

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO SIMPLE CON
PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS VERTICALES E INCLINADAS TRATADAS EPOXICAMENTE**

**JUAN DAVID GUALDRÓN NIETO
JESSICA ALEJANDRA REY GARCÍA**



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

2020

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO SIMPLE CON
PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS VERTICALES E INCLINADAS TRATADAS EPOXICAMENTE**

JUAN DAVID GUALDRÓN NIETO

JESSICA ALEJANDRA REY GARCÍA

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: ELKIN M. LÓPEZ M.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO

2020

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por habernos brindado la oportunidad de obtener nuestro título profesional, por darle la salud y los medios a nuestras familias para que nos pudieran apoyar en todo este proceso, por la fortaleza que nos ha brindado y nos brindarán siempre para afrontar de la mejor manera posible los desafíos que puedan presentarse.

Agradecemos a nuestros padres, por su amor, su entrega, por enseñarnos que por cada esfuerzo que se realice se obtendrá una bendición, por darnos el impulso para cumplir todos nuestros sueños, por ser un ejemplo integro de honestidad, y de valentía para afrontar los retos de la vida.

Agradecemos a nuestras parejas por siempre estar ahí incondicionalmente, por ser de las pocas personas aparte de nuestras familias que han confiado plenamente en nosotros.

Agradecemos a todo el personal docente de la facultad de Ingeniería Civil, que nos brindaron la preparación necesaria para obtener nuestro título como Ingeniero(a) Civil, al profesor Elkin M. López nuestro director de proyecto de grado por compartir su conocimiento, por su paciencia y dedicación para realizar satisfactoriamente nuestro proyecto de grado.

Finalmente queremos agradecer a todo el personal perteneciente a la Universidad Pontificia Bolivariana porque de una u otra manera nos ayudaron en diferentes aspectos a convertirnos en profesionales con valores y sentido humano.

Jessica Alejandra Rey García

Juan David Gualdrón Nieto

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado, a Dios por ser la fuente principal de sabiduría, porque gracias a Él hemos podido llegar hasta la etapa final de nuestra carrera profesional, porque nos brindó la oportunidad de poder obtener nuevas experiencias tanto espirituales como en el lapso del desarrollo de nuestra carrera profesional que nos ayudaron a progresar como persona.

A nuestros padres, Javier Mauricio Rey, Martha Cecilia García y Néstor Jaime Gualdrón Rojas, Doris Nieto Idárraga, por su amor, esfuerzo, apoyo y por todas las oportunidades que nos han brindado para que hoy día seamos profesionales y seres humanos íntegros. Agradecemos a nuestros padres por sus esfuerzos económico que, con mucho amor, hicieron para que lográramos nuestro título profesional.

Jessica Alejandra Rey García

Juan David Gualdrón Nieto

A mi madre que, aunque ya no se encuentra presente, siempre ha estado ahí conmigo espiritualmente para brindarme la fortaleza, valentía y guía necesaria en todos los desafíos que se me han presentado.

A mi abuela, por confiar siempre en mí, por darme animo en los momentos más difíciles y por estar siempre a mi lado. Porque siempre fue mi compañía constante.

A mi único y hermano menor, por su compañía, por ser otro motivo más para salir adelante y brindarle un buen ejemplo.

A mi pareja, por brindarme su apoyo en todo momento, por confiar en mí y por recordarme el potencial que tengo todo el tiempo, sobre todo cuando tenía dudas de mí misma.

A mis amigos, demás familiares, personas cercanas, que de una u otra manera me ayudaron en este proceso.

Jessica Alejandra Rey García

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	17
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
3.	JUSTIFICACIÓN.....	19
4.	OBJETIVOS	20
4.1.	OBJETIVO GENERAL	20
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5.	ANTECEDENTES	21
6.	MARCO TEÓRICO.....	24
6.1.	CONCRETO SIMPLE	25
6.2.	FASES DEL CONCRETO SIMPLE.....	25
6.3.	LAS JUNTAS EN LOS ELEMENTOS DE CONCRETO	26
6.3.1.	Clasificación de juntas en elementos de concreto	27
6.3.2.	Juntas frías	28
6.3.3.	Tratamiento para juntas frías	29
6.3.4.	RESINAS.....	30
6.4.	ENSAYO DE LA RESISTENCIA A FLEXION O MODULO DE ROTURA EN CONCRETO	31
6.5.	ENSAYO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION EN CONCRETO	33
7.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	34
7.1.	MATERIALES Y HERRAMIENTAS.....	37
7.1.1.	Cemento.....	38
7.1.2.	Agua	38
7.1.3.	Agregados	38
7.1.4.	Moldes y herramientas.....	38
7.2.	CARACTERÍSTICAS DEL ADHESIVO SIKADUR® 32 PRIMER	39
7.2.1.	Descripción.....	39
7.2.2.	Usos.....	39
7.2.3.	Ventajas	40
7.2.4.	Rendimiento.....	40
7.3.	ELABORACIÓN DE ENSAYO EXPERIMENTAL	40

7.3.1.	Preparativo de moldes.....	40
7.3.2.	Preparativo de especímenes.....	40
7.3.3.	Método de vaciado y compactación de vigas en concreto simple.....	40
7.3.4.	Fabricación de vigas.....	41
7.3.5.	Moldeado de vigas.....	41
7.3.6.	Moldeado de cilindros	42
7.3.7.	Fundición y compactación de especímenes	43
7.3.8.	Método de tratamiento de juntas frías con resina epóxica Sikadur® 32 Primer ..	44
7.3.9.	Método de desencofrado	45
7.3.10.	Método de curado	45
7.3.11.	Ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura y ensayo de resistencia a la compresión de especímenes	46
8.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	50
8.1.	DENSIDAD DEL CEMENTO.....	50
8.2.	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	51
8.3.	ENSAYO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS	51
8.4.	ENSAYO DE LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	52
8.5.	ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	52
9.	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	53
9.1.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO.....	53
9.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	53
9.3.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	55
9.4.	DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS	55
9.5.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS	56
10.	RESULTADOS DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POR MÉTODO ACI 211.....	57
11.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	59
11.1.	RESULTADOS DE LA VARIACION DEL MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTA FRIA.....	59
11.1.1.	Variación del Módulo de Rotura para vigas de 7 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo a la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.	59

11.1.2. Variación del Módulo de Rotura para vigas de 14 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo con la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.	60
11.1.3. Variación del Módulo de Rotura para vigas de 28 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo a la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.	61
11.2. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA (f_r) EN VIGAS CON 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTAS VERTICALES E INCLINADAS 45° EN TIEMPOS DE FORMACIÓN (4, 6 Y 8 HORAS) CON Y SIN RESINA EPOXICA Y LA RESISTENCIA DE VIGAS MONOLÍTICAS.	62
11.2.1. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas inclinadas a 45° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) con tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas.	62
11.2.2. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas inclinadas a 45° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) sin tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas (testigos).	64
11.2.3. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas verticales a 90° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) con tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas (testigos).	65
11.2.4. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas verticales a 90° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) sin tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas (testigos).	66
11.3. RESULTADOS DE VARIACION DE RESISTENCIA (%) EN VIGAS DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTAS VERTICALES E INCLINADAS 45° CON Y SIN RESINA EPOXICA EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE FORMACION DE JUNTAS (4, 6 y 8) HORAS.	67
11.3.1. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7, 14 y 28 días de edad con tiempo de formación de juntas inclinadas 45° (4, 6 y 8 horas) con y sin tratamiento epóxico. 67	
11.3.2. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.	68
11.3.3. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 14 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.	68
11.3.4. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 28 de edad con tiempo de formación (4 y 6 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.	69

11.3.5. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7,14 y 28 días de edad con tiempo de formación de juntas verticales 90° (4, 6 y 8 horas) con y sin tratamiento epóxico.	70
11.3.6. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.	70
11.3.7. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 14 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.	71
11.3.8. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 28 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.	72
11.4. RESULTADOS DE LA COMPARACION DE RESISTENCIA A LA FLEXION EN JUNTAS FRIAS INCLINADAS 45° CON TIEMPOS DE FORMACION 4,6 Y 8 HORAS CON Y SIN RESINA EPOXICA RESPECTO A LAS VIGAS MONOLITICAS A 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD.....	72
11.4.1. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 4 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.....	73
11.4.2. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 6 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.....	74
11.4.3. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 8 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7 y 14 días de edad.....	75
11.5. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN JUNTAS FRÍAS VERTICALES 90° CON TIEMPOS DE FORMACIÓN 4,6 Y 8 HORAS CON Y SIN RESINA EPOXICA RESPECTO A LAS VIGAS MONOLÍTICAS A 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD.....	76
11.5.1. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 4 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.....	77
11.5.2. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 6 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.....	78
11.5.3. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 8 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7 y 14 días de edad.....	78
11.6. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA PARA VIGAS DE EDADES (7, 14 Y 28 DÍAS) CON JUNTAS DE INCLINACIÓN DE 45° CON Y SIN TRATAMIENTO	

EPÓXICO, VIGAS MONOLÍTICAS Y VIGAS TEÓRICAS HALLADAS POR MÉTODO ACI EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	79
11.6.1. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión	80
11.6.2. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 6 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión	81
11.6.3. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7 y 14 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión	82
11.7. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA PARA VIGAS DE EDADES (7, 14 Y 28 DÍAS) CON JUNTAS VERTICALES DE 90° CON Y SIN TRATAMIENTO EPÓXICO, VIGAS MONOLÍTICAS Y VIGAS TEÓRICAS HALLADAS POR MÉTODO ACI EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	83
11.7.1. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de verticales con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión	84
11.7.3. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de verticales con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión	86
12. CALCULO DEL MODULO DE ROTURA EN FUNCION DE LA CONSTANTE K Y DE LA RESISTENCIA A COMPRESION APLICANDO METODOLOGIA ACI	88
13. CONCLUSIONES	90
14. RECOMENDACIONES	93
15. BIBLIOGRAFIA	94
16. ANEXO 1	98
17. ANEXO 2	106
18. ANEXO 3	110
19. ANEXO 4	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características del material para construcción	24
Tabla 2 Cuadro resumen vigas con junta vertical.....	35
Tabla 3 Cuadro resumen vigas con junta inclinada	35
Tabla 4 Cuadro resumen vigas monolíticas.....	36
Tabla 5 Cuadro resumen cilindros.....	36
Tabla 6 Resultados densidad del cemento.....	53
Tabla 7 Análisis granulométrico agregado grueso	53
Tabla 8 Análisis granulométrico agregado fino	54
Tabla 9 Peso específico y absorción agregado grueso	55
Tabla 10 Peso específico y absorción agregado fino.....	55
Tabla 11 Masa unitaria compacta (MUC) y porcentaje de vacíos agregado grueso.....	55
Tabla 12 Masa unitaria suelta (MUS) y porcentaje de vacíos agregado grueso	55
Tabla 13 Masa unitaria compacta (MUC) y porcentaje de vacíos agregado fino	56
Tabla 14 Masa unitaria suelta (MUS) y porcentaje de vacíos agregados finos.....	56
Tabla 15 Contenido de humedad agregado grueso	56
Tabla 16 Contenido de humedad agregado fino.....	56
Tabla 17 Datos preliminares al tipo de diseño de mezcla de concreto	57
Tabla 18 Cuadro resumen resultados de caracterización de los materiales.....	57
Tabla 19 Proporcionamiento de diseño de mezcla método ACI 211	58
Tabla 20 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 7 días	59
Tabla 21 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 14 días	60
Tabla 22 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 28 días	61
Tabla 23 Resultados Juntas inclinadas 45° con epóxico.....	63
Tabla 24 Resultados Juntas inclinadas 45° sin epóxico	64
Tabla 25 Resultados Juntas verticales 90° con epóxico	65
Tabla 26 Resultados Juntas verticales 90° sin epóxico.....	66
Tabla 27 Resultados Comparación Juntas inclinadas 45°	67
Tabla 28 Resultados Comparación Juntas verticales 90°	70
Tabla 29 Resultados Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas	73
Tabla 30 Resultados Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas	76
Tabla 31 Resultados Vigas con juntas frías inclinadas 45° y monolíticas VS. Cilindros.....	80
Tabla 32 Resultados Vigas con juntas frías verticales 90° y monolítica VS. Cilindros	84
Tabla 33 K Promedio de los especímenes con juntas 4,6 y 8 horas.....	88
Tabla 34 Resultado granulométrico agregado grueso	98
Tabla 35 Requisitos de gradación agregado grueso NTC 174	98

Tabla 36 Análisis granulométrico agregado grueso	99
Tabla 37 Resultado granulométrico agregado fino	100
Tabla 38 Requisitos de gradación agregado fino NTC 174.....	100
Tabla 39 Análisis granulométrico agregado fino	100
Tabla 40 Peso específico y absorción agregado grueso	101
Tabla 41 Peso específico y absorción agregado fino.....	102
Tabla 42 Masa unitaria Suelta Agregado Grueso	102
Tabla 43 Masa unitaria compacta Agregado Grueso	103
Tabla 44 Masa unitaria Suelta Agregado Fino.....	103
Tabla 45 Masa unitaria compacta Agregado Fino	104
Tabla 46 Contenido de humedad Agregado Grueso	104
Tabla 47 Contenido de humedad Agregado Fino.....	104
Tabla 48 Densidad del cemento hidráulico	105
Tabla 49 Parámetros para diseño de mezcla	106
Tabla 50 Contenido de aire atrapado.....	106
Tabla 51 Relación Agua/Cemento en peso	107
Tabla 52 Modulo Resistencia a Compresión (F'cr)	107
Tabla 53 Cantidad de agua para 1 m ³ para los tamaños máximos nominales en agregados	107
Tabla 54 Volumen de agregado grueso, seco y compacto por unidad de volumen	108
Tabla 55 Cantidad de material para el diseño mezcla.....	108
Tabla 56 Volumen absoluto.....	109
Tabla 57 Corrección por humedad de los agregados.....	109
Tabla 58 Aporte de agua a la mezcla.....	109
Tabla 59 Proporcionamiento del diseño	109
Tabla 60 Resultados vigas 7 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros.	114
Tabla 61 Resultados vigas 7 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros.	115
Tabla 62 Resultados vigas 7 días de edad, 8 horas de formación de junta y cilindros.	116
Tabla 63 Resultados vigas 14 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros. ...	117
Tabla 64 Resultados vigas 14 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros. ...	118
Tabla 65 Resultados vigas 14 días de edad, 8 horas de formación de junta y cilindros. ...	119
Tabla 66 Resultados vigas 28 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros. ...	120
Tabla 67 Resultados vigas 28 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros. ...	121
Tabla 68 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 4 horas de formación.....	123
Tabla 69 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 6 horas de formación.....	124
Tabla 70 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 8 horas de formación.....	125

Tabla 71 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.	127
Tabla 72 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.	129
Tabla 73 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 8 horas de formación de junta y monolíticas.	130
Tabla 74 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.....	132
Tabla 75 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.....	134
Tabla 76 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 8 horas de formación de junta y monolíticas.....	136
Tabla 77 Ensayo a la flexión en vigas de 28 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.....	138
Tabla 78 Ensayo a la flexión en vigas de 28 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.....	140

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Componentes del concreto simple.....	25
Ilustración 2 Fases del concreto	26
Ilustración 3 Juntas de aislamiento y contracción.....	27
Ilustración 4 Junta de Construcción	28
Ilustración 5 Sellado de junta fría en concreto	28
Ilustración 6 SIKADUR® 32 Primer y Epotoc 1-1	31
Ilustración 7 Tipos de vigas.....	37
Ilustración 8 Cilindro testigo.....	37
Ilustración 9 Materiales.....	37
Ilustración 10 Moldes y Herramientas	39
Ilustración 11 Moldeado de vigas con presencia de junta fría vertical 90°	41
Ilustración 12 Moldeado de vigas con presencia de junta fría inclinada 45°.....	42
Ilustración 13 Moldeado de vigas monolíticas.....	42
Ilustración 14 Moldeado de cilindros.....	42
Ilustración 15. Fundición de especímenes	43
Ilustración 16 Compactación de especímenes	44
Ilustración 17 Juntas frías con tratamiento epóxico.	44
Ilustración 18 Proceso de desencofrado de los especímenes.....	45
Ilustración 19 Curado de los especímenes.....	45
Ilustración 20 Tipos de curado	46
<i>Ilustración 21 Todos los tipos de especímenes de concreto simple.....</i>	<i>47</i>
Ilustración 22 Ensayo densidad del cemento hidráulico.....	50
Ilustración 23 Ensayo granulometría agregado grueso y fino.....	51
Ilustración 24 Ensayo de contenido de humedad en agregados	51
Ilustración 25 Ensayo de determinación de la masa unitaria en agregados.....	52
Ilustración 26 Ensayo peso específico y absorción de agregados.....	52
Ilustración 27 Grafica Curva Granulométrica agregado grueso.....	54
Ilustración 28 Grafica Granulométrico agregado grueso	54
Ilustración 29 Variación de la resistencia en juntas de 7 días.....	60
Ilustración 30 Variación de la resistencia en juntas de 14 días.....	61
Ilustración 31 Variación de la resistencia en juntas de 28 días.....	62
Ilustración 32 Juntas inclinadas 45° con epóxico	63
Ilustración 33 Juntas inclinadas 45° sin epóxico.....	64
Ilustración 34 Juntas verticales 90° con epóxico.....	65
Ilustración 35 Juntas verticales 90° sin epóxico	66
Ilustración 36 Comparación junta inclinada 45° 7 días	68
Ilustración 37 Comparación junta inclinada 45° 14 días	69

Ilustración 38 Comparación junta inclinada 45° 28 días	69
Ilustración 39 Comparación junta vertical 90° 7 días.....	71
Ilustración 40 Comparación junta vertical 90° 14 días.....	71
Ilustración 41 Comparación junta vertical 90° 28 días.....	72
Ilustración 42 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 4 horas	74
Ilustración 43 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 6 horas	75
Ilustración 44 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 8 horas	76
Ilustración 45 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 4 horas	77
Ilustración 46 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 6 horas	78
Ilustración 47 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 8 horas	79
Ilustración 48 Comparación f' r vs. f' c para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas	81
Ilustración 49 Comparación f' r vs. f' c para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas	82
Ilustración 50 Comparación f' r vs. f' c para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas	83
Ilustración 51 Comparación f' r vs. f' c para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas	85
Ilustración 52 Comparación f' r vs. f' c para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas	86
Ilustración 53 Comparación f' r vs. f' c para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas	87
Ilustración 54 Curva Granulométrica agregado grueso	99
Ilustración 55 Curva Granulométrica agregado fino	101
Ilustración 56 Ensayo de Asentamiento del concreto.....	110
Ilustración 57 Preparación del material	110
Ilustración 58 Procedimiento de fundición primera parte.....	111
Ilustración 59 Aplicación de Sikadur 32 Primer.....	112
Ilustración 60 Proceso de fundición culminado	112
Ilustración 61 Cuarto de curado	113
Ilustración 62 Esquema de modelos de fractura típicos	122
Ilustración 63 Falla en la junta.....	126
Ilustración 64 Falla tercio medio	126
Ilustración 65 Falla fuera del tercio medio.....	126

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO SIMPLE CON PRESENCIA DE JUNTAS FRÍAS VERTICALES E INCLINADAS TRATADAS EPOXICAMENTE

AUTOR(ES): JUAN DAVID GUALDRÓN NIETO
JESSICA ALEJANDRA REY GARCÍA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

RESUMEN

Comúnmente los elementos que están compuestos de concreto deben ser interrumpidos por diversos incidentes presentados en el momento de realizar el proceso de fundición, provocando una discontinuidad en el elemento y apareciendo una grieta de unión más conocida como junta fría, afectando la resistencia de este, por esto, es necesario crear un puente de adherencia entre los dos tipos de concreto que forman el elemento para evitar que se presente un mayor riesgo de falla. Por tal motivo, en esta investigación se logró evaluar y correlacionar la resistencia a la flexión en vigas de concreto simple con un ($F'c$) de 3000 Psi o 21 MPa parcialmente endurecido a diferentes edades 7, 14 y 28 días con presencia de juntas frías verticales (90°) e inclinadas (45°), cuyo tiempo de formación fue de 4, 6 y 8 horas, empleando como puente de adherencia el adhesivo SIKADUR® 32 Primer. Se elaboraron 108 especímenes distribuidos de la siguiente manera, 72 vigas con juntas frías verticales (90°) e inclinadas (45°) tratadas y sin tratar epoxicamente, 36 vigas monolíticas como testigos, con el fin de correlacionar la resistencia a flexión de las vigas mencionadas anteriormente y 36 cilindros como testigos, con el fin de obtener la resistencia a compresión del diseño de mezcla. A causa de caso fortuito por pandemia, no se fallaron las 12 vigas de 28 días con junta de 8 horas y los 4 cilindros de la misma edad. En las pruebas de la resistencia a la flexión se halla que, para tiempos de formación de 4 horas en edades de 7, 14 y 28 días, la incidencia de la resina epóxica si es significativa para las vigas con presencia de junta fría inclinadas (45°) aumentando en 20%, 6% y 2% respectivamente (los porcentajes son el promedio de 2 datos)

PALABRAS CLAVE:

Juntas Frías, flexión, compresión, puente de adherencia, vigas, concreto simple.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF FLEXURAL RESISTANCE IN SIMPLE CONCRETE BEAMS WITH THE PRESENCE OF VERTICAL AND INCLINED COLD JOINTS TREATED EPOXICALLY

AUTHOR(S): JUAN DAVID GUALDRÓN NIETO
JESSICA ALEJANDRA REY GARCÍA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

ABSTRACT

Commonly the elements that are composed of concrete must be interrupted by various compound incidents at the time of the casting process, causing a discontinuity in the element and appearing a joint crack better known as a cold joint, affecting its resistance, by this, it is necessary to create a bonding bridge between the two types of concrete that make up the element to avoid presenting a greater risk of failure. For this reason, this research will evaluate and correlate the flexural strength in simple concrete beams with a ($F'c$) of 3000 Psi or 21 MPa partially supported at different ages 7, 14 and 28 days with the presence of vertical cold joints (90°) and inclined (45°), whose formation time was 4, 6 and 8 hours, using the SIKADUR® 32 Primer adhesive as the bonding bridge. 108 specimens distributed as follows, 72 beams with vertical cold joints (90°) and inclined (45°) treated and untreated epoxy, 36 monolithic beams as controls, were produced in order to correlate the flexural resistance of the Previously beams and 36 cylinders as core, in order to obtain the compressive strength of the mix design. Because of a fortuitous case for pandemic, the 12 28-day beams with 8-hour joint and 4 cylinders of the same age were not failed. In the bending resistance tests it is found that, for training times of 4 hours at ages 7, 14 and 28 days, the incidence of epoxy resin if significant for beams with the presence of cold joint inclined (45°) increasing by 20%, 6% and 2% respectively (the percentages are the average of 2 data).

KEYWORDS:

Cold Joints, bending, compression, bonding bridge, beams, simple concrete.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Las juntas frías son una superficie plana que son producidas por la interrupción del proceso de vaciado de la mezcla de concreto por un periodo de tiempo tal, que el concreto inicial tenga un tiempo diferente de fraguado, es decir que se encuentre endurecido mucho antes de que el proceso de fundición continúe, generando un plano de interrupción entre dos tipos de concreto, el cual produce una discontinuidad del elemento afectando su desempeño estructural, tal como la disminución de su resistencia y durabilidad.

El siguiente proyecto, tiene como finalidad determinar la afectación de la resistencia a flexión en vigas de concreto simple con presencia de juntas frías lisas a diferentes ángulos de inclinación 90° y 45°, en distintos tiempos de formación, es decir diversos tiempos de interrupción en el proceso de vaciado de la mezcla, las cuales serán tratadas con y sin resina epóxica como puente de adherencia entre los dos tipos de concreto formados.

El proyecto está conformado por 11 capítulos y 4 anexos, en los cuales se encuentra detalladamente toda la información realizada para la ejecución de este. En los primeros capítulos se encuentra el planteamiento del problema, con su debida justificación y objetivos de realización del proyecto.

En los siguientes capítulos, cinco y seis se presenta una investigación amplia acerca de la definición de las juntas frías, su tratamiento y de los diversos antecedentes investigativos sobre el mismo tema, los cuales fueron un gran aporte para el desarrollo de este proyecto.

Posteriormente, en los capítulos siete y ocho se especifica la metodología usada, constituida por la especificación de los diversos ensayos realizados en el laboratorio de acuerdo con lo estipulado en las normas y el desarrollo experimental para cada caso.

En los últimos capítulos se encuentran los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, así mismo se dan las conclusiones y recomendaciones.

Este proyecto ofrece una alternativa para el tratamiento de las juntas frías las cuales se presentan en incidentes que no pueden controlarse en obra, con el objetivo de reducir la afectación de la resistencia del elemento estructural.

Por otro lado, debido a causa de caso fortuito por pandemia, no fue posible fallar las 12 vigas de 28 días de edad con tiempo de formación de junta de 8 horas y los 4 cilindros de la misma edad, por lo tanto, no se mostrarán los resultados de estos especímenes.

Finalmente, el proyecto de investigación es la continuación de la tesis de grado “Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con presencia de juntas frías a diferentes ángulos de inclinación”. [1]

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito constructivo, es común encontrarse con diferentes circunstancias y percances que puedan inferir negativamente en la finalización de un proyecto de obra civil. Normalmente los elementos que están compuestos de concreto deben ser interrumpidos por dichos incidentes, sin embargo, estas interrupciones pueden planificarse previamente con el fin de que el plano de separación entre dos concretos de diferentes tiempos de formación queden en zonas que no representen mayor riesgo de falla. [2] Las juntas frías son juntas que aparecen de manera imprevista e involuntaria [3], el efecto de estas en una estructura de hormigón es la disminución de su resistencia provocando fallas y problemas en los diferentes procesos constructivos que deben ejecutarse para el desarrollo de la estructura.

Existen distintos métodos que se pueden emplear para tratar las juntas frías. Una de las soluciones más conocidas es el uso de adhesivos conformados por resinas epóxicas, ya que cuentan con una alta dureza, resistencia química y térmica, brindando un excelente puente de adherencia entre dos tipos de concretos fundidos en diferentes tiempos, evitando que su resistencia disminuya presentándose una falla en la unión de estos dos concretos afectando de manera negativa el elemento sometido a flexión. A la fecha se han realizado diferentes investigaciones y se encontraron diversas bibliografías como las que se muestran a continuación en (Ver Capítulo #5 ANTECEDENTES) donde se enfocan principalmente en juntas con concretos endurecidos (mayor a 24 horas) pero no se encuentran resultados e investigaciones donde se estudie el efecto en concretos parcialmente endurecidos con tiempos de formación de juntas menor a 24 horas.

Por tal motivo, este proyecto pretende evaluar y dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál es la variación de la resistencia a la flexión en vigas de concreto simple parcialmente endurecido con presencia de juntas frías verticales e inclinadas (con tiempo de formación menor a 24 horas) tratadas epóxicamente? Esta investigación se realizará siguiendo un cronograma de actividades teniendo en cuenta los diferentes lineamientos y parámetros suministrados por las normas de construcción y ensayos de laboratorio tales como densidad del cemento, granulometría de agregados finos y gruesos, el contenido de humedad, el peso específico de absorción y la masa unitaria, como también, las pruebas finales de resistencia a la flexión de todas las vigas y las pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto simple. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluirá el aumento o mejora de la resistencia de estos elementos sometidos a la flexión, a su vez, la comparación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión.

3. JUSTIFICACIÓN

La presencia de juntas frías en construcción genera diversas repercusiones, es imprescindible proponer una solución a estos problemas. Por lo tanto, se pretende evaluar la resistencia y el comportamiento estructural de vigas de concreto simple de 3000 psi, creando una discontinuidad en el elemento formándose una junta fría lisa con distintos ángulos de orientación (90° y 45°) utilizando resina epóxica como puente de adherencia entre los dos tipos de concreto. Las vigas que se estudiarán serán sometidas a ensayos de flexión.

Este proyecto de grado servirá de complemento y de guía para las próximas investigaciones acerca de las implicaciones que tienen las juntas frías lisas en el concreto simple formadas a edades tempranas con diversos ángulos de orientación y una alternativa de tratamiento con resina epóxica como puente de adherencia. Igualmente dar a conocer al sector constructivo y demás profesionales a fines, la importancia de controlar la aparición de juntas frías evitando que las propiedades resistentes del concreto se vean afectadas.

