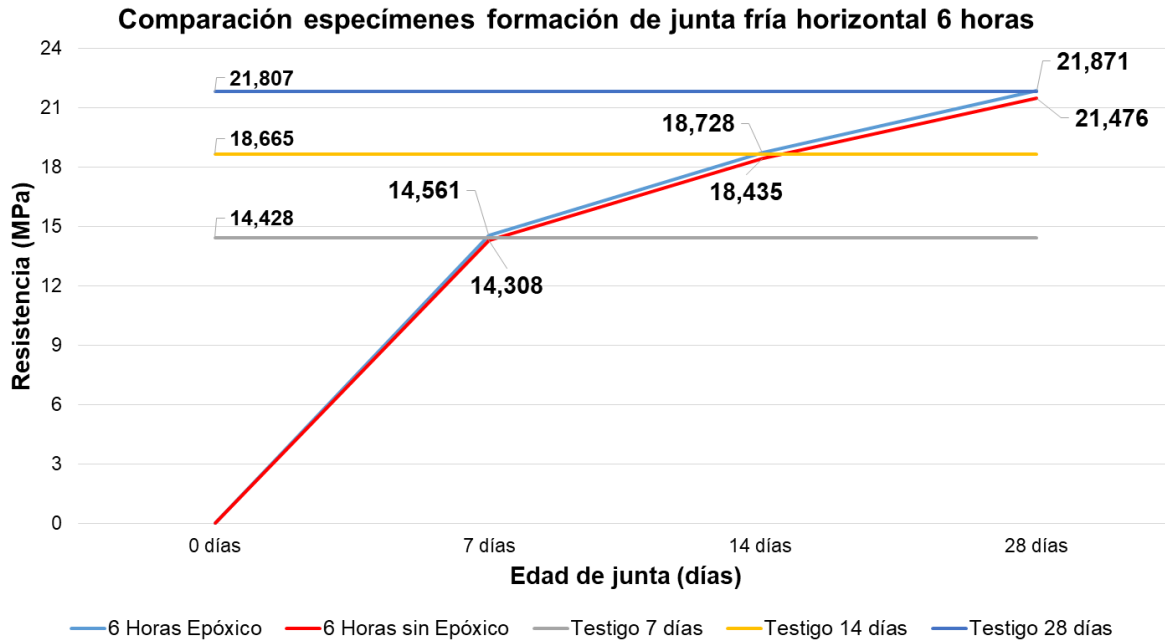
Fuente: Propia.

En las Gráficas 19, 20 y 21, se muestra el comportamiento de los cilindros de junta horizontal con adherente epóxico y sin adherente epóxico a una edad de 28 días, estos siendo comparados con los especímenes testigos.

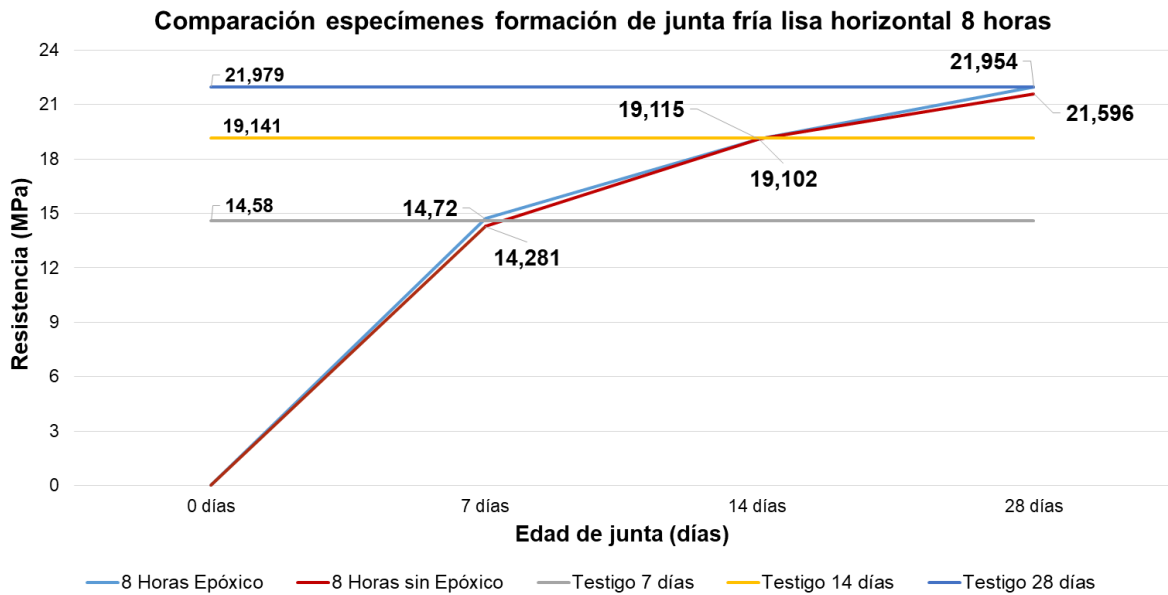


Gráfica 19. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 4 horas.

Fuente: Propia.



Gráfica 20. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 6 horas.
Fuente: Propia.



Gráfica 21. Comparación especímenes formación de junta fría lisa horizontal de 8 horas.
Fuente: Propia.

Como se puede observar en las Gráficas anteriores los cilindros con tipo de junta fría lisa horizontal no pierden resistencia significativa evolucionando igual que los testigos manteniendo la resistencia de diseño.

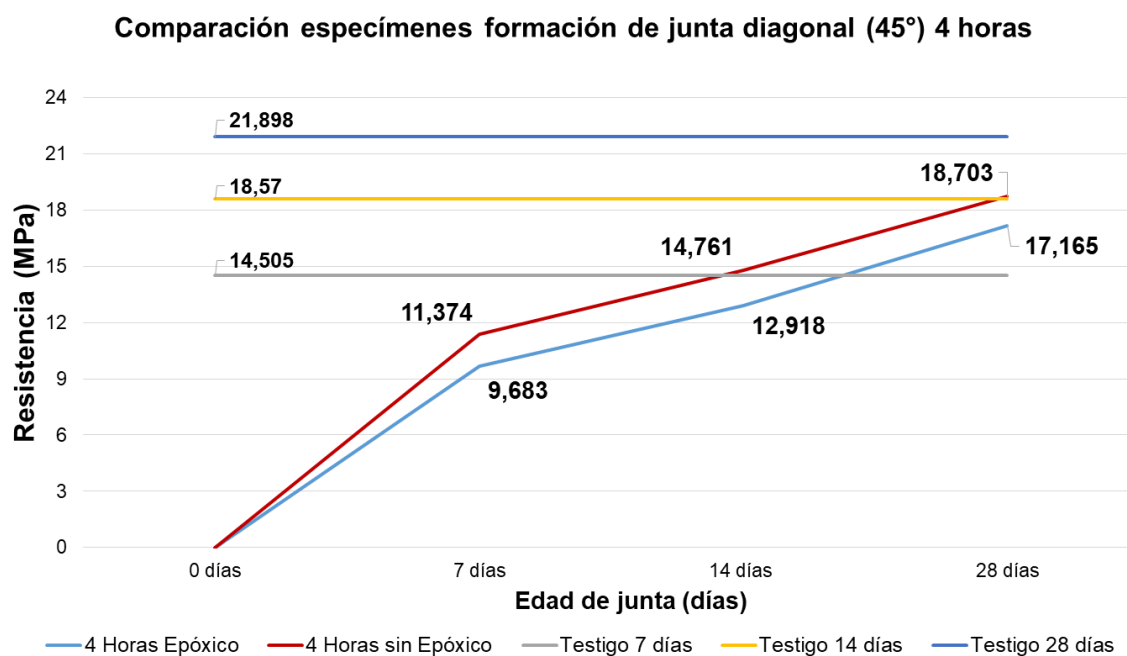
De la misma manera a continuación se mostrara los resultados obtenidos para las juntas frías lisas de 45° a diferentes edades de junta a los 28 días de formación.

En la Tabla 32, se presentan los resultados comparativos de la evolución de la resistencia promedio a la compresión de especímenes con junta fría diagonal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo para las Gráficas 22, 23, 24 a la edad de 7, 14, 28 días con formación de junta de 4, 6 y 8 horas.

Tabla 32. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.

Edad	Cilindros con junta epóxico			Cilindros con junta sin epóxico			Cilindros testigo		
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]		
7 días	9,68	10,98	11,98	11,37	10,37	8,98	14,51	14,43	14,58
14 días	12,92	14,64	16,98	14,76	13,72	12,42	18,57	18,67	19,14
28 días	17,17	18,55	20,61	18,70	16,63	15,67	21,90	21,81	21,98

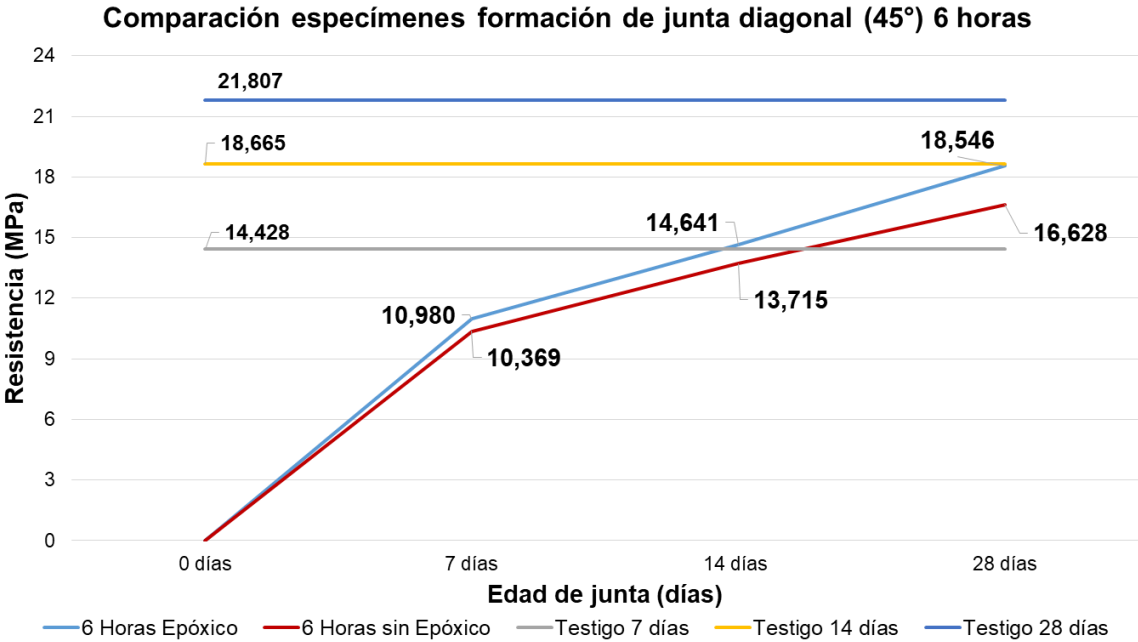
Fuente: Propia.



Gráfica 22. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal (45°) de 4 horas.

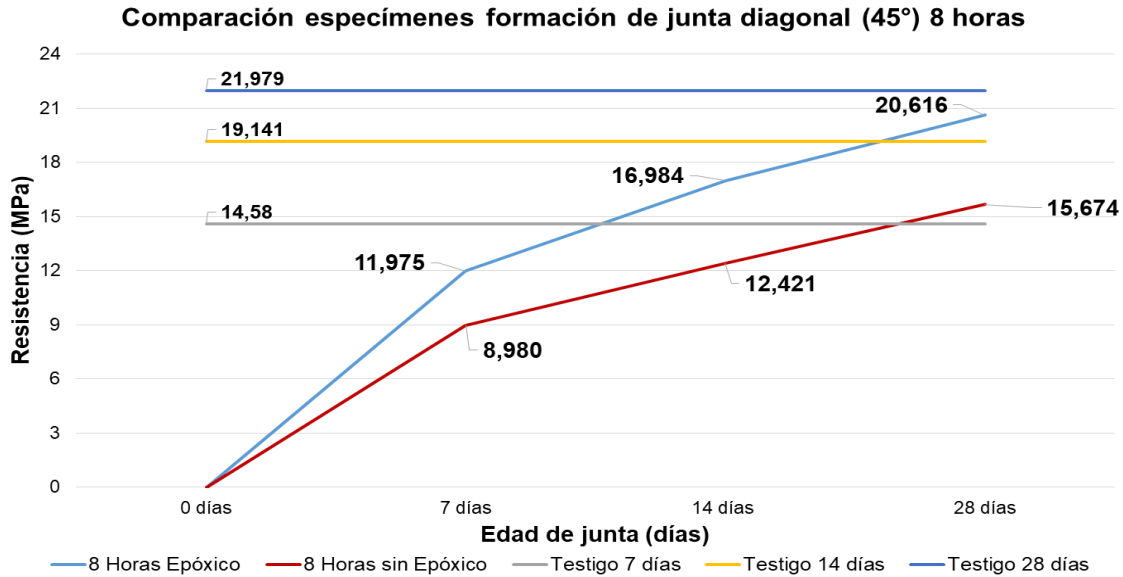
Fuente: Propia.

En la Gráfica anterior se puede ver como el adhesivo epóxico no es tan eficiente para juntas a temprana edad de formación, soportando un 7% menos de resistencia que los cilindros con junta pero sin adhesivo epóxico; además de eso la resistencia máxima en juntas de 45° con edad de junta 4 horas es del 85% siendo una resistencia relativamente cercana a la esperada.



Gráfica 23. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría diagonal (45°) de 6 horas.
Fuente: Propia.

En juntas con edad de formación de 6 horas se puede observar que los cilindros con junta tratada con adherente obtuvieron un 10% más resistencia que las no tratadas, teniendo un comportamiento creciente entre a mayor edad de endurecimiento.



Gráfica 24. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría 45° de 8 horas.
Fuente: Propia.

La edad de junta con epóxico que presenta un mejor comportamiento es las de 8 horas ya que la resistencia alcanzada es de un 94% con respecto a los cilindros testigo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las juntas frías lisas de verticales a diferentes edades de junta a los 28 días de formación.

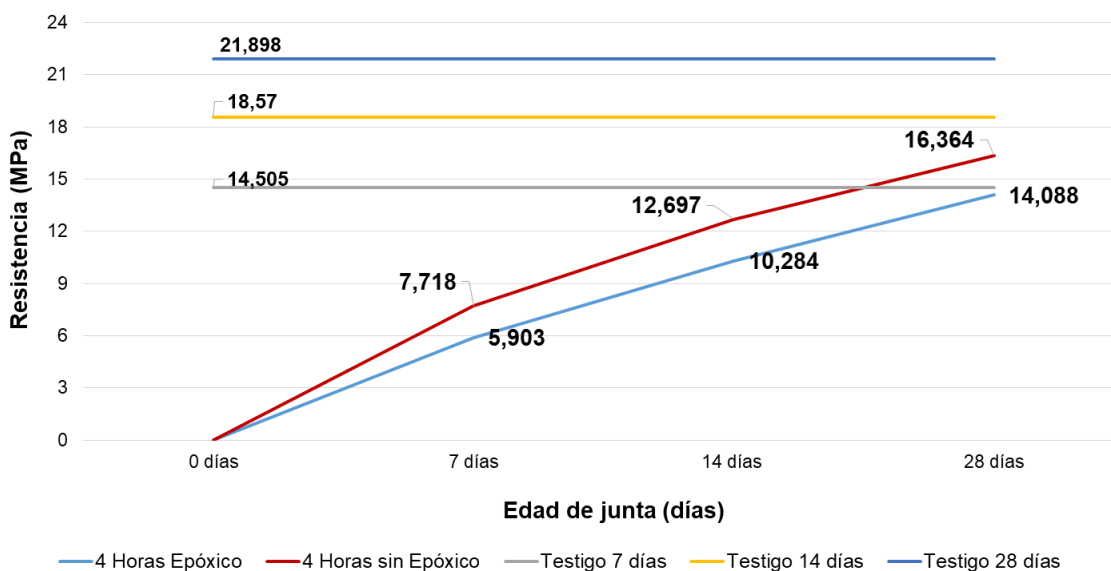
En la Tabla 33, se presentan los resultados comparativos de la evolución de la resistencia promedio a la compresión de especímenes con junta fría horizontal con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo para las Gráficas 25, 26, 27 a la edad de 7, 14, 28 días con formación de junta de 4, 6 y 8 horas.

Tabla 33. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical con epóxico y sin epóxico respecto al cilindro testigo.

Edad	Cilindros con junta epóxico			Cilindros con junta sin epóxico			Cilindros testigo		
	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas	4 Horas	6 Horas	8 Horas
	Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]			Resistencia promedio [MPa]		
7 días	5,90	7,78	9,13	7,72	6,20	4,89	14,51	14,43	14,58
14 días	10,28	11,59	13,64	12,70	10,62	9,06	18,57	18,67	19,14
28 días	14,09	15,45	17,03	16,36	13,84	12,17	21,90	21,81	21,98

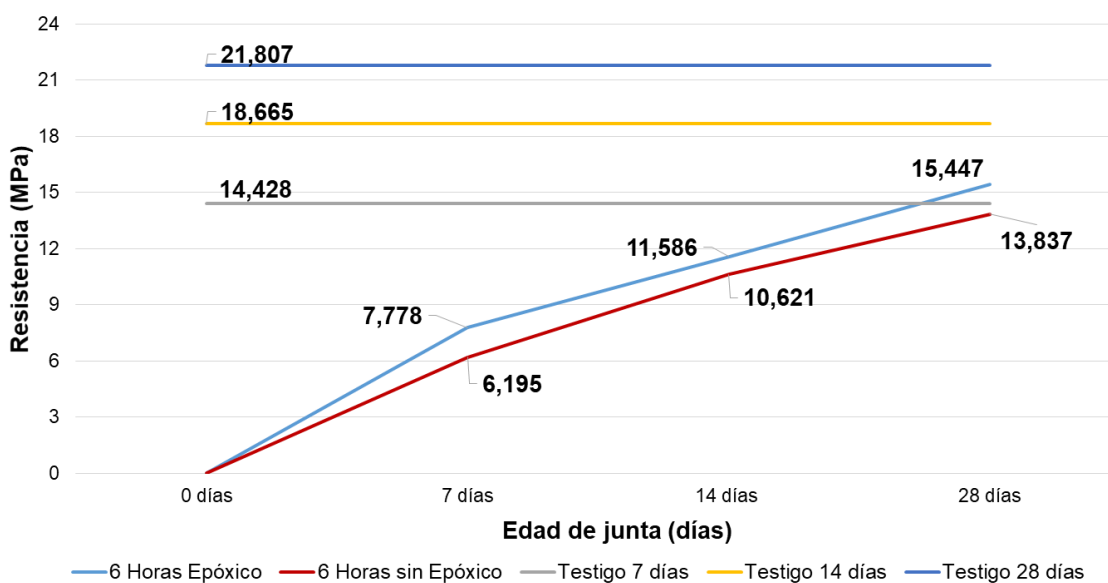
Fuente: Propia.

Comparación especímenes formación de junta fría vertical 4 horas

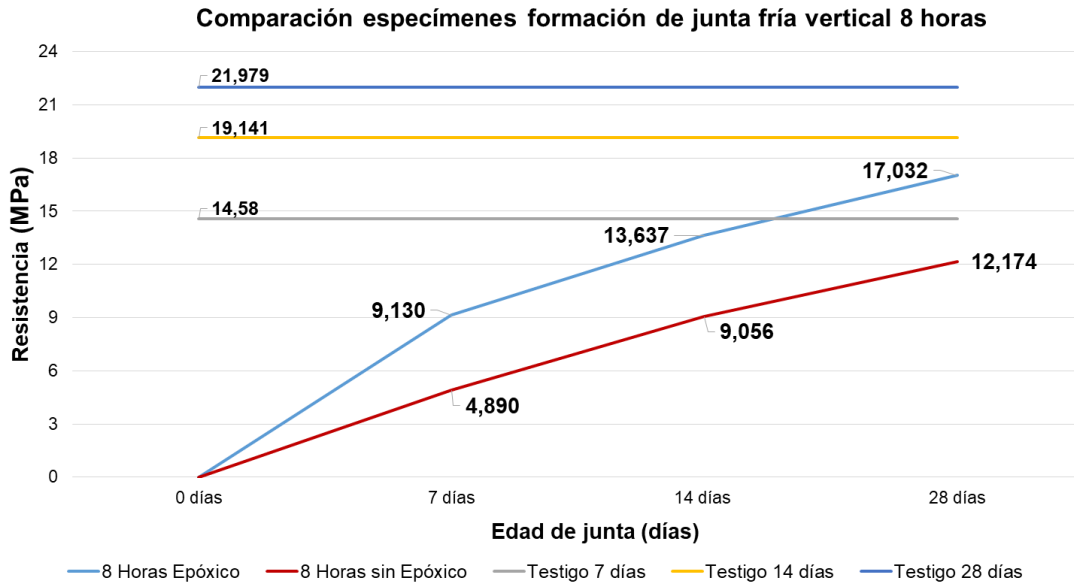


Gráfica 25. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 4 horas.
Fuente: Propia.

Comparación especímenes formación de junta fría vertical 6 horas



Gráfica 26. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 6 horas.
Fuente: Propia.



Gráfica 27. Comparación evolución de la resistencia a la compresión de especímenes con junta fría vertical de 8 horas.
Fuente: Propia.

En la Gráfica 27, se muestra como a edades tempranas el adherente no funciona de la mejor manera perdiendo resistencia, además de eso en las Gráficas 16 y 17 podemos observar como este con el paso de las horas funciona de mejor manera aumentando resistencia; aunque el adherente aumenta la resistencia un 22%, esta no es la óptima.

11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la elaboración del análisis estadístico se realiza un estudio de la muestra en el cual se evalúan diferentes parámetros y posibilidades de combinaciones de los datos experimentales; en el cual se lleva a la selección del método que se ajuste correctamente a los datos a estudiar. Las muestras evaluadas se contemplan dentro de un diseño experimental factorial y por el método estadístico no paramétrico. Los resultados obtenidos en la ejecución de cada prueba fue desarrollada a partir del programa Minitab.

La prueba de diseño experimental factorial de tipo 3^4 , se lleva a cabo mediante las características del comportamiento de los factores evaluados (orientación de junta, tiempo de formación, edad de falla, adherencia), con el fin de determinar la incidencia o influencia de los factores evaluados sobre la resistencia a la compresión. Diseño de experimentos (DOE) metodología para aplicar sistemáticamente la estadística a la experimentación. Consiste, en realizar una serie de pruebas en las que se inducen cambios deliberados en las variables de entrada a un proceso de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida elegida. [49]

En el análisis estadístico no paramétrico se compara la resistencia media entre los especímenes, la cual se utiliza para analizar datos con variables nominales y ordinales; estos datos no asumen un tipo particular de distribución, en caso de que los datos sigan una distribución normal se transforma en un análisis paramétrico; por lo tanto, se debe verificar si los datos cumplen con la normalidad. [50]

La finalidad del estudio en pruebas paramétricas y no paramétricas, es la comparación de la resistencia promedio entre las diferentes muestras de especímenes con junta fría lisa con epóxico / sin epóxico y la comparación de la resistencia promedio de epóxico respecto al cilindro testigo.

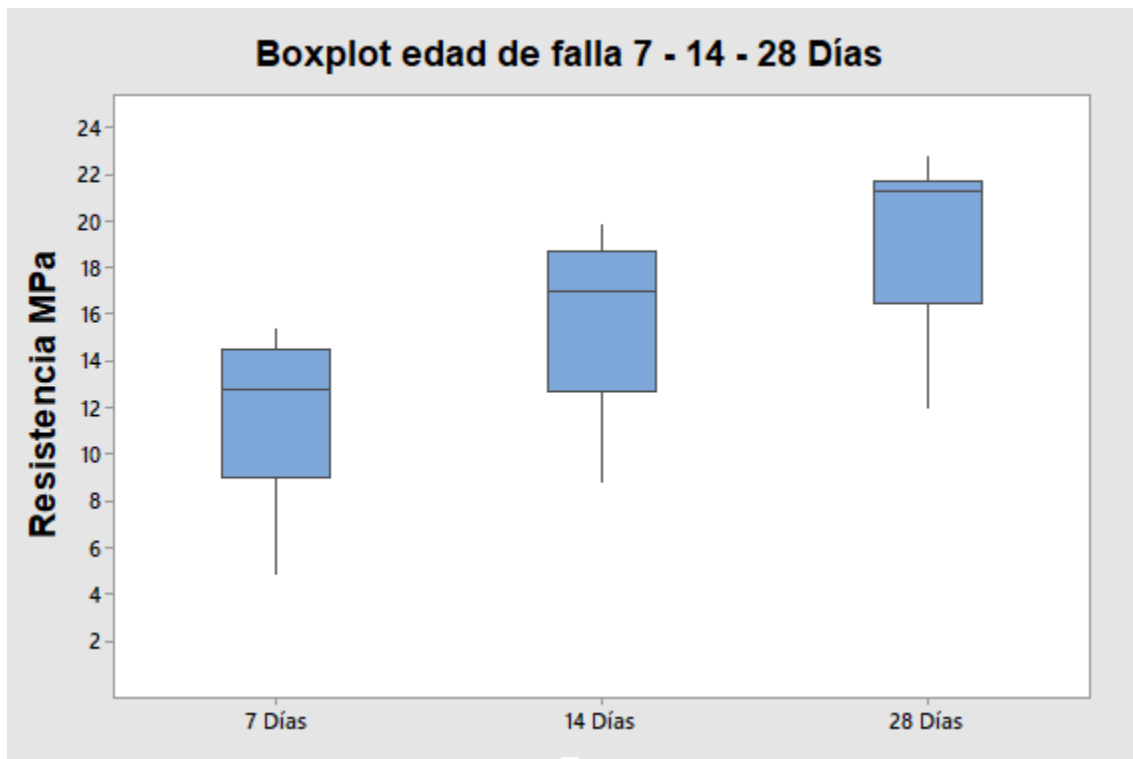
11.1 Análisis estadístico no paramétrico

El análisis estadístico no paramétrico, se denominan como una prueba de hipótesis para analizar un conjunto de datos provenientes de muestras de tamaño relativamente pequeño, inferiores a 30 unidades; cuya hipótesis no corresponde a una afirmación sobre un parámetro. A diferencia de la estadística paramétrica que es un método requiere que se especifique la forma de distribución de la población estudiada. Puede darse una distribución normal, como generalmente ocurre cuando se trata de muestras de gran tamaño. En general, estas pruebas deben pueden aplicarse a variables numéricas.

Las pruebas paramétricas están basadas en las distribuciones normales de las muestras y deben cumplir con algunas condiciones como son: normalidad, homocedasticidad (grupos con variables uniformes es decir homogéneos) y errores entre otros.

Los métodos no paramétricos son apropiados en el momento que no se cumple la hipótesis de normalidad y el tamaño de la muestra es relativamente pequeño. Las no paramétricas trabajan sobre la posición en la que se encuentra la variable (rango) y las paramétricas trabajan sobre el valor de cada variable.

En la Gráfica 28, corresponde al total de resultados a la resistencia a compresión de especímenes, se observa la distribución es superior a la edad de 28 días producto de mayor resistencia.



Gráfica 28. Boxplot resultados de resistencia a compresión de especímenes.
Fuente. Propia.

Procedimiento pruebas no paramétricas

Para el desarrollo del método estadístico se utilizó MINITAB, programa con capacidad de ejecutar análisis estadísticos que combina funciones de la estadística básica y avanzada con Microsoft Excel. El informe generado por MINITAB de la distribución normal se contempla en las Gráficas 28,29, 30.

El procedimiento estadístico para analizar y contrastar las hipótesis sobre medias de las variables se realiza con la prueba t (Ecuación 2); posterior una diferencia de medias en virtud de que el tamaño de muestras es pequeño se verifica que distribución tienen los datos.

Ecuación 2. Prueba t.

$$x = \frac{\bar{x}}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

La prueba t es la relación entre la desviación estándar y la media.

Las pruebas no paramétricas reúnen las siguientes características:

- **Distribución de la muestra**

Two-sample T for Epóxico vs Sin Epóxico

N	Mean	StDev	SE Mean	
Epóxico	27	14,97	4,40	0,85
Sin Epóxico	27	14,06	4,58	0,88

1. Prueba de normalidad

La función de distribución para H₀, está especificada por:

H₀ = Los datos siguen una distribución normal

H₁ = Los datos no siguen una distribución normal

2. Fijar nivel significativo

α = 0,05

3. Prueba estadística

Se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, es una prueba no paramétrica de dos distribuciones de probabilidad calculada a partir de la diferencia, para comprobar si la muestra se distribuye normalmente.

En el cual se busca el rechazo

Si: P- value < α se rechaza H₀

Por lo tanto: (0,136 > 0,05) Acepto H₀: los datos son distribuidos normalmente.

- **Diferencia**

Difference = μ (Epóxico) - μ (Sin Epóxico)
 Estimate for difference: 0,91
 95% CI for difference: (-1,55. 3,36)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,74 P-Value = 0,462 DF = 51

1. Prueba de normalidad

$H_0 = \mu$ Epóxico = μ Sin Epoxico

$H_1 = \mu$ Epóxico \neq μ Sin Epóxico

2. Fijar nivel significativo

$\alpha = 0,05$

3. Prueba estadística

Población ∞ Normal

$n < 30$

Ecuación 3. Prueba T de Student.

$$t_c = \frac{\Delta \bar{x} - \Delta \mu}{S \Delta \bar{x}} = 0,74$$

4. Campana de Gauss

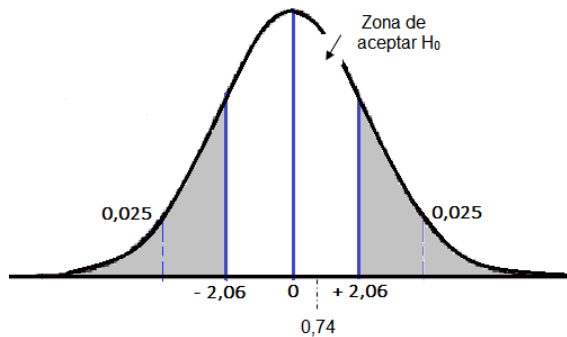


Figura 28. Campana de Gauss diferencia epóxico vs sin epóxico.
 Fuente. Propia.

En el cual se busca el rechazo

Si: P- value $< \alpha$ se rechaza H_0

(0,462 $<$ 0,05) No rechazo H_0

No hay diferencia en la resistencia promedio dividido con epóxico y sin epóxico.

- **One-Sample T: diferencia**

Test of $\mu = 0$ vs $\neq 0$

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
diferencia	27	-0,53	8,60	1,66	(-3,93. 2,87)	-0,32	0,750

1. Prueba de normalidad

$$H_0 = \mu_{\text{Epóxico}} - \mu_{\text{Testigo}} = 0$$

$$H_1 = \mu_{\text{Epóxico}} - \mu_{\text{Testigo}} \neq 0$$

2. Fijar nivel significativo

$$\alpha = 0,05$$

3. Prueba estadística

Ecuación 4. Prueba diferencia.

$$t_c = \frac{\bar{d} - 0}{S\bar{d}} = -0,32$$

4. Campana de Gauss

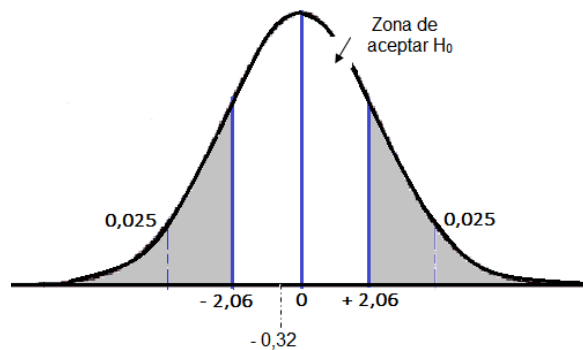
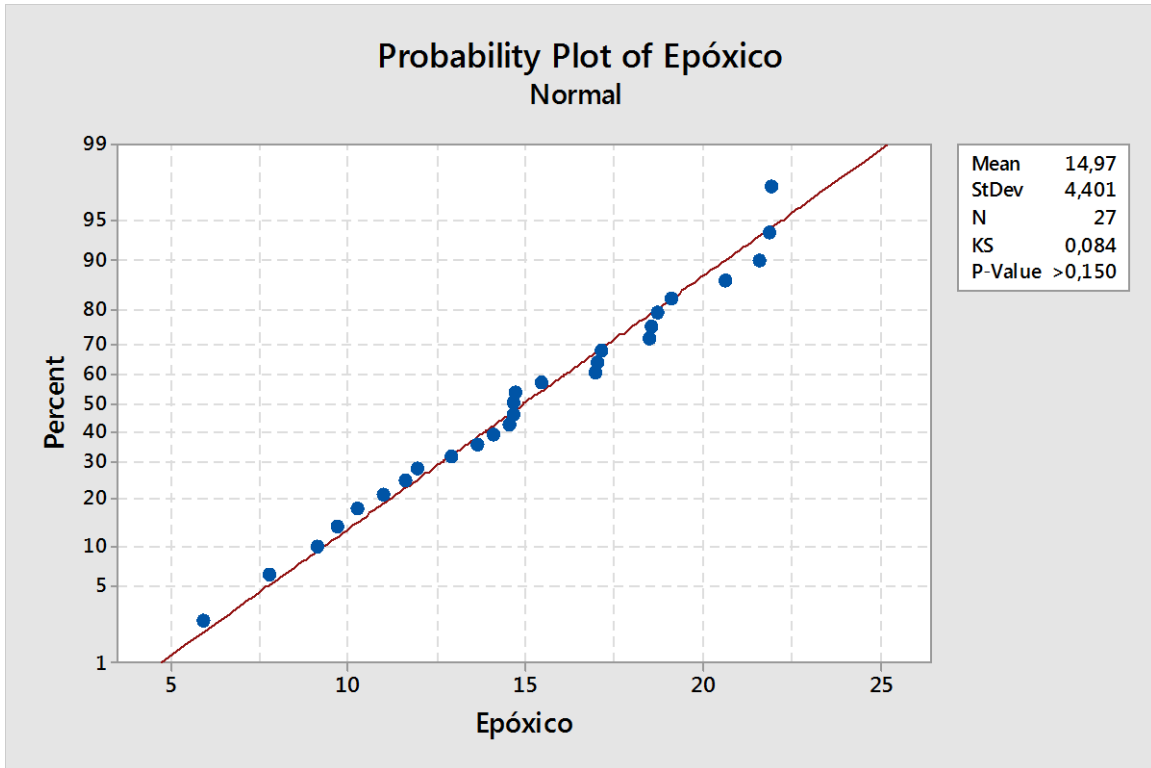
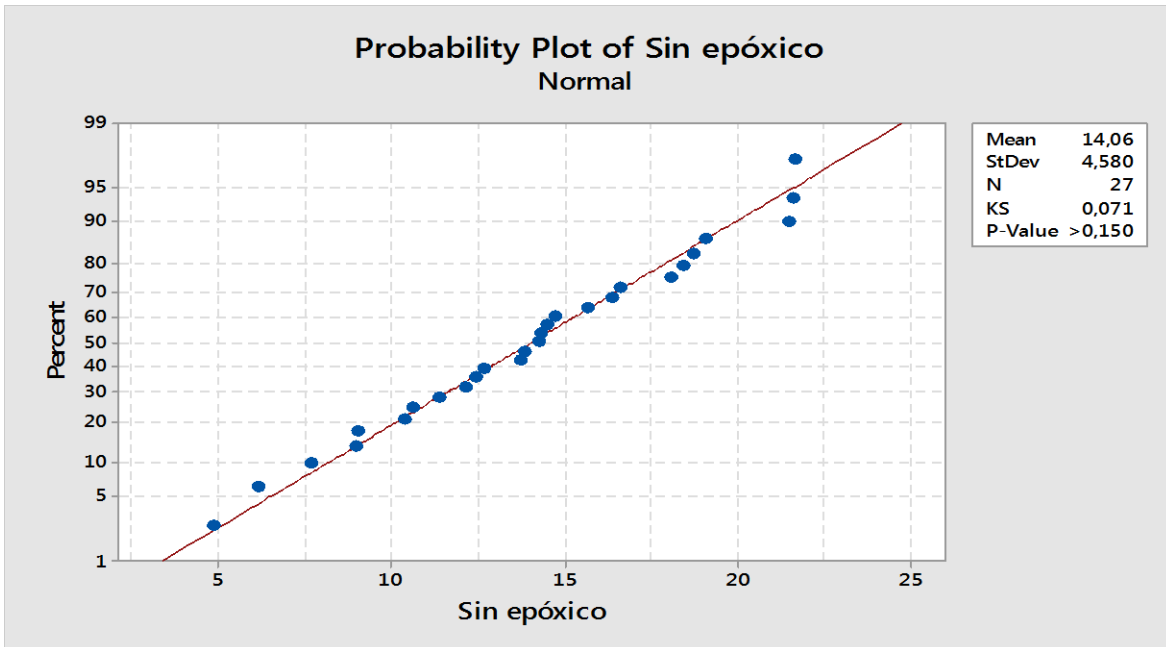


Figura 29. Campana de Gauss epóxico vs testigo.
Fuente. Propia.

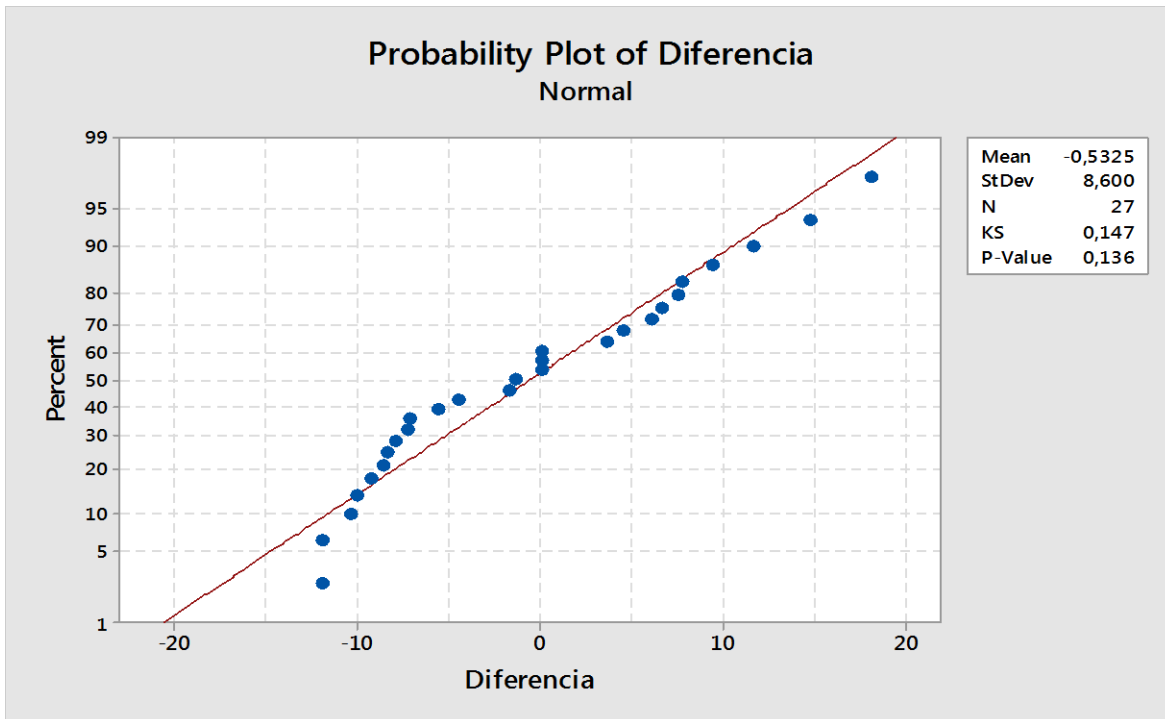
No rechazo H_0



Gráfica 29. Distribución cumplimiento de Normalidad resistencia especímenes con epóxico.
Fuente. Propia.



Gráfica 30. Distribución resistencia cumplimiento de Normalidad especímenes sin epóxico.
Fuente. Propia.



Gráfica 31. Diferencia de distribución cumplimiento de Normalidad resistencia especímenes con epóxico y sin epóxico.
Fuente. Propia.

Las muestras empleadas no paramétricas, por su distribución de la variable no cumple; la variable está medida en una escala continua por ende son muestras paramétricas cuya escala no es ordinal ocupando rangos, dando así un cumplimiento en la distribución normal evidenciadas en las Gráficas 29, 31 y 30.

11. 2 Diseño experimental factorial

Para investigar que efecto tiene el uso del adherente epóxico EPOTOC 1-1 sobre las diferentes inclinaciones en el plano de la superficie, se realiza un diseño experimental factorial 3⁴. Como se establece en la Figura 30, comprende cuatro factores de incidencia y consta de tres niveles respectivos, distribuidos teniendo en cuenta los resultados obtenidos, los cuales están regidos por una serie de condiciones, codificaciones del programa Minitab.

FACTOR	NIVEL	CODIFICACIÓN
• Orientación de junta	0° (Junta Vertical)	→ 1
	45° (Junta Diagonal)	→ 2
	90° (Junta Vertical)	→ 3
• Tiempo de Formación (Junta)	4 Horas	→ 1
	6 Horas	→ 2
	8 Horas	→ 3
• Edad de falla	7 días	→ 1
	14 días	→ 2
	28 días	→ 3
• Adherencia	Sin Epóxico	→ 1
	Con Epóxico	→ 2
	Cilindro Monolítico (Testigo)	→ 3

Figura 30. Codificación de niveles y factores para el diseño experimental.

Corridas experimentales

Las corridas experimentales se realizaron de manera determinada originada por el programa Minitab, el cual es una herramienta que permite evaluar gráficamente la distribución de los datos en ejecución de análisis estadísticos. Se realizaron dos replicas respecto al tamaño muestral, en cada caso, para un total de 162. En la matriz experimental se presentan todas las posibles combinaciones generadas a partir de los factores y niveles escogidos siendo codificados.

Resultados

Los resultados obtenidos en la ejecución del análisis de diseño experimental (DOE), se presentan por orden de corrida, respecto a la orientación, tiempo de formación, edad de falla y la adherencia.

Por lo tanto, las pruebas permiten verificar los efectos que tienen los factores sobre la resistencia, en el efecto de la orientación de junta existe mayor resistencia para la junta 0° incidiendo de manera positiva, entre menor sea la inclinación mayor será la resistencia, en el caso del tiempo de formación de junta es un factor que no tiene mucha incidencia sin embargo se nota un incremento, en la edad de falla; a mayor edad mayor resistencia, por último en la adherencia existe menor resistencia para las juntas que no son tratadas con adherente epóxico, prefiriéndose en todos los casos especímenes monolíticos.

Coefficients

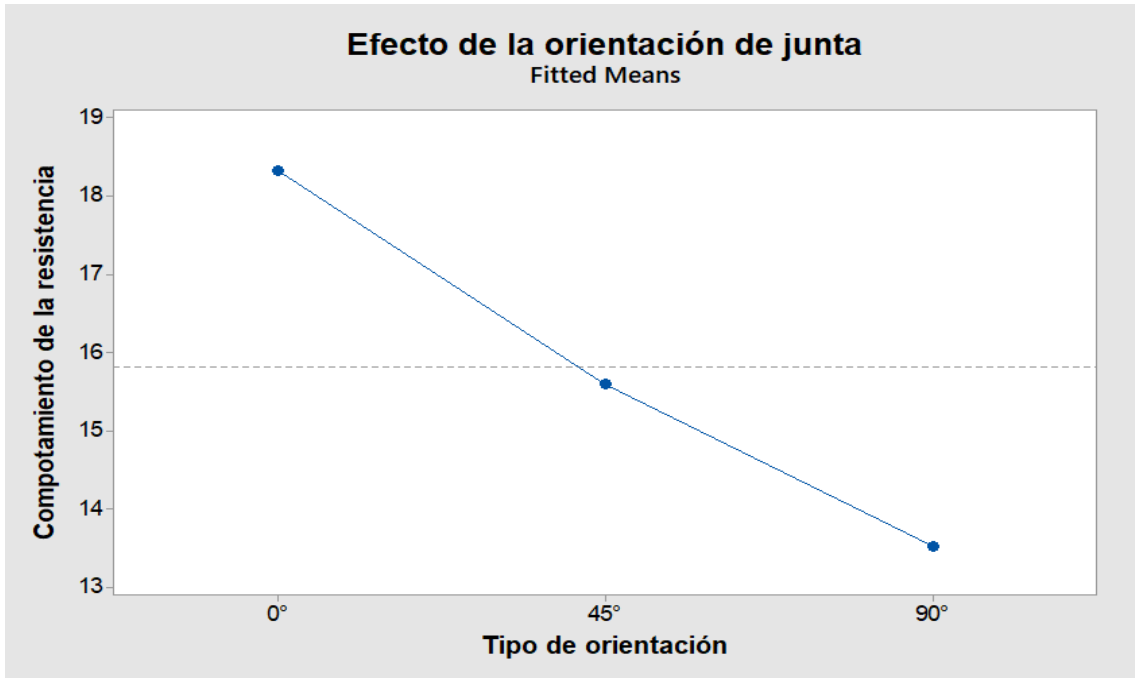
Term	Coef
Constant	15,81
Orientación	
0°	2,511
90°	- 2,297
Formación	
4 horas	0,02310
8 horas	0,03439
Edad de Falla	
7 días	-3,853
28 días	+ 3,495
Adherencia	
S. epóxico	-1,753
Monolítico	+ 2,617

Las interacciones

Valores de interacción
 0,2426 Formacion*T. Falla_3 2
 - 2,511 Inclinacion*Adherencia_1 3

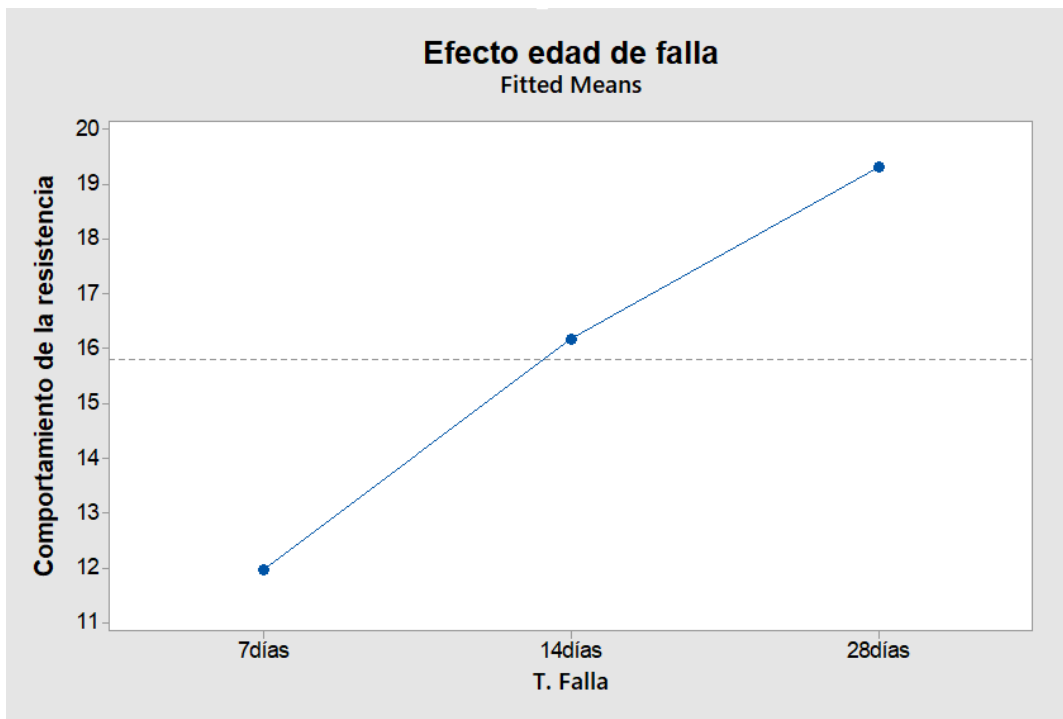
Análisis de los efectos sobre la resistencia

En la Gráfica 32, muestra los efectos principales de la incidencia en la orientación de junta de las tres tipologías (0°, 45°, 90°) sobre la resistencia, esta disminuye la resistencia al tipo de orientación de junta de 90°, favoreciendo en resistencia a la junta de 0°.



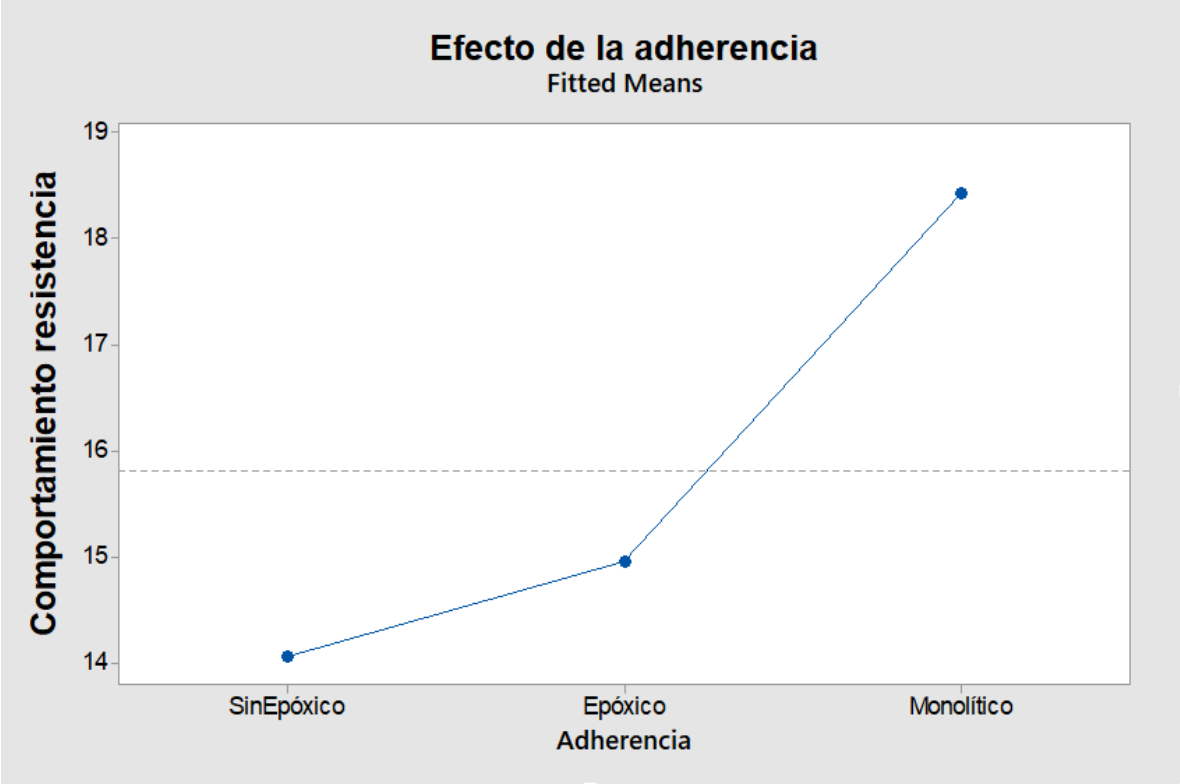
Gráfica 32. Efecto en la orientación de los tipos de junta horizontal (0°), diagonal (45°), vertical (90°).
Fuente. Propia.

En la Gráfica 33, se observa los efectos en el comportamiento de la resistencia en la edad de falla, pasando de la resistencia más baja a la resistencia más alta, se produce un aumento en la resistencia a la compresión a la edad de 28 días.



Gráfica 33. Incidencia edad de falla 7, 14 y 28 días.
Fuente. Propia.

La Gráfica 34, se evidencia los efectos entre los factores del adherente epóxico en el comportamiento de la resistencia, donde la incidencia de estos efectos se ven involucrados en la presencia de las juntas las frías, siendo el caso más negativo en resistencia para las juntas frías sin el tratamiento de adherente epóxico.



Gráfica 34. Efecto de la adherencia para especímenes con epóxico, sin epóxico y monolítico.
Fuente. Propia.

12. CONCLUSIONES

En los ensayos experimentales se determina que los cilindros con junta fría lisa horizontal con y sin epóxico sometidos a compresión no presentan una pérdida de resistencia significativa (máxima resistencia perdida 2,49%, cilindro con junta fría horizontal 4h fallado a los 14 días sin epóxico); esto se debe a que la orientación de la junta con respecto a la orientación de la carga aplicada es perpendicular y genera poco esfuerzo sobre el plano horizontal, disminuyendo la probabilidad de falla temprana en los cilindros con este tipo de junta, alcanzando resistencias óptimas y esperadas.

El tipo de junta fría lisa que genera más incidencia negativa y es el más crítico es el plano vertical. Para los cilindros con junta vertical se presenta una pérdida de resistencia bastante notoria, llegando en casos a superar el 50% de pérdida, esto sucede tanto para los cilindros con epóxico y sin epóxico. Esto se debe a que la dirección del esfuerzo es paralelo a la junta generando que la resistencia de este tipo de junta con y sin epóxico sea baja con respecto a la resistencia esperada. La mayor pérdida de porcentaje de resistencia a compresión se da en los cilindros con junta fría vertical con y sin epóxico a diferencia de los cilindros con junta fría horizontal y de 45°, esto puede explicarse porque estos presentan un mayor esfuerzo cortante en su inclinación de junta (ángulo de 90°).

Asimismo, los cilindros de concreto con junta fría lisa de 45° y vertical sometidos a compresión presentan grandes pérdidas de resistencia (hasta 38,41% y 66,46% respectivamente en cilindros fallados a los 7 días sin adherente epóxico); esta pérdida de resistencia es mayor a tiempos tempranos de falla de la probeta (7 y 14 días).

El porcentaje de pérdida de resistencia de acuerdo al tiempo de falla (7, 14 y 28 días) en especímenes con junta fría lisa diagonal (45°) y vertical, tiene una tendencia decreciente cuando el espécimen tiene junta con adherente epóxico teniendo la mayor pérdida en juntas tempranas debido a que las juntas tratadas con adherentes epóxicos en las primeras horas de aplicación no tiene un efecto notorio y con el paso de las horas adhiere los concretos de mejor manera y esto evita que la pérdida de resistencia aumente. Por otra parte, en juntas sin adherente tiende a tener una curva creciente ya que entre más horas de formación de junta hay entre los concretos menor será su adherencia entre ellos.

Los especímenes con junta fría lisa de 45° y verticales con tiempos de formación de junta de 4 horas con aditivo epóxico, tienden a tener un 10,39% y 7,03% de resistencia menos que los mismos especímenes sin aditivo epóxico, esto se debe a que en las juntas 45° y vertical a edades tempranas (4 horas), el concreto de la primera mitad

no ha alcanzado un fraguado significativo, por ende, al aplicar el aditivo no genera la suficiente adherencia comportándose como un lubricante en la junta induciendo al deslizamiento de esta; mientras que en los cilindros de concreto sin aditivo epóxico la adherencia es mayor ya que al aplicar la segunda capa de concreto, la primera aún está fresca, su fraguado es mínimo y su adherencia es mayor.

Según los ensayos experimentales se puede deducir que a más horas de formación de junta en los cilindros con adhesivo epóxico de concreto (6 y 8 horas), se aumenta la resistencia progresivamente, disminuyendo el porcentaje de pérdida comparado con respecto a los mismos cilindros sin puente de adherencia epóxico.

Los esfuerzos que se concentran sobre las zonas de junta fría, son más grandes a medida que la diferencia de edades en horas (4,6 y 8 horas) aumenta, por esta razón los cilindros con juntas sin aditivo epóxico entre más horas de formación de junta, tienden a perder más resistencia.

El adhesivo genera resistencias óptimas (resistencias cercanas a las esperadas o de los testigos); cuando se emplea en cilindros con junta fría horizontal y de 45° a edades de formación junta de 6 y 8 horas pero en las juntas frías lisas verticales este genera poca adherencia entre los concretos ocasionando falla temprana y porcentaje de resistencias bajos (resistencias del 50% de la esperada).

En juntas frías lisas verticales y 45°, el adhesivo epóxico aumenta un 22,10% y 22,86% respectivamente la resistencia siendo comparados con cilindros sin aditivo epóxico, (en cilindros fallados a 28 días con edad de junta de 8 horas).

13.RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

En el presente proyecto se realizó la aplicación del adherente epóxico entre concretos con intervalos de 20 minutos de aplicación (intervalo mínimo), en proyectos futuros se podría ampliar el intervalo teniendo en cuenta que el máximo es de 1 hora.

Igualmente, en proyectos futuros se podría trabajar en el tratamiento de juntas frías para concretos con mayor tiempo de endurecimiento o incluso para concretos totalmente endurecidos.

Las pruebas realizadas en los cilindros verticales a compresión no permiten evaluar la resistencia, se recomienda que para este tipo de juntas se realice el ensayo a tracción indirecta siguiendo el debido procedimiento.

Respecto a los ensayos realizados se recomienda usar el adherente epóxico (EPOTOC 1-1), aumentando el intervalo de horas de edad de junta (juntas con edades mayores a 6h), para que este pueda adherirse correctamente a los concretos y se comporte de manera esperada.

Adicionalmente, se recomienda que en próximas investigaciones experimentales acerca del tema, se complementen mediante procesos de modelado matemático, para que por medio de estos se realice un análisis del comportamiento de los materiales bajo diferentes condiciones de esfuerzos.

En futuras investigaciones se recomienda realizar pruebas en elementos estructurales con juntas frías incluyendo refuerzos de acero. Es importante realizar este ensayo experimental y conocer la incidencia que tiene el acero al asumir los esfuerzos que se generan en las juntas frías dependiendo de la inclinación.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mahmoud y El-Mihilmy, Design of reinforced concrete structures, El Cairo: Universidad del Cairo, 2008.
- [2] A. Torres, A. Ramos , F. Prada-Sarmiento , M. Botia-Diaz, Análisis de la formación de juntas frías y su compromiso con la resistencia de cilindros normalizados de concreto, Bogotá D.C: Universidad Pontificia Javeriana, 2010.
- [3] Bach; M. G. Quispe Gonzáles, Análisis comparativo de la influencia de la junta fría diagonal con tiempos de formación de 1, 2,3 y 4 horas en la resistencia a compresión y tracción en testigos de concreto $F'C = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con agregados de las canteras de, Cúscó: Universidad Andina del Cúscó, 2017.
- [4] Archila Ortiz, Gustavo Adolfo;, Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epóxicos, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- [5] Castillo Fernández, Guillermo Andrés;, Comportamiento de juntas de hormigonado a los esfuerzos de compresión y flexotracción en hormigones H30, H25 Y H20, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2008.
- [6] Pinzón Vargas, Oscar Eduardo ;, Diseño del Sistema de Adherencia en el Reforzamiento a Flexión de Vigas de Concreto, con Platinas de Acero A-36, Fijadas Externamente con una Resina Epóxica y Anclajes Metálicos, Bogotá D.C : Universidad Nacional de Colombia , 2011.
- [7] Duarte Santos, Pedro Miguel; Nuno Brito, Eduardo ;, Factors Affecting Bond between New and Old Concrete, Lisboa, Portugal : Technical University of Lisbon , 2011.
- [8] J. P. Rodríguez Ayuso, Estudio comparativo del comportamiento mecánico y permeabilidad de juntas frías de hormigonado materializadas con mallas metálicas, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2012.
- [9] E. S. Valencia Zafra, Evaluación de la resistencia a compresión de especímenes de concreto usando aditivo adherente "Chema epox adhesivo 32" en juntas frías, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, 2013.
- [10] V. R, Rathi; P. K, Kolase;, Effect of Cold Joint on Strength Of Concrete, Loni, India : International Journal of Innovative Research in Science, 2013.

- [11] Bernal C, Evaluación del aporte que proporciona el concreto para el diseño estructural de columnas con presencia de juntas frías, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.
- [12] Ganesh V. Tapkire , Time laps and different joint affects quality of regular concrete, Bhopal: Institute of Research & Technology, 2014.
- [13] C. S. Paredes López y C. E. Reyes Cossio, Influencia del uso de adhesivo epóxico Colmax 32 como puente adherente en vigas de concreto armado sujetas a flexión para la recuperación de su monolitismo, Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2015.
- [14] A. F. Torres Palacio, Simulación numérica del efecto de las juntas frías en la resistencia pico de cilindros normalizados de concreto, Bogotá D.C: Universidad Pontificia Javeriana , 2014.
- [15] J. A. Zeña Sandoval , Resistencia a la compresion de concretos con epoxicos adherentes, Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Predro Ruiz Gallo, 2016.
- [16] J. A. Gómez Zapata, Análisis experimental de la unión del concreto fraguado y concreto plástico en adherencia estructural. Analizando las variables, edad del concreto y puente de adherencia, Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada , 2016.
- [17] E.M Pianzastelli, A.G. Magalhães, F. J. Silva, J. S. White, Bond Strength between Old and New Concretes with Focus on the Strengthening of Reinforced Concrete Columns - Slant Shear Test versus Double Sleeve Test, Belo Horizonte, Brazil: Federal University of Minas Gerais, 2017.
- [18] C. N. Quispe Sánchez, Variación de la resistencia mecánica de elementos sometidos a compresión, con el incremento de su sección resistente mediante un encamisado, haciendo uso de un puente epóxico, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, 2018.
- [19] EMB, «La corrosión del acero,» *EMB de construcción*, 2004.
- [20] (. Centro de tecnología cemento y concreto, «Manual del usuario de concreto profesional,» CEMEX, Monterrey, Nuevo León. México.
- [21] IMCYC. Instituto Mexicano del cemento y del concreto, «El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones,» 2006. [En línea].
- [22] ARGOS COLOMBIA, «360 EN CONCRETO,» ARGOS, FEBRERO 2014. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/muestras>. [Último acceso: 20 AGOSTO 2019].
- [23] Lopez, E. Rivva, Tecnología del concreto, diseño de mezclas, Lima, Perú: ICG, 2007.

- [24] Ernest Maier, «Ernest Maier,» Ernest Maier, 2019. [En línea]. Available: <http://maierespanol.com/arena-y-grava/>. [Último acceso: 2019 Septiembre 14].
- [25] ASTM, «Norma ASTM C150/C150M. Especificación normalizada para Cemento Portland,» ASTM, 2007.
- [26] NRMCA, «Juntas en concreto. Losas sobre el suelo,» *Concreto en la practica*, vol. CIP6, 2014.
- [27] E. S. Barraza, Rehabilitacion de estructuras de concreto, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2088.
- [28] A. L. Esteban, «Estudio de las utilizaciones y componentes de resina natural del pino.,» de *Estudio de las utilizaciones y componentes de resina natural del pino.*, Cataluña, Barcelonatech, 2017, p. 145.
- [29] ASTM, «Norma ASTM C881/C881M-90,» ASTM, 2010.
- [30] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 673. Concretos, Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto,» ICONTEC, 2010.
- [31] ASTM, «Norma ASTM C31. Preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra,» ASTM, 2010.
- [32] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio,» ICONTEC, 2010.
- [33] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 30. Cemento Pórtland. Clasificación y nomenclatura,» ICONTEC, 1966.
- [34] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 3459. Concretos. Agua para la elaboración de concreto,» ICONTEC.
- [35] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 174. Especificaciones de los agregados para concreto,» INCONTEC, 2000.
- [36] ASTM, «Norma ASTM C881/C881M. Especificación estándar para sistemas de unión de base de resina epoxi para concreto,» ASTM, 2015.
- [37] TOXEMEN, «Ficha Técnica EPOTOC 1-1 adhesivo epóxico para pega de concreto nuevo a endurecido,» Toxemen, Bogotá C.D, 2017.
- [38] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 396. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto,» ICONTEC, Bogotá D.C, 1992.

- [39] ASTM, «ASTM C192/C192M. Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio.,» ASTM, 2018.
- [40] ASTM, «ASTM E4. Prácticas estándar para la verificación de fuerza de máquina de prueba,» ASTM, 2016.
- [41] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 121. Cemento Pórtland, especificaciones físicas y mecánicas,» ICONTEC, 1982.
- [42] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 221. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico,» ICONTEC, 1999.
- [43] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana 1776. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados,» ICONTEC, 1994.
- [44] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 92. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados,» ICONTEC, 1995.
- [45] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 176. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso,» ICONTEC, 1995.
- [46] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 237. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino,» ICONTEC, 1995.
- [47] ACI 211.1-91, «Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo,» 2002.
- [48] ASTM, «Norma ASTM C33. Granulometría de agregados finos, granulometría de agregados gruesos,» ASTM.
- [49] P. M. Tanco Rainusso , Metodología para la aplicación del diseño de experimentos (DOE) en la industria, San Sebastián, España : 2008, 2008.
- [50] Universidad de Valencia, «Pruebas paramétricas y no paramétricas,» Valencia, España, 2019.
- [51] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 763. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.,» ICONTEC.
- [52] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 77. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.,» ICONTEC, 2007.

ANEXO A

RESULTADOS DE CARACTERIZACION DE MATERIALES

Los requerimientos que deben cumplir los agregados tanto finos como gruesos que se empleen en la elaboración de concretos en Colombia, deben cumplir con los requerimientos dados en la Norma NTC 174 [35].

Densidad del cemento hidráulico

La densidad del cemento debe estar entre 2,90 y 3,15 gr/cm³. Como se evidencia en la Tabla A 1.

Tabla A 1. Densidad del cemento hidráulico.

DENSIDAD DEL CEMENTO	UNIDADES	DATOS
Temperatura inicial	°C	28
Lectura inicial (Lo)	Cm ³	0,4
Temperatura final	°C	28
Lectura final (Lf)	Cm ³	22,70
Masa utilizada de cemento	gr	64
Volumen desalojado	Cm ³	22,3
Densidad del cemento	gr/cm ³	2,9

Fuente. Propia.

❖ RESULTADOS PRIMER MATERIAL

Análisis granulométrico para agregados gruesos y finos

Tabla A 2. Resultados granulometría.

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Masa Inicial (gr)	1028	Masa Inicial (gr)	10373
Perdida de Material (%)	0,17	Perdida de Material (%)	0,27
Modulo de Finura	2,88	Tamaño Máximo	1 ½"
Módulo de finura: 2,88 (Los valores de M.F. de 2.30 a 3.10 son normales para el agregado fino; Por lo tanto, cumplen).		Tamaño Máximo Nominal	¾"

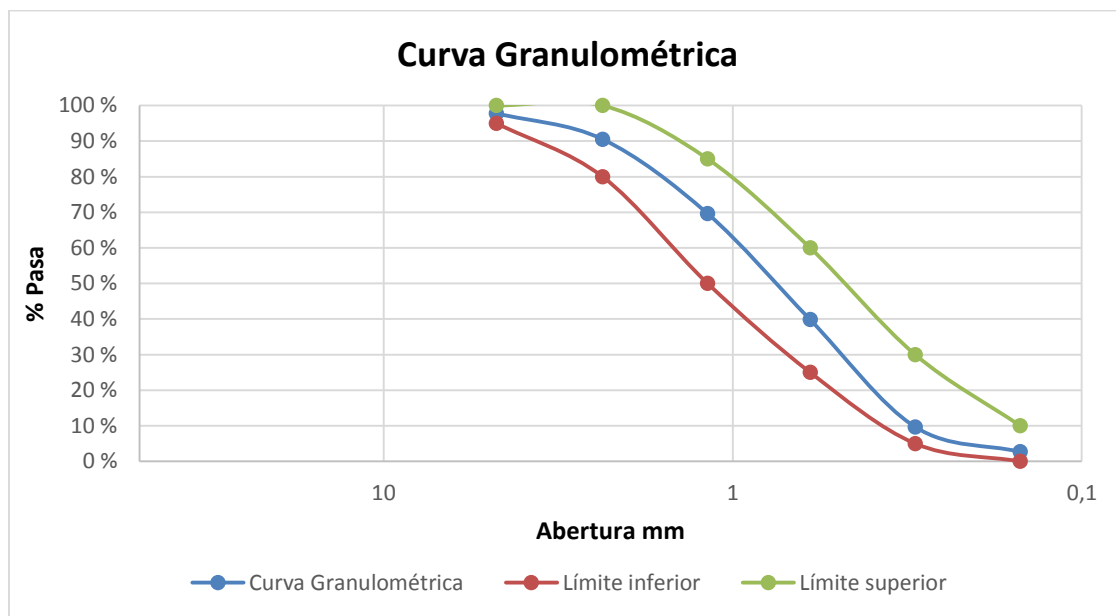
Fuente. Propia.

Tabla A 3. Análisis Granulométrico agregado fino.

Número de tamiz	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
N°4	22,6	2,20	2,20	97,80
N°8	74,8	7,28	9,48	90,52
N°16	215	20,91	30,39	69,62
N°30	306,2	29,78	60,17	39,83
N°50	309	30,05	90,22	9,78
N°100	73	7,10	97,33	2,68
Fondo	27,4	2,68	100	0
Total	1028	100		

Fuente. Propia.

De acuerdo con los requisitos granulométricos, el agregado es una arena mediana, apreciado en la Gráfica A 1 curva granulométrica agregado fino.



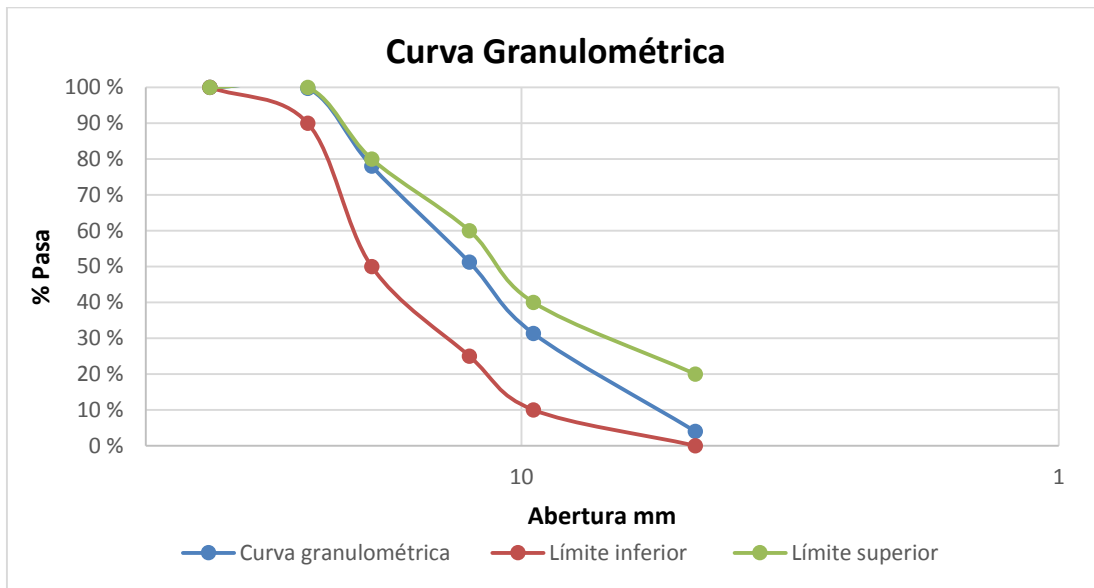
Gráfica A 1. Curva granulométrica agregado fino.
Fuente. Propia.

Tabla A 4. Granulometría agregado grueso.

Número de tamiz	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 1 ½ "	0	0	0	100
N° 1"	25,6	0,25	0,25	99,75
N° ¾"	1177,6	11,35	11,60	88,40
N° ½"	3859,4	37,21	48,81	51,19
N° 3/8"	2061,6	19,87	68,68	31,32
N°4	2831,6	27,30	95,98	4,02
Fondo	417,2	4,02	100	0
Total	10373	100		

Fuente. Propia.

De acuerdo con los requisitos granulométricos, el agregado grueso cumple con las especificaciones de la norma técnica Colombiana NTC 174 [35], apreciado en la curva granulométrica agregado grueso.



Gráfica A 2. Curva granulométrica agregado grueso.

Fuente. Propia.

Determinación de contenido de humedad en los agregados

Tabla A 5. Contenido de humedad.

AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
$H = \frac{1062 - 1028}{1028} * 100 = 3,307\%$	$H = \frac{10472 - 10373}{10373} * 100 = 0,9544\%$

Fuente. Propia.

Determinación de la masa unitaria de los agregados gruesos y finos

Tabla A 6. Masa unitaria de los agregados finos y gruesos.

AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
$MUS = \frac{7,379}{4,952} = 1,490 \text{ gr / cm}^3$	$MUC = \frac{15,192}{10,022} = 1,516 \text{ gr / cm}^3$
$\% \text{ Vacíos} = \frac{2,54 - 1,490}{2,54} \times 100 = 41.34 \%$	$\% \text{ Vacíos} = \frac{2,5 - 1,516}{2,5} \times 100 = 39.36 \%$

Fuente. Propia.

Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos

Tabla A 7. Peso específico y absorción de los agregados finos y gruesos.

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Densidad Aparente _{sBulk}	$1 \times \frac{490}{690 + 500 - 997} = 2,54 \text{ gr}$	Densidad Aparente _{sB}	$1 \times \frac{4923}{5000 - 3015} = 2,5 \text{ gr}$
Ds aparente (saturado – superficialmente – seco)	$1 \times \frac{500}{690 + 500 - 997} = 2,59 \text{ gr}$	Ds aparente (saturado – superficialmente – seco)	$1 \times \frac{5000}{5000 - 3015} = 2,52 \text{ gr}$
Densidad nominal	$1 \times \frac{490}{690 + 490 - 997} = 2,68 \text{ gr}$	Densidad nominal	$1 \times \frac{4923}{4923 - 3015} = 2,58 \text{ gr}$
(%) Absorción	$= \left[\frac{500 - 490}{490} \right] \times 100 = 2,04 \%$	(%) Absorción	$\left[\frac{5000 - 4923}{4923} \right] \times 100 = 1.56\%$

Fuente. Propia.

❖ **RESULTADOS SEGUNDO MATERIAL**

Análisis granulométrico para agregados gruesos y finos

Tabla A 8. Resultados granulometría agregado grueso y fino.

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Masa Inicial (gr)	1562	Masa Inicial (gr)	10918
Perdida de Material (%)	0,06	Perdida de Material (%)	0,13
Módulo de Finura	2,69	Tamaño Máximo	1 ½"
Módulo de finura: 2,69 (Los valores de M.F. de 2.30 a 3.10 son normales para el agregado fino; Por lo tanto, cumplen).		Tamaño Máximo Nominal	1"

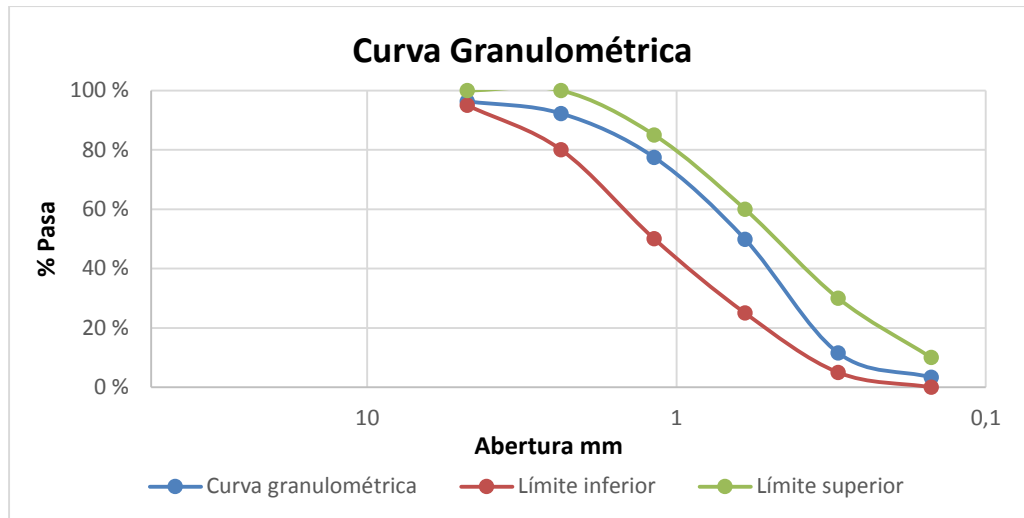
Fuente. Propia.

Tabla A 9. Análisis granulométrico agregado fino.

Número de tamiz	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
N°4	57	3,65	3,65	96,35
N°8	64	4,10	7,75	92,25
N°16	231	14,79	22,54	77,46
N°30	431	27,59	50,13	49,87
N°50	598	38,28	88,41	11,59
N°100	129	8,26	96,67	3,33
Fondo	52	3,33	100	0
Total	1562	100		

Fuente. Propia.

De acuerdo con los requisitos granulométricos, el agregado es una arena mediana, apreciado en la Gráfica A 3 curva granulométrica agregado fino.



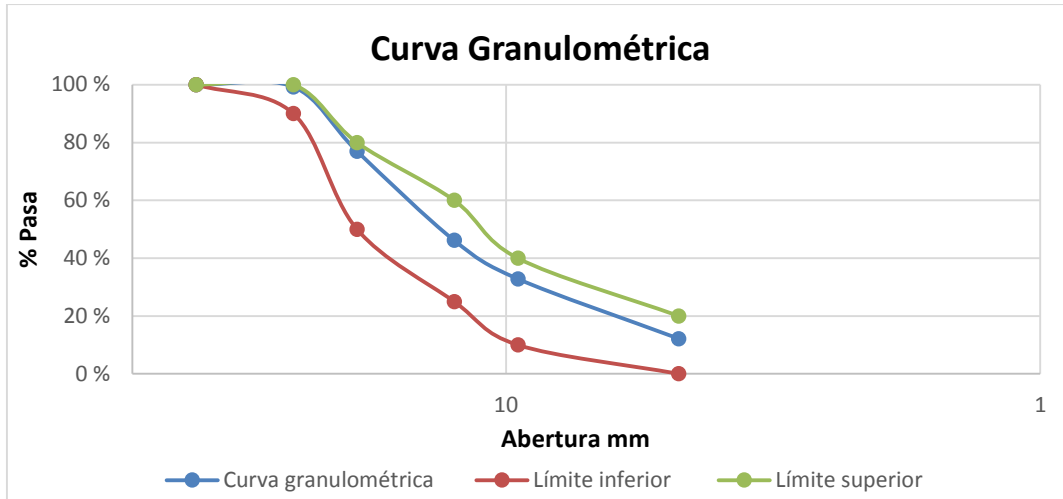
Gráfica A 3. Curva granulométrica agregado fino.
Fuente. Propia.

Tabla A 10. Granulometría agregado grueso.

Número de tamiz	Masa retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
1 ½ "	0	0	0	100
1"	82,6	0,76	0,76	99,24
¾"	2427,8	22,24	22,99	77,01
½"	3369,4	30,86	53,85	46,15
3/8"	1452,2	13,30	67,16	32,84
N°4	2258	20,68	87,84	12,16
Fondo	1328	12,16	100	0
Total	10918	100		

Fuente. Propia.

De acuerdo con los requisitos granulométricos, el agregado grueso cumple con las especificaciones de la norma técnica Colombiana NTC 174 [35], apreciado en la Gráfica A 4 curva granulométrica agregado grueso.



Gráfica A 4. Curva granulométrica agregado grueso.
Fuente. Propia.

Determinación de contenido de humedad en los agregados

Tabla A 11. Contenido de humedad de los agregados.

AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
$H = \frac{3000 - 2881.2}{2881.2} * 100 = 4.12 \%$	$H = \frac{3000 - 2901.4}{2901.4} * 100 = 3.40 \%$

Fuente. Propia.

Determinación de la masa unitaria de los agregados gruesos y finos

Tabla A 12. Masa unitaria de los agregados gruesos y finos.

AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
$MUS = \frac{4,298}{3,004} = 1,431 \text{ gr / cm}^3$	$MUC = \frac{14,850}{10,050} = 1,478 \text{ gr / cm}^3$
$\% \text{ Vacíos} = \frac{2,53 - 1,431}{2,53} \times 100 = 43,44 \%$	$\% \text{ Vacíos} = \frac{2,52 - 1,478}{2,52} \times 100 = 41,35 \%$

Fuente. Propia.

Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos

Tabla A 13. Peso específico y absorción de los agregados finos y gruesos.

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Densidad Aparente _{sBulk}	$1 \times \frac{491}{692,4 + 500 - 998,6}$ = 2,53 gr	Densidad Aparente _{sBulk}	$1 \times \frac{4905}{5000 - 3051}$ = 2,52 gr
Ds aparente (saturado – superficialmente – seco)	$1 \times \frac{692,4}{692,4 + 500 - 998,6}$ = 3,57 gr	Ds aparente (saturado – superficialmente – seco)	$1 \times \frac{5000}{5000 - 3051}$ = 2,56 gr
Densidad nominal	$1 \times \frac{491}{692,4 + 491 - 998,6}$ = 2,66 gr	Densidad nominal	$1 \times \frac{4,905}{4,905 - 3051}$ = 2,65 gr
(%) Absorción	$\left[\frac{500 - 491}{491} \right] \times 100$ = 1.83 %	(%) Absorción	$\left[\frac{5000 - 4,905}{4,905} \right] \times 100 = 1.94\%$

Fuente. Propia.

ANEXO B

DISEÑO DE MEZCLA

❖ DISEÑO DE MEZCLA PRIMER MATERIAL

Se recopilan los datos de los ensayos de caracterización:

Tabla B 1. Resultados de ensayos de caracterización del agregado fino y grueso.

Agregado grueso	
TM	1 ½ "
TMN	¾ "
Densidad aparente	2,52
Absorción gruesa	1,56 %
Densidad Bulk	2,5
Densidad Nominal	2,58

Agregado fino	
Densidad Nominal	2,68
Densidad aparente	2,59
Absorción Fino	2,04 %
Módulo de finura	2,88 (medio)
Densidad Bulk	2,54

Fuente. Propia.

Densidad del cemento

Tabla B 2. Densidad del cemento.

Densidad del cemento	gr/cm ³	2,9
----------------------	--------------------	-----

Fuente. Propia.

Asentamiento

Se toma un asentamiento de 3" (8cm). (Véase Figura B1 asentamiento del concreto).



Figura B 1. Asentamiento del concreto.

Fuente: Propia. Universidad Pontificia Bolivariana.

Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo nominal es de $\frac{3}{4}$ " (1,905 cm), por lo tanto, se verifica que cumple con las condiciones:

- $1,905 \text{ cm} < \frac{1}{5}$ Si cumple.
- $1,905 < \frac{1}{3}$ Si cumple.
- $1,905 < \frac{3}{4}$ Si cumple.

Contenidos de agua y aire

Se tomó concreto sin aire incluido con el asentamiento de 8 cm, por lo tanto, el contenido de agua y aire para el TMN DE $\frac{3}{4}$ " (190 mm) es de 200 kg/m^3 .

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$VA = \frac{200 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ kg/dm}^3} \rightarrow VA = 200 \text{ dm}^3$$

Resistencia de diseño

Se diseña un concreto a compresión de 21 MPa.

$$F'_{cr} = 29.3 \text{ Mpa} = 298.78 \text{ kg/cm}^2$$

Relación agua/cemento

$$\frac{300 - 250}{0.55 - 0.62} = \frac{298,78 - 250}{x - 0.62}$$

$$x = 0,55 = A/C$$

Contenido de cemento

$$\frac{A}{C} = 0.55 = \frac{200}{C}$$

$$C = 363,6 \text{ kg}$$

Para determinar el volumen del cemento se toma la siguiente *ecuación 22*.

$$vC = \frac{m}{\rho}$$

$$vC = \frac{363,6Kg}{2.9Kg/dm^3}$$

$$vC = 125,39 \text{ dm}^3$$

$$vC = 0,125 \text{ m}^3$$

Proporciones de agregado grueso y fino

Para realizar el diseño de mezcla de forma correcta la sumatoria del volumen de

$$VA+VC+VF+CG = 1\text{m}^3$$

Por lo tanto:

$$VA = 0,200 \text{ m}^3$$

$$VC = 0,125 \text{ m}^3$$

$$VAGR = 1\text{m}^3 - (VC+VA)$$

$$VAGR = 1\text{m}^3 - 0,200 \text{ m}^3 - 0,125 \text{ m}^3$$

$$VAGR = 0,675 \text{ m}^3$$

Módulo de fineza del agregado fino:

$$= \frac{3-2,8}{0,60-0,62} = \frac{3-2,88}{0,60-X}$$

$$X = 0,612$$

MAG = FACTOR * P.U.C. GRUESO

$$KgAG = 0,612 * 1516$$

$$KgAG = 927,792 \text{ Kg}$$

Se calcula el volumen del agregado grueso y fino

$$VAG = \frac{927,772Kg}{2,52*1000Kg} = 0,368 \text{ m}^3$$

Ecuación 5. Volumen agregado fino.

$$VAF = 0,675 - 0,368 = 0,307 \text{ m}^3$$

$$MAF = 795,13 \text{ Kg}$$

Tabla B 3. Dosificación para 1 m³ de concreto sin correcciones de humedad.

	A	C	F	G	Σ
V(m ³)	0.200	0.125	0.307	0.368	1
m(kg)	200	363.63	795.13	927.792	
Pi	0.55	1	2.19	2.55	

Fuente. Propia.

Tabla B 4. Dosificación final para un cilindro de concreto (ajustado por humedad).

A	C	F	G
1,4	2,29	5.01	5.84

Fuente. Propia.

❖ DISEÑO DE MEZCLA SEGUNDO MATERIAL

Se recopilan los datos de la segunda caracterización:

Tabla B 5. Resultados de ensayos de caracterización del agregado fino y grueso.

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
TM	1 ½"	Densidad Nominal	2,66
TMN	1"	Densidad aparente	3,57
Densidad aparente	2,56	Absorción Fino	1,83%
Absorción gruesa	1,94%	Módulo de finura	2,69
Densidad Bulk	2,52	Densidad Bulk	2,53
Densidad Nominal	2,65		

Fuente. Propia.

Densidad del cemento

Tabla B 6. Densidad del cemento.

Densidad del cemento	gr/cm ³	2,9
----------------------	--------------------	-----

Fuente. Propia.

Asentamiento

Se toma un asentamiento de 3" (8cm).

Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo nominal es de 1" (2,54 cm), por lo tanto, se verifica que cumpla con las condiciones:

- $2,54 \text{ cm} < \frac{1}{5}$ Si cumple.
- $2,54 < \frac{1}{3}$ Si cumple.
- $2,54 < \frac{3}{4}$ Si cumple.

Contenidos de agua y aire

Se tomó concreto sin aire incluido con el asentamiento de 8 cm, por lo tanto, el contenido de agua y aire para el TMN DE 1" (25 mm) es de 195 kg/m^3 .

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{190 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ kg/dm}^3} \rightarrow v = 190 \text{ dm}^3$$

Resistencia de diseño

Se diseña un concreto a compresión de 21 MPa.

$$F'_{cr} = 29.3 \text{ Mpa} = 298.78 \text{ kg/cm}^2$$

Relación agua/cemento

$$\frac{300 - 250}{0.55 - 0.62} = \frac{298,78 - 250}{x - 0.62}$$

$$x = 0,55 = A/C$$

Contenido de cemento

$$\frac{A}{C} = 0.55 = \frac{190}{C}$$

$$C = 345,45 \text{ kg}$$

Para determinar el volumen del cemento se toma la siguiente ecuación.

$$vC = \frac{m}{\rho}$$

$$vC = \frac{345,45Kg}{2.9Kg/dm^3}$$

$$vC = 119,12 \text{ dm}^3$$

$$vC = 0,11912 \text{ m}^3$$

Proporciones de agregado grueso y fino

Para realizar el diseño de mezcla de forma correcta la sumatoria del volumen de agua, cemento, agregado fino y grueso debe ser igual a 1 m³ (volumen para el que se realiza el diseño de mezcla).

$$VA+VC+VF+CG = 1\text{m}^3$$

Por lo tanto:

$$VA = 0,200 \text{ m}^3$$

$$VC = 0,125 \text{ m}^3$$

$$VAGR = 1\text{m}^3 - (VC+VA)$$

$$VAGR = 1\text{m}^3 - 0,190 \text{ m}^3 - 0,11912 \text{ m}^3$$

$$VAGR = 0,691\text{m}^3$$

Módulo de fineza del agregado fino

$$= \frac{2,8-2,6}{0,67-0,69} = \frac{2,8-2,69}{0,67-X}$$

$$X = 0,681$$

MAG= FACTOR * P.U.C. GRUESO

$$KgAG = 0,681 * 1478$$

$$KgAG = 1006,518 \text{ Kg}$$

Se calcula el volumen del agregado grueso y fino

$$VAG = \frac{1006,518Kg}{2,56*1000Kg} = 0,393 \text{ m}^3$$

$$VAF = 0,691 - 0,393 = 0,298 \text{ m}^3$$

$$MAF = 0,298 * 2,58 * 1000 = 768,84 \text{ Kg}$$

Tabla B 7. Dosificación final (sin corrección), para 1 m³ de concreto.

	A	C	F	G	Σ
V(m ³)	0.190	0.119	0.298	0.393	1
m(kg)	190	345.45	768.84	1006,518	
Pi	0.55	1	2.23	2.91	

Fuente. Propia.

Tabla B 8. Dosificación final para un cilindro de concreto (ajustado por humedad).

A	C	F	G
1,22	2,20	4,91	6,402

Fuente. Propia.

ANEXO C

Resultados ensayos a compresión de especímenes a 7 días de edad.

Tabla C 1. Resultados ensayos a compresión de especímenes con presencia de junta fría a 7 días de edad con sus respectivos especímenes testigos.

	Cilindro	Especímen	Tipo junta	4h		6h		8h	
				Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]
7 días	Epóxico	1	H	14,78	14,67	14,83	14,56	14,51	14,72
		2		14,57		14,29		14,93	
	Sin Epóxico	1		14,58	14,52	14,25	14,31	14,07	14,28
		2		14,47		14,37		14,49	
	Epóxico	1	V	5,93	5,90	8,02	7,78	9,28	9,13
		2		5,87		7,54		8,98	
	Sin Epóxico	1		7,67	7,72	5,95	6,20	4,90	4,89
		2		7,76		6,44		4,88	
	Epóxico	1	45°	9,74	9,68	10,88	10,98	11,85	11,98
		2		9,63		11,08		12,10	
	Sin Epóxico	1		11,10	11,37	10,68	10,37	8,98	8,98
		2		11,65		10,05		8,98	
7 días	Testigo Mezcla A	1	-	14,98	14,64	14,97	14,75	13,52	14,26
		2		14,30		14,54		14,99	
	Testigo Mezcla B	1		14,13	14,37	14,26	14,10	14,45	14,90
		2		14,62		13,95		15,36	
14 días	Testigo Mezcla A	1	-	19,66	18,04	17,39	18,37	14,516	16,387
		2		16,41		19,356		18,257	
	Testigo Mezcla B	1		17,42	17,38	15,234	17,80	18,739	17,58
		2		17,34		20,371		16,422	
28 días	Testigo Mezcla A	1	-	23,23	22,15	24,417	21,38	20,76	20,823
		2		21,069		18,352		20,885	
	Testigo Mezcla B	1		21,93	20,96	18,755	20,39	20,567	21,524
		2		19,98		22,032		22,481	

Fuente. Propia.

Resultados ensayos a compresión de especímenes a 14 días de edad.

Tabla C 2. Resultados ensayos a compresión de especímenes con presencia de junta fría a 14 días de edad con sus respectivos especímenes testigos.

	Cilindro	Especímen	Tipo junta	4 horas		6 horas		8 horas	
				Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]
14 días	Epóxico	1	H	18,65	18,48	18,69	18,73	19,05	19,12
		2		18,31		18,76		19,18	
	Sin Epóxico	1	H	18,08	18,11	18,52	18,44	18,93	19,10
		2		18,13		18,35		19,28	
	Epóxico	1	V	10,39	10,28	11,50	11,59	13,69	13,64
		2		10,18		11,67		13,58	
	Sin Epóxico	1	V	13,00	12,70	10,57	10,62	9,23	9,06
		2		12,39		10,67		8,89	
	Epóxico	1	45°	12,66	12,92	14,90	14,64	17,16	16,98
		2		13,18		14,39		16,80	
	Sin Epóxico	1	45°	14,99	14,76	13,53	13,72	12,46	12,42
		2		14,53		13,90		12,38	
7 días	Testigo Mezcla A	1	-	14,47	14,94	13,30	12,06	14,09	14,42
		2		15,42		10,82		14,74	
	Testigo Mezcla B	1	-	14,40	14,60	13,53	13,37	15,05	14,78
		2		14,79		13,22		14,51	
14 días	Testigo Mezcla A	1	-	18,67	19,05	18,74	18,67	18,51	19,18
		2		19,43		18,59		19,84	
	Testigo Mezcla B	1	-	19,88	18,09	18,85	18,51	19,18	19,12
		2		16,31		18,17		19,06	
28 días	Testigo Mezcla A	1	-	22,21	21,88	21,53	21,84	21,26	21,07
		2		21,55		22,14		20,87	
	Testigo Mezcla B	1	-	20,67	20,99	22,27	22,20	22,00	21,75
		2		21,32		22,14		21,50	

Fuente. Propia.

Resultados ensayos a compresión de especímenes a 28 días de edad.

Tabla C 3. Resultados ensayos a compresión de especímenes con presencia de junta fría a 28 días de edad con sus respectivos especímenes testigos.

	Cilindro	Especimen	Tipo junta	4 horas		6 horas		8 horas	
				Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]	Esfuerzo [MPa]	Promedio [MPa]
14 días	Epóxico	1	H	21,52	21,61	21,76	21,87	22,01	21,95
		2		21,70		21,98		21,90	
	Sin Epóxico	1	H	21,89	21,66	21,36	21,48	21,44	21,60
		2		21,43		21,60		21,76	
	Epóxico	1	V	14,05	14,09	15,42	15,45	17,21	17,03
		2		14,13		15,48		16,85	
	Sin Epóxico	1	V	15,94	16,36	13,95	13,84	12,36	12,17
		2		16,79		13,72		11,99	
	Epóxico	1	45°	17,23	17,16	18,62	18,55	19,34	20,62
		2		17,10		18,47		21,90	
	Sin Epóxico	1	45°	18,51	18,70	16,86	16,63	15,84	15,67
		2		18,90		16,39		15,51	
7 días	Testigo Mezcla A	1	-	14,13	14,16	13,77	14,20	14,48	13,64
		2		14,18		14,64		12,80	
	Testigo Mezcla B	1	-	14,90	13,99	12,95	13,61	14,55	14,78
		2		13,08		14,26		15,01	
14 días	Testigo Mezcla A	1	-	17,39	17,97	16,54	17,62	18,14	18,05
		2		18,54		18,70		17,95	
	Testigo Mezcla B	1	-	16,71	17,13	18,40	18,03	19,30	19,38
		2		17,54		17,66		19,47	
28 días	Testigo Mezcla A	1	-	22,27	21,94	21,77	21,63	21,60	21,77
		2		21,62		21,49		21,94	
	Testigo Mezcla B	1	-	22,52	21,85	22,10	21,99	22,76	22,19
		2		21,19		21,87		21,62	

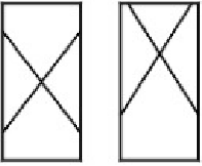
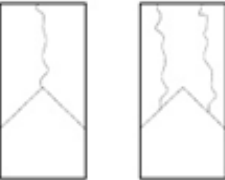




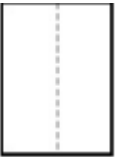
Fuente. Propia.

ANEXO D

Ruptura de falla

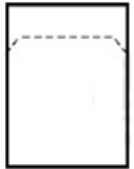



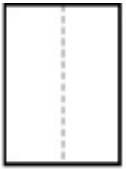

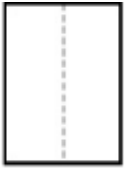





Descritos en la Norma NTC 673[51].



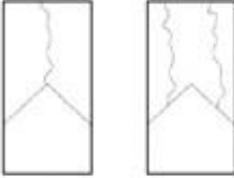

Tabla D 1. Análisis de las fallas presentes en los cilindros.

Tipo de falla	Descripción
	<p>Tipo 1. Falla <i>TIPO CONO</i> razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25mm (1 pulgada).</p>
	<p>Tipo 2. Cono bien formado en un extremo. Fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido en el otro extremo.</p>
	<p>Tipo 3. Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados.</p>
	<p>Tipo 4. Falla <i>TIPO TRANSVERSAL</i>, puesto que la carga se desvía de la cara de aplicación con una tolerancia del 0,5°. Fractura diagonal de los extremos.</p>
	<p>Tipo 5. Falla <i>TIPO CÓNCAVA</i>, son especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de refrentado, también por concavidad de una de las placas de carga.</p>
	<p>Tipo 6. Falla <i>TIPO SOBRE CARAS</i>, la presentan los especímenes que tienen deficiencia en el material, por rugosidad en molde o deformación en la cara donde fue aplicada la carga.</p>
	<p>Tipo 7. Falla <i>TIPO COLUMNAR</i>, son especímenes que presentan una superficie de carga cóncava y deficiente del material de refrentado; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.</p>

Fuente. Propia.

Tabla D 2. Falla a compresión especímenes cilíndricos.

Cilindro	Tipo junta	Tipo de falla	Imagen	Cilindro	Tipo junta	Tipo de falla	Imagen
Epóxico	H			Sin Epóxico	H		
Epóxico	V			Sin Epóxico	V		
Epóxico	45°			Sin Epóxico	45°		

Cilindro	Tipo junta	Tipo de falla	Imagen	Cilindro	Tipo junta	Tipo de falla	Imagen
Testigo Mezcla A	-			Testigo Mezcla B	-		

Fuente. Propia.