



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL

**EFFECTO DEL TIPO DE TRATAMIENTO EN LAS
JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU TIEMPO DE
APLICACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA A LA
TRACCIÓN DEL CONCRETO**

Tesista: DARWIN CLEMENTE FALCÓN FABIÁN

Para optar el título profesional de ingeniero civil

Huánuco - Perú

2016

DEDICO A

- Dios, por permitir rodearme de personas que ayudaron a completar esta meta.
- Mi madre Dony Fabián Alejandro, y a mi padre Clemente Falcón Domínguez.

AGRADECIMIENTOS

- Al Director de la Dirección de Estudios Especiales Ing. Alejandro Salazar Ahumada, quién nos concedió el permiso para la realización de los diferentes ensayos en los laboratorios de la Dirección de Estudios Especiales del MTC del Perú.
- A la Ing. Laura Navarro Alvarado del Departamento de Ingeniería- Sección de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por las consultas respondidas sobre el procesamiento de datos estadísticos de los resultados obtenidos.
- Al Dr. Ing. Romer Iván Lovón Dávila, por su apoyo constante en la metodología y diseño del experimento científico aplicado a la Ingeniería Civil (Asesor de Tesis).
- Al Ing. Juan Carlos Flores Cornejo, quién me ayudó en las diversas coordinaciones con las diferentes áreas que abarcó los ensayos realizados (DEE).
- Al Ing. César Augusto Ferreyros Corcuera, por la verificación de los informes de los resultados obtenidos en los ensayos de concreto(DEE).
- Al Ing. Juan Manuel Gonzales Flores, quien elaboró el diseño de mezcla del concreto, así como las correcciones en la etapa de elaboración del concreto (DEE).

- Al Ing. Juan Alberto Mesías Salazar, por la verificación de los informes de los resultados obtenidos en los ensayos para los agregados (DEE).
- Agradezco también al personal técnico y administrativo de la Dirección de Estudios Especiales del MTC, por su apoyo en la realización de los diferentes ensayos para el desarrollo de la presente tesis.
- Finalmente agradezco a mis amigos y compañeros, quienes me brindaron su apoyo directa e indirectamente.

RESUMEN

En la presente tesis se evaluó el tiempo de aplicación de dos tipos de tratamientos para las juntas de construcción del concreto, para el cual se elaboraron un total de 72 probetas cilíndricas de 6"x12".

Se simuló en los laboratorios de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, las juntas de construcción en su caso más crítico (junta lisa sin lechada de cemento) sobre 48 probetas cilíndricas (6"x12") de concreto con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², los cuales fueron curados hasta una edad de 7 y 15 días, para posteriormente ser pegados con y sin adhesivo epóxico con el nuevo volumen de concreto fresco, para ser ensayados a tracción diametral (NTP 339.084) con 28 días de curado contados a partir del último volumen de concreto vaciado.

Se aplicó el método científico, siendo los cálculos en base al diseño factorial 2²; además, se rechazó la hipótesis nula mediante el análisis de varianza(ANOVA) conjuntamente con el diseño factorial.

Según los resultados obtenidos en la presente tesis, la aplicación de un adhesivo epóxico en juntas de construcción a 15 días entre el concreto base (endurecido) y nuevo, reporta una resistencia a la tracción del 71.73%; ya que si se aplican a los 7 días se obtiene un 56.76% con respecto a las probetas de control que representa el 100%.

INDICE

DEDICO A.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VI
INDICE	VII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I.....	19
1 MARCO TEÓRICO	19
1.1 Antecedentes.....	20
1.2 El concreto.....	23
1.2.1 Componentes del concreto	24
1.3 Diseño de mezcla	26
1.4 Elaboración y curado de muestras de concreto.....	27
1.5 Resistencias del concreto	27
1.5.1 Resistencia a la compresión	27
1.5.2 Resistencia a la tracción	28
1.6 Fallas del concreto en tracción indirecta	32
1.6.1 Falla de Tracción normal	33
1.6.2 Falla de triple hendimiento.....	34
1.6.3 Falla de compresión y corte.....	34

1.7	Juntas de construcción en el concreto	35
1.7.1	Predeterminadas.....	35
1.7.2	Imprevistas.....	35
1.8	Adhesivo epóxico	36
1.9	Programa experimental	36
1.10	Principios básicos del diseño de experimentos	37
1.10.1	Aleatorización	37
1.10.2	Repetición o réplica	38
1.10.3	Bloqueo.....	38
1.11	Hipótesis.....	38
1.12	Variables.....	39
1.13	Objetivos.....	39
1.13.1	Objetivo general.....	39
1.13.2	Objetivos específicos.....	39
1.14	Muestra.....	40
CAPÍTULO II.....		44
2	MARCO METODOLÓGICO	44
2.1	Método de investigación.....	45
2.2	Diseño de la investigación.....	45
2.3	Operacionalización de variables	45
2.4	Lugar de experimentación.....	46
2.5	Aplicación práctica	46
2.6	Ejecución de la investigación	47
2.6.1	Ensayo de agregados	47

2.6.2	Diseño de mezcla.....	48
2.6.3	Elaboración del concreto	49
2.6.4	Elaboración de probetas de control	50
2.6.5	Elaboración de las probetas experimentales	50
2.6.6	Realización de ensayos	61
2.7	Análisis de los resultados obtenidos	67
2.7.1	Análisis visual de los resultados de compresión diametral	69
2.7.2	Tratamientos de datos atípicos.....	75
2.8	Diseño factorial 2 ²	85
2.8.1	Cálculos de los efectos	85
2.8.2	Análisis de varianza	87
2.8.3	Modelo de regresión	91
2.8.4	Coeficientes de determinación.....	92
2.8.5	Verificación de supuestos	93
CAPÍTULO III.....		101
3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
3.1	Discusión de resultados obtenidos	102
3.1.1	Tabla del ANOVA.....	102
3.1.2	Efectos de los factores participantes	103
3.1.3	Verificación de supuestos	106
3.2	Discusión de resultados obtenidos con investigaciones anteriores	109
3.2.1	Tiempo de aplicación del tratamiento	109
3.2.2	Tratamiento de la junta con adhesivo epóxico	109
3.2.3	Tipo de tratamiento y tiempo de aplicación	110
CONCLUSIONES		111

DECLARACIÓN JURADA SIN CONFLICTO DE INTERESES.....	113
SUGERENCIAS.....	115
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	116
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	120

ANEXO A: Procesamiento de datos considerando el dato atípico

ANEXO B: Resultados de ensayos a los agregados

ANEXO C: Diseño de mezcla

ANEXO D: Ficha técnica del adhesivo epóxico

ANEXO E: Resultados de ensayos de tracción por compresión

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Ensayo a compresión de una probeta de concreto de 6"x12"....	28
Figura 1.2. Aplicación de carga para el ensayo a compresión diametral.	30
Figura 1.3. Ensayo a tracción por compresión diametral o split test de una probeta de concreto (6"x12").	31
Figura 1.4. Ensayo de tracción por flexión de una viga de 15 x 15 x 70 cm.	31
Figura 1.5. Falla por tracción normal para el ensayo del Split test.....	33
Figura 1.6. Falla de triple hendimiento para el ensayo del Split test.	33
Figura 1.7. Falla de compresión y corte para el ensayo del Split test.	34
Figura 2.1. Instalaciones de la Dirección de Estudios Especiales del MTC– Lima–Perú.	46
Figura 2.2. Ensayo de equivalente de arena para el agregado fino.....	48
Figura 2.3. Adicionando el agua para la elaboración del concreto.	49
Figura 2.4. Habilitado de la probeta de plástico (6"x12")	50
Figura 2.5. Vaciado con concreto sobre las probetas de plástico (6"x12"). .	51
Figura 2.6. Colocación de del triplay (e=4mm) en los moldes de plástico. ..	51
Figura 2.7. Vaciado de las probetas experimentales	52
Figura 2.8. Desencofrado con aire comprimido de las probetas.	52
Figura 2.9. Procedimiento de la obtención de 2 medias probetas después del desencofrado de las probetas experimentales.	53
Figura 2.10. Colocación de probetas experimentales de concreto en la piscina de curado.....	54
Figura 2.11. Secado superficial de las medias probetas experimentales. ...	54
Figura 2.12. Limpieza con escobilla de acero de la lechada de cemento. ...	55
Figura 2.13. Limpieza con aire comprimido.	56
Figura 2.14. Preparación del adhesivo epóxico (Sikadur-32 gel) para el pegado de concreto viejo y nuevo.	56

Figura 2.15. Aplicación del adhesivo epóxico en las medias probetas experimentales de concreto.....	57
Figura 2.16. Medias probetas de concreto tratadas con adhesivo epóxico.	57
Figura 2.17. Completado de las probetas experimentales de concreto tratadas (pegadas) con adhesivo epóxico	58
Figura 2.18. Completado de las probetas experimentales y de control.	59
Figura 2.19. Desencofrado con aire comprimido de las probetas experimentales de concreto pegado con adhesivo epóxico.....	59
Figura 2.20. Curado de las probetas de concreto experimentales y de control.....	60
Figura 2.21. Probetas experimentales de concreto con junta tratada con adhesivo epóxico a los 15 días.....	60
Figura 2.22. Probetas experimentales de concreto con junta tratada sin adhesivo epóxico a los 15 días.....	61
Figura 2.23. Esquema de colocación para el ensayo de las probetas experimentales.	62
Figura 2.24. Ensayo a compresión diametral a los 7 días de las probetas experimentales sin adhesivo.....	62
Figura 2.25. Ensayo a compresión diametral o Split test a los 15 días de las probetas experimentales sin adhesivo epóxico.	63
Figura 2.26. Ensayo a compresión diametral a 15 días.	63
Figura 2.27. Ensayo a compresión diametral a 7 días.....	64
Figura 2.28. Ensayo a compresión diametral de la probeta de control.	65
Figura 2.29. Mediciones del peso, altura y diámetro de la probeta de concreto.....	65
Figura 2.30. Ensayo a compresión de la probeta de control.....	66
Figura 2.31. Probetas experimentales después del ensayo.	68
Figura 2.32. Probeta de control antes del ensayo a compresión diametral o Split test.....	70

Figura 2.33. Probeta de control después del ensayo a compresión diametral o Split test.	70
Figura 2.34. Probeta experimental sin adhesivo antes del ensayo.	71
Figura 2.35. Probeta experimental sin adhesivo después del ensayo.	71
Figura 2.36. Probeta experimental con adhesivo antes del ensayo.	72
Figura 2.37. Probeta experimental con adhesivo después del ensayo.	72
Figura 2.38. Mala señal de diámetro de la probeta experimental antes del ensayo a compresión diametral o Split test.	73
Figura 2.39. Lectura confiable después del ensayo a compresión diametral o Split test de la probeta experimental.	73
Figura 2.40. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPSA7.	77
Figura 2.41. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPCA7.	78
Figura 2.42. Prueba gráfica de la prueba de grubbs RPSA15.	78
Figura 2.43. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPSA15.	79
Figura 2.44. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA7.	80
Figura 2.45. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA7.	81
Figura 2.46. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA15.	82
Figura 2.47. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA15. ...	83
Figura 2.48. Representación geométrica del experimento.	86
Figura 2.49. Representación geométrica con los valores calculados.	87
Figura 2.50. Efecto principal del factor A.	90
Figura 2.51. Efecto principal del factor B.	90
Figura 2.52. Interacción del factor A y el factor B.	91
Figura 2.53. Residuos en papel ordinario.	93
Figura 2.54. Supuesto de varianza de predichos contra residuos.	97
Figura 2.55. Supuesto de varianza, tipo de tratamiento contra residuos.	97
Figura 2.56. Orden de realización de ensayos de las probetas.	100
Figura 3.1. Efectos principales contra la resistencia a la tracción del concreto.	103
Figura 3.2. Efecto de la interacción de los factores A y B.	104

Figura 3.3. Efecto de la interacción de los factores A y B.....	105
Figura 3.4. Gráfica para el supuesto de normalidad.	106
Figura 3.5. Supuesto de varianza de los residuos vs predichos.	107
Figura 3.6. Realización del ensayo de resistencia a la tracción.....	108

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Muestra para probetas experimentales con juntas de 7 días.....	41
Tabla 1.2. Muestra para probetas experimentales con juntas de 15 días. ...	42
Tabla 1.3. Probetas de control para la resistencia a la tracción.....	42
Tabla 1.4. Probetas de control para la resistencia a la compresión.....	43
Tabla 1.5. Resumen del total de tamaño de muestra	43
Tabla 2.1. Operacionalización de variables.	45
Tabla 2.2. Dosificación en peso para 6.5 probetas de concreto (6"x12").....	49
Tabla 2.3. Niveles de las variables independientes (factores).	66
Tabla 2.4. Resistencia a la tracción de probetas experimentales a 7 días. .	67
Tabla 2.5. Resistencia a la tracción de probetas experimentales a 15 días.	68
Tabla 2.6. Resistencias a la tracción de las probetas de control.	69
Tabla 2.7. Cantidad de datos de la resistencia a la tracción de las probetas después del análisis visual.	74
Tabla 2.8. Prueba estadística de grubbs para RPSA7.....	75
Tabla 2.9. Prueba estadística de grubbs para RPCA7.	76
Tabla 2.10. Prueba estadística de grubbs para RPSA15.....	76
Tabla 2.11. Prueba estadística de grubbs para RPCA15.	77
Tabla 2.12. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilks para RPSA7.....	80
Tabla 2.13. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA7.	81
Tabla 2.14. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA15.....	82
Tabla 2.15. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA15.....	83
Tabla 2.16. Resumen de la prueba de normalidad.	84

Tabla 2.17. Datos después del tratamiento de datos atípicos.	84
Tabla 2.18. Resistencia a la tracción de las probetas experimentales con sus 6 réplicas.	85
Tabla 2.19. Análisis de varianza para la resistencia a la tracción del concreto de las probetas experimentales.	89
Tabla 2.20. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPSA7. .	95
Tabla 2.21. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPCA7. .	95
Tabla 2.22. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPSA15.	95
Tabla 2.23. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPCA15.	96
Tabla 2.24. Resumen de la prueba analítica de normalidad.	96
Tabla 2.25. Resistencias a la tracción de las probetas experimentales para calcular la prueba de Bartlett.	99
Tabla 2.26. Cálculos para la verificación de la prueba de Bartlett.	99
Tabla 3.1. Niveles de significancia para los factores.	102
Tabla 3.2. Prueba de Shapiro-Wilks para probetas experimentales.	107

INTRODUCCIÓN

En las construcciones de estructuras donde un componente importante es el concreto, se presentan interrupciones debido a las jornadas de trabajo o ligado a otro factor, condicionando a la calidad del concreto (resistencia, impermeabilidad, etc.) y al monolitismo que deben tener todos los elementos entre sí y a la unión con los demás elementos que conforman la estructura.

El sismo de Chile del 27 de febrero del 2010, mostró fallas por deslizamiento en los muros, teniendo como una de las causas a las juntas lisas de concreto como lo indica (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2014).

Capítulo I. Marco teórico

En este capítulo trata sobre las investigaciones que se realizaron referente al tratamiento de juntas de construcción del concreto en probetas cilíndricas y en vigas de concreto. En este capítulo también se presenta la definición del concreto y sus componentes, la metodología usada para la realización del diseño de mezcla, para los ensayos de compresión y tracción del concreto y los tipos de fallas presentes en el ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.

Se presenta también el sustento teórico del diseño experimental usado y su metodología para el procesamiento de los resultados obtenidos del experimento.

Capítulo II. Marco Metodológico

Se presenta la metodología del experimento, con la realización de ensayos a los agregados, elaboración del concreto para las probetas experimentales y de control, así como la aplicación del tipo de tratamiento y el curado de las mismas hasta la fecha de aplicación del ensayo a compresión diametral.

Se presenta también en este capítulo el análisis de datos mediante el diseño experimental factorial 2^2 , en el cual se calcularon los efectos del tipo de tratamiento en la junta de construcción y su tiempo de aplicación, sobre la resistencia a la tracción del concreto.

Capítulo III. Discusión de Resultados

Presenta la interpretación de los resultados, gráficos y cuadros obtenidos de los cálculos realizados; así mismo, se hace una comparación con las conclusiones obtenidas por investigadores anteriores.

Las limitaciones del estudio realizado se enmarcan en los resultados obtenidos en laboratorio, para probetas de 6”(15cm) x 12”(30cm), para un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm², con juntas de concreto lisas libre de lechada de cemento, se usó el adhesivo sikadur 32 gel, la unión del concreto base (endurecido) y nuevo fue a 7 y 15 días y para la verificación de la resistencia a la tracción del concreto se realizó el ensayo brasilero o Split test.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Las construcciones por etapas presentan varias juntas de construcción, las cuales muchas veces no son tratadas, debido a esto se realizaron estudios e investigaciones para los estados más críticos que el concreto con junta pueda soportar, como es el caso de su resistencia a la tracción y corte.

(Román, 2005), realizó ensayos de resistencia a la compresión por corte en probetas de 3"x6", con junta realizada a 7, 14 y 28 días aplicando diferentes adhesivos epóxicos; concluyendo que los mejores resultados de la resistencia del concreto se obtuvo cuando el concreto base tuvo una mayor edad de fraguado.

En la tesis de (Archilla, 2007), realiza el experimento para evaluar la adherencia de un concreto endurecido y concreto fresco aplicando dos adhesivos epóxicos de diferentes precios para el tratamiento de la junta fría; la resistencia del concreto evaluado fue de 140kg/cm², 210kg/cm² y 352kg/cm². El ensayo realizado para evaluar la adherencia fue de la resistencia al corte por compresión en probetas cilíndricas de 6"x12", ensayándolos a 7, 14 y 28 días; teniendo como diferencia de fraguado entre el concreto nuevo y el endurecido de 28 días; donde concluye, que las probetas con juntas tratadas con adhesivo de mayor costo se comportan mejor, obteniéndose resultados cercanos a las probetas de control.

En el estudio de (Castillo, 2008) realiza el ensayo de tracción por flexión en vigas de concreto de 15 x 15 x 53 cm con junta (unión del concreto fresco y endurecido cuando este haya alcanzado su máxima resistencia), simulando una junta de construcción tratada con mortero de la misma resistencia del concreto a ensayar. Los concretos evaluados fueron de resistencias de 200kg/cm², 250 kg/cm² y 300 kg/cm², a los cuales se le ensayaron a 7, 14 y 28 días, observándose que las fallas se dieron por las juntas realizadas, concluyendo que es recomendable usar adhesivos epóxicos para el tratamiento de las juntas producidas en el concreto. Así mismo, es preciso indicar que en la edición de 1977 del ACI 318 en su ítem 6.4.2, indicaba que se usaba mortero de cemento puro en las juntas verticales, pero estos eran poco prácticos y podían ser perjudiciales en zonas de congestión del refuerzo.

Del estudio experimental realizado por Cánovas (1963 citado en Rodríguez, 2012) sobre vigas de 15 x 20 x 120cm ensayados a flexotracción, variando la dosificación del concreto, edad del concreto base (concreto endurecido) y el tratamiento de la superficie de la junta; concluyó, que la dosificación y la edad del concreto base no influyen en el comportamiento de la junta, obteniendo resistencias similares para concretos unidos a 24 horas, 7, 28 y 120 días. Además indicó que el mejor tratamiento fue picar la superficie del concreto base seguido por el escobillado de la superficie y la aplicación del adhesivo epóxico.

Foncea y Levy (1963 citado en Rodriguez, 2012), realizaron ensayos del concreto con juntas sometidas a los tratamientos de chorro de arena, escobillado, ataque con ácido, picado de la superficie y resina epóxica, introduciendo así por primera vez la aplicación de resinas epóxicas para el tratamiento de las juntas en el concreto. Los cuales reportaron resistencias de 87% para el tratamiento con chorro de arena, 78% para la resina epóxica, 50% para el escobillado y 48% para el ataque con ácido; así mismo, detalla que el humedecimiento y la lechada superficial son perjudiciales para la buena adherencia de la junta del concreto.

Pérez (1981 citado en Rodriguez, 2012), construyó probetas cúbicas de 15x15x15cm. con juntas de construcción, variando el tratamiento de la junta y la edad del concreto endurecido, los mismos que fueron ensayados por hendimiento para determinar su carga última. El escobillado más la aplicación de distintos adhesivos, el chorro de arena más la aplicación de adhesivos y el chorro de arena, fueron los tratamientos aplicados a las juntas; con una variación en la edad entre el concreto endurecido y fresco de 6 horas, 1 día y 7 días; concluyendo que donde el tratamiento de la junta fue mecánico (sin adhesivos), la resistencia de la probeta se ve influida por la edad del concreto base, de donde obtuvo menores resistencias a mayores edades del concreto endurecido (concreto base); en cambio, en los tratamientos donde aplicó la resina epóxica las resistencias se mejoraron cuando el concreto base tuvo una mayor resistencia; así mismo, recomienda

que para mejorar la adherencia de las juntas de concreto, se debe aplicar el tratamiento de chorro de arena y la resina epóxica.

Según Neshvadian (2010 citado en Rodriguez, 2012), los principales factores que afectan a la resistencia en la unión del concreto endurecido y fresco, son la limpieza de la superficie de contacto, el tratamiento aplicado a la junta de contacto, la presencia de lechada superficial, la colocación y compactación del concreto fresco y el curado del concreto; además menciona como factores secundarios para la resistencia de la junta las propiedades del concreto de la segunda etapa (fresco), la edad del concreto endurecido (base) y el humedecimiento previo de la superficie de contacto.

1.2 El concreto

Es una mezcla constituida por cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos, en proporciones adecuadas para obtener unas propiedades prefijadas.

Se supone y acepta que el concreto ha alcanzado su resistencia de trabajo al cabo de 28 días, aun cuando en realidad encontrándose en condiciones favorables, el concreto sigue incrementando su resistencia con el pasar del tiempo. Desafortunadamente la resistencia del concreto no es una propiedad absoluta, ya que dependen de un determinado ensayo, de la forma del espécimen, de su tamaño, de la preparación de las muestras y de

la manera de aplicación de la carga, entonces se deben de aplicar métodos de ensayos confiables para obtener resultados fidedignos (Labbe, 2013).

1.2.1 Componentes del concreto

Luego de la obtención del agregado grueso y fino, para ser aceptadas estos serán sometidos a los ensayos que indican las normas que la rigen para su calidad.

1.2.1.1 Agregados

Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la norma ITINTEC 400.037. (Labbe, 2013) en su tesis indica que deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables, deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por su naturaleza o cantidad afectan la resistencia o durabilidad del concreto.

Estas partículas conforman una masa que resisten la acción de cargas aplicadas, el paso de la humedad y la acción climática. Así mismo, reducen los cambios volumétricos resultantes de procesos de fraguado y endurecimiento, y de los cambios de humedad de la pasta de cemento.

1.2.1.2 Arena:

Agregado fino, proveniente de la desintegración natural de las rocas (NORMA ITINTEC 400.037).

1.2.1.3 Piedra Triturada o Chancada:

Agregado grueso, obtenido por trituración artificial de rocas o gravas (NORMA ITINTEC 400.037).

1.2.1.4 Cemento

Según nuestro reglamento, se define al cemento como material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire.

Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos (NORMA ITINTEC 334.001).

(Labbe, 2013) menciona en su tesis que este es el componente activo del concreto, el cual tiene dos funciones importantes:

- ⊕ Llena los espacios entre las partículas de los agregados, cuando el concreto está fresco la pasta hace las veces de lubricante disminuyendo el roce entre partículas, brinda cohesión a la mezcla; y al endurecer la pasta taponea los espacios entre los agregados.
- ⊕ Proporciona resistencia al concreto dependiendo de la relación agua-cemento, de las características del cemento, del curado del concreto.

Cemento Portland:

Producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio, se admite la adición de otros productos que no

excedan del 1% en peso del total, siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante.

Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker. NORMA ITINTEC 334.001.

1.2.1.5 Agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser de preferencia potable; así mismo, desempeña dos roles importantes:

- ⊕ Participa en el proceso de hidratación del cemento.
- ⊕ Otorga la trabajabilidad necesaria al concreto; así mismo, ayuda al curado proveyéndole de un ambiente saturado.

1.3 Diseño de mezcla

Consiste en la selección de la mejor proporción de los componentes del concreto; y una de las metodologías usadas es del comité 211 del ACI, que ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple basándose en tablas y fórmulas para determinadas propiedades predefinidas del