Teniendo presente los argumentos anteriores se formuló el objetivo para la ejecución de este proyecto, el cual es determinar la resistencia a la flexión (módulo de rotura) en vigas de concreto simple con presencia de juntas frías tratadas epóxicamente considerando la variación en el tiempo de formación y su orientación. De tal modo que pueda darse continuación a futuras investigaciones y como complemento para nuevas alternativas de solución ante la formación de juntas frías en el concreto, especialmente en vigas falladas a flexión.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar la resistencia a la flexión (módulo de rotura) en vigas de concreto simple con presencia de juntas frías tratadas epóxicamente considerando la variación en el tiempo de formación y su orientación.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar la resistencia a la flexión (módulo de rotura) en vigas de concreto simple con presencia de juntas frías orientadas de manera vertical (90°) e inclinada (45°) variando sus tiempos de formación (4, 6 y 8 horas).
- ✓ Determinar la variación de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) en vigas de concreto simple con juntas frías tratadas con resina epóxica.
- ✓ Determinar la incidencia de la orientación de las juntas frías y las resinas epóxicas a diferentes tiempos de formación en la resistencia a la flexión (módulo de rotura) de vigas de concreto simple.

5. ANTECEDENTES

Anteriormente ya se han realizado diversas investigaciones nacionales e internacionales acerca de la formación de juntas frías en el concreto, su comportamiento y la eficiencia sobre los posibles tratamientos. Por lo consiguiente, se presentan las investigaciones que han tenido mayor relevancia y que fueron complemento para el desarrollo de este proyecto.

En la investigación, realizada por M. Fernandez, Canovas en el 1966. Expone la aplicación de las resinas epóxicas para la unión de concreto de diferentes edades presentadas por diversos imprevistos en obra. Para la realización de este estudio se hicieron varios ensayos con diferentes concretos variando la cantidad de cemento. Se elaboraron seis moldes de dimensiones 10x15x120cm para cada una de las diferentes mezclas de concreto con presencia de juntas frías sin ningún tratamiento. El proceso de vaciado de la mezcla en los especímenes fue en dos mitades con diferentes tiempos de edad, la primera mitad con 56 días y la segunda mitad con 28 días. Se concluye que, al momento de someter las vigas a flexión, se obtuvo una falla por fuera de la junta de construcción, por donde se encontraba el concreto más joven es decir con una menor resistencia. [4]

En el artículo investigativo de Camille A. Issa, Nagib N.Gerges, Samer Fawaz en el 2014, hicieron una relación de la resistencia a la compresión del concreto con el módulo de rotura de una viga con junta de construcción por medio de una ecuación en base a la norma ACI. Para el desarrollo de esta investigación usaron siete diseños de mezcla diferentes, fundiendo un total de 42 vigas y 28 cilindros, así mismo, para cada mezcla realizaron seis vigas de concreto liso divididas en tres monolíticas y tres con presencia de junta de construcción vertical en el centro del tercio medio de la viga, para obtener la resistencia a compresión se fundieron cuatro cilindros. Los autores de este artículo concluyeron que una junta de construcción reduce la resistencia a la flexión alrededor de un 55% en relación con una viga monolítica [5].

A.A. Koyankin, V.I. Beletskaya, A.I. Guzhevskaya en el 2014, realizaron un estudio experimental donde determinaron la incidencia de juntas de construcción en vigas de hormigón armado con y sin tratamiento, además la comparación del comportamiento con vigas monolíticas. Para el desarrollo de esta investigación se realizaron ocho vigas de secciones rectangular con dimensiones de 8x16x120cm, se clasificaron en cuatro tipos, dos por cada uno de los tipos. El tipo 1 fueron monolíticas, tipo 2 se usó una malla metálica para hacer la simulación de la junta, tipo 3 se realizó una limpieza, formándose una junta fría lisa y finalmente tipo 4 donde no se realizó dicha limpieza. Los autores concluyen que, la rigidez y la resistencia de las vigas con presencia de juntas frías es menor que las vigas monolíticas, además la capacidad de carga es menor. [6]

Valder Rodriguez Luis Fernando, en el 2016, realizó una investigación experimental sobre el estudio del vaciado en dos etapas para evaluar la adherencia que hay entre la unión del

concreto viejo y el concreto nuevo en vigas sometidas a flexión. Para la realización de esta investigación se vaciaron los moldes hasta un tercio de la luz de la viga con un ángulo de 45° de inclinación de la junta, para el proceso de adherencia. Pasados 28 días del proceso de curado, alcanzando su resistencia máxima, se aplicaron tres tipos de aditivos diferentes para continuar con el tercio faltante de los moldes, dejando secar por otros 28 días para finalmente fallar las vigas a flexión. Los aditivos que se usaron como puente de adherencia entre estos dos tipos de concreto fueron Colma Fix 32, Sikadur 32 Gel, Leche de cemento. Además de esto se realizó una comparación entre las vigas con los diferentes tipos de aditivos y las vigas monolíticas, las cuales fueron falladas a flexión. Concluyendo que las juntas que fueron tratadas fallaron por el centro del tercio medio de la viga de manera vertical o por el apoyo donde inicia la inclinación de la junta, por otro lado, las vigas sin tratamiento en la junta fallaron de manera inclinada, justamente por donde pasa la junta de construcción. [7]

En trabajo de grado de Jhony Alexander Gómez Zapata, en el 2016, realiza un análisis del comportamiento de una junta fría a 90° existente entre el concreto fraguado y plástico con un diseño de mezcla de 21 Mpa variando la edad y usando la resina epóxica Epotoc 1-1 de Toxement como puente de adherencia entre estos dos tipos de concreto. Concluyendo que la resistencia en especímenes fallados a los 7 días con presencia de juntas frías tratadas con resina epóxica dio un promedio de 3 MPa y la resistencia en especímenes fallados a los 28 días se duplico referente a la resistencia a 7 días, dando un valor de 6 MPa. El tipo de falla en ambos casos se dio en la junta de construcción o muy cerca de ella. [8]

En la tesis de Cluber M. Fustamante en el 2018, se encuentra el efecto que tiene la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de concreto armado. Para la ejecución de este proyecto se realizaron cuatro tipos diferentes de vigas, tipo 1 son monolíticas, tipo 2 la ubicación del puente de adherencia es en su eje neutro, tipo 3 se encuentra por debajo del eje neutro y el tipo cuatro está por encima del eje neutro. El resultado que obtuvo el autor de esta tesis es un aumento del 8% en la resistencia a flexión y un aumento del 5.12% en la ductilidad de las vigas tipo dos, donde la ubicación del puente de adherente se encuentra en el eje neutro, mientras que para el resto de las vigas disminuyeron considerablemente. [9]

En el artículo investigativo, escrito por Fatimah Hameed Naser Al-Mamoori, Ali Hameed Naser Al-Mamoori en el 2018, se hizo un estudio acerca del comportamiento del corte y flexión de vigas en concreto con alta resistencia de juntas frías con diferente textura (lisas y rugosas) y diferente orientación (verticales y horizontales), las cuales eran producidas al momento de fundir en un clima cálido, utilizando diferentes porcentajes melaza de azúcar (0, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.3%) de acuerdo al peso y con alto contenido del cemento, con el fin de aumentar y retardar el tiempo de fraguado. Para la ejecución de este de proyecto investigativo se realizaron 24 vigas de 11x11x65cm, los autores tuvieron como resultado

una mejora de la resistencia a compresión un 11.2%, con un porcentaje de melaza de azúcar del 0.2% a los 28 días, con un retraso de tiempo de fraguado de 4 horas y medias, además el contenido de melaza reduce la formación de juntas frías en climas cálidos. En el momento de falla las vigas con presencia de juntas frías lisas verticales presentan fallas con cargas promedio de 2,04 a diferencia de las vigas con presencia de juntas frías rugosas verticales su promedio de carga de falla es de un 1,42. [10]

En la investigación realizada por Gayan Buddhika Illangakoon, Shingo Asamoto, Anura Nanayakkara, Lam Nguyen Trong, en el 2019, se identificaron cuáles eran los efectos de la temperatura ambiental en la formación de juntas de construcción verticales ubicadas en el tercio medio de la viga de hormigón y su relación con la resistencia a la penetración en vigas de hormigón. Para el desarrollo de esta investigación, se realizó una viga con presencia de junta de construcción vertical, la cual fue ubicada al tercio medio de la viga, dicha junta no tiene ningún tratamiento, se evaluó su resistencia a flexión en temperaturas que oscilan entre los 25°C y los 45°C. Los autores pudieron concluir, que la resistencia a flexión de la viga de hormigón es totalmente independiente de la temperatura ambiente al fallar la viga, falla por la formación de la junta. [11]

Fernando Israel Olmedo Zazo, Luis Carrillo Alonso, Juozas Valivonis e Inmaculada Martínez Pérez, en el 2019, realizaron un estudio de las vigas con multicapas de hormigón de diferentes dosificaciones, dividiendo las capas de acuerdo con la capacidad de carga del hormigón, en las capas externas estarían los hormigones con mayor capacidad de carga, en el centro hormigones más ligeros y resistentes, por medio de ensayos de rotura determinar el comportamiento de estas. Para la ejecución de este proyecto se realizaron 4 vigas con dimensiones de 15x30x300 cm multicapas y reforzadas, dividiéndose en dos tipos de vigas continuas y dos escalonadas, las cuales se fundieron en dos tipos de capas, externas de 5cm e internas de 20 cm, con barras de 14mm y 6mm, además dejando una semana entre el vertido de concreto. Las vigas fueron sometidas a flexión con dos cargas iguales aplicadas en el tercio medio de la luz, las edades del concreto de estas vigas fueron de 28 y 45 días y así determinar el comportamiento respecto a su edad. Se obtuvieron resultados desiguales para las vigas continuas, la capa de concreto superior mostró resistencia de 35 MPa y la capa inferior de 45 MPa, en cambio, la capa central no alcanza a llegar a los 6 MPa de resistencia. Por otro lado, las vigas escalonadas presentaron valores más semejantes de 25 MPa en las capas externas y 20 MPa en la capa central. [12]

Morales L. Sebastián J. y Páez C. Diana P. en el 2019 realizaron una tesis de grado evaluando el efecto del adhesivo epóxico EPOTOC 1-1 como tratamiento para juntas frías lisas en cilindros de concreto simple en edades de 7, 14, 28 días, planos de falla de 0°, 45°, 90° y con tiempos de formación de junta de 4, 6, 8 horas, fallando un total de 216 especímenes compresión dando como resultado un aumento del 20% y 22% para juntas con inclinación de 90° y 45° respectivamente con base a estos cilindros, pero sin tratamiento epóxico. [1]

6. MARCO TEÓRICO

El planeta está constantemente en crecimiento y desarrollo, esto es gracias a la construcción de edificios, puentes, vías, casas, entre otros proyectos civiles que permiten una mejor calidad de vida humana. El hombre ha buscado diversas maneras de mejorar su calidad de vida usando su ingenio y elementos de la naturaleza, esta necesidad lo ha llevado a buscar y mejorar la materia constructiva con el fin de que sea más cómoda, más reconfortarle, económica, amigable con el medio ambiente, más resistente y con mayores adelantos tecnológicos posibles. [13] Pero ¿qué son los materiales de construcción? Son aquellos materiales usados para las labores de construcción que tiene un proyecto de obra civil, estos materiales generalmente están compuestos de materia prima tratada, son productos manufacturados o se encuentran en estado semi – bruto. [13] En el momento de escoger el material más adecuado para la construcción de los diferentes proyectos ingenieriles es importante tener presente las siguientes características presentadas en la Tabla 1. [13]

Tabla 1 Características del material para construcción

CARACTERÍSTICAS	DEFINICIÓN
Densidad	Relación, masa y volumen [13]
Higroscopicidad	Capacidad de absorber el agua [13]
Coefficiente de dilatación	Capacidad de extender y contraer el tamaño de la materia de acuerdo con la temperatura [13]
Conductividad térmica	Capacidad de transmitir el calor [13]
Conductividad eléctrica	Capacidad de transmitir electricidad [13]
Resistencia mecánica	Capacidad de soportar cargas sin deformarse o fracturarse. [13]
Elasticidad	Capacidad de recuperar su forma original después que cese el esfuerzo de deformación. [13]
Plasticidad	Capacidad de deformarse y no fracturarse frente a un esfuerzo aplicado por un tiempo determinado [13]
Rigidez	Capacidad de mantener su forma [13]
Fragilidad	La materia se fractura no se deforma [13]
Resistencia a la corrosión	Capacidad de soportar la corrosión sin quebrarse o desintegrarse [13]

Fuente: Elaboración propia.

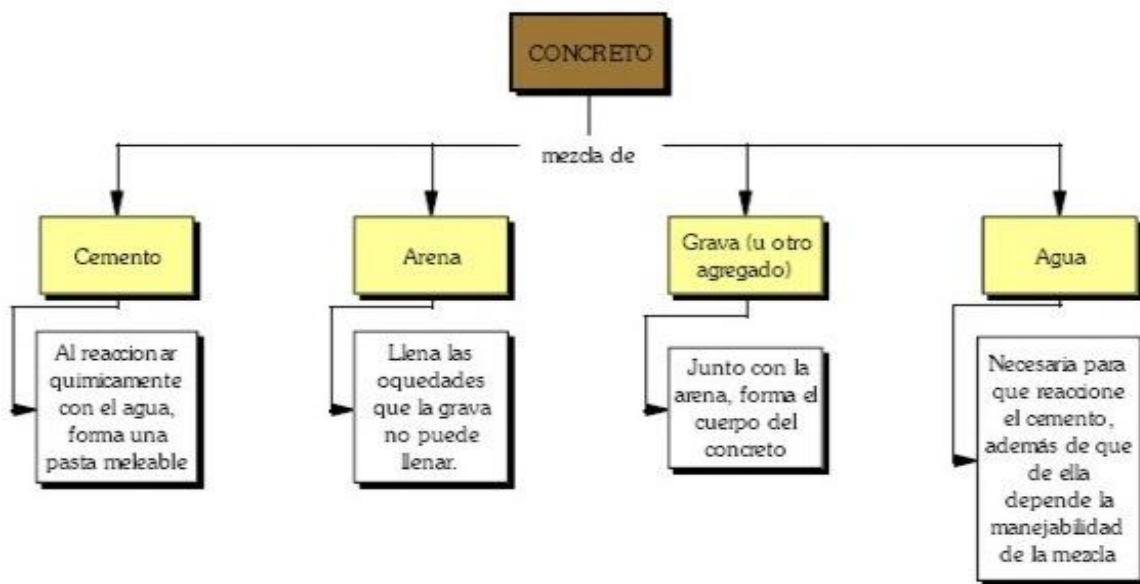
Entre los diversos materiales trabajados y conocidos en la industria de la construcción, el más usado es el concreto por sus diversas características y comportamiento mecánico brindando una mayor resistencia, comodidad y seguridad en las edificaciones o diferentes proyectos ingenieriles que pueden estar hechos de este material.

6.1. CONCRETO SIMPLE

El concreto simple es una mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino, aire y agua, la cual se endurece en un tiempo determinado y produce cierta reacción tal cual como se explica en la Ilustración 1. Esta mezcla es la más usada debido a su buen comportamiento resistente a las diferentes cargas que pueden aplicarse a un elemento compuesto de concreto simple.

El agua y el cemento son los elementos activos del concreto simple los cuales reaccionan químicamente permitiendo la unión de los agregados para formar una pasta sólida y homogénea. [14]

Ilustración 1 Componentes del concreto simple



Fuente: Tomada de «De Arkitectura,» 2014. [En línea]. Available: <http://dearkitectura.blogspot.com/2012/06/propiedades-del-concreto.html>.

6.2. FASES DEL CONCRETO SIMPLE

El concreto simple maneja tres fases importantes, cada uno de ellos tiene diversas características, estas fases son:

- Fase 1: Fresco
En la fase, el concreto simple tiene un aspecto parecido a una masa blanda. Las propiedades más relevantes de este estado son su buena trabajabilidad y cohesión (ver Ilustración 2-a). [15]

- Fase 2: Fraguado
El concreto simple empieza a adquirir rigidez, la fase de fraguado se da durante la compactación y durante el acabado del elemento (ver Ilustración 2-b). [15]
- Fase 3: Endurecido
Finalmente, el concreto simple fraguado empieza a endurecerse y adquirir una mayor resistencia. Las propiedades más relevantes de esta fase son resistencia y durabilidad (ver Ilustración 2-c). [15]

Las cuatro propiedades principales del concreto simple son: trabajabilidad, cohesión, resistencia y durabilidad. [16]

Ilustración 2 Fases del concreto



a) Fresco

b) Fraguado

c) Endurecido

Fuente: Tomada de C, Vargas, (2015), "Civilgeeks.com". [Internet]. Disponible en <https://civilgeeks.com/2015/04/19/concreto-una-breve-exploracion/>

6.3. LAS JUNTAS EN LOS ELEMENTOS DE CONCRETO

Las juntas son planos de falla lisos o irregulares en el concreto que pueden darse de manera previamente planificadas conocidas como juntas de construcción, las cuales se realizan con el fin de brindar una mayor flexibilidad, facilidad de movimiento o transferir cargas en una estructura rígida evitando que esta falle cuando se exponga a movimientos horizontales, estas se realizan usando moldes, herramientas o formadores de juntas. También pueden presentarse de manera imprevista, conocidas como juntas frías, las cuales aparecen cuando se interrumpe el procedimiento de fundición produciendo dos tipos de concreto con diferentes resistencias, esta interrupción puede darse por factores que no pueden controlarse fácilmente tal como condiciones climáticas desfavorables, fallas o mal manejo en los equipos, retraso del concreto premezclado, etc. [17]

6.3.1. Clasificación de juntas en elementos de concreto

Existen tres diferentes tipos de juntas en el concreto, las cuales tienen sus particularidades y funciones específicas, las cuales son:

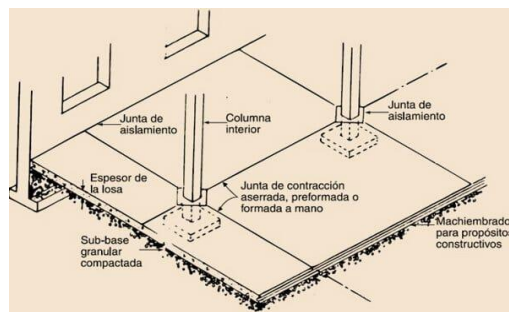
- **Juntas de contracción**

Son aquellas diseñadas para crear planos débiles en el concreto con el fin de regular la ubicación de estos planos que pueden formarse por la contracción del concreto, es decir, cambios dimensionales. Generalmente estas juntas son usadas en pavimentos, techos, muros y pisos (ver Ilustración 3). [18]

- **Juntas de aislamiento**

Son aquellas que aíslan las losas de concreto de otros elementos de la estructura (cimientos, paredes y columnas) las cuales ayudan a la disminución de los planos de falla, y permiten los movimientos independientes (horizontales y/o verticales) entre las partes de la estructura (ver Ilustración 3). [19]

Ilustración 3 Juntas de aislamiento y contracción



Fuente: Tomada de J. E. M. Alzamora, «CivilGeeks.com Ingeniería Construcción,» marzo 2012. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

- **Juntas de construcción**

Son aquellas que se forman por el vaciado de dos concretos de manera sucesiva. Esta junta es una superficie plana, generalmente se realizan al final de la jornada laboral pero también se realiza cuando es necesario suspender el proceso de fundición del concreto, la ubicación de estas juntas debe ser planificadas ya que se desea mantener la adherencia y continuidad entre los dos concretos (Ver Ilustración 4). [19]

Ilustración 4 Junta de Construcción



Fuente: Tomada de J. E. M. Alzamora, «CivilGeeks.com Ingeniería Construcción,» marzo 2012. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

6.3.2. Juntas frías

Son aquellas que generalmente se forman por circunstancias o imprevistos en obra tales como fallas en los equipos, malas condiciones climáticas, retraso de la llegada de materiales y/o desperdicio, los cuales no están dentro del cronograma de actividades provocando la alteración de los tiempos de mezclado y fraguado presentándose una discontinuidad en el elemento de concreto provocando la disminución de su resistencia y por lo consiguiente puede afectar de manera considerable la estructura compuesta por este elemento. [17] Ver Ilustración 5.

Ilustración 5 Sellado de junta fría en concreto



Fuente: Tomada de «Imrepol SL Waterproofing Solutions».[En línea]. Available: <http://www.imrepol.com/Sellado-de-juntas-en-muro-encofrado.html>

Existe una gran posibilidad que los elementos cuando sean sometidos a una carga específica puedan fallar por dicha unión ya que es la zona de concentración de esfuerzos, es decir, el punto crítico del elemento es por esto por lo que se debe realizar un puente de adherencia entre el concreto viejo con el concreto nuevo que permita la unión entre los diferentes tipos de concreto y mitigar los esfuerzos en esa zona. [3]

- **Efectos y consecuencias de las juntas frías en la construcción**

Las juntas frías son causadas por la discontinuidad de un elemento de concreto, es decir por la interrupción en el proceso de vaciado formando dos tipos de concreto de diferentes características. Estas juntas surgen de manera imprevista debido a que no son contempladas en el diseño de la estructura de concreto y en la ejecución de esta.

Las juntas frías pueden ser causadas por fallos de último momento en los equipos empleados en el momento de vaciado del concreto, por situaciones climáticas, por retraso de actividades, pérdida de material entre otras circunstancias que hacen que deba interrumpirse de manera drástica el proceso de fundición del elemento estructural.

Este tipo de junta además de brindar una mala adherencia entre los dos tipos de concreto debilita y disminuye la resistencia del elemento, dado que es importante realizar medidas correctivas para evitar esta afectación.

Las juntas frías es una problemática común en el ámbito constructivo, dado que es necesario contemplar soluciones alternativas en caso de que lleguen a presentarse y así evitar afectaciones mayores en la estructura.

Para evitar la presencia o aparición de junta frías en elementos estructurales de concreto es importante realizar una planificación cuidadosa y uniforme del vaciado de concreto, tener presente los tiempos de fraguado en el concreto, realizar un monitoreo constante.

6.3.3. Tratamiento para juntas frías

La función de cualquier tratamiento para juntas frías es proporcionar la continuidad estructural del elemento hecho en concreto con el fin de mantener su resistencia y evitar cualquier tipo de falla que pueda presentarse en dicha unión. [20] Existen diferentes tipos de adhesivos tales como:

- **Lechada de adherencia con estabilizadores de volumen**

Tiene como función ser un puente de adherencia, los estabilizadores de volumen pueden ser metálicos (constituidos por limaduras de hierro) o no metálicos (constituidos por una mezcla de super fluidizante, arena de sílice y cemento) estos estabilizadores tienen el control sobre la contracción de la lechada y ayudan a la rápida formación de microcristales los cuales cuentan con una alta resistencia y ayudan a la continuidad entre el concreto antiguo y nuevo sin afectar de manera negativa las características de estos dos tipos de concreto. [20]

- **Adhesivos**

Gracias al desarrollo tecnológico en el transcurso de los años, han surgido componentes que pueden mejorar las características del concreto, tal como los adhesivos los cuales se pueden encontrar una gran cantidad de productos en el mercado. Estos productos se adicionan en pequeñas cantidades al concreto, generalmente, están compuestos de polímeros orgánicos, una de las funciones principales de los adhesivos es unir dos o más partes de un elemento estructural.

6.3.4. RESINAS

Hay dos tipos de resinas, las cuales pueden ser naturales o sintéticas, en el ámbito constructivo las resinas que se usan son las sintéticas, las cuales se pueden definir como sustancias solidas obtenidas por diversas reacciones químicas de materias primas de diferentes tipos de resinas tales como (epóxico, poliéster, acrílicos, poliuretano, polietileno). Generalmente son utilizadas para la reparación de grietas, reemplazar o arreglar pequeñas cantidades de concreto dañado, unir dos tipos de concreto de diferentes edades. [1]

- **Resinas Epóxicas**

En diferentes partes del mundo en el ámbito constructivo ha existido la necesidad de poder solucionar el problema de la aparición de juntas frías y su gran afectación en los elementos de una construcción de concreto, estos productos químicos deben tener un manejo adecuado desde el transporte, el almacenamiento y la aplicación. Hoy día se han desarrollado diferentes tecnologías tales como productos químicos compuestos por resinas epóxicas las cuales tienen como objetivo minimizar significativamente los inconvenientes constructivos que puedan presentarse en el momento que aparece la junta fría.

Las resinas epóxicas tienen dos componentes que son: un agente curador de amina o poliamida y diluyentes reactivos libres de solventes. Estos adhesivos son comúnmente usados ya que cuentan con excelentes propiedades de adherencia entre dos diferentes tipos de concreto debido a su baja contracción del curado. Estas resinas tienen ventajas como: optima adherencia y humectación, tiene buena resistencia mecánica, resistencia a temperaturas elevadas, resistencia a la humedad, resistente a ataques corrosivos. [21]

Entre los adhesivos más comunes en Colombia se encuentra el SIKADUR® 32 Primer de SIKA y el Epotoc 1-1 de Toxement (Ver Ilustración 6), estos epóxicos cuenta con excelentes características y funciones que ayudan a unificar dos concretos de diferentes edades sin que los elemento puedan llegar a tener alguna alteración en sus particularidades o que en el momento de aplicarse la carga pueda fallar por el

punto de adherencia de estos dos concretos más conocido como junta de construcción o junta fría

Ilustración 6 SIKADUR® 32 Primer y Epotoc 1-1



Fuente: Tomado de <https://sucasamateriales.com/Inicio/producto/sikadur-32-primer/> y <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/39759/epotoc-1-1-1-kilo>.

Para el presente proyecto de investigación se usó el SIKADUR® 32 Primer como tratamiento en las juntas frías, además que cuenta con diferentes ventajas, como: resistente a la humedad, barrera de vapor, sin disolventes, excelente resistencia mecánica, se adhiere con facilidad a superficies húmedas.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el adhesivo epóxico tiene un tiempo de espera para fundir el otro concreto que depende de la temperatura y de su secado si es rápido o lento. Para este caso, se usará el SIKADUR® 32 Primer que es de secado rápido con un total de tiempo estimado de 3 horas a 20°C de temperatura, al pasar este tiempo es necesario adicionar otra capa de epóxico encima de la primera o si varía la temperatura, también cambia el tiempo de secado [22]. Para este proyecto se crearán juntas frías lisas tratadas con resina epóxica a diferentes edades del concreto simple parcialmente endurecido y diferentes tiempos de formación de junta teniendo en cuenta planos de falla inclinado a 45° y verticales ubicados en el tercio medio de la luz de la viga.

6.4. ENSAYO DE LA RESISTENCIA A FLEXION O MODULO DE ROTURA EN CONCRETO

La resistencia a flexión se define como la capacidad que tiene un material para resistir cargas aplicadas en su eje longitudinal de forma perpendicular, estas cargas se aplican de manera constante hasta el punto de rotura. Este ensayo es de gran importancia porque permite conocer las propiedades de material y su comportamiento en las diferentes circunstancias que pueden presentarse [23]. Para la ejecución de este ensayo es importante tener presente lo especificado en la NTC 2871, la cual indica el procedimiento a realizar y las fórmulas que deben aplicarse según la ubicación de la fractura que pueda presentarse en la superficie del espécimen al momento de fallarlos. [24].

Ecuación 1 Resistencia a la flexión, Modulo de rotura (en el tercio medio).

$$f'r = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

- $f'r$ = módulo de rotura (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- L = distancia entre apoyos (mm)
- b = ancho promedio (mm)
- d = altura promedio (mm)

Ecuación 2 Resistencia a la flexión, Modulo de rotura (fuera del tercio medio).

$$f'r = \frac{3 * P * a}{b * d^2}$$

Donde:

- $f'r$ = módulo de rotura (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- b = ancho promedio (mm)
- d = altura promedio (mm)
- a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de la viga sometida a tensión (mm)

6.5. ENSAYO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION EN CONCRETO

La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene un concreto para resistir una carga por unidad del área del espécimen a evaluar. Este ensayo se hace normalmente en probetas cilíndricas, además es la característica mecánica principal del concreto [25]. Los resultados obtenidos por este ensayo son de gran importancia porque sirven como control de calidad y cumplimiento de resistencia requerida. [26] Para la ejecución de este ensayo es necesario tener presente lo estipulado por la NTC 67, esta norma indica el procedimiento que se debe realizar y las fórmulas que permiten hallar la resistencia a compresión. [27]

Ecuación 3 Resistencia a la compresión

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- $f'c$ = esfuerzo de compresión (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- A = área de la sección (mm²)

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este proyecto de grado, se tomó como referencia el artículo investigativo de Camille A. Issa, Nagib N. Gerges, Samer Fawaz; titulada: “The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture” [5], en español “El efecto de las juntas de construcción verticales de hormigón en el módulo de rotura” porque en ese artículo se evidencia la gran incidencia que hay en la resistencia cuando se presentan juntas frías, por lo tanto, esta tesis quiere complementar esto mirando como se puede mitigar o contrarrestar el problema mediante el uso de resinas epóxicas. Además, este proyecto es complemento y continuación de la tesis de S. J Morales Lizarazo y D.P Páez Contreras; titulado: “Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concretos con presencia de juntas frías a diferentes ángulos de inclinación” [1].

A continuación, se especifica el procedimiento realizado para la elaboración, preparación y ejecución de ensayos correspondientes para las 108 vigas de concreto simple de acuerdo a lo estipulado por las normas NTC 2871 [24] y ASTM C78 [28]. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión o módulo de rotura del concreto utilizando una viga simple con carga en los tercios medios y NTC 673/ASTM C39 ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Para el ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura de especímenes curados en cuarto de curado, se realizan sobre vigas de concreto simple con medidas de 0,15 m de altura, 0,15 m de base y 0,53 m de acuerdo con lo estipulado en la norma NTC 1377 [29]. Para la ejecución del ensayo a la flexión o módulo de rotura se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos por la NTC 2871 [24]. Además, se tienen en cuenta los lineamientos dados por el ACI (*American Concrete Institute*) Capítulo 9 – VIGAS donde “las vigas de elementos compuestos de concreto constituidos en etapas diferentes, pero interconectadas de manera que respondan a las cargas como una sola unidad” Así mismo, en la sección 9.5.2.3 del ACI (*American Concrete Institute*) donde suministra una ecuación relacionando $f'c$ y fr para vigas monolíticas $fr = 0,62\sqrt{f'c}$, [30] como también, la NSR-10 (*Norma Sismo Resistente*) Título C – sección 9.5.2.3 la Ecuación $fr = 0.62\lambda\sqrt{f'c}$. [31]. También se tiene en cuenta lo suministrado por la norma NTC - 673 (*Resistencia a la compresión de cilindros de concreto*) con el fin de conocer la resistencia a la compresión ($f'c$). [27]

El ensayo se llevó a cabo para un total de 108 vigas de concreto simple, distribuidos de la siguiente manera:

- 36 vigas de concreto simple con presencia de junta fría lisa con distintas inclinaciones y uso de resina epóxica como puente de adherencia (Sikadur 32 Primer).

- 36 vigas de concreto simple con presencia de junta fría lisa con distintas inclinaciones sin tratamiento con resina epóxica.
- 36 vigas monolíticas de concreto simple de referencia (vigas sin junta fría)
- 36 cilindros de concreto por cada mezcla preparada en las diferentes edades (7, 14 y 28 días) en los distintos tiempos de formación de juntas (4, 6 y 8 horas) para realizar el ensayo a la compresión de cada mezcla.

Esta distribución puede observarse de una manera más clara y concisa en las siguientes tablas. (Ver Tabla 2, 3, 4 y 5).

Tabla 2 Cuadro resumen vigas con junta vertical

JUNTAS VERTICALES				
FORMACION DE JUNTA (HORAS)		EDADES (DIAS)		
		7	14	28
SIN EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*
CON EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*
TOTALES PARCIALES		12	12	12
TOTAL		36		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 Cuadro resumen vigas con junta inclinada

JUNTAS INCLINADAS 45°				
FORMACION DE JUNTA (HORAS)		EDADES (DIAS)		
		7	14	28
SIN EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*
CON EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*
TOTALES PARCIALES		12	12	12
TOTAL		36		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Cuadro resumen vigas monolíticas

MONOLITICAS				
TESTIGOS FORMACION DE JUNTA (HORAS)		EIDADES (DIAS)		
		7	14	28
SIN EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*
CON EPOXICO	4	2	2	2
	6	2	2	2
	8	2	2	2*

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 Cuadro resumen cilindros

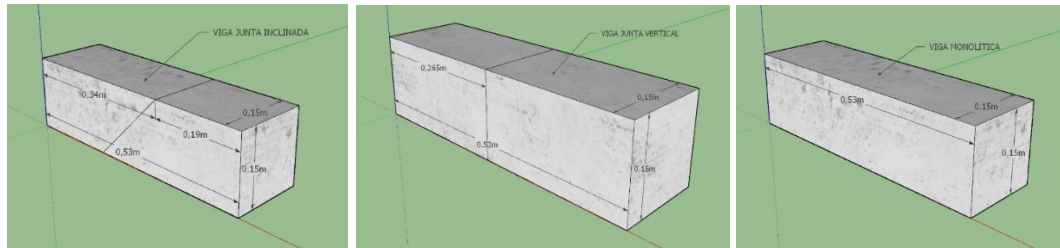
FORMACION JUNTA (HORAS)	CANTIDAD CILINDROS			TOTAL
	EIDADES (DÍAS)			
	7	14	28	
4	4	4	4	36
6	4	4	4	
8	4	4	4*	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los datos señalados con un asterisco (*) en las tablas anteriores (Ver Tabla 2, 3, 4 y 5) no se les realizó el ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura para las vigas y el ensayo a la compresión para los cilindros, debido a un caso fortuito por la pandemia que se presentó días antes de la fecha planeada para fallar los especímenes. Por lo tanto, no se mostrarán los resultados de resistencia correspondiente para vigas de 28 días de edad y 8 horas de formación de junta.

Las juntas frías se realizaron en un tiempo comprendido de 4, 6 y 8 horas, para esto se usaron moldes en madera impermeabilizados teniendo en cuenta la orientación de las juntas (verticales 90° e inclinadas 45°) además de brindar un aspecto plano y liso. Se hicieron ensayos a la flexión para cada uno de los especímenes anteriormente mencionadas en las diferentes edades del concreto 7, 14 y 28 días, con el fin de evaluar su resistencia y el efecto que tiene la presencia de juntas frías con y sin tratamiento de resina epóxica. Ver ilustración 7 y 8. Tipos de juntas frías en vigas y cilindro testigo respectivamente.

Ilustración 7 Tipos de vigas



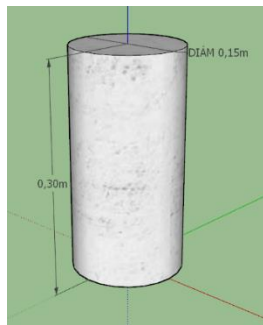
a) Inclínada 45°

b) Vertical 90°

c) Monolítica

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8 Cilindro testigo



Fuente: Elaboración propia.

7.1. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Conforme a lo estipulado por la normatividad, fueron necesarios los siguientes materiales para el diseño de los 108 especímenes. Ver Ilustración 9.

Ilustración 9 Materiales



Fuente: Propia.

7.1.1. Cemento

Se usó cemento portland tipo 1 marca CEMEX. Este cemento cumple con todas las especificaciones establecidas por la norma NTC 30 Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura [32]. Como también, la PCA (*Portland Cement Association*) Diseño y control de mezclas de concreto Portland [33].

7.1.2. Agua

Es la cantidad de agua necesaria por volumen unitario de concreto con el fin de lograr una hidratación en las partículas del cemento para obtener una pasta manejable, cumpliendo con los lineamientos dados por la NTC 3459 [34].

7.1.3. Agregados

Son todos los materiales inertes y granulares, que al mezclarse junto con el agua y cemento se convierte en una mezcla maciza y consistente más conocida como el concreto, siguiendo los parámetros estipulados por la NTC 174 [35]

7.1.4. Moldes y herramientas

Para la correcta fabricación de los especímenes de concreto simple, es necesario el uso de equipos y herramientas que cumplan con la normatividad establecida. Ver Ilustración 10.

- **Moldes de madera impermeabilizados**

Para la formación de las juntas frías inclinadas 45° y verticales 90°, se usaron moldes de madera de 15cmx15cm con un espesor de 8mm, los cuales fueron impermeabilizados con la aplicación de un acrílico en la superficie que tendría contacto con la primera mitad del elemento de concreto, con el fin de evitar la absorción del agua y disminución de su resistencia.

- **Moldes para vigas**

Son moldes rígidos con dimensiones de 15x15x53 cm, de acero inoxidable el cual es un material resistente, no absorbente, impermeable y no tiene ningún producto que pueda alterar la composición del concreto.

- **Moldes cilíndricos**

Estos moldes al igual que los de las vigas son de acero inoxidable y cumplen con las mismas condiciones y características. Sus dimensiones son de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

- **Herramienta menor**

Balanza eléctrica, palas de albañilería, llanas o palustres, carretilla, baldes y varilla apisonadora, varilla compactadora de apisonado, plancha de albañilería y martillo de goma.

Ilustración 10 Moldes y Herramientas



Fuente: Elaboración propia.

7.2. CARACTERÍSTICAS DEL ADHESIVO SIKADUR® 32 PRIMER

Siguiendo los lineamientos presentados en la ficha técnica del producto, estas son las recomendaciones que se tuvieron en cuenta en el momento del uso y aplicación del producto.

7.2.1. Descripción

Sikadur® 32 Primer, es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes. Garantiza una pega perfecta entre concreto fresco y concreto endurecido. Cumple con la norma ASTM C-881-90, tipo II, Grado 2, clase B y C.

7.2.2. Usos

Sikadur® 32 Primer es un producto recomendado de uso exclusivo para adherir concreto fresco con concreto endurecido.

- Elemento de adherencia entre el concreto fresco a concreto endurecido.
- Como imprimante de alta adherencia para recubrimientos epóxicos sobre superficies de concreto absorbentes, húmedas o metálicas secas.
- Como ayuda a la adherencia de un mortero o concreto nuevo a un sustrato de concreto para lograr una pega permanente que no sea afectada, en condiciones de servicio, por la humedad o agentes agresores.

7.2.3. Ventajas

- Excelente adherencia a superficies húmedas.
- Fácil de aplicar.
- Alta resistencia mecánica.
- Insensible a la humedad.

7.2.4. Rendimiento

Su rendimiento es entre 400 a 600 g/m², este valor es dependiendo de la rugosidad de la superficie, es importante tener en cuenta la temperatura ambiente en el cual se encuentra. Posteriormente de revisar todas las condiciones y que se encuentren en óptimo estado se procede con la aplicación del producto de acuerdo con lo estipulado en su ficha técnica. [22]

7.3. ELABORACIÓN DE ENSAYO EXPERIMENTAL

Las probetas usadas para el desarrollo de este proyecto cumplen con las especificaciones suministradas por la norma NTC 1377 [29].

7.3.1. Preparativo de moldes

Se revisa que todos los moldes que serán utilizados para la ejecución de los ensayos que corresponden al desarrollo de este proyecto se encuentren libres de cualquier residuo y que estén correctamente armadas, evitando cualquier espacio que pueda quedar entre la unión de las solapas de la formaleta para que la mezcla de concreto no se salga. Posteriormente se lubrica la parte interna de la formaleta con ACPM para facilitar el proceso de desencofrado de la probeta.

7.3.2. Preparativo de especímenes

Antes de realizar la fabricación de los especímenes, se hizo un diseño de mezcla especificado en el capítulo 10, donde se muestra la cantidad de material necesario para la ejecución de cada espécimen.

7.3.3. Método de vaciado y compactación de vigas en concreto simple

Para obtener una mezcla homogénea de concreto, fue necesario utilizar una mezcladora o trompo mezclador, añadiendo los agregados gruesos y finos junto con el agua se inicia la rotación del trompo mezclador con duración de aproximadamente un minuto. Posteriormente se agrega poco a poco el cemento a la mezcla anterior, dejando un tiempo estimado de rotación entre 3 y 5 minutos hasta que se observe una mezcla homogénea entre los cuatro materiales anteriormente mencionados. Finalmente se vierte la mezcla en la plancha de albañilería con el fin de esparcir de una manera más uniforme la mezcla con la ayuda de un palustre o pala de construcción. Después de obtener la mezcla homogénea de concreto, se procede a realizar el ensayo de Cono de Abrams para determinar el

asentamiento del concreto, este procedimiento se hizo teniendo en cuenta los lineamientos dados por la NTC 396 [36]

7.3.4. Fabricación de vigas

Posteriormente de tener una mezcla homogénea de concreto en la plancha de albañilería, se procede a verter en los moldes, esto se realizó en dos jornadas de fundición, en la mañana la primera mitad de la formaleta de los especímenes para las vigas y en la tarde la segunda mitad de la formaleta teniendo en cuenta el tiempo estipulado de formación de juntas frías entre los dos tipos de concreto.

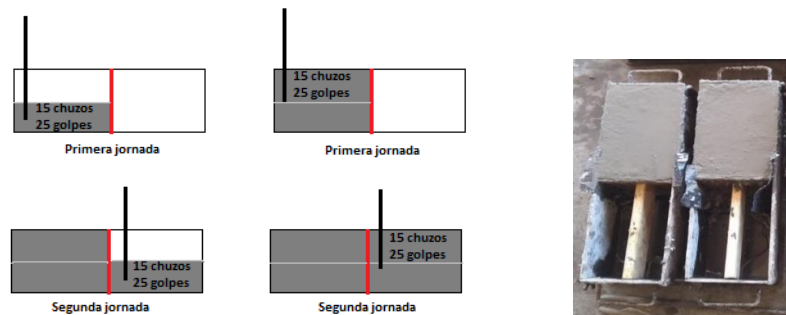
Este procedimiento se realizó siguiendo los lineamientos dados por la Norma NTC 1377 [29].

7.3.5. Moldeado de vigas

La mezcla homogénea de concreto fue vertida en las formaletas metálicas, en dos capas de igual proporción de cantidad de mezcla y altura, tanto para las vigas monolíticas como para las vigas que tendrían presencia de juntas frías, las cuales fueron verticales (90°) e inclinadas (45°). El proceso de vertimiento consto de dos partes o dos jornadas, teniendo presente el tiempo de formación de juntas, se inició vertiendo la primera parte de concreto hasta la mitad de la formaleta ya que ahí se formaría la junta fría o la unión con el otro concreto, para esto fue necesario usar un molde de madera el cual variaba de acuerdo a su orientación, después de finalizar la primera parte de vertimiento del concreto se esperó el tiempo estipulado para la formación de las juntas que eran entre 4, 6 y 8 horas para continuar con el proceso de fundición.

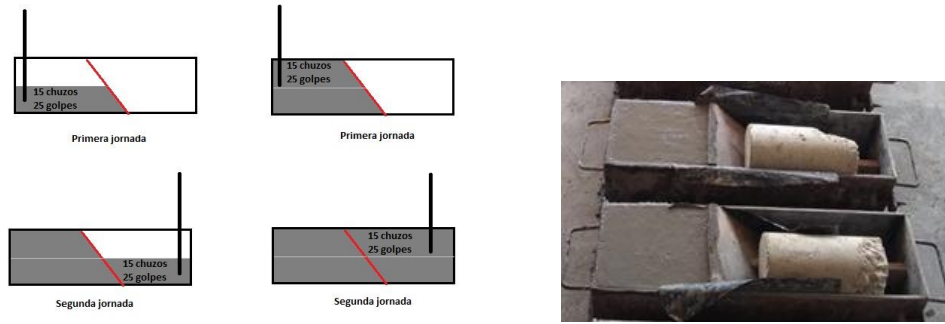
La cantidad de vigas por día de fundición fueron de doce, cuatro vigas monolíticas como testigos, ocho vigas con presencia de juntas frías verticales e inclinadas, las cuales 4 vigas de ellas fueron tratadas con resina epóxica. Ver Ilustración 11, 12 y 13.

Ilustración 11 Moldeado de vigas con presencia de junta fría vertical 90°



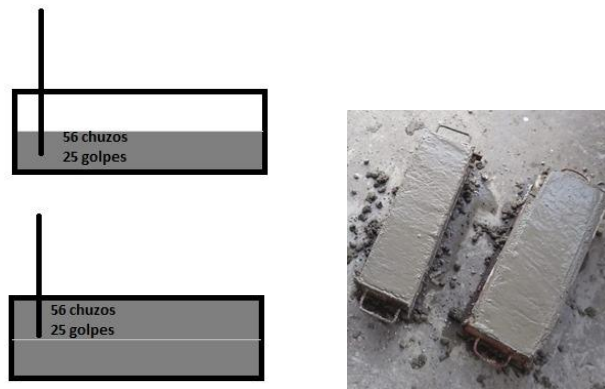
Fuente: Propia.

Ilustración 12 Moldeado de vigas con presencia de junta fría inclinada 45°



Fuente: Propia.

Ilustración 13 Moldeado de vigas monolíticas

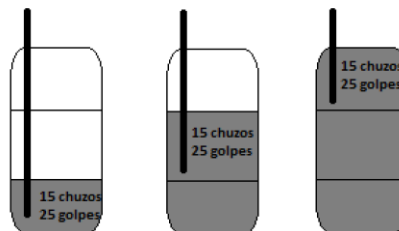


Fuente: Propia.

7.3.6. Moldeado de cilindros

Se utilizaron cuatro cilindros por día de fundición, vertiendo la mezcla homogénea de concreto en tres capas de igual proporción. Con el propósito de realizar ensayos a compresión. Ver Ilustración 14.

Ilustración 14 Moldeado de cilindros



Fuente: Propia.

7.3.7. Fundición y compactación de especímenes

Durante el proceso de vertimiento del concreto, se realizó una distribución uniforme de la mezcla llenando todos los espacios de la formaleta, seguidamente se compactó la mezcla introduciendo 25 veces la varilla apisonadora por cada capa de concreto, teniendo en cuenta que la varilla no excediera su espesor evitando cualquier alteración en la anterior capa previamente compactada. Finalmente, con ayuda del mazo de goma se golpeó 15 veces en los laterales de la formaleta eliminando los vacíos de aire y distribuyendo completamente la mezcla de concreto. Ver Ilustración 15.

Ilustración 15. Fundición de especímenes



Fuente: Propia.

Para el caso de las vigas con junta fría, se empleó en cada mitad el procedimiento anteriormente mencionado. En el caso de las vigas monolíticas, la varilla apisonadora se introdujo 36 veces y el martillo de goma fue usado hasta observar la consistencia uniforme del concreto.

En el procedimiento de compactación de los cilindros, la distribución de la mezcla se realizó en tres capas iguales, las cuales fueron compactas introduciendo 25 veces la varilla apisonadora y golpeando con el mazo de goma 15 veces alrededor de la formaleta. Ver Ilustración 16.

Ilustración 16 Compactación de especímenes



Fuente. Propia

- 7.3.8. Método de tratamiento de juntas frías con resina epóxica Sikadur® 32 Primer
Pasado el tiempo de formación de juntas (4, 6 y 8 horas), se retiraron los moldes de madera de las diferentes inclinaciones (verticales 90° e inclinadas 45°) para empezar con la aplicación de la resina epóxica Sikadur® 32 Primer en la cara del concreto que quedó expuesta, este procedimiento se realizó media hora antes de continuar con el proceso de fundición. La preparación y aplicación de la resina epóxica se realizaron teniendo en cuenta las especificaciones del producto mencionadas en el numeral 7.2. Ver Ilustración 17.

Ilustración 17 Juntas frías con tratamiento epóxico.



a) Inclinada 45°

b) Vertical 90°

Fuente. Propia.

Para el caso de las vigas con presencia de juntas frías verticales 90° e inclinadas 45° que no serían tratadas epoxicamente, se continuó con el procedimiento de fundición. Al finalizar la elaboración de los especímenes se elimina el exceso de material de la última capa usando la varilla apisonadora y con una llana o palustre se deja una superficie plana brindando un mejor acabado.

7.3.9. Método de desencofrado

Los especímenes fueron desencofrados transcurridas 24 horas, para cumplir a cabalidad con el tiempo de formación de juntas, el procedimiento de desencofrado se realizó día por medio. Después de desencofrar los especímenes fueron debidamente marcados de acuerdo con el tiempo de formación, tipo de junta y si tenían o no tratamiento epóxico, para finalmente acomodarlas en el cuarto de curado. Ver Ilustración 18.

Ilustración 18 Proceso de desencofrado de los especímenes



Fuente. Propia.

7.3.10. Método de curado

Para el proceso de curado, inicialmente se utilizaría la pileta de curado, pero debido a la gran cantidad de especímenes se optó por utilizar el cuarto de curado del laboratorio de resistencia de la Universidad Pontificia Bolivariana para evitar una variación de su resistencia y garantizar los resultados obtenidos. Ver Ilustración 19.

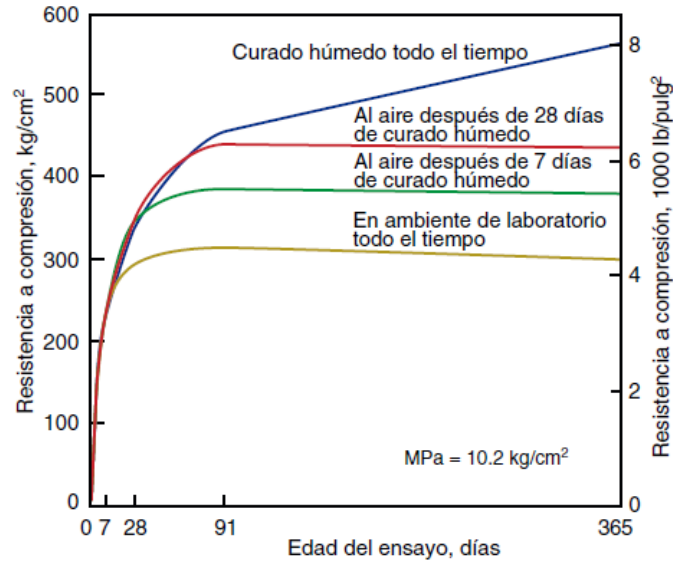
Ilustración 19 Curado de los especímenes



Fuente. Propia.

Este procedimiento se realizó de acuerdo con los lineamientos exigidos por las normas NTC 1377 [29] y ASTM 192 [37].

Ilustración 20 Tipos de curado



Fuente: PCA diseño y control de mezclas de concreto. [33]

Dado que el proceso de curado se realizó mediante cuarto de curado, los especímenes se vieron afectados en su resistencia máxima a 7, 14 y 28 días pese a las condiciones y el cuidado de los mismo, por lo tanto, como se observa en la Ilustración 20, es mejor sumergir los especímenes totalmente al momento del curado que tenerlos en ambiente de laboratorio “controlado” todo el tiempo. Y así, evitar la exudación.

7.3.11. Ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura y ensayo de resistencia a la compresión de especímenes

Los lineamientos para realizar los ensayos de flexión y compresión en especímenes de concreto se encuentran en las normas NTC 2871 [24] y NTC 673 [27].

Estos ensayos consisten en determinar la máxima resistencia a la flexión de una viga de concreto simple, aplicando una carga en el tercio medio; el cual fue realizado para comparar los resultados obtenidos de las 108 vigas con y sin presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epoxicamente. También determinar la máxima resistencia a la compresión de los 36 cilindros testigos, aplicando una carga axial con el fin de obtener la compresión del diseño de mezcla.

En la Ilustración 21 se pueden apreciar todos los tipos de especímenes, que son: vigas con juntas verticales 90° e inclinadas 45° con y sin resina epóxica, vigas monolíticas y los cilindros testigo.

Ilustración 21 Todos los tipos de especímenes de concreto simple

a) Vertical con epóxico



b) Inclinada con epóxico



c) Cilindros testigo



d) Inclinada sin epóxico



e) Vertical sin epóxico



f) Viga monolítica

Fuente. Propia.

Nota: Este ensayo nos brinda la resistencia experimental de cada uno de los especímenes, por lo tanto, se obtiene mediante el resultado mostrado por la máquina de ensayo, pero también, debe hallarse la resistencia a la compresión (f'_c) y la resistencia a la flexión o el módulo de rotura (f'_r) por medio de las ecuaciones establecidas por la norma y comparando ambos resultados. Ver ecuación 1, 2 y 3.

Ecuación 1 Resistencia a la flexión, Modulo de rotura (en el tercio medio).

$$f'r = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

- $f'r$ = módulo de rotura (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- L = distancia entre apoyos (mm)
- b = ancho promedio (mm)
- d = altura promedio (mm)

Ecuación 2 Resistencia a la flexión, Modulo de rotura (fuera del tercio medio).

$$f'r = \frac{3 * P * a}{b * d^2}$$

Donde:

- $f'r$ = módulo de rotura (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- b = ancho promedio (mm)
- d = altura promedio (mm)
- a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de la viga sometida a tensión (mm)

Ecuación 3 Resistencia a la compresión

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- $f'c$ = esfuerzo de compresión (Mpa)
- P = carga máxima aplicada (N)
- A = área de la sección (mm²)

8. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Es importante verificar que los agregados y el cemento que se usarán para el diseño de concretos en Colombia, cumpla con todas las especificaciones pues ya que es fundamental para la resistencia y consistencia de este. Es por esto, que deben realizarse una excelente caracterización de los materiales y se hace de acuerdo a los lineamientos dados por las siguientes normas, NTC 174 “Especificaciones de los agregados para concreto” [35], NTC 221 “Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico” [38], NTC 1776 “Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados” [39], NTC 237 “Método para determinar la densidad y absorción del agregado fino” [40], NTC 92 “Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados” [41].

8.1. DENSIDAD DEL CEMENTO

Para la ejecución de este proyecto se utilizó cemento Cemex de uso general certificado por las normas ICONTEC. Este producto cumple con los requerimientos exigidos por las Normas NTC 121 [42]. Este ensayo fue realizado de acuerdo con lo estipulado por la norma NTC 221 [38] para así obtener los resultados esperados. Ver Ilustración 22.

Ilustración 22 Ensayo densidad del cemento hidráulico



Fuente. Propia

8.2. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Este ensayo se utiliza para determinar el tamaño de las partículas que conforman el agregado fino y grueso, con el fin de conocer si este material está en condiciones óptimas. El ensayo debe realizarse teniendo en cuenta la NTC 77 [43]. Ver Ilustración 23.

Ilustración 23 Ensayo granulometría agregado grueso y fino



Fuente. Propia

8.3. ENSAYO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS

Este ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje de humedad en agregados finos y gruesos, se desarrolla de acuerdo con lo establecido en la NTC 1776 [39]. Ver Ilustración 24.

Ilustración 24 Ensayo de contenido de humedad en agregados



Fuente. Propia

8.4. ENSAYO DE LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

La finalidad de este ensayo es determinar la masa unitaria en condición compactada o suelta, y a su vez el cálculo de los vacíos entre las partículas teniendo presente los requerimientos establecidos por la NTC 92 [41]. Ver Ilustración 25.

Ilustración 25 Ensayo de determinación de la masa unitaria en agregados



Fuente. Propia

8.5. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

Estos ensayos tienen como fin de determinar el peso y absorción de los agregados, siguiendo los lineamientos dados por las normas NTC 176 [44] y NTC 237 [45]. Ver Ilustración 26.

Ilustración 26 Ensayo peso específico y absorción de agregados



Fuente. Propia.

9. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los lineamientos que deben cumplir los agregados finos y gruesos en Colombia son los estipulados por la norma NTC 174 “Especificaciones de los agregados para concreto” [35]. Además, deben realizarse los siguientes ensayos, “Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados” [39] , NTC 237 “Método para determinar la densidad y absorción del agregado fino” [40] , NTC 92 “Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados” [41].

Antes de iniciar con el proceso de fundición se realizó la caracterización del material y los diferentes ensayos para comprobar de que el material si cumple con los lineamientos presentados en las normas. A continuación, se mostrarán de una manera más específica los resultados obtenidos en cada ensayo realizado.

9.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO

La NTC 221 [38] establece un límite de densidad que debe cumplir el cemento para realizar un diseño de mezcla, el cual comprende valores entre **2,90 gr/cm³** y **3,15 gr/cm³** . El cemento que se usó para este ensayo y para el diseño de mezcla, fue el cemento de la marca Cemex cuya densidad dio como resultado **2,92 gr/ cm³** cumpliendo con lo estipulado por la norma. Ver Tabla 6.

Tabla 6 Resultados densidad del cemento

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
DENSIDAD DEL CEMENTO	2,92	gr/cm ³

Fuente: Propia.

9.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

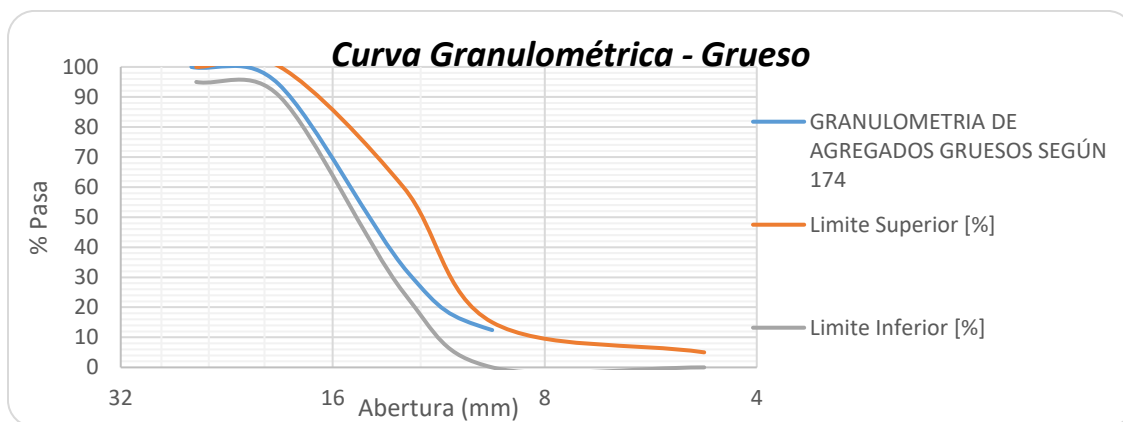
Realizando el análisis y curva granulométrica se puede observar que el agregado grueso cumple con las especificaciones regidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 174 [35]. Ver Tabla 7 e Ilustración 27.

Tabla 7 Análisis granulométrico agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO (TM)	1 plg
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)	¾ plg

Fuente. Propia

Ilustración 27 Grafica Curva Granulométrica agregado grueso



Fuente. Propia

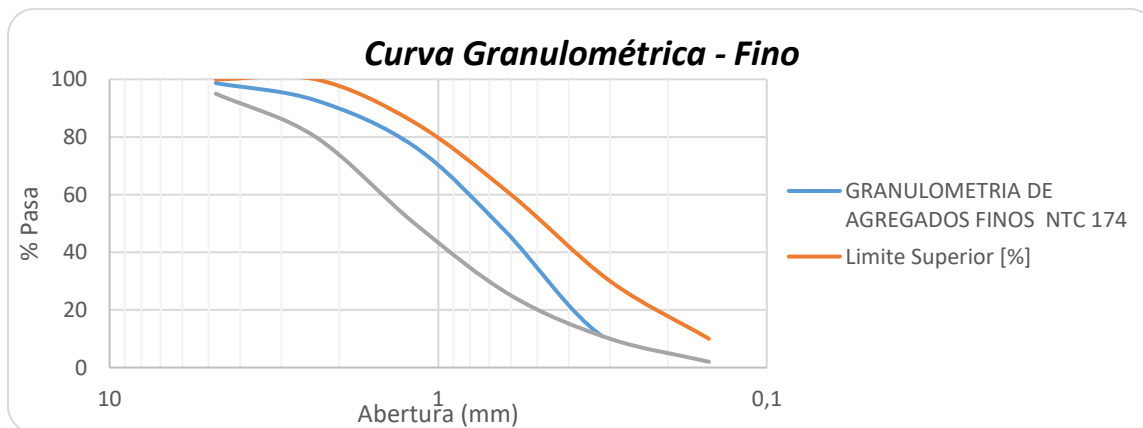
Realizando el análisis y curva granulométrica se puede observar que el agregado fino cumple con las especificaciones regidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 174 [35]. Ver Tabla 8 e Ilustración 28.

Tabla 8 Análisis granulométrico agregado fino

MÓDULO DE FINURA (MF)	2,70
------------------------------	------

Fuente. Propia

Ilustración 28 Grafica Granulométrico agregado grueso



Fuente. Propia

9.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

De acuerdo con lo estipulado en la NTC 176 [46] los valores típicos de la densidad varían entre $2,3 \text{ g/cm}^3$ a $2,8 \text{ g/cm}^3$ y el porcentaje (%) de absorción varía entre 0.2 a 4.0 %.

Tabla 9 Peso específico y absorción agregado grueso

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDAD
DENSIDAD	2,62	gr/cm^3
ABSORCIÓN	0,84	%

Fuente. Propia.

En la tabla anterior. Ver Tabla 9 se observa como resultado la densidad del agregado grueso **2,62 gr/cm^3** y el % de absorción de **0,84 %**. Estos valores se encuentran dentro de los límites dados, por lo tanto, el material cumple con las especificaciones de la norma NTC 176 [46].

Tabla 10 Peso específico y absorción agregado fino

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDAD
DENSIDAD	2,51	gr/cm^3
ABSORCIÓN	1,42	%

Fuente. Propia

En la tabla anterior. Ver Tabla 10 se observa como resultado la densidad del agregado fino **2,51 gr/cm^3** y el % de absorción de **1,42%**. Estos valores se encuentran dentro de los límites, por lo tanto, el material cumple con las especificaciones de la norma NTC 237 [40].

9.4. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos dados por la NTC 92 [41], obteniendo resultados óptimos, cumpliendo con las especificaciones de la norma. Ver Tabla 11, 12, 13 y 14.

Tabla 11 Masa unitaria compacta (MUC) y porcentaje de vacíos agregado grueso

MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO GRUESO		
DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
MUC	1,49	gr/cm^3
% VACÍOS	43,30	%

Fuente. Propia

Tabla 12 Masa unitaria suelta (MUS) y porcentaje de vacíos agregado grueso

MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO GRUESO		
DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
MUS	1,39	gr/cm ³
% VACÍOS	47,09	%

Fuente. Propia

Tabla 13 Masa unitaria compacta (MUC) y porcentaje de vacíos agregado fino

MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO FINO		
DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
MUC	1,62	gr/cm ³
% VACÍOS	35,43	%

Fuente. Propia

Tabla 14 Masa unitaria suelta (MUS) y porcentaje de vacíos agregados finos

MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO FINO		
DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
MUS	1,50	gr/cm ³
% VACÍOS	39,99	%

Fuente. Propia

9.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos dados por la NTC [39], obteniendo resultados óptimos, cumpliendo con las especificaciones de la norma. Ver Tabla 15 y 16.

Tabla 15 Contenido de humedad agregado grueso

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	0,086	%

Fuente. Propia

Tabla 16 Contenido de humedad agregado fino

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	4,011	%

Fuente. Propia

10. RESULTADOS DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POR MÉTODO ACI 211

Se usó el método planteado por el ACI (*American Concrete Institute*) en el comité 211, el cual es un método fácil de utilizar y se basa en realizar una dosificación del material de acuerdo con el proporcionamiento en volumen y peso. Para usar este método de diseño de mezcla, se debe tener en cuenta lo estipulado en la norma ACI 211.1 [47] que cumple con los lineamientos de la NTC 174/ASTM C33 [48], donde se mencionan diferentes especificaciones granulométricas. En la Tabla 17 se muestran los datos preliminares requeridos para el tipo de diseño de mezcla.

Tabla 17 Datos preliminares al tipo de diseño de mezcla de concreto

DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES
CEMENTO	PORTLAND TIPO I	-
f'c	211	Kg/cm ²
f'cr	295	Kg/cm ²
PESO ESPECÍFICO CEMENTO	2,92	-
SLUMP	3	In

Fuente: Propia.

En la Tabla 18 se muestra los datos obtenidos en la caracterización de los materiales para realizar el diseño de mezcla de concreto por el método ACI.

Tabla 18 Cuadro resumen resultados de caracterización de los materiales

AGREGADOS	FINO	GRUESO	UNIDADES
PERFIL	-	ANGULAR	-
MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	1,50	1,39	gr/m ³
MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	1,62	1,49	gr/m ³
PESO ESPECÍFICO	2,51	2,62	-
MÓDULO DE FINURA (MF)	2,70	-	-
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)	-	¾	plg
ABSORCIÓN	1,42	0,84	%
HUMEDAD	4,011	0,086	%

Fuente: Propia.

En la Tabla 19 se observa la dosificación del diseño de mezcla con el método ACI 211 para un metro cubico (1m^3) de concreto simple con base en los resultados de las tablas anteriores (Ver Tabla 17 y 18).

Tabla 19 Proporcionamiento de diseño de mezcla método ACI 211

CEMENTO [kg]	AGREGADO FINO [kg]	AGREGADO GRUESO [kg]	AGUA [kg]
359,07	781,80	937,93	187
CEMENTO [m^3]	AGREGADO FINO [m^3]	AGREGADO GRUESO [m^3]	AGUA [m^3]
0,123	0,300	0,357	0,200
DOSIFICACIÓN PARA 1 m^3			
CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA [Litro/Bulto]
1	2,18	2,61	26,0

Fuente: Propia.

11. RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

11.1. RESULTADOS DE LA VARIACION DEL MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTA FRIA

11.1.1. Variación del Módulo de Rotura para vigas de 7 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo con la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.

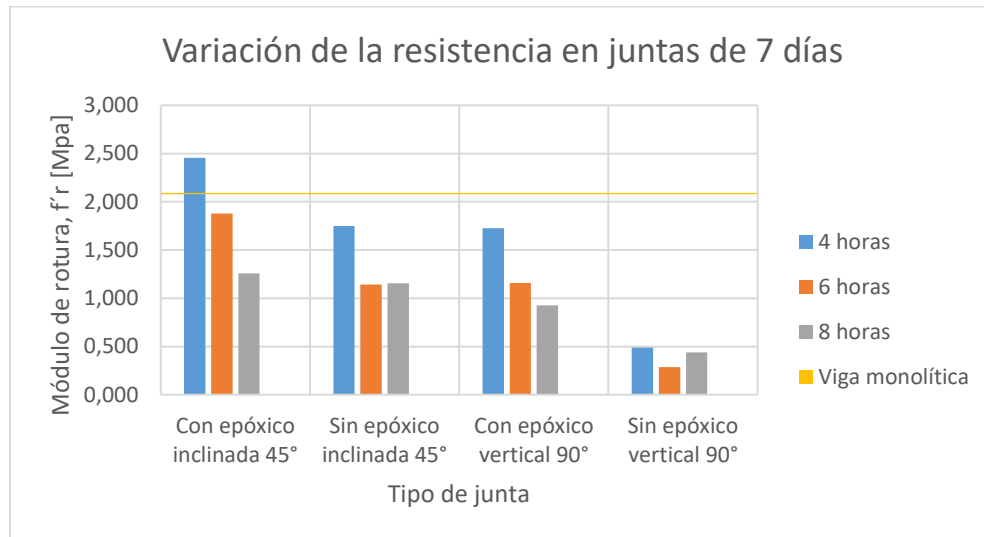
En la Tabla 20, se observan los resultados de la variación de la resistencia del módulo de rotura (f_r) para las vigas de 7 días de edad con presencia de juntas frías a diferentes tiempos de formación e inclinación tratadas y sin tratar epóxicamente respecto a las vigas monolíticas. En la Ilustración 29, se contempla la variación de la resistencia del módulo de rotura en función del tiempo de formación y orientación de la junta obteniendo que la resistencia de las vigas de 7 días con juntas de 4 horas inclinadas 45° con tratamiento epóxico es de 2,455 Mpa siendo la resistencia máxima respecto a la viga monolítica de 2,08 Mpa con una ganancia de 0,38 Mpa. Caso contrario, para las demás vigas se observan perdidas de resistencia.

Tabla 20 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 7 días

Variación de la resistencia en juntas de 7 días					
Tiempo de formación de junta	Con epóxico inclinada 45°	Sin epóxico inclinada 45°	Con epóxico vertical 90°	Sin epóxico vertical 90°	Viga monolítica
Promedio módulo de rotura, f_r [Mpa]					
4 horas	2,455	1,749	1,726	0,487	2,08
6 horas	1,878	1,141	1,157	0,286	
8 horas	1,259	1,157	0,927	0,440	

Fuente: Propia.

Ilustración 29 Variación de la resistencia en juntas de 7 días



Fuente: Propia.

11.1.2. Variación del Módulo de Rotura para vigas de 14 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo con la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.

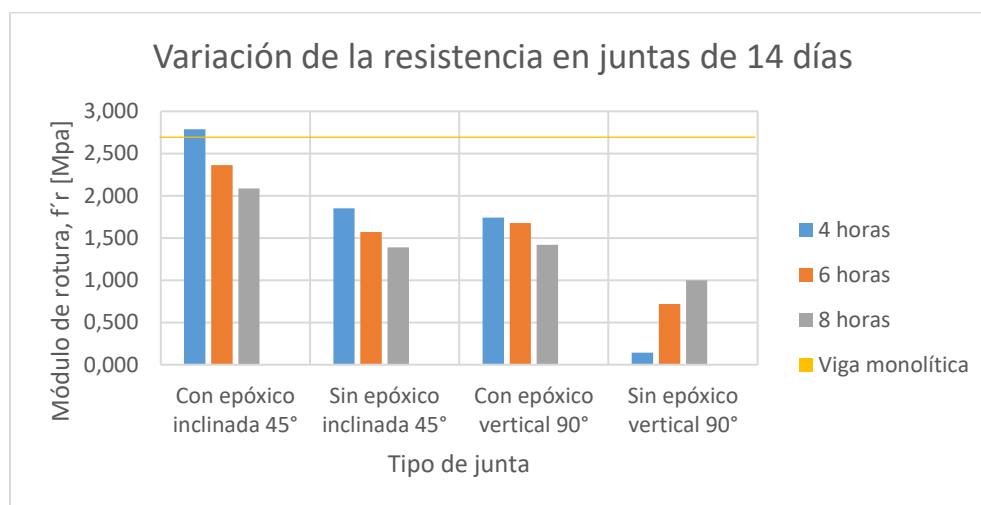
En la Tabla 21, se observan los resultados de la variación de la resistencia del módulo de rotura ($f'r$) para las vigas de 14 días de edad con presencia de juntas frías a diferentes tiempos de formación e inclinación tratadas y sin tratar epóxicamente respecto a las vigas monolíticas. En la Ilustración 30, se contempla la variación de la resistencia del módulo de rotura en función del tiempo de formación y orientación de la junta obteniendo que la resistencia de las vigas de 14 días con juntas de 4 horas inclinadas 45° con tratamiento epóxico es de 2,789 Mpa siendo la resistencia máxima respecto a la viga monolítica de 2,59 Mpa con una ganancia de 0,20 Mpa. Caso contrario, para las demás vigas se observan pérdidas de resistencia.

Tabla 21 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 14 días

Variación de la resistencia en juntas de 14 días					
Tiempo de formación de junta	Con epóxico inclinada 45°	Sin epóxico inclinada 45°	Con epóxico vertical 90°	Sin epóxico vertical 90°	Viga monolítica
Promedio módulo de rotura, $f'r$ [Mpa]					
4 horas	2,789	1,850	1,741	0,144	2,59
6 horas	2,362	1,571	1,679	0,719	
8 horas	2,087	1,391	1,419	1,000	

Fuente: Propia.

Ilustración 30 Variación de la resistencia en juntas de 14 días



Fuente: Propia.

11.1.3. Variación del Módulo de Rotura para vigas de 28 días de edad con presencia de juntas frías tratadas y sin tratar epóxicamente de acuerdo con la orientación y tiempos de formación de la junta respecto al módulo de rotura en vigas monolíticas.

En la Tabla 22, se observan los resultados de la variación de la resistencia del módulo de rotura ($f'r$) para las vigas de 28 días de edad con presencia de juntas frías a diferentes tiempos de formación e inclinación tratadas y sin tratar epóxicamente respecto a las vigas monolíticas. En la Ilustración 31, se contempla la variación de la resistencia del módulo de rotura en función del tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) y orientación de la junta (45° y 90°) obteniendo que la resistencia de todas las vigas dio perdida, siendo la resistencia máxima respecto a la viga monolítica de 2,75 MPa.

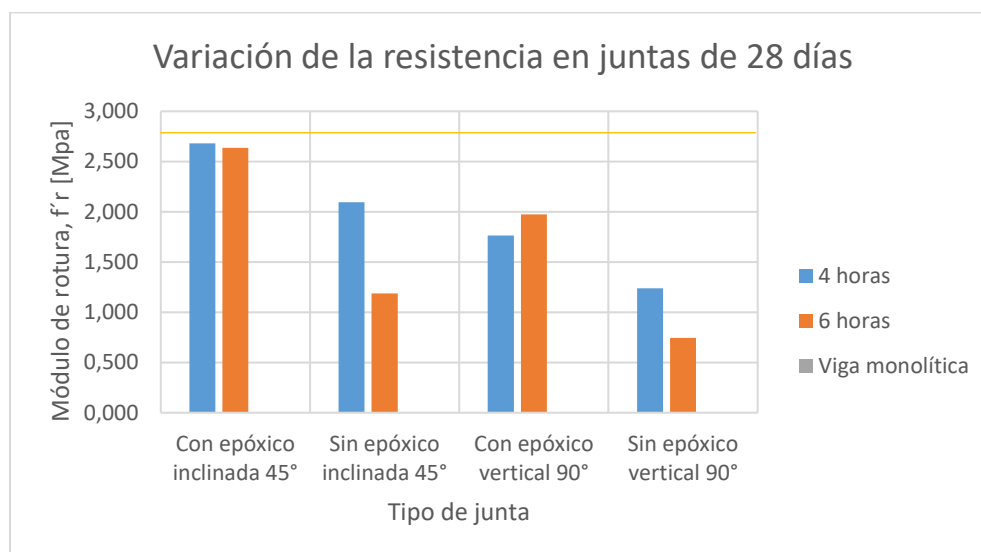
Tabla 22 Resultados Variación de la resistencia en juntas de 28 días

Variación de la resistencia en juntas de 28 días					
Tiempo de formación de junta	Con epóxico inclinada 45°	Sin epóxico inclinada 45°	Con epóxico vertical 90°	Sin epóxico vertical 90°	Viga monolítica
Promedio módulo de rotura, $f'r$ [Mpa]					
4 horas	2,683	2,095	1,763	1,238	2,75
6 horas	2,637	1,188	1,973	0,746	
8 horas	*	*	*	*	

Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

Ilustración 31 Variación de la resistencia en juntas de 28 días



Fuente: Propia

11.2. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA ($f'r$) EN VIGAS CON 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTAS VERTICALES E INCLINADAS 45° EN TIEMPOS DE FORMACIÓN (4, 6 Y 8 HORAS) CON Y SIN RESINA EPOXICA Y LA RESISTENCIA DE VIGAS MONOLÍTICAS.

11.2.1. Resultados de la comparación del Módulo de rotura ($f'r$) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas inclinadas a 45° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) con tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas.

En la Tabla 23, se observan los resultados obtenidos de la resistencia promedio del módulo de rotura en vigas con juntas inclinadas 45° con epóxico respecto a las monolíticas en las diferentes edades y tiempos de formación de junta. Tal como se muestra en la Ilustración 32, se observa un porcentaje de ganancia para las vigas de las diferentes edades (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de 4 horas respecto a las monolíticas de 20,08%, 5,84% y 2,04% respectivamente. Caso contrario, para las vigas de las diferentes edades (7, 14 y 28 días), la resistencia disminuye respecto a las vigas monolíticas en 7,52%, 8,34%, 8,05% para 6 horas y finalmente, 41,47%, 18,33% para 8 horas respectivamente.

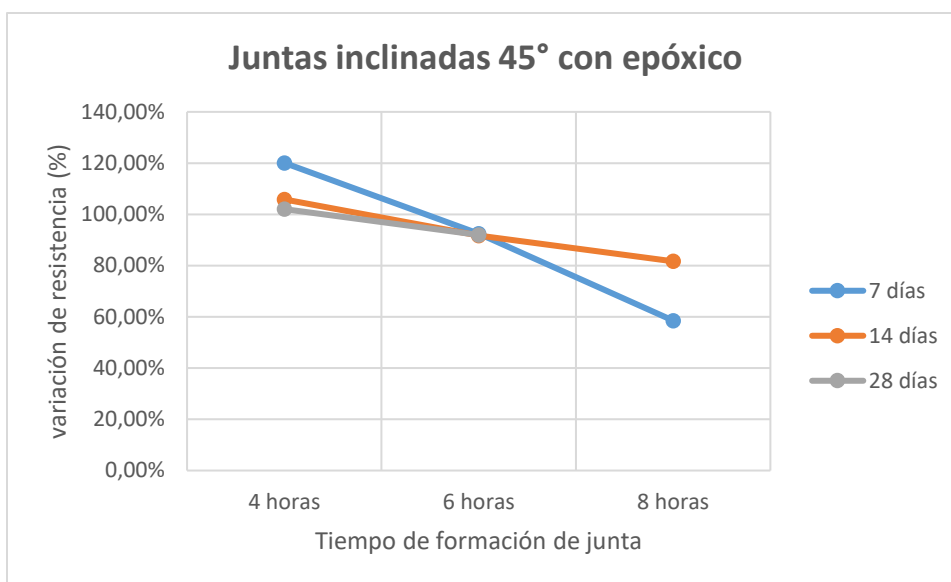
Tabla 23 Resultados Juntas inclinadas 45° con epóxico

Juntas inclinadas 45° con epóxico	Vigas con junta			Vigas monolíticas			Diferencia de resistencia (%)		
	Resistencia promedio f' r [Mpa]								
EDAD	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
7 días	2,455	1,878	1,259	2,044	2,031	2,150	120,08%	92,48%	58,53%
14 días	2,789	2,362	2,087	2,635	2,577	2,555	105,84%	91,66%	81,67%
28 días	2,683	2,637	*	2,629	2,868	*	102,04%	91,95%	*

Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

Ilustración 32 Juntas inclinadas 45° con epóxico



Fuente: Propia.

11.2.2. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas inclinadas a 45° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) sin tratamiento epóxico ante la resistencia de vigas monolíticas (testigos).

En la Tabla 24, se observan los resultados obtenidos promedio del módulo de rotura en vigas con juntas inclinadas 45° sin epóxico respecto a las monolíticas en las diferentes edades y tiempos de formación de junta. Tal como se muestra en la Ilustración 33, se observan porcentajes de pérdidas para todas las vigas de edades (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de (4, 6 y 8 horas) respecto a las monolíticas en 14,43%, 29,78%, 20,31% para 4 horas; 43,82%, 39,01%, 58,58% para 6 horas y finalmente, 46,21%, 45,56% para 8 horas respectivamente.

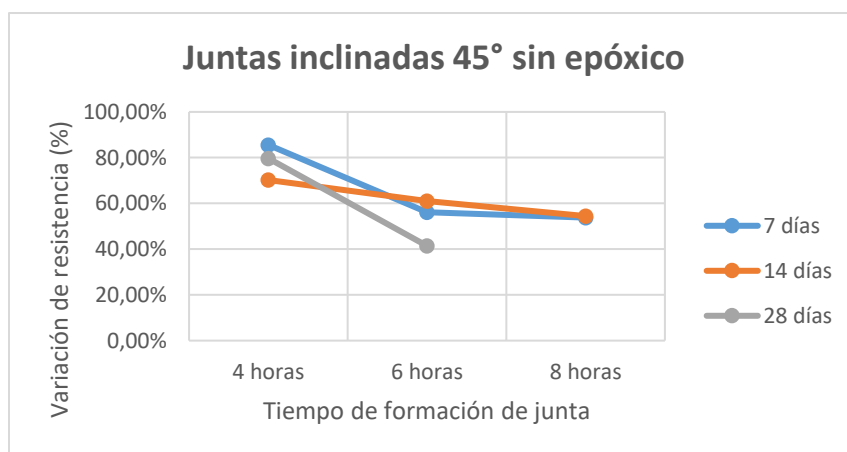
Tabla 24 Resultados Juntas inclinadas 45° sin epóxico

Juntas inclinadas 45° sin epóxico	Vigas con junta			Vigas monolíticas			Diferencia de resistencia (%)		
	Resistencia promedio f_r [Mpa]								
EDAD	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
7 días	1,749	1,141	1,157	2,044	2,031	2,150	85,57%	56,18%	53,79%
14 días	1,850	1,571	1,391	2,635	2,577	2,555	70,22%	60,99%	54,44%
28 días	2,095	1,188	*	2,629	2,868	*	79,69%	41,42%	*

Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

Ilustración 33 Juntas inclinadas 45° sin epóxico



Fuente: Propia.

11.2.3. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas verticales a 90° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) con tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas (testigos).

En la Tabla 25, se observan los resultados promedio obtenidos del módulo de rotura en vigas con juntas verticales 90° con epóxico respecto a las monolíticas en las diferentes edades y tiempos de formación de junta. Tal como se muestra en la Ilustración 34, se observan porcentajes de pérdidas para todas las vigas de edades (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de (4, 6 y 8 horas) respecto a las monolíticas en 15,60%, 33,93%, 32,95% para 4 horas; 43,04%, 34,85%, 31,20% para 6 horas y finalmente, 56,91%, 44,47% para 8 horas respectivamente.

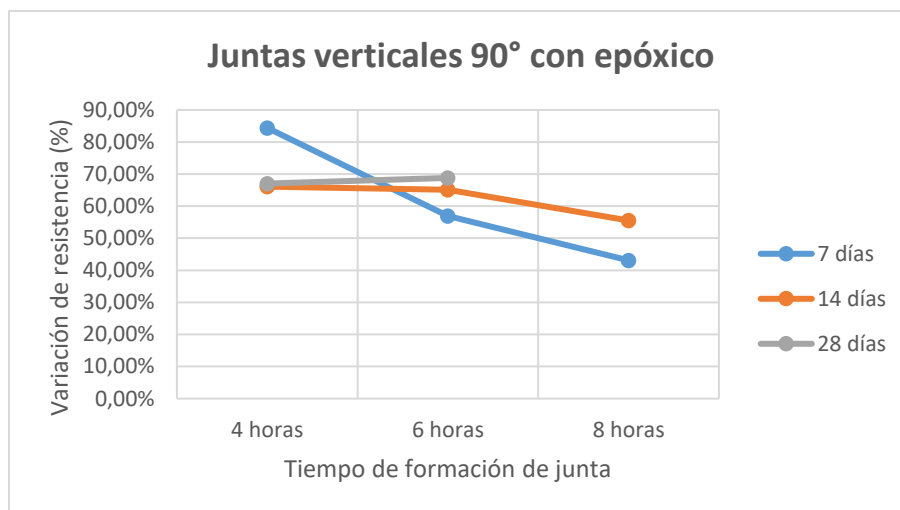
Tabla 25 Resultados Juntas verticales 90° con epóxico

Juntas verticales 90° con epóxico	Vigas con junta			Vigas monolíticas			Diferencia de resistencia (%)		
	Resistencia promedio f_r [Mpa]								
EDAD	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
7 días	1,726	1,157	0,927	2,044	2,031	2,150	84,40%	56,96%	43,09%
14 días	1,741	1,679	1,419	2,635	2,577	2,555	66,07%	65,15%	55,53%
28 días	1,763	1,973	*	2,629	2,868	*	67,05%	68,80%	*

Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

Ilustración 34 Juntas verticales 90° con epóxico



Fuente: Propia.

11.2.4. Resultados de la comparación del Módulo de rotura (f_r) en vigas con 7, 14 y 28 días de edad con presencia de juntas verticales a 90° en tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) sin tratamiento epóxico ente la resistencia de vigas monolíticas (testigos).

En la Tabla 26, se observan los resultados obtenidos de la resistencia promedio del módulo de rotura en vigas con juntas verticales 90° sin epóxico respecto a las monolíticas en las diferentes edades y tiempos de formación de junta. Tal como se muestra en la Ilustración 35, se observan porcentajes de pérdidas para todas las vigas de edades (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de (4, 6 y 8 horas) respecto a las monolíticas en 76,16%, 94,54%, 52,92% para 4 horas; 85,94%, 72,08%, 73,99% para 6 horas y finalmente, 79,54%, 60,88% para 8 horas respectivamente.

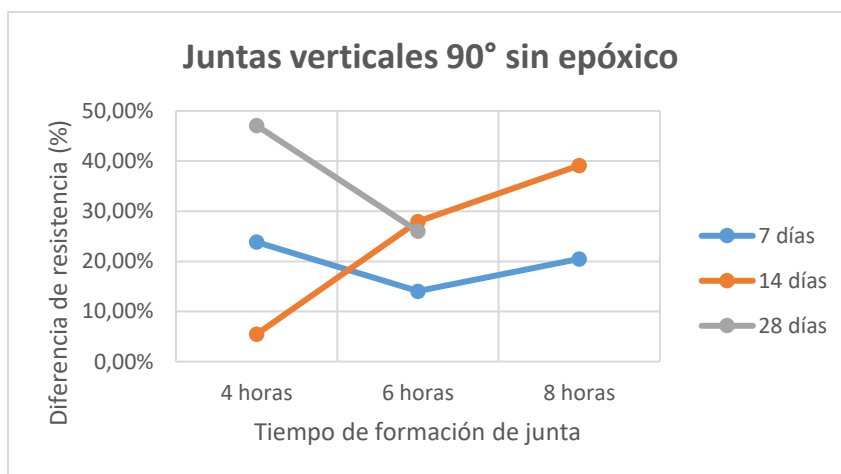
Tabla 26 Resultados Juntas verticales 90° sin epóxico

Juntas verticales 90° sin epóxico	Vigas con junta			Vigas monolíticas			Diferencia de resistencia (%)		
	Resistencia promedio f_r [Mpa]								
EDAD (días)	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
7 días	0,487	0,286	0,440	2,044	2,031	2,150	23,84%	14,06%	20,46%
14 días	0,144	0,719	1,000	2,635	2,577	2,555	5,46%	27,92%	39,12%
28 días	1,238	0,746	*	2,629	2,868	*	47,08%	26,01%	*

Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

Ilustración 35 Juntas verticales 90° sin epóxico



Fuente: Propia.

11.3. RESULTADOS DE VARIACION DE RESISTENCIA (%) EN VIGAS DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTAS VERTICALES E INCLINADAS 45° CON Y SIN RESINA EPOXICA EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE FORMACION DE JUNTAS (4, 6 y 8) HORAS.

11.3.1. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7, 14 y 28 días de edad con tiempo de formación de juntas inclinadas 45° (4, 6 y 8 horas) con y sin tratamiento epóxico.

En la Tabla 27, se observan los resultados de porcentajes de variación de la resistencia entre las vigas tratadas y sin tratar epóxicamente con inclinación 45° de diferentes edades (7, 14 y 28 días) en los diferentes tiempos de formación de junta (4, 6 y 8 horas).

Tabla 27 Resultados Comparación Juntas inclinadas 45°

Juntas inclinadas 45°						
Edad	Con epóxico			Sin epóxico		
	Tiempo de formación de junta					
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Variación resistencia (%)					
7 días	120,08%	92,48%	58,53%	85,57%	56,18%	53,79%
14 días	105,84%	91,66%	81,67%	70,22%	60,99%	54,44%
28 días	102,04%	91,95%	*	79,69%	41,42%	*

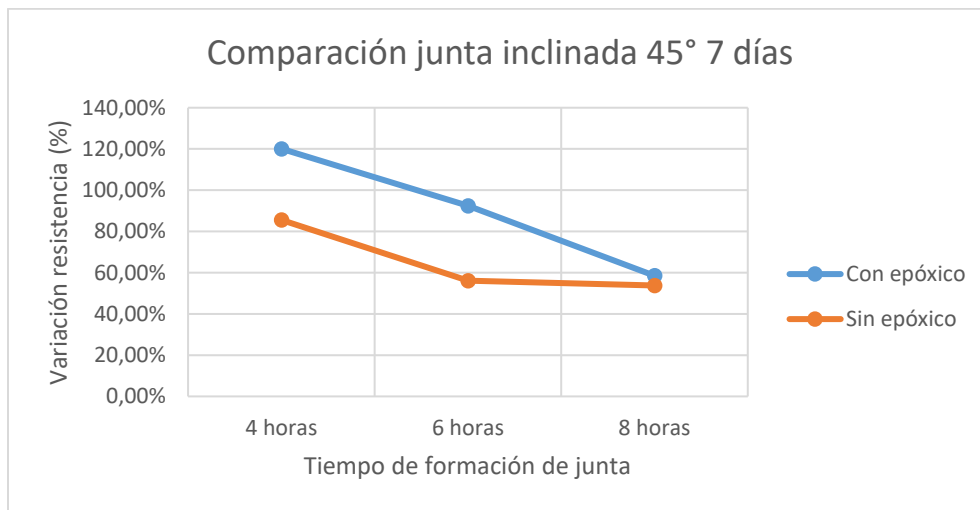
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco () son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.*

11.3.2. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 36, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 7 días de edad con junta inclinada a 45° en los diferentes tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) tratadas y sin tratar epóxicamente. Se observa un aumento en la resistencia más significativo para las vigas con epóxico donde es mayor la resistencia a 4 horas y comienza a tener pérdida a partir de 6 y 8 horas de formación de junta.

Ilustración 36 Comparación junta inclinada 45° 7 días

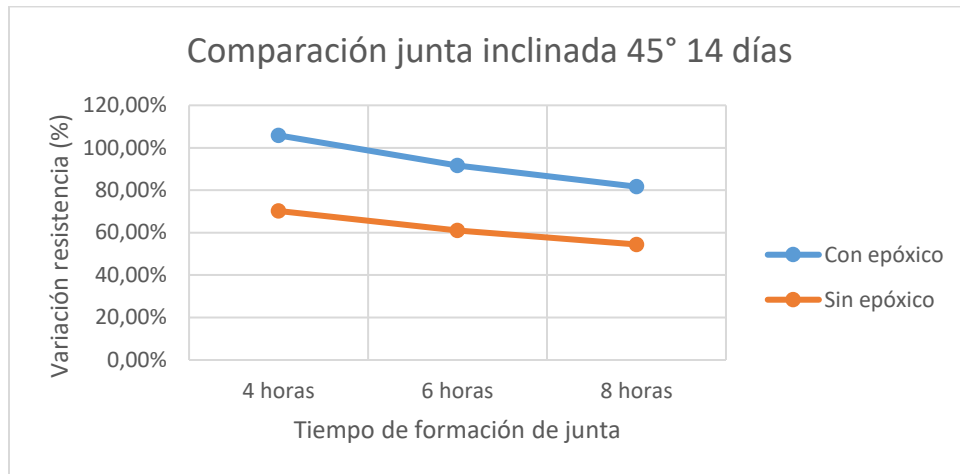


Fuente: Propia.

11.3.3. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 14 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 37, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 14 días de edad con junta inclinada a 45° en los diferentes tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) tratadas y sin tratar epóxicamente. Igual que la anterior, se observa un aumento en la resistencia más significativo para las vigas con epóxico donde es mayor la resistencia a 4 horas y comienza a tener pérdida a partir de 6 y 8 horas de formación de junta.

Ilustración 37 Comparación junta inclinada 45° 14 días

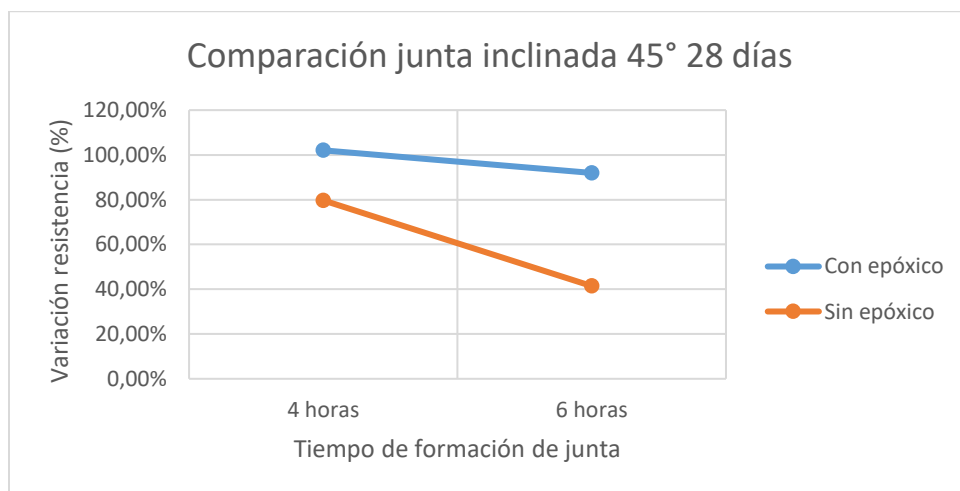


Fuente: Propia.

11.3.4. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 28 de edad con tiempo de formación (4 y 6 horas) de juntas inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 38, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 28 días de edad con junta inclinada a 45° en los diferentes tiempos de formación (4 y 6 horas) tratadas y sin tratar epoxicamente. Igual que la anterior, se observa un aumento en la resistencia más significativo para las vigas con epóxico donde es mayor la resistencia a 4 horas y comienza a tener pérdida a partir de 6 y 8 horas de formación de junta.

Ilustración 38 Comparación junta inclinada 45° 28 días



Fuente: Propia.

11.3.5. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7,14 y 28 días de edad con tiempo de formación de juntas verticales 90° (4, 6 y 8 horas) con y sin tratamiento epóxico.

En la Tabla 28, se observan los resultados de porcentajes de variación de la resistencia entre las vigas tratadas y sin tratar epóxicamente verticales 90° de diferentes edades (7, 14 y 28 días) en los diferentes tiempos de formación de junta (4, 6 y 8 horas).

Tabla 28 Resultados Comparación Juntas verticales 90°

Juntas verticales 90°						
Edad	Con epóxico			Sin epóxico		
	Tiempo de formación de junta					
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Variación resistencia (%)					
7 días	15,60%	43,04%	56,91%	23,84%	14,06%	20,46%
14 días	33,93%	34,85%	44,47%	5,46%	27,92%	39,12%
28 días	32,95%	31,20%	*	47,08%	26,01%	*

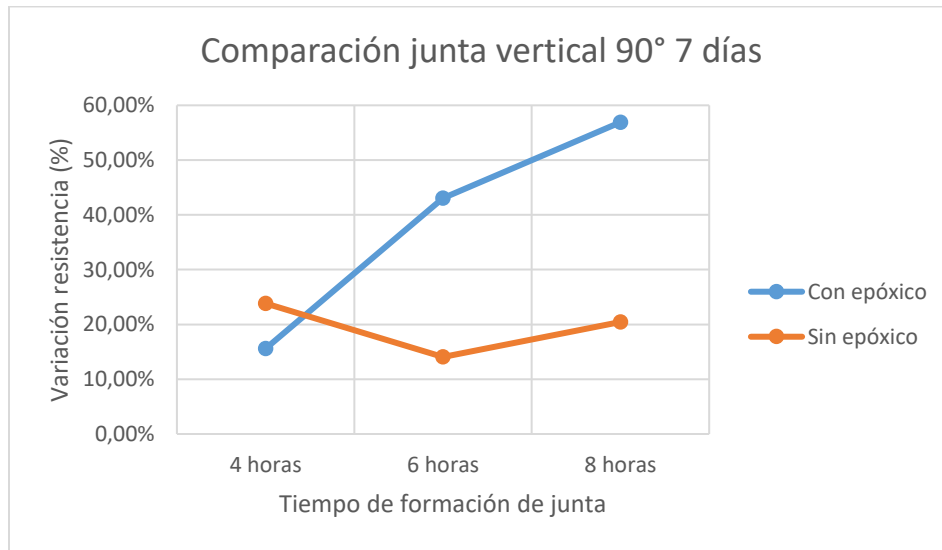
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco () son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron*

11.3.6. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 7 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 39, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 7 días de edad con junta vertical 90° en los diferentes tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) tratadas y sin tratar epóxicamente. Se observan pérdidas en la resistencia para todas las vigas donde es más significativa la pérdida de resistencia a 8 horas con epóxico y 6 horas sin epóxico.

Ilustración 39 Comparación junta vertical 90° 7 días

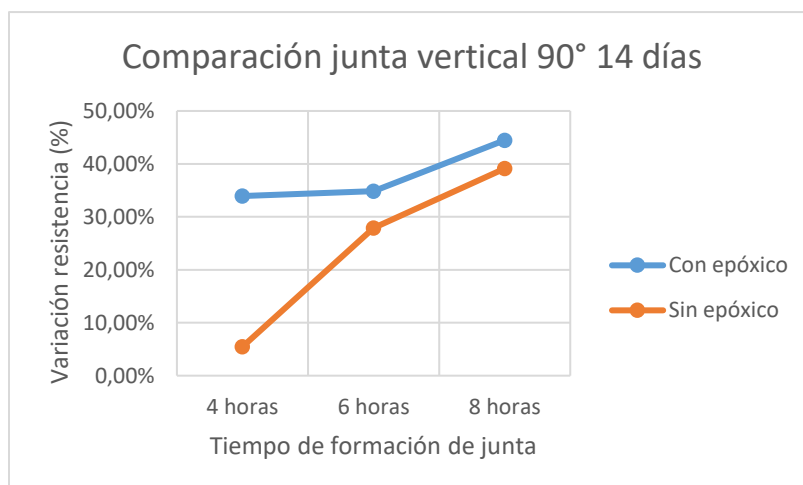


Fuente: Propia.

11.3.7. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 14 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 40, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 14 días de edad con junta vertical 90° en los diferentes tiempos de formación (4, 6 y 8 horas) tratadas y sin tratar epóxicamente. Se observan pérdidas en la resistencia para todas las vigas donde es más significativa la pérdida de resistencia a 8 horas con epóxico y 4 horas sin epóxico.

Ilustración 40 Comparación junta vertical 90° 14 días

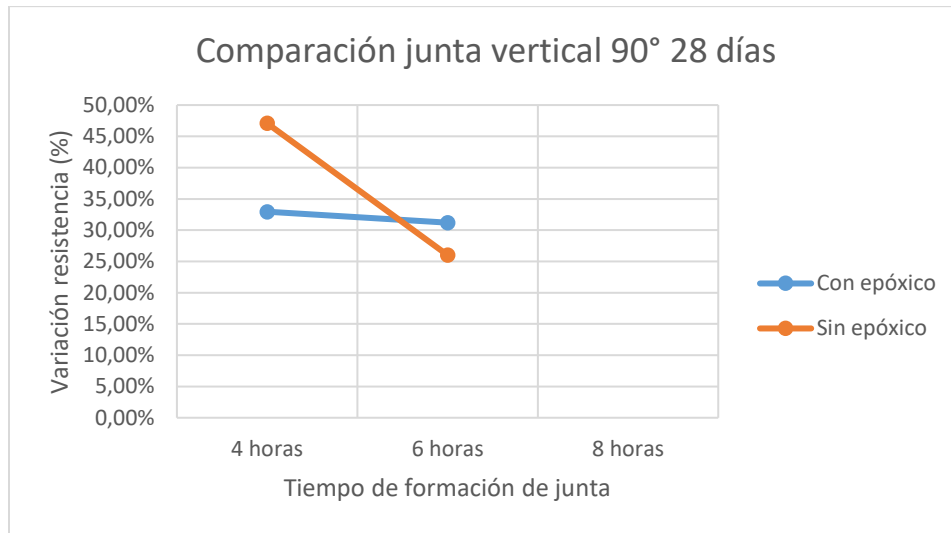


Fuente: Propia.

11.3.8. Resultados de variación de resistencia entre vigas de 28 de edad con tiempo de formación (4, 6 y 8 horas) de juntas verticales 90° con y sin tratamiento epóxico.

En la Ilustración 41, se muestra la comparación de la resistencia de las vigas a 28 días de edad con junta vertical 90° en los diferentes tiempos de formación (4 y 6 horas) tratadas y sin tratar epóxicamente. Se observan pérdidas en la resistencia para todas las vigas donde es más significativa la pérdida de resistencia a 4 horas con epóxico y 6 horas sin epóxico.

Ilustración 41 Comparación junta vertical 90° 28 días



Fuente: Propia.

11.4. RESULTADOS DE LA COMPARACION DE RESISTENCIA A LA FLEXION EN JUNTAS FRIAS INCLINADAS 45° CON TIEMPOS DE FORMACION 4,6 Y 8 HORAS CON Y SIN RESINA EPOXICA RESPECTO A LAS VIGAS MONOLITICAS A 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD

En la Tabla 29, se muestra la comparación de la resistencia a la flexión en vigas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías inclinadas 45° con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas en los diferentes tiempos de formación de juntas (4, 6 y 8 horas).

Tabla 29 Resultados Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas

Juntas frías inclinadas 45° respecto a vigas monolíticas									
Edad	Con epóxico			Sin epóxico			Monolíticas		
	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Promedio módulo de rotura, f _r [Mpa]								
7 días	2,455	1,878	1,259	1,749	1,141	1,157	2,044	2,031	2,150
14 días	2,789	2,362	2,087	1,850	1,571	1,391	2,635	2,577	2,555
28 días	2,683	2,637	*	2,095	1,188	*	2,629	2,868	*

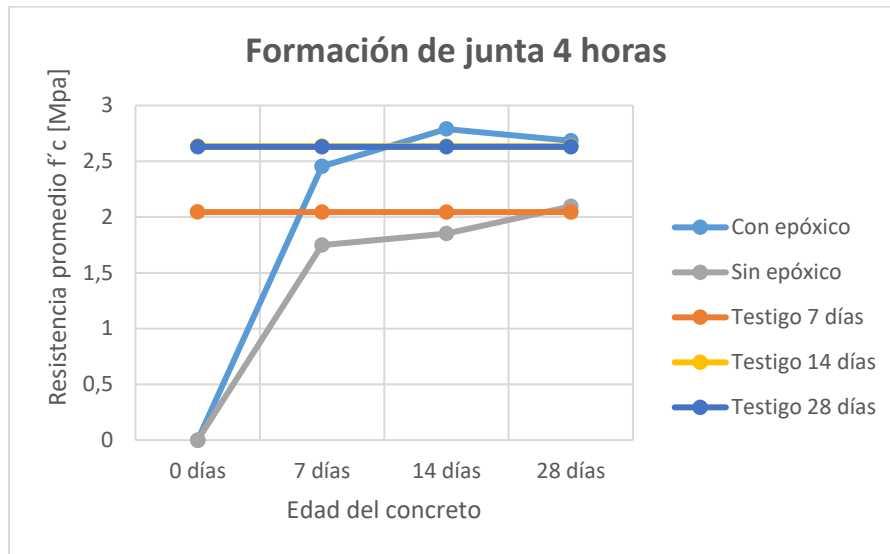
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco () son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.*

11.4.1. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 4 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.

En la Ilustración 42, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de las diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías inclinadas a 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 4 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que las vigas con epóxico están por encima de sus testigos en 0,411 MPa, 0,154 MPa y 0,054 MPa respectivamente. Caso contrario, las vigas sin epóxico disminuyen su resistencia considerablemente respecto a sus testigos en -0,29 MPa, -0,79 MPa, -0,53 MPa.

Ilustración 42 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 4 horas

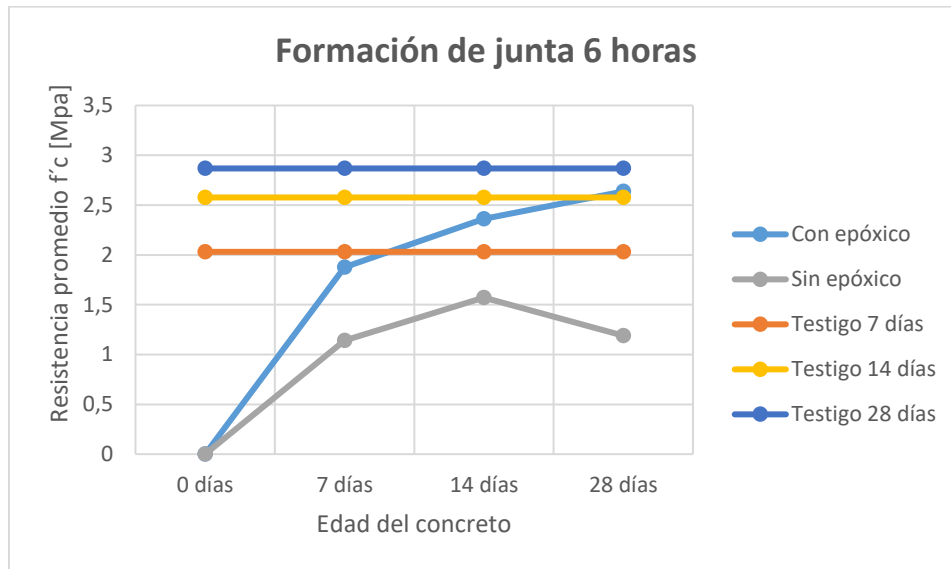


Fuente: Propia.

11.4.2. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 6 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.

En la Ilustración 43, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías inclinadas a 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 6 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que todas las vigas con epóxico disminuyen su resistencia a 0,153 MPa, 0,215 MPa, 0,231 MPa y sin epóxico disminuyen su resistencia a 0,89 MPa, 1,01 MPa, 1,68 MPa respectivamente.

Ilustración 43 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 6 horas

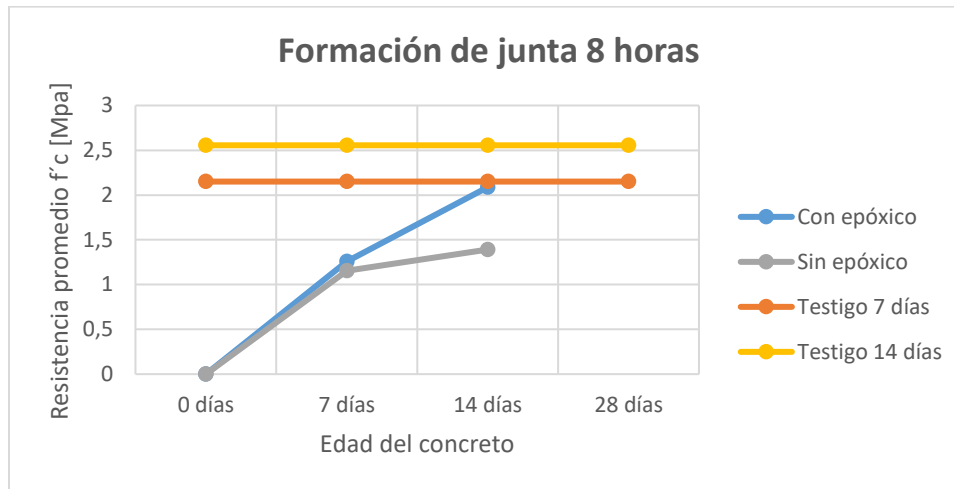


Fuente: Propia.

11.4.3. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías inclinadas 45° con tiempos de formación de 8 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7 y 14 días de edad.

En la Ilustración 44, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías inclinadas a 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 8 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que todas las vigas con epóxico disminuyen su resistencia a 0,891 MPa, 0,468 MPa y sin epóxico disminuyen su resistencia a 0,99 MPa, 1,16 MPa respectivamente.

Ilustración 44 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías inclinadas 45° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 8 horas



Fuente: Propia.

11.5. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN JUNTAS FRÍAS VERTICALES 90° CON TIEMPOS DE FORMACIÓN 4,6 Y 8 HORAS CON Y SIN RESINA EPOXICA RESPECTO A LAS VIGAS MONOLÍTICAS A 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD

En la Tabla 30, se muestra la comparación de la resistencia a la flexión en vigas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías verticales 90° con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas en los diferentes tiempos de formación de juntas (4, 6 y 8 horas).

Tabla 30 Resultados Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas

Juntas frías verticales 90° respecto a vigas monolíticas									
Edad	Con epóxico			Sin epóxico			Monolíticas		
	Tiempo de formación de junta								
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Promedio módulo de rotura, f' r [Mpa]								
7 días	1,726	1,157	0,927	0,487	0,286	0,440	2,044	2,031	2,150
14 días	1,741	1,679	1,419	0,144	0,719	1,000	2,635	2,577	2,555
28 días	1,763	1,973	*	1,238	0,746	*	2,629	2,868	*

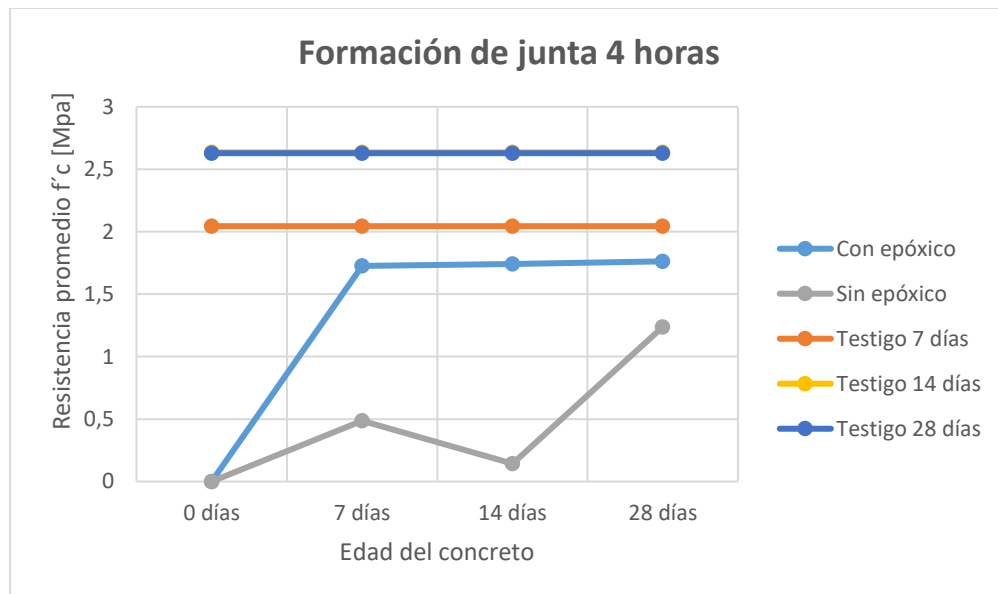
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco () son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.*

11.5.1. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 4 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.

En la Ilustración 45, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de las diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías verticales 90° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 4 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que todas las vigas con epóxico disminuyeron en 0,32 MPa, 0,90 MPa, 0,87 MPa y sin epóxico disminuyeron en 1,56 MPa, 2,45 MPa, 1,40 MPa respetivamente.

Ilustración 45 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 4 horas

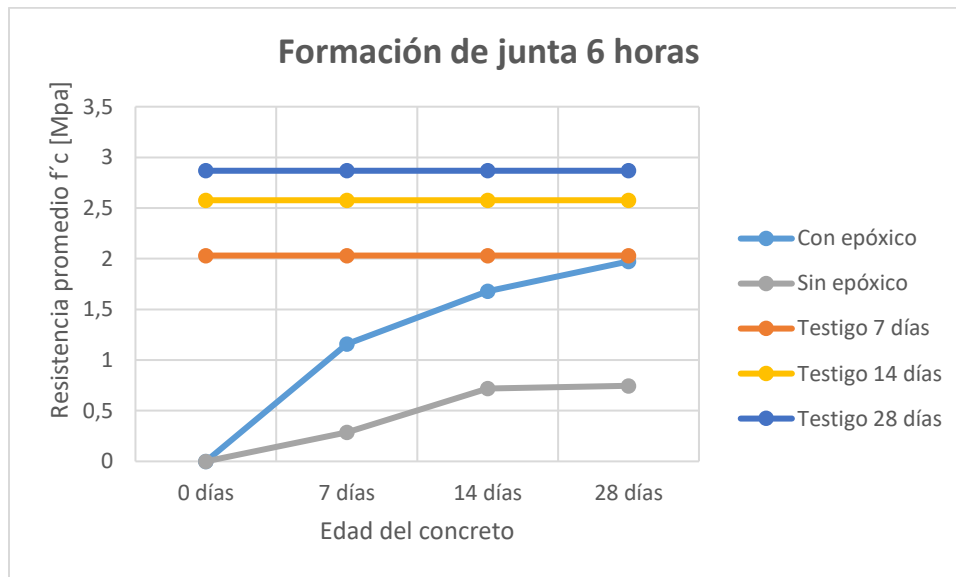


Fuente: Propia.

11.5.2. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 6 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7, 14 y 28 días de edad.

En la Ilustración 46, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de las diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías verticales 90° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 6 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que todas las vigas con epóxico disminuyeron en 0,88 MPa, 0,90 MPa, 0,90 MPa y sin epóxico disminuyeron en 1,75 MPa, 1,86 MPa, 2,12 MPa respetivamente.

Ilustración 46 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 6 horas

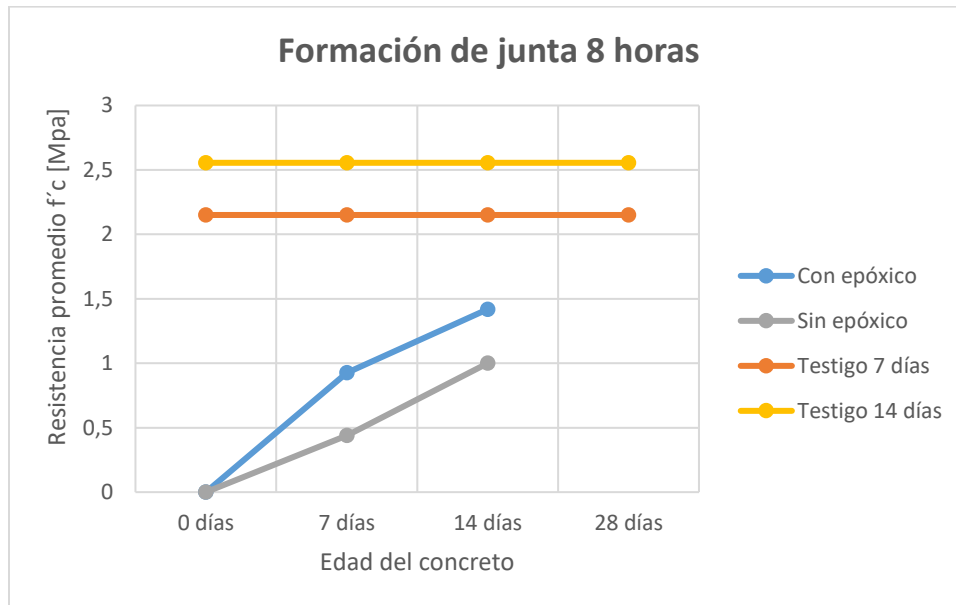


Fuente: Propia.

11.5.3. Resultados de la comparación de resistencia a la flexión en juntas frías verticales 90° con tiempos de formación de 8 horas con y sin tratamiento epóxico respecto a las vigas monolíticas a 7 y 14 días de edad.

En la Ilustración 47, se muestra la comparación de la resistencia a flexión de vigas de las diferentes edades (7 y 14 días) con presencia de juntas frías verticales 90° con y sin tratamiento epóxico con tiempo de formación de 8 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7 y 14 días observando que todas las vigas con epóxico disminuyeron en 1,22 MPa, 2,14 MPa y sin epóxico disminuyeron en 1,71 MPa, 1,55 MPa respetivamente.

Ilustración 47 Comparación de resistencia a la flexión con juntas frías verticales 90° respecto a las vigas monolíticas, formación de junta 8 horas



Fuente: Propia.

11.6. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA PARA VIGAS DE EDADES (7, 14 Y 28 DÍAS) CON JUNTAS DE INCLINACIÓN DE 45° CON Y SIN TRATAMIENTO EPÓXICO, VIGAS MONOLÍTICAS Y VIGAS TEÓRICAS HALLADAS POR MÉTODO ACI EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En la Tabla 31, se observan los resultados de las resistencias a la flexión (f'_r) en vigas con juntas inclinadas 45°, monolíticas y teóricas por método ACI (American Concrete Institute) a edades de (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de junta (4, 6 y 8 horas) y se comparan con los resultados de las resistencias a la compresión (f'_c) en cilindros.

Tabla 31 Resultados Vigas con juntas frías inclinadas 45° y monolíticas VS. Cilindros

Vigas con juntas frías inclinadas 45° y monolíticas													Cilindros		
Edad	Con epóxico			Sin epóxico			Monolíticas			ACI			Testigos		
	Tiempo de formación de junta												Tiempo de formación de junta		
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Promedio módulo de rotura, f_r [Mpa]												Promedio resistencia a la compresión, f_c [Mpa]		
7 días	2,455	1,878	1,259	1,749	1,141	1,157	2,044	2,031	2,150	2,09	2,24	2,35	11,32	13,02	14,31
14 días	2,789	2,362	2,087	1,850	1,571	1,391	2,635	2,577	2,555	2,51	2,47	2,27	16,45	15,87	13,44
28 días	2,683	2,637	*	2,095	1,188	*	2,629	2,868	*	2,45	2,59	*	15,63	17,43	*

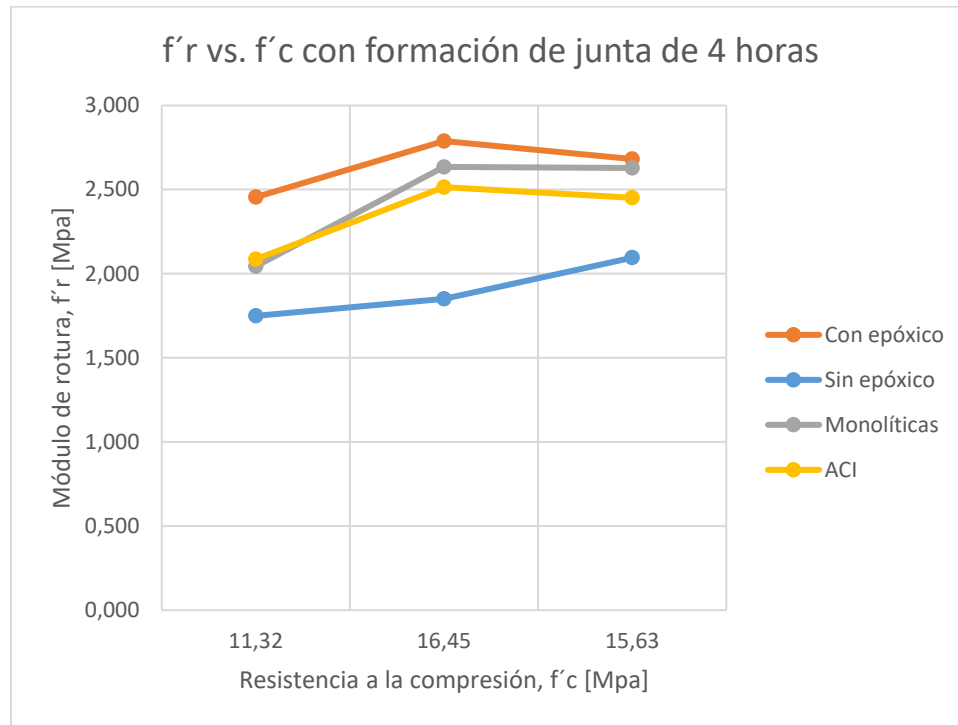
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

11.6.1. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 48, se compara el módulo de rotura (f_r) para vigas inclinadas 45° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 31). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la formula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión (f_c).

Ilustración 48 Comparación $f' r$ vs. $f' c$ para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas

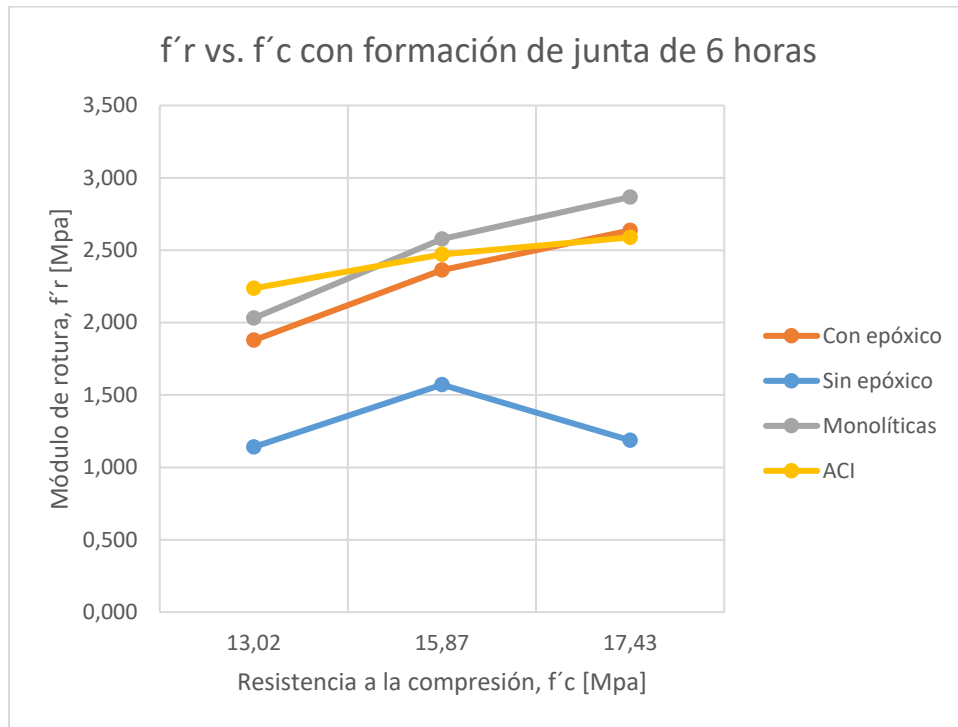


Fuente: Propia.

11.6.2. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 6 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 49, se compara el módulo de rotura ($f' r$) para vigas inclinadas 45° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 31). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la fórmula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión ($f' c$).

Ilustración 49 Comparación $f' r$ vs. $f' c$ para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas

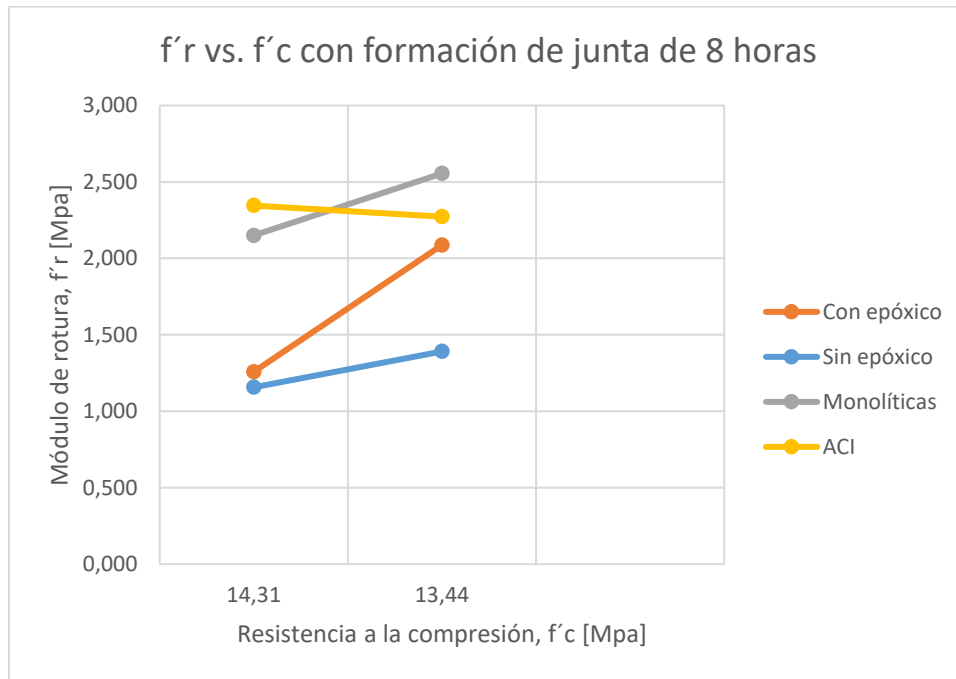


Fuente: Propia.

11.6.3. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7 y 14 días) con juntas de inclinación de 45° con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 50, se compara el módulo de rotura ($f' r$) para vigas inclinadas 45° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 31). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la fórmula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión ($f' c$).

Ilustración 50 Comparación f_r vs. f_c para vigas inclinadas 45° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas



Fuente: Propia.

11.7. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA PARA VIGAS DE EDADES (7, 14 Y 28 DÍAS) CON JUNTAS VERTICALES DE 90° CON Y SIN TRATAMIENTO EPÓXICO, VIGAS MONOLÍTICAS Y VIGAS TEÓRICAS HALLADAS POR MÉTODO ACI EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En la Tabla 32, se observan los resultados de las resistencias a la flexión (f_r) en vigas con juntas verticales 90° , monolíticas y teóricas por método ACI (American Concrete Institute) a edades de (7, 14 y 28 días) con tiempos de formación de junta (4, 6 y 8 horas) y se comparan con los resultados de las resistencias a la compresión (f_c) en cilindros.

Tabla 32 Resultados Vigas con juntas frías verticales 90° y monolítica VS. Cilindros

Vigas con juntas frías verticales 90° y monolíticas													Cilindros		
Edad	Con epóxico			Sin epóxico			Monolíticas			ACI			Testigos		
	Tiempo de formación de junta												Tiempo de formación de junta		
	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas	4 horas	6 horas	8 horas
	Promedio módulo de rotura, f_r [Mpa]												Promedio resistencia a la compresión, f_c [Mpa]		
7 días	1,726	1,157	0,927	0,487	0,286	0,440	2,044	2,031	2,150	2,09	2,24	2,35	11,32	13,02	14,31
14 días	1,741	1,679	1,419	0,144	0,719	1,000	2,635	2,577	2,555	2,51	2,47	2,27	16,45	15,87	13,44
28 días	1,763	1,973	*	1,238	0,746	*	2,629	2,868	*	2,45	2,59	*	15,63	17,43	*

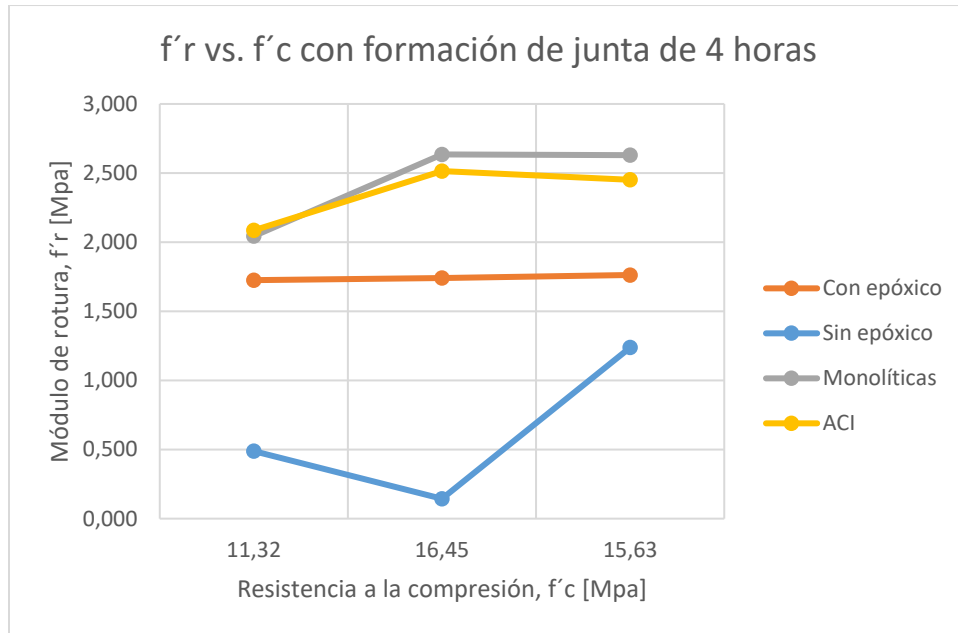
Fuente: Propia.

Nota: Las casillas que tengan asterisco (*) son los datos de vigas y cilindros de 28 días con tiempos de formación de 8 horas, que por caso fortuito por pandemia no se obtuvieron.

11.7.1. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de verticales con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 51, se compara el módulo de rotura (f_r) para vigas verticales 90° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 32). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la formula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión (f_c).

Ilustración 51 Comparación f'_{r} vs. f'_{c} para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 4 horas

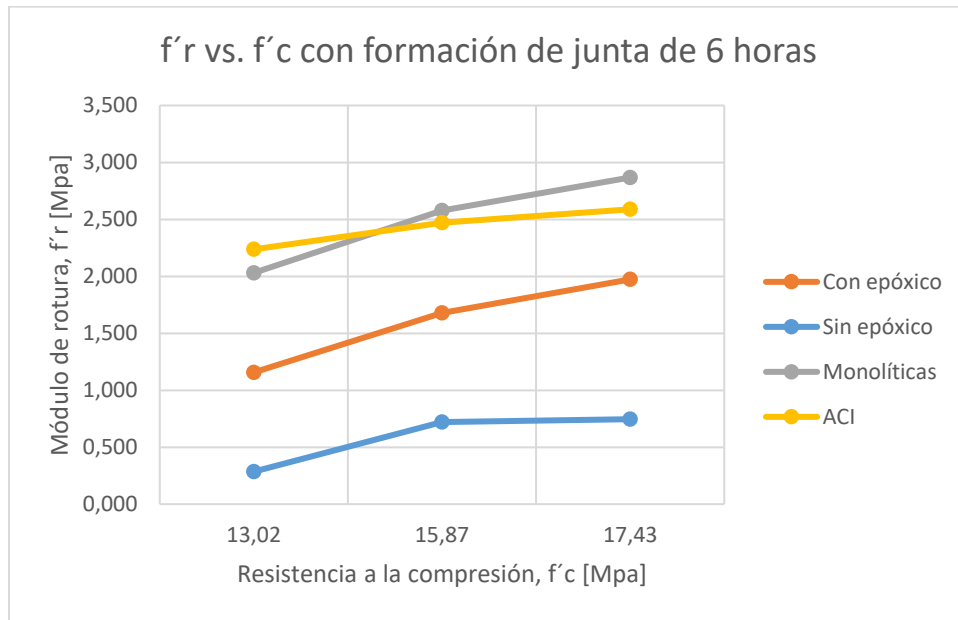


Fuente: Propia.

11.7.2. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de verticales con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 6 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 52, se compara el módulo de rotura (f'_{r}) para vigas verticales 90° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 32). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la formula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión (f'_{c}).

Ilustración 52 Comparación $f' r$ vs. $f' c$ para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 6 horas

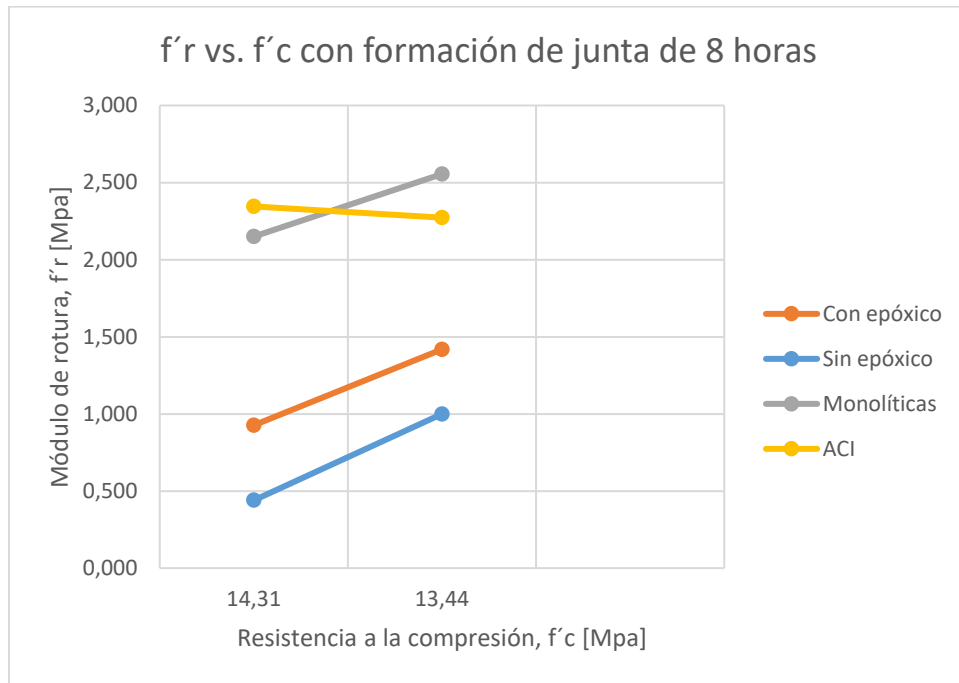


Fuente: Propia.

11.7.3. Comparación del módulo de rotura para vigas de edades (7, 14 y 28 días) con juntas de verticales con y sin tratamiento epóxico con tiempos de formación de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas halladas por método ACI en función de la resistencia a la compresión

En la Ilustración 53, se compara el módulo de rotura ($f' r$) para vigas verticales 90° con y sin epóxico en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas, vigas monolíticas y vigas teóricas por método ACI (American Concrete Institute) con base a los resultados experimentales que se muestran en la tabla anterior (Ver Tabla 32). Estos resultados se usaron para encontrar los valores de la constante K suministrada por la fórmula del método ACI (American Concrete Institute). Estos datos se observan en la Tabla 33 y todo esto en relación con la resistencia a la compresión ($f' c$).

Ilustración 53 Comparación f_r vs. f_c para vigas verticales 90° en edades de 7, 14 y 28 días con formación de junta de 8 horas



Fuente: Propia.

12. CALCULO DEL MODULO DE ROTURA EN FUNCION DE LA CONSTANTE K Y DE LA RESISTENCIA A COMPRESION APLICANDO METODOLOGIA ACI

En la sección 9.5.2.3 del ACI (*American Concrete Institute*) donde suministra una ecuación relacionando $f'c$ y fr para vigas monolíticas $fr = 0,62\sqrt{f'c}$ [30]. Ver ecuación 4.

Ecuación 1 Modulo de rotura código ACI

$$fr = K\sqrt{f'c} \text{ [Mpa]}$$

Donde:

- Fr = Módulo de rotura
- F'c = Esfuerzo de compresión
- K = Contante 0,62 código ACI

En la Tabla 33 se puede apreciar el K promedio experimental de las vigas de 7, 14 y 28 días de edad con formación de juntas de 4,6 y 8 horas teniendo en cuenta su orientación (vertical e inclinada) y si tienen o no resina epóxica. Además, en la Tabla 34 se muestran todos los valores de la constante K siendo las vigas monolíticas las más cercanas a esta (K=0,62) en porcentajes que van de 12% hasta 9% seguido de las inclinadas con epóxico con porcentajes de 18% a 46%. Caso contrario, para las vigas inclinadas sin epóxico se alejan desde 15% hasta 54%, verticales con epóxico desde 17% hasta 60% y finalmente, verticales sin epóxico desde 50% hasta 94%.

Tabla 33 K Promedio de los especímenes con juntas 4,6 y 8 horas

K PROMEDIO PARA 7, 14 Y 28 DIAS DE EDAD EN LOS TRES TIEMPOS DE FORMACIÓN DE JUNTA (4, 6 Y 8 HORAS)				
TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	28 DIAS; 4 Y 6 HORAS	14 DIAS; 4, 6 Y 8 HORAS	7 DIAS; 4, 6 Y 8 HORAS
VERTICAL	CON EPOXICO	0,46	0,41	0,36
	SIN EPOXICO	0,25	0,16	0,11
INCLINADA	CON EPOXICO	0,66	0,62	0,53
	SIN EPOXICO	0,41	0,41	0,38
MONOLITICA		0,68	0,66	0,58
ACI		0,62	0,62	0,62
% DIFERENCIA K PROMEDIO RESPECTO ACI				
TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	28 DIAS; 4 Y 6 HORAS	14 DIAS; 4, 6 Y 8 HORAS	7 DIAS; 4, 6 Y 8 HORAS
VERTICAL	CON EPOXICO	25,93%	33,46%	42,02%
	SIN EPOXICO	60,35%	73,72%	81,70%
INCLINADA	CON EPOXICO	5,65%	0,55%	14,89%
	SIN EPOXICO	34,33%	33,86%	38,60%
MONOLITICA		9,02%	7,18%	6,50%

Fuente: Propia.

Tabla 34 Valores constante K

K CALCULADO									
TIPO JUNTA O ELEMENTO	28 DIAS 4 HORAS	28 DIAS 6 HORAS	14 DIAS 4 HORAS	14 DIAS 6 HORAS	14 DIAS 8 HORAS	7 DIAS 4 HORAS	7 DIAS 6 HORAS	7 DIAS 8 HORAS	EPOXICO
VERTICALES	0,44	0,41	0,42	0,42	0,37	0,51	0,29	0,25	CON
	0,45	0,53	0,44	0,42	0,40	0,51	0,35	0,24	EPOXICO
	0,31	0,21	0,03	0,20	0,27	0,18	0,08	0,09	SIN
	0,32	0,15	0,04	0,16	0,28	0,11	0,08	0,14	EPOXICO
INCLINADAS	0,69	0,64	0,69	0,58	0,59	0,82	0,55	0,34	CON
	0,67	0,62	0,69	0,61	0,55	0,64	0,49	0,33	EPOXICO
	0,55	0,27	0,38	0,36	0,37	0,56	0,30	0,25	SIN
	0,51	0,30	0,53	0,43	0,39	0,48	0,33	0,36	EPOXICO
MONOLITICAS	0,67	0,63	0,63	0,70	0,66	0,64	0,66	0,56	-
	0,69	0,57	0,61	0,60	0,72	0,61	0,56	0,59	
	0,66	0,73	0,65	0,64	0,70	0,67	0,53	0,55	
	0,64	0,81	0,70	0,64	0,71	0,52	0,51	0,58	
K PROMEDIO									
TIPO JUNTA O ELEMENTO	28 DIAS 4 HORAS	28 DIAS 6 HORAS	14 DIAS 4 HORAS	14 DIAS 6 HORAS	14 DIAS 8 HORAS	7 DIAS 4 HORAS	7 DIAS 6 HORAS	7 DIAS 8 HORAS	EPOXICO
VERTICALES	0,45	0,47	0,43	0,42	0,39	0,51	0,32	0,24	CON
	0,31	0,18	0,04	0,18	0,27	0,14	0,08	0,12	SIN
INCLINADAS	0,68	0,63	0,69	0,59	0,57	0,73	0,52	0,33	CON
	0,53	0,28	0,46	0,39	0,38	0,52	0,32	0,31	SIN
MONOLITICAS	0,66	0,69	0,65	0,65	0,70	0,61	0,56	0,57	-
ACI	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	
% DIFERENCIA K PROMEDIO RESPECTO ACI									
VERTICALES	28%	24%	31%	32%	38%	17%	48%	60%	CON
	50%	71%	94%	71%	56%	77%	87%	81%	SIN
INCLINADAS	-9%	-2%	-11%	4%	8%	-18%	16%	46%	CON
	15%	54%	26%	36%	39%	16%	49%	51%	SIN
MONOLITICAS	-7%	-11%	-5%	-4%	-12%	2%	9%	8%	-

Fuente: Propia.

13. CONCLUSIONES

- Las vigas con presencia de juntas frías inclinadas 45° tratadas epóxicamente con tiempo de formación de 4 horas tienen un aumento de resistencia en las diferentes edades del concreto (7, 14 y 28 días) respecto a las monolíticas en un 20,08%, 5,84% y 2,04% respectivamente. En el caso que no se empleó el tratamiento para las vigas de las mismas edades (7, 14 y 28 días) su resistencia disminuye respecto a las monolíticas en un 7,52%, 8,34% y 8,05% para tiempos de formación de juntas de 6 horas y 41,47%, 18,33% para tiempos de formación de junta de 8 horas, es decir a medida que el tiempo de formación de junta sea mayor su resistencia irá disminuyendo.
- Las vigas con presencia de juntas frías verticales 90° son las más críticas sin importar su tiempo de formación y edad del concreto, pero el porcentaje de pérdida es menor cuando son tratadas epóxicamente y en tiempos de formación menores. Las vigas con presencia de juntas frías verticales 90° tratadas epóxicamente en tiempos de formación de 4 horas para edades de (7, 14 y 28 días) se obtuvo un porcentaje menor de pérdida de resistencia respecto a las vigas monolíticas, dicho porcentaje es de 15,60%, 33,93%, 32,95% respectivamente.
- La resistencia del módulo de rotura en vigas de 7 y 14 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° tratadas epóxicamente con tiempo de formación de 4 horas tienen una resistencia de 2,455 MPa para 7 días siendo la resistencia máxima respecto a la viga monolítica promedio 2,08 MPa con una ganancia de 0,38 MPa y 2,789 MPa para 14 días siendo la resistencia máxima respecto a la viga monolítica promedio de 2,59 MPa con una ganancia de 0,20 MPa. Para juntas con tiempos de formación mayores sin importar la edad del concreto se tienen menores resistencias. Para concretos con 28 días de edad en todos los tiempos de formación de juntas (4 y 6 horas), se obtiene una disminución de resistencia sin importar su orientación (vertical 90° e inclinada 45°) y si tienen o no, tratamiento epóxico.
- Al realizar la comparación de la resistencia a flexión de las vigas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías inclinadas a 45° con y sin tratamiento epóxico con formación de junta de 4 horas respecto a sus testigos correspondientes de 7, 14 y 28 días observando que las vigas con epóxico aumenta su resistencia respecto a sus testigos en 0,411 MPa, 0,154 MPa y 0,054 MPa respectivamente. Para tiempos mayores de formación de junta sin importar su inclinación, edad del concreto y si cuentan o no con tratamiento epóxico, su resistencia disminuye respecto a sus testigos correspondientes. En tiempos de formación de junta de 6 horas en edades de 7, 14 y 28 su resistencia disminuye en 0,153 MPa, 0,215 MPa, 0,231 MPa para el caso de vigas con tratamiento epóxico y 0,89 MPa, 1,01 MPa, 1,68 MPa para vigas sin tratamiento epóxico. Finalmente, para tiempos de formación de

junta de 8 horas en edades de 7 y 14 días disminuye en 0,891 MPa, 0,468 MPa para el caso de vigas con tratamiento epóxico y 0,99 MPa, 1,16 MPa para el caso de vigas sin tratamiento.

- Realizando las comparaciones de la resistencia a la flexión de las diferentes edades (7, 14 y 28 días) con presencia de juntas frías verticales a 90°, se determinó que son las más críticas debido a que no se obtiene un aumento de resistencia respecto a sus vigas testigos. Por lo tanto, se obtiene que el menor porcentaje de pérdida de resistencia se da en juntas tratadas epóxicamente con tiempos de formación de 4 horas, siendo la resistencia obtenida de 0,32 MPa para 7 días de edad 0,90 MPa para 14 días de edad, 0,87 MPa para 28 días de edad.
- Realizada la comparación entre las constantes (K) teóricas y experimentales se obtiene que el valor promedio para las vigas a 7 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4, 6 y 8 horas) con epóxico es de $K=0.36$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 42,02% ; el valor promedio para las vigas a 7 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4, 6 y 8 horas) sin epóxico es de $K=0.11$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 81,70% ; ; el valor promedio para las vigas a 14 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4, 6 y 8 horas) con epóxico es de $K=0.41$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 33,46%; el valor promedio para las vigas a 14 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4, 6 y 8 horas) sin epóxico es de $K=0.16$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 73,72%; el valor promedio para las vigas a 28 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4 y 6 horas) con epóxico es de $K=0.46$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 25,93%; %; el valor promedio para las vigas a 28 días de edad con presencia de juntas frías verticales formadas en (4 y 6 horas) sin epóxico es de $K=0.25$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 60,35%. Para el caso de las vigas a 7 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4, 6 y 8 horas) con epóxico es de $K=0.53$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 14,89%; el valor promedio para las vigas a 7 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4, 6 y 8 horas) sin epóxico es de $K=0.38$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 38,70%; el valor promedio para las vigas a 14 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4, 6 y 8 horas) con epóxico es de $K=0.62$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 0,55%; el valor promedio para las vigas a 14 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4, 6 y 8 horas) sin epóxico es de $K=0.41$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 33,86 %; el valor promedio para las vigas a 28 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4 y 6 horas) con epóxico es de $K=0,66$ y una diferencia

con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 5,65%; el valor promedio para las vigas a 28 días de edad con presencia de juntas frías inclinadas 45° formadas en (4 y 6 horas) sin epóxico es de $K=0,41$ y una diferencia con respecto al $K=0,62$ teórico suministrado por el ACI es del 34,33%. El valor de K promedio para las vigas monolíticas a 7 días de edad para juntas con tiempo de formación de 4, 6 y 8 horas es de $K=0,58$ y con un porcentaje de diferencia respecto al $K=0,62$ suministrado por el ACI es del 6,5% ; El valor de K promedio para las vigas monolíticas a 14 días de edad para juntas con tiempo de formación de 4, 6 y 8 horas es de $K= 0,66$ y con un porcentaje de diferencia respecto al $K=0,62$ suministrado por el ACI es del 7,18%; El valor de K promedio para las vigas monolíticas a 28 días de edad para juntas con tiempo de formación de 4 y 6 horas es de $K= 0,68$ y con un porcentaje de diferencia respecto al $K=0,62$ suministrado por el ACI es del 9,02%.

14. RECOMENDACIONES

- Se recomendaría en investigaciones futuras comparar dos o más tipos de resinas epóxicas entre sí para observar la eficiencia y comportamiento en especímenes a edades tempranas.
- Se recomendaría usar otro método de curado como se observa en la Ilustración 20 “Tipos de curado” por el PCA (portland Cement Association) [33] como se muestra teóricamente para verificar si el comportamiento en la resistencia de los especímenes varía debido al método que se empleó en esta investigación (cuarto de curado) por comodidad y espacio para las 108 vigas y 36 cilindros.
- En el presente proyecto se utilizó un tiempo de aplicación de la resina epóxica Sikadur® 32 Primer [22] de 30 min (tiempo promedio) respecto a la ficha técnica que varía el tiempo de aplicado de acuerdo a la temperatura, para futuras investigaciones se recomienda realizar más pruebas usando esta resina epóxica como puente de adherencia para confirmar la efectividad del producto.
- Para esta investigación se usó madera impermeabilizada con resina acrílica Invercryl 500 para evitar que la madera absorbiera el agua de los especímenes a causa de que se encontraba en contacto con ellos creando el plano de falla liso inclinado 45° y vertical 90° a cada uno, se recomendaría usar otro tipo de elemento para crear dichos planos de falla en las vigas de concreto simple.
- Para investigaciones futuras, se sugeriría que para vigas con juntas frías horizontales (180°) y con puente de adherencia en el eje neutro variando la posición de la junta por encima y por debajo del eje neutro.
- Para futuras investigaciones relacionadas con el tema se recomendaría realizar ensayos experimentales en elementos de concreto reforzado porque son elementos que se encuentran comúnmente en obra analizando el comportamiento que tiene el acero al tener contacto con este tipo de adhesivo.

15. BIBLIOGRAFIA

- [1] D. P. P. C. Sebastian Jose Morales Lizarazo, Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concretos con presencia de juntas frías a diferentes ángulos de inclinación, Bucaramanga, 2019.
- [2] E. Teran, «Scribd,» 22 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/94359686/Juntas-Frias-y-Juntas-de-Construccion>.
- [3] V. Y. Piqueras, «Poli [Blogs],» 17 febrero 2017. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/junta-fria/>.
- [4] M. F. Canovas, «Las resinas epoxi en las juntas de hormigonado,» *Informes de la construcción*, vol. 19, nº 181.
- [5] S. F. N. N. G. Camille A. Issa, «The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture,» *Case Studies in Construction Materials 1*, vol. 1, pp. 25-32, 2014.
- [6] В. Б. А. Г. А.А. Коянкин, «ВЛИЯНИЕ ШВАБЕТОНИРОВАНИЯ НА РАБОТУ КОНСТРУКЦИИ,» *Проектирование и конструирование строительных систем. Проблемы механики в строительстве*, vol. 3, nº 691.32, 2014.
- [7] L. F. V. Rodriguez, «Estudio de la adherencia en la unión de hormigon nuevo con hormigon viejo en vigas de hormigon sometidas a flexión,» *Ciencia Sur*, vol. 2, nº 3, pp. 44 - 50, 2016.
- [8] J. A. G. Zapata, *Análisis experimental de la unión del concreto fraguado y plástico en adherencia estructural analizando las variables, edad del concreto y puente de adherencia*, Bogotá D.C, 2016.
- [9] C. M. Fustamante, *Efecto de la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas*, Cajamarca - Perú, 2018.
- [10] A. H. N. A.-M. Fatimah Hameed Naser Al-Mamoori, «Reduce the influence of horizontal and vertical cold joints on the behavior of high strength concrete beam casting in hot weather by using sugar molasses,» *International Journal Of Engineering & Technology*, pp. 794 - 800, 2018.
- [11] †. S. A. A. N. L. N. T. Gayan Buddhika Illangakoona, «Concrete cold joint formation in hot weather conditions,» *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 406-415, 2019.

- [12] L. C.-A. J. V. e. I. M.-P. Fernando-Israel Olmedo-Zazo¹, «Influencia del proceso constructivo en el comportamiento de las vigas multicapa de hormigón ligero,» *Tecnología de la construcción*, vol. 94, nº 4, pp. 395 - 400, 2019.
- [13] E. d. ejemplos, «Materiales de construcción,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-materiales-de-construccion/>.
- [14] T. R. Quio, «SlideShare,» 16 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/tahinariveraquo/concreto-y-sus-propiedades>.
- [15] E. D. Yupanqui, «SlideShare,» 13 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/EdsonDominguezYupanqui/estados-del-concreto>.
- [16] «De Arkitectura,» 2014. [En línea]. Available: <http://dearkitectura.blogspot.com/2012/06/propiedades-del-concreto.html>.
- [17] e. t. sanchez, «Academia.edu,» 2014. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/5082888/JUNTAS_EN_LOSAS_DE_CONCRETO.
- [18] NRMCA, «El concreto en la practica ¿qué, por qué y cómo?,» [En línea]. Available: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP6es.pdf>.
- [19] J. E. M. Alzamora, «CivilGeeks.com Ingenieria Construcción,» marzo 2012. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.
- [20] R. Garcia, «SCRIBD,» 30 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/357625770/4-Juntas-Frias-y-Su-Tratamiento>.
- [21] R. Bricoblog, «Bricoblog,» 28 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.bricoblog.eu/todo-sobre-las-resinas-epoxi-o-poliepoxico/>.
- [22] Sika, «Ficha Tecnica, Sikadur 32 Primer adhesivo epoxico como puente de adhrencia concreto fresco a endurecido,» 2018.
- [23] N. Soriano, «AIMPLAS, INSTITUTO TECNOLOGICO DEL PLASTICO,» [En línea]. Available: <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/>. [Último acceso: 15 ABRIL 2020].
- [24] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana NTC 2871"Metodo de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexion (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)",» 2004.

- [25] J. D. Osorio, «360 en Concreto,» 1 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoryid/158/categoryname/usos-y-aplicaciones/importancia-del-agua-en-el-concreto>.
- [26] I. M. d. C. y. d. C. IMCYC, «Pruebas de resistencia a la compresión del concreto,» *El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones*, vol. v, p. 20, 2006.
- [27] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 673 "Resistencia a la compresión de cilindros de concreto",» 2010.
- [28] A. American Society of Testing Materials, «ASTM C78 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto».
- [29] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 1377 "Elaboración y curados de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio",» 2010.
- [30] A. C. Institute, Requisitos de reglamento de concreto estructural, 2015.
- [31] Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010.
- [32] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana, NTC 30 "Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura",» 1966.
- [33] S. H. K. B. K. W. C. P. y. J. T. Portland Cement Association, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Boletín de Ingeniería EB201.
- [34] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 3459 "Concretos. Agua para la elaboración de concreto"».
- [35] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 174 "Concretos. Especificaciones de los agregados de los concretos,» 2000.
- [36] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 396 "Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto",» Bogotá, D.C, 1992.
- [37] ASTM, «ASTM C192/192M "Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio",» 2018 .
- [38] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana, NTC 221 "Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico",» 1999 .
- [39] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana, NTC 1776 "Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados",» 1994.

- [40] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, NTC 237 Metodo para determinar la densidad y absorcion del agregado fino,» 1995 .
- [41] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, NTC 92 Determinacion de la masa unitaria y los vacios entre particulas de agregados,» 1995.
- [42] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, NTC 121 "Cemento Portland. Especificaciones fisicas y mecanicas",» 1982.
- [43] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, NTC 77 Metodo de ensayo para el analisis por tamizado de los agregados finos y grueso,» 2007.
- [44] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana "Metodo de ensayo para determinar el peso especifico y absorcion del agregado grueso",» 1995.
- [45] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, "Metodo para determinar el peso especifico y absorcion del agregado fino",» 1995.
- [46] ICONTEC, «Norma Tecnica Colombiana, NTC 176 "Metodo de ensayo para determinar la densidad y la absorcion del agregado grueso",» 1995.
- [47] ACI, «Practica estandar para seleccionar el proporcionamiento del concreto de peso normal, pesado y masivo,» 2002.
- [48] ASTM, «Norma ASTM C33, Granulometria de agregados finos y granulometria de agregados gruesos».
- [49] H. B. H. Cano, «Supervisión de estructuras de concreto y acero,» 28 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/home/11--propiedades-del-concreto-y-sus-componentes>.
- [50] R. Garcia, «SCRIBD,» 30 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/357625770/4-Juntas-Frias-y-Su-Tratamiento>.
- [51] C. A. Vargas, «civilgeeks.com,» 2015 . [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2015/04/19/concreto-una-breve-exploracion/>.

16. ANEXO 1

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Para realizar la caracterización de los agregados y el cemento se deben seguir los lineamientos estipulados en la Norma Técnica Colombiana NTC 174 Especificaciones de los agregados para concreto, NTC 221 Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, NTC 1776 Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados, NTC 237 Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino, NTC 92 Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados, cumpliendo con los requerimientos necesarios para el diseño de concretos en Colombia.

- Análisis granulométrico para agregados finos y gruesos

Tabla 34 Resultado granulométrico agregado grueso

Peso inicial agregado grueso (gr)	9294
Perdida de material (%)	0,039
Tamaño Máximo (TM)	1"
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	$\frac{3}{4}$ "

Fuente: Propia.

Tabla 35 Requisitos de gradación agregado grueso NTC 174

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS SEGÚN 174			
Tamiz	Abertura [mm]	Límite Superior [%]	Límite Inferior [%]
1"	25	100	95
$\frac{3}{4}$ "	19	100	90
$\frac{1}{2}$ "	12,7	60	25
$\frac{3}{8}$ "	9,5	15	0
#4	4,75	5	0

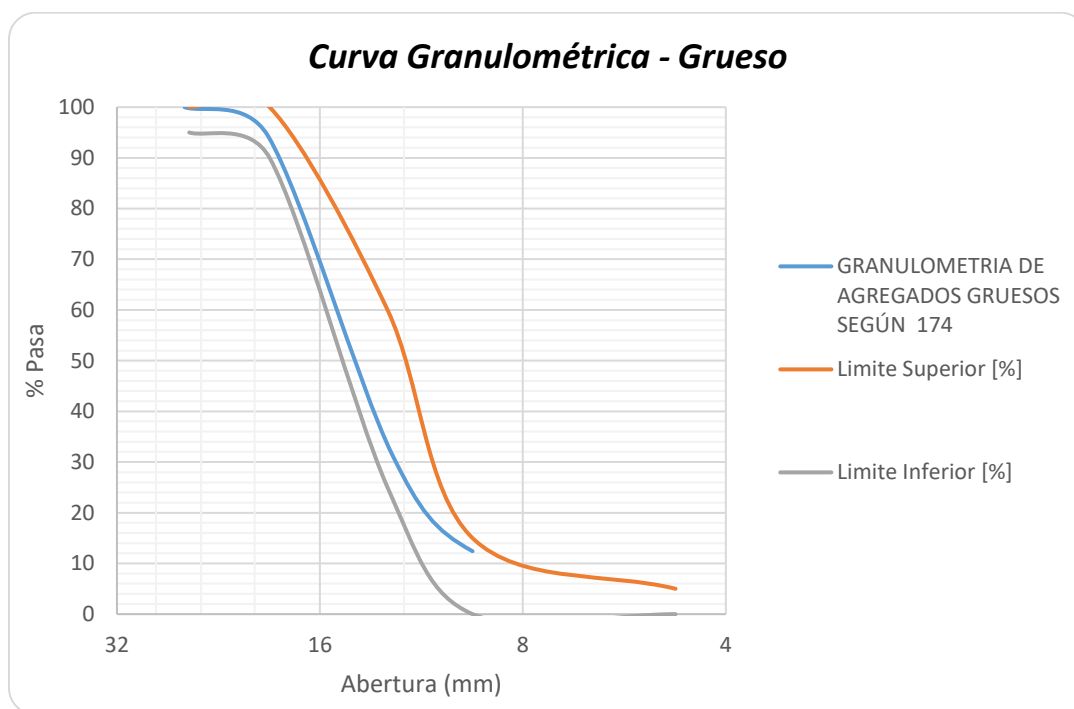
Fuente: Propia.

Tabla 36 Análisis granulométrico agregado grueso

AGREGADOS GRUESOS							
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA		ABERTURA (mm)	% PASA
1"	0	0,00	0,00	100,00		25,4	100,00
3/4"	529,8	5,70	5,70	94,30		19,1	94,30
1/2"	5840	62,84	68,54	31,46	Y1	12,5	31,46
3/8"	1770,4	19,05	87,59	12,41	Y2	9,5	12,41
N° 4	1074,8	11,56	99,15	0,85		4,75	0,85
FONDO	75,4	0,81	99,96	0,039		0	0,039
TOTAL	9290,4						

Fuente: Propia.

Ilustración 54 Curva Granulométrica agregado grueso



Fuente: Propia.

Realizando el análisis y curva granulométrica se puede observar que el agregado grueso cumple con las especificaciones regidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 174.

Tabla 37 Resultado granulométrico agregado fino

Peso inicial agregado fino (gr)	1660,4
Perdida de material (%)	0,096
Módulo de finura (MF)	2,70

Fuente: Propia.

Tabla 38 Requisitos de gradación agregado fino NTC 174

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS NTC 174			
Tamiz	Abertura [mm]	Límite Superior [%]	Límite Inferior [%]
#4	4,75	100	95
#8	2,36	100	80
#16	1,18	85	50
#30	0,6	60	25
#50	0,3	30	10
#100	0,15	10	2

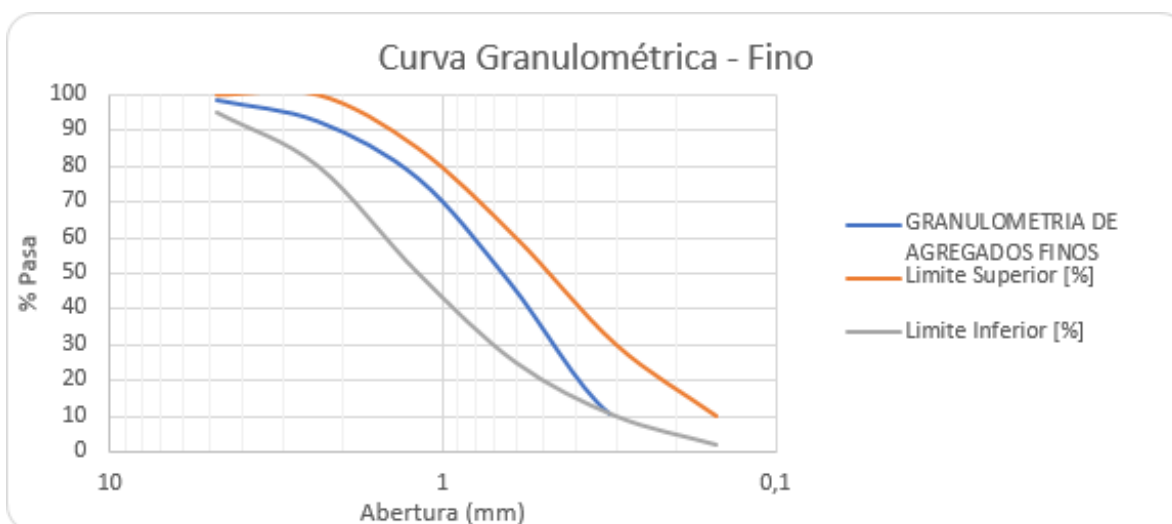
Fuente: Propia.

Tabla 39 Análisis granulométrico agregado fino

AGREGADO FINO								
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA		ABERTURA (mm)	% PASA	
N° 4	21,8	1,31	1,31	98,69		4,75	98,69	
N° 8	99,4	5,99	7,30	92,70		2,36	92,70	
N° 16	266,4	16,04	23,34	76,66		1,18	76,66	
N° 30	480	28,91	52,25	47,75	Y1	0,63	47,75	X1
N° 50	614,4	37,00	89,26	10,74	Y2	0,315	10,74	X2
N° 100	118,6	7,14	96,40	3,602		0,16	3,60	
FONDO	58,2	3,51	99,90	0,096		0	0,096	
TOTAL	1658,8							

Fuente: Propia.

Ilustración 55 Curva Granulométrica agregado fino



Fuente: Propia.

Realizando el análisis y curva granulométrica se puede observar que el agregado fino cumple con las especificaciones regidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 174.

- **Peso específico y absorción de agregados**

De acuerdo con lo estipulado en la NTC 237, los valores típicos de la densidad varían entre **2.3 a 2.8 g/cm³** y el % de absorción varía entre **0.2 a 4 %**

Tabla 40 Peso específico y absorción agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCION	PESO (gr)		DESCRIPCION	PESO	UNIDAD
PESO PLATON	200		DENSIDAD DEL AGUA	1	gr/cm ³
PESO PLATON + AGREGADO GRUESO	6500		DENSIDAD APARENTE	2,62	gr/cm ³
PESO SUPERFICIALMENTE SECO	6259	B	DENSIDAD APARENTE SSS	2,65	gr/cm ³
PESO SUMERGIDO	3893	C	DENSIDAD NOMINAL	2,68	gr/cm ³
PESO SECO	6207	A	ABSORCION	0,84	%

Fuente: Propia.

En la tabla anterior se observa como resultado la densidad del agregado grueso **2,62 gr/cm³** y el % de absorción de **0,84 %**. Estos valores se encuentran dentro de los límites dados, por lo tanto, el material cumple con las especificaciones de la norma NTC 237.

Tabla 41 Peso específico y absorción agregado fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO FINO					
DESCRIPCION	PESO (gr)		DESCRIPCION	PESO (gr)	UNIDAD
PESO PICNOMETRO + AGREGADO FINO + AGUA	999,8	C	DENSIDAD DEL AGUA	1	gr/cm ³
PESO SUPERFICIALMENTE SECO	500	S	DENSIDAD APARENTE	2,51	gr/cm ³
PESO SECO (DESPUES DE HORNO)	493	A	DENSIDAD APARENTE SSS	2,54	gr/cm ³
PESO PICNOMETRO + AGUA	696,4	B	DENSIDAD NOMINAL	2,60	gr/cm ³
			ABSORCION	1,42	%

Fuente: Propia.

En la tabla anterior se observa como resultado la densidad del agregado fino **2,51 gr/cm³** y el % de absorción de **1,42%**. Estos valores se encuentran dentro de los límites, por lo tanto, el material cumple con las especificaciones de la norma NTC 176.

- **Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados**

Tabla 42 Masa unitaria Suelta Agregado Grueso

MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO GRUESO		
MASA UNITARIA (gr/cm ³)	DATOS	UNIDADES
PESO MOLDE + AGUA + VIDRIO	14777	gr
PESO MOLDE	3976	gr
PESO VIDRIO	767	gr
DENSIDAD AGUA	1	gr/cm ³
VOLUMEN MOLDE	10034,00	cm ³
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	17857	gr
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	17832	gr
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	18022	gr
PROMEDIO	17903,67	gr
PESO DEL AGREGADO SUELTO	13927,67	gr
MUS	1,39	gr/cm ³
% VACIOS	47,09	%

Fuente: Propia.

Tabla 43 Masa unitaria compacta Agregado Grueso

MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO GRUESO		
MASA UNITARIA (gr/cm³)	DATOS	UNIDADES
PESO MOLDE + AGUA + VIDRIO	14777	gr
PESO MOLDE	3976	gr
PESO VIDRIO	767	gr
DENSIDAD AGUA	1	gr/cm ³
VOLUMEN MOLDE	10034,00	cm ³
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	18890	gr
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	18904	gr
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	18911	gr
PROMEDIO	18901,67	gr
PESO DEL AGREGADO COMPACTADO	14925,67	gr
MUC	1,49	gr/cm ³
% VACIOS	43,30	%

Fuente: Propia.

Tabla 44 Masa unitaria Suelta Agregado Fino

MASA UNITARIA SUELTA (MUS) AGREGADO FINO		
MASA UNITARIA (gr/cm³)	DATOS	UNIDADES
PESO MOLDE + AGUA + VIDRIO	8786	gr
PESO MOLDE	3069	gr
PESO VIDRIO	767	gr
DENSIDAD AGUA	1	gr/cm ³
VOLUMEN MOLDE	4950,00	cm ³
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	10325	gr
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	10616	gr
PESO MOLDE + AGREGADO SUELTO	10613	gr
PROMEDIO	10518,00	gr
PESO DEL AGREGADO SUELTO	7449,00	gr
MUS	1,50	gr/cm ³
% VACIOS	39,99	%

Fuente: Propia.

Tabla 45 Masa unitaria compacta Agregado Fino

MASA UNITARIA COMPACTA (MUC) AGREGADO FINO		
MASA UNITARIA (gr/cm³)	DATOS	UNIDADES
PESO MOLDE + AGUA + VIDRIO	8786	gr
PESO MOLDE	3069	gr
PESO VIDRIO	767	gr
DENSIDAD AGUA	1	gr/cm ³
VOLUMEN MOLDE	4950,00	cm ³
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	10856	gr
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	11110	gr
PESO MOLDE + AGREGADO COMPACTO	11287	gr
PROMEDIO	11084,33	gr
PESO ADEL AGREGADO COMPACTADO	8015,33	gr
MUC	1,62	gr/cm ³
% VACIOS	35,43	%

Fuente: Propia.

- **Determinación del contenido de humedad en agregados**

Tabla 46 Contenido de humedad Agregado Grueso

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
PESO INICIAL	2103	gr
PESO FINAL	2101,2	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	0,086	%

Fuente: Propia.

Tabla 47 Contenido de humedad Agregado Fino

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
PESO INICIAL	1727	gr
PESO FINAL	1660,4	gr
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	4,011	%

Fuente: Propia.

- **Determinación de la densidad del cemento hidráulico**

La NTC 221 establece un límite de densidad que debe cumplir el cemento para realizar un diseño de mezcla, el cual comprende valores entre **2,90 y 3,15 gr/cm3**. En la siguiente tabla se puede observar que la densidad dio como resultado **2.92 gr/cm3** cumpliendo lo estipulado por la NTC.

Tabla 48 Densidad del cemento hidráulico

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
TEMPERATURA INICIAL	28	°C
LECTURA INICIAL	0,4	cm3
TEMPERATURA FINAL	28	°C
LECTURA FINAL	22,33	cm3
PESO UTILIZADO DE CEMENTO	64	gr
VOLUMEN DESALOJADO	21,93	cm3
DENSIDAD DEL CEMENTO	2,92	gr/cm3

Fuente: Propia.

17. ANEXO 2

RESULTADOS DISEÑO DE MEZCLA

En la Tabla 49 se muestran los parámetros necesarios para realizar un diseño de mezcla tomados de la caracterización de los materiales mostrados anteriormente.

Tabla 49 Parámetros para diseño de mezcla

AGREGADOS	FINO	GRUESO	UNIDADES
PERFIL	-	ANGULAR	-
MUS	1,50	1,39	gr/m ³
MUC	1,62	1,49	gr/m ³
PESO ESPECIFICO	2,51	2,62	gr/m ³
MF	2,70	-	-
TMN	-	3/4"	plg
% ABSORCION	1,42	0,84	%
% HUMEDAD	4,011	0,086	%

Fuente: Propia.

Para realizar el diseño de mezcla es necesario tener en cuenta las siguientes tablas dadas por la norma ACI 211.

Tabla 50 Contenido de aire atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
1 1/2"	0,01
1"	0,015
3/4"	0,02
1/2"	0,025
3/8"	0,03

Fuente: Tomado de Norma ACI 211.

Tabla 51 Relación Agua/Cemento en peso

RELACION AGUA/CEMENTO EN PESO		
F'c (kg/cm ²)	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	-
450	0,38	-

Fuente: Tomado de Norma ACI 211.

Tabla 52 Modulo Resistencia a Compresión (F'cr)

F'c	F'cr	DATOS	NOTA: Cuando no tenemos registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores
< 210	F'c + 70	70	
210 - 350	F'c + 84	84	
> 350	F'c + 98	98	

Fuente: Tomado de Norma ACI 211.

Tabla 53 Cantidad de agua para 1 m³ para los tamaños máximos nominales en agregados

AGUA EN 1 M3 PARA LOS TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALES DE AGREGADO GRUESO Y CONSISTENCIA INDICADA					
ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO					
1" - 2"	207	199	190	179	166
3" - 4"	228	216	200	193	181
6" - 7"	243	228	216	202	190
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO					
1" - 2"	181	175	168	160	150
3" - 4"	202	193	184	175	165
6" - 7"	216	205	197	184	174

Fuente: Tomado Norma ACI 211.

Tabla 54 Volumen de agregado grueso, seco y compacto por unidad de volumen

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO, POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO, PARA DIVERSOS MODULOS DE FINEZA DEL FINO (b/b0)				
TMN AGREGADO GRUESO	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70

Fuente: Tomado Norma ACI 211.

Tabla 55 Cantidad de material para el diseño mezcla

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
AIRE	0,02	%
AGUA	200	Lt
A/C	0,56	Lt/Kg
CEMENTO	359,07	Kg
BULTOS	7,18	Un

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
PESO AGREGADO GRUESO	937,13	Kg
PESO AGREGADO FINO	751,65	Kg

Fuente: Propia.

Tabla 56 Volumen absoluto

VOLUMEN ABSOLUTO		
CEMENTO	0,123	m3
AGUA	0,200	m3
AIRE	0,02	m3
GRUESO	0,357	m3
SUMATORIA	0,700	m3
FINO	0,300	m3

Fuente: Propia.

Tabla 57 Corrección por humedad de los agregados

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
FINO	781,80	Kg
GRUESO	937,93	Kg

Fuente: Propia.

Tabla 58 Aporte de agua a la mezcla

DESCRIPCION	DATOS	UNIDADES
FINO	20	Lt
GRUESO	-7	Lt
AGUA PARCIAL	13	Lt
AGUA EFECTIVA	187	Lt

Fuente: Propia.

Tabla 59 Proporcionamiento del diseño

CEMENTO kg	AGREGADO FINO kg	AGREGADO GRUESO kg	AGUA lt
359,07	781,80	937,93	187
1	2,18	2,61	26,0

Fuente: Propia.

18. ANEXO 3

RESULTADO DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (CONO DE ABRAMS) NTC 396

Posteriormente de realizar la caracterización de los materiales y el diseño de mezcla, se efectuó el ensayo de Cono de Abrams suministrado por la NTC 396 para determinar el asentamiento del concreto. Al realizar este ensayo se verificó que el concreto cumple con lo estipulado por la NTC 396, ya que la medida del asentamiento es la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto siendo esta de aproximadamente 3 pulgadas, valor requerido según el diseño de mezcla.

Ilustración 56 Ensayo de Asentamiento del concreto



Fuente: Propia.

PROCESO DE FUNDICIÓN DEL CONCRETO DE LAS 108 VIGAS Y 36 CILINDROS

Para este proceso inicialmente se preparó la cantidad del material de acuerdo con el diseño de mezcla previamente realizado, fue necesario usar el trompo mezclador para obtener una mezcla homogénea de concreto y así empezar a verter en las formaletas correspondientes.

Ilustración 57 Preparación del material



Fuente: Propia

El proceso de vertimiento constó de dos partes o dos jornadas teniendo presente el tiempo de formación de juntas, se inició vertiendo la primera parte de concreto hasta la mitad de la formaleta ya que ahí se formaría la junta fría o la unión con el otro concreto, para esto, fue necesario usar un molde de madera el cual variaba de acuerdo a su orientación, después de finalizar la primera parte de vertimiento del concreto se esperó el tiempo estipulado para la formación de juntas que eran entre 4, 6 y/o 8 horas para continuar con el proceso de fundición.

Ilustración 58 Procedimiento de fundición primera parte



Fuente: Propia.

Pasado este tiempo de formación de juntas, se retiraron los moldes de madera para empezar a aplicar el Sikadur 32 primer en la cara del concreto que quedaba expuesta, este proceso se realizó media hora antes teniendo en cuenta las especificaciones del producto, esta técnica únicamente se efectuó para el caso de las vigas con presencia de juntas frías que serían tratadas epoxicamente. Ver ilustración 45. Para el caso de las vigas cuyas juntas frías no serían tratadas epoxicamente se continuo con el procedimiento de fundición. Además, por cada jornada de fundición se obtuvieron dos testigos los cuales serían dos vigas monolíticas y dos cilindros, para tener un total de 4 testigos por día de fundición. Con el fin de controlar y comparar los resultados a flexión y compresión al momento de fallar las vigas y cilindros. Ver ilustración 46.

Ilustración 59 Aplicación de Sikadur 32 Primer



Fuente: Propia.

Ilustración 60 Proceso de fundición culminado



Fuente: Propia.

19. ANEXO 4

RESULTADOS DE ENSAYO A LA FLEXIÓN PARA VIGAS DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE EDAD CON PRESENCIA DE JUNTAS FRIAS DE 4, 6 Y 8 HORAS DE FORMACIÓN

Para el proceso de curado de los especímenes, se optó por utilizar el cuarto de curado ya que cuenta con la capacidad para el almacenamiento de 108 vigas y 36 cilindros bien acomodados en la estructura metálica, logrando una humedad uniforme en cada uno de ellos y así obtener un mejor control en la calidad del curado y la resistencia final esperada.

Ilustración 61 Cuarto de curado



Fuente. Propia

RESULTADOS DE ENSAYO A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON 7 DÍAS DE EDAD

Tabla 60 Resultados vigas 7 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	7	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,154	0,155	14,15	1,721	1,726
2	VIGA	7	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	13,95	1,730	
1	VIGA	7	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	4,75	0,589	0,487
2	VIGA	7	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,154	0,155	3,17	0,386	
1	VIGA	7	4	INCLINADA	SI	-	FUERA TERCIO MEDIO	0,15	0,153	0,154	22,26	2,761	2,455
2	VIGA	7	4	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,156	0,155	17,90	2,149	
1	VIGA	7	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,155	15,50	1,898	1,749
2	VIGA	7	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,155	0,155	13,25	1,601	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,156	0,152	17,19	2,146	2,100
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,151	0,150	15,50	2,053	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,153	17,75	2,245	1,989
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,151	13,35	1,733	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	221,65	11,75	11,40
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	208,55	11,05	
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,155	0,305	219,82	11,65	11,24
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,155	0,305	204,18	10,82	

Fuente: Propia.

Tabla 61 Resultados vigas 7 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	7	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,156	8,73	1,055	1,157
2	VIGA	7	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	10,15	1,259	
1	VIGA	7	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	2,25	0,279	0,286
2	VIGA	7	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,152	2,25	0,292	
1	VIGA	7	6	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,154	16,06	1,992	1,878
2	VIGA	7	6	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,154	14,23	1,765	
1	VIGA	7	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,152	0,156	8,93	1,086	1,141
2	VIGA	7	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,154	0,153	9,58	1,196	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,151	0,151	18,18	2,376	2,190
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,153	15,64	2,004	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,153	14,94	1,915	1,872
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,154	14,65	1,829	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,306	286,9	15,20	14,32
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,152	0,302	243,92	13,44	
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,154	0,306	217,57	11,68	11,72
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,153	0,303	216,02	11,75	

Fuente: Propia.

Tabla 62 Resultados vigas 7 días de edad, 8 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	7	8	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	7,00	0,933	0,927
2	VIGA	7	8	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	6,90	0,920	
1	VIGA	7	8	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	2,65	0,353	0,440
2	VIGA	7	8	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	3,95	0,527	
1	VIGA	7	8	INCLINADA	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	9,58	1,277	1,259
2	VIGA	7	8	INCLINADA	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	9,30	1,240	
1	VIGA	7	8	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	7,20	0,960	1,157
2	VIGA	7	8	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	10,15	1,353	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	15,92	2,123	2,170
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	16,63	2,217	
1	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,151	0,153	16,35	2,081	2,131
2	VIGA	7	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	16,35	2,180	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 3	-	0,155	0,306	255,19	13,52	15,06
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 3	-	0,157	0,305	321,28	16,60	
1	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,154	0,306	241,24	12,95	13,56
2	CILINDRO	7	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 4	-	0,153	0,307	260,54	14,17	

Fuente: Propia.

RESULTADOS DE ENSAYO A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON 14 DÍAS DE EDAD

Tabla 63 Resultados vigas 14 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	14	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,152	0,153	13,53	1,711	1,741
2	VIGA	14	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,152	0,155	14,37	1,771	
1	VIGA	14	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,152	0,154	1,13	0,141	0,144
2	VIGA	14	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,152	1,13	0,147	
1	VIGA	14	4	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,153	22,26	2,797	2,789
2	VIGA	14	4	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,152	21,7	2,781	
1	VIGA	14	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,151	0,154	12,4	1,558	1,850
2	VIGA	14	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,153	17,05	2,142	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,148	0,151	19,3	2,574	2,526
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,154	19,59	2,478	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,149	0,152	20,15	2,634	2,744
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,152	21,98	2,854	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	296,34	15,70	15,27
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,153	0,303	272,8	14,84	
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,154	0,305	366,09	19,65	17,63
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,152	0,305	283,09	15,60	

Fuente: Propia.

Tabla 64 Resultados vigas 14 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	14	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,154	0,155	13,81	1,680	1,679
2	VIGA	14	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	13,53	1,678	
1	VIGA	14	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	6,46	0,801	0,719
2	VIGA	14	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,155	0,154	5,21	0,638	
1	VIGA	14	6	INCLINADA	SI	-	TERIO MEDIO	0,45	0,155	0,156	19,3	2,302	2,362
2	VIGA	14	6	INCLINADA	SI	-	TERIO MEDIO	0,45	0,156	0,156	20,43	2,422	
1	VIGA	14	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,155	0,155	11,98	1,448	1,571
2	VIGA	14	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,154	13,67	1,695	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERIO MEDIO	0,45	0,151	0,153	21,98	2,798	2,590
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERIO MEDIO	0,45	0,151	0,152	18,46	2,381	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,152	19,73	2,562	2,564
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERIO MEDIO	0,45	0,152	0,153	20,29	2,566	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	291,4	15,44	15,79
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	304,51	16,14	
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,155	0,305	304,93	16,16	15,96
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,154	0,305	293,52	15,76	

Fuente: Propia.

Tabla 65 Resultados vigas 14 días de edad, 8 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	14	8	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,154	0,155	11,13	1,354	1,419
2	VIGA	14	8	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	11,13	1,484	
1	VIGA	14	8	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,155	7,85	0,980	1,000
2	VIGA	14	8	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,152	7,85	1,019	
1	VIGA	14	8	INCLINADA	SI	-	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	16,2	2,160	2,087
2	VIGA	14	8	INCLINADA	SI	-	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,154	15,92	2,014	
1	VIGA	14	8	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,152	0,153	10,71	1,354	1,391
2	VIGA	14	8	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,15	10,71	1,428	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	18,18	2,424	2,537
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	AM	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	19,87	2,649	
1	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	19,16	2,555	2,574
2	VIGA	14	-	MONOLITICA	NO	PM	TERIO MEDIO	0,45	0,15	0,15	19,45	2,593	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	265,76	14,08	14,85
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,154	0,305	290,84	15,61	
1	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,154	0,305	244,76	13,14	12,02
2	CILINDRO	14	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,15	0,305	192,77	10,91	

Fuente: Propia.

RESULTADOS DE ENSAYO A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON 28 DÍAS DE EDAD

Tabla 66 Resultados vigas 28 días de edad, 4 horas de formación de junta y cilindros.

#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	28	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,151	0,152	13,53	1,745	1,763
2	VIGA	28	4	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,15	0,151	13,53	1,780	
1	VIGA	28	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,154	0,153	9,72	1,213	1,238
2	VIGA	28	4	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,15	0,152	9,72	1,262	
1	VIGA	28	4	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,153	21,42	2,709	2,683
2	VIGA	28	4	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,153	21,14	2,656	
1	VIGA	28	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,154	0,153	17,33	2,163	2,095
2	VIGA	28	4	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,152	15,92	2,027	
1	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,153	20,85	2,637	2,690
2	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,151	20,85	2,743	
1	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,154	20,57	2,602	2,568
2	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,154	20,43	2,534	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,153	0,305	256,32	13,94	14,75
2	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,305	293,66	15,56	
1	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,155	0,303	276,89	14,67	16,51
2	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 5	-	0,153	0,305	337,34	18,35	

Fuente: Propia.

Tabla 67 Resultados vigas 28 días de edad, 6 horas de formación de junta y cilindros.

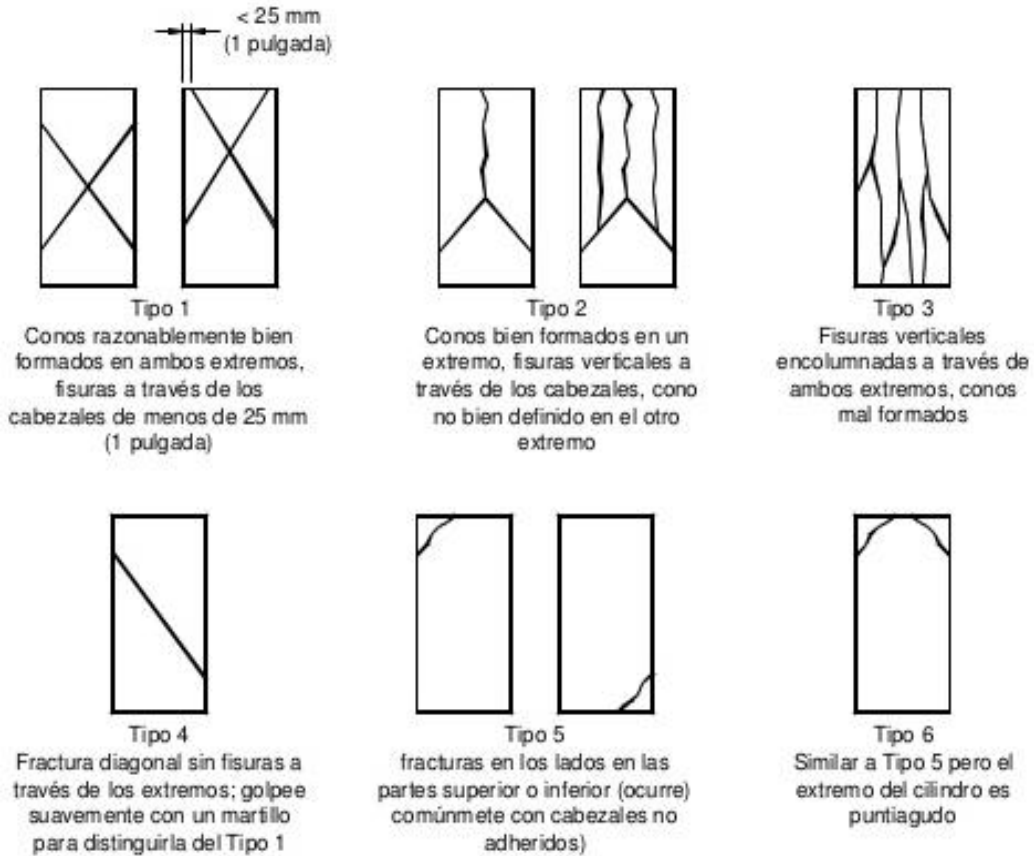
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	FORMACION JUNTA (HORAS)	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	DISTANCIA ENTRE APOYOS, L [m]	ANCHO PROMEDIO, b [m]	ALTURA PROMEDIO, d [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	MODULO DE RUPTURA, R [Mpa]	PROMEDIO
1	VIGA	28	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,152	13,53	1,722	1,973
2	VIGA	28	6	VERTICAL	SI	-	JUNTA	0,45	0,153	0,152	17,47	2,224	
1	VIGA	28	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,148	0,151	6,48	0,864	0,746
2	VIGA	28	6	VERTICAL	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,152	4,93	0,628	
1	VIGA	28	6	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,154	0,15	20,71	2,690	2,637
2	VIGA	28	6	INCLINADA	SI	-	TERCIO MEDIO	0,45	0,153	0,153	20,57	2,584	
1	VIGA	28	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,152	8,93	1,137	1,188
2	VIGA	28	6	INCLINADA	NO	-	JUNTA	0,45	0,153	0,153	9,86	1,239	
1	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,152	20,15	2,616	2,504
2	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	AM	TERCIO MEDIO	0,45	0,15	0,151	18,18	2,392	
1	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,152	0,153	24,24	3,066	3,232
2	VIGA	28	-	MONOLITICA	NO	PM	TERCIO MEDIO	0,45	0,149	0,151	25,65	3,398	
#	ESPECIMEN	EDAD (DÍAS)	-	TIPO JUNTA O ELEMENTO	EPOXICO	JORNADA	TIPO DE FALLA	-	DIAMETRO PROMEDIO, D [m]	ALTURA PROMEDIO, h [m]	CARGA MAXIMA APLICADA, P [Kn]	ESFUERZO DE COMPRESION, F'c [Mpa]	PROMEDIO
1	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,153	0,305	290,84	15,82	16,27
2	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	AM	TIPO 5	-	0,155	0,245	315,5	16,72	
1	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,155	0,305	275,62	14,61	18,59
2	CILINDRO	28	-	TESTIGO	NO	PM	TIPO 3	-	0,155	0,245	426,12	22,58	

Fuente: Propia.

TIPOS DE FALLA EN CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESION

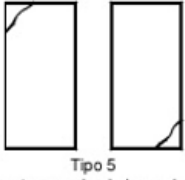
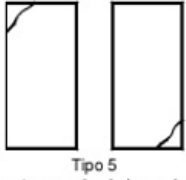


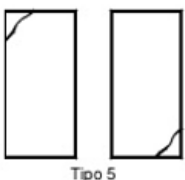



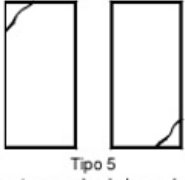
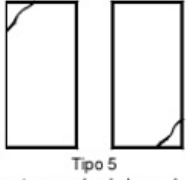


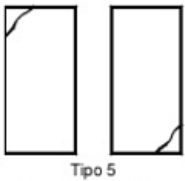
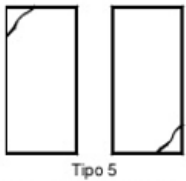


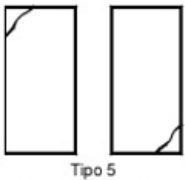
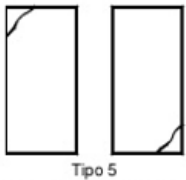


De acuerdo con la Norma Técnico Colombiana NTC 673, se pueden encontrar seis tipos de falla típicos que pueden presentarse en cilindros sometidos a compresión. A continuación, se encuentran las tablas de los ensayos con su respectivo tipo de falla.

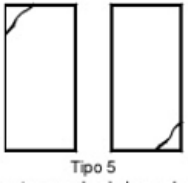
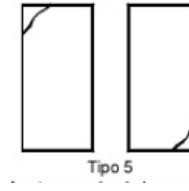


Ilustración 62 Esquema de modelos de fractura típicos



Fuente. Tomada de Norma Técnica Colombiana NTC 673.

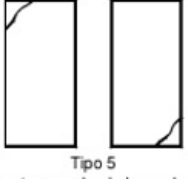
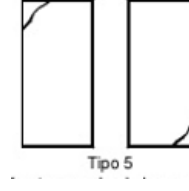


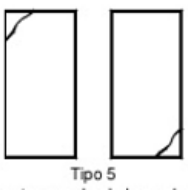
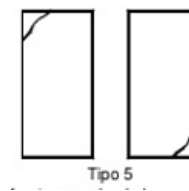


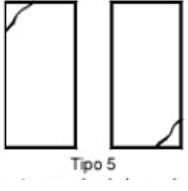
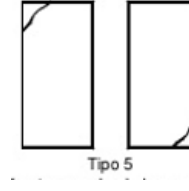






Tabla 68 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 4 horas de formación.

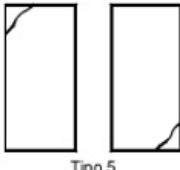
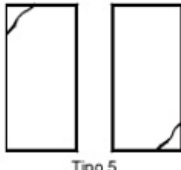






Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2
7	Am	Am	 Tipo 5	 Tipo 5		
	Pm	Pm	 Tipo 5	 Tipo 3		
14	Am	Am	 Tipo 5	 Tipo 5		
	Pm	Pm	 Tipo 5	 Tipo 5		
28	Am	Am	 Tipo 5	 Tipo 5		

	Pm	Pm				
--	----	----	---	--	---	---

Fuente: Propia.









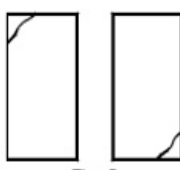



Tabla 69 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 6 horas de formación.

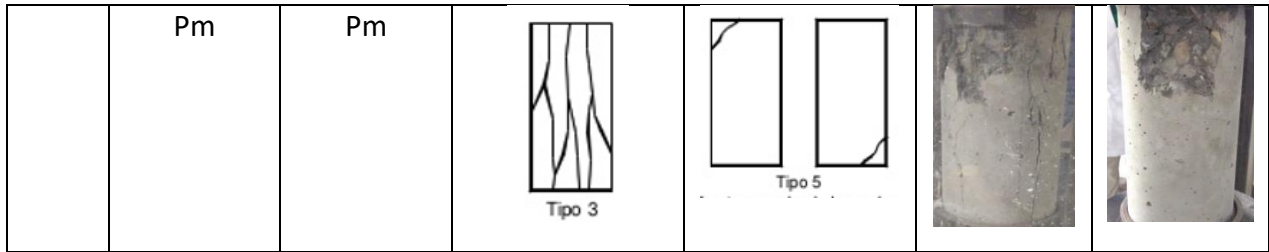
Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2
7	Am	Am				
	Pm	Pm				
14	Am	Am				
	Pm	Pm				

28	Am	Am				
	Pm	Pm				

Fuente: Propia.

Tabla 70 Tipo de fallas en cilindros para concreto de 7, 14 y 28 días de edad en juntas de 8 horas de formación.

Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2
7	Am	Am				
	Pm	Pm				
14	Am	Am				



Fuente: Propia.

TIPO DE FALLAS EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Para las vigas del presente proyecto de grado cuentan con tres posibles tipos de falla, la primera se debe a una junta lisa elaborada intencionadamente, es decir, en la unión entre los dos tipos de concretos con y sin presencia de resina epóxica; la segunda se presenta en el tercio medio de la luz que es donde se aplica la carga. Y la tercera falla se presenta fuera del tercio medio, pero no más del 5% de la distancia entre la zona de fractura y el apoyo más cercano a ella, de lo contrario, el ensayo no es válido. Ver ilustraciones 49, 50 y 51.

Ilustración 63 Falla en la junta



Fuente: Propia.

Ilustración 64 Falla tercio medio



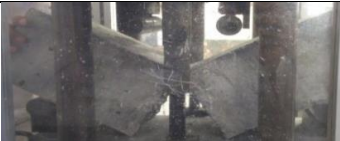







Fuente: Propia.

Ilustración 65 Falla fuera del tercio medio



Fuente: Propia.









Tabla 71 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.

Tipo de junta		Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla		Imagen
Vertical	1		Sí	Junta		
	2		Sí	Junta		
Inclinada (45°)	1		Sí	Fuera Tercio medio		
	2		Sí	Tercio medio		
Vertical	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Inclinada (45°)	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2

7	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.



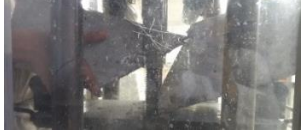



Tabla 72 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.



Tipo de junta		Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen	
Vertical	1		Sí	Junta		
	2		Sí	Junta		
Inclinada (45°)	1		Sí	Tercio Medio		
	2		Sí	Tercio Medio		
Vertical	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Inclinada (45°)	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Edad (días)	espécime n #1	espécime n #2	Tipo de Falla espécime n #1	Tipo de Falla espécime n #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2

7	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.

Tabla 73 Ensayo a la flexión en vigas de 7 días de edad con 8 horas de formación de junta y monolíticas.






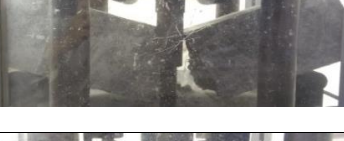

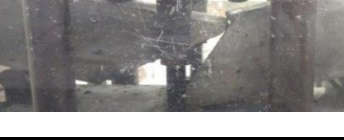
Tipo de junta	Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen
Vertical	1	Sí	Junta	
	2	Sí	Junta	
Inclinada (45°)	1	Sí	Junta	
	2	Sí	Junta	
Vertical	1	No	Junta	
	2	No	Junta	


Inclinada (45°)	1	No	Junta	
	2	No	Junta	

Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2
7	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.


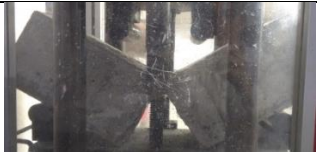
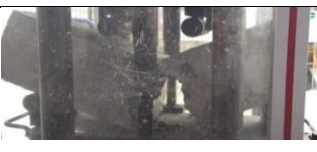





Tabla 74 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.

Tipo de junta		Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen	
Vertical	1		Sí	Junta		
	2		Sí	Junta		
Inclinada (45°)	1		Sí	Tercio medio		
	2		Sí	Tercio medio		
Vertical	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Inclinada (45°)	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2

14	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.



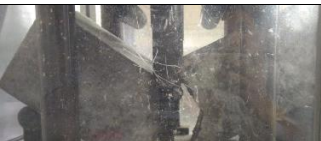




Tabla 75 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.





Tipo de junta		Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen	
Vertical	1		Sí	Junta		
	2		Sí	Junta		
Inclinada (45°)	1		Sí	Tercio medio		
	2		Sí	Tercio medio		
Vertical	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Inclinada (45°)	1		No	Junta		
	2		No	Junta		
Edad (días)	especimen #1	especimen #2	Tipo de Falla especimen #1	Tipo de Falla especimen #2	Imagen de falla especimen #1	Imagen de falla especimen #2

14	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.









Tabla 76 Ensayo a la flexión en vigas de 14 días de edad con 8 horas de formación de junta y monolíticas.





Tipo de junta	Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen		
Vertical	1	Sí	Junta			
	2	Sí	Junta			
Inclinada (45°)	1	Sí	Tercio medio			
	2	Sí	Tercio medio			
Vertical	1	No	Junta			
	2	No	Junta			
Inclinada (45°)	1	No	Junta			
	2	No	Junta			
Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2

14	Am	Am	Tercio medio	Tercio Medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.









Tabla 77 Ensayo a la flexión en vigas de 28 días de edad con 4 horas de formación de junta y monolíticas.



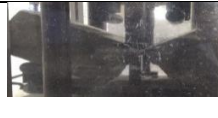

Tipo de junta	Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen		
Vertical	1	Sí	Junta			
	2	Sí	Junta			
Inclinada (45°)	1	Sí	Tercio medio			
	2	Sí	Tercio medio			
Vertical	1	No	Junta			
	2	No	Junta			
Inclinada (45°)	1	No	Junta			
	2	No	Junta			
Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2

28	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.

Tabla 78 Ensayo a la flexión en vigas de 28 días de edad con 6 horas de formación de junta y monolíticas.

Tipo de junta	Espécimen	Epoxico	Tipo de Falla	Imagen
Vertical	1	Sí	Junta	
	2	Sí	Junta	
Inclinada (45°)	1	Sí	Tercio medio	
	2	Sí	Tercio medio	
Vertical	1	No	Junta	
	2	No	Junta	
Inclinada (45°)	1	No	Junta	
	2	No	Junta	

Edad (días)	espécimen #1	espécimen #2	Tipo de Falla espécimen #1	Tipo de Falla espécimen #2	Imagen de falla espécimen #1	Imagen de falla espécimen #2
28	Am	Am	Tercio medio	Tercio medio		
	Pm	Pm	Tercio medio	Tercio medio		

Fuente: Propia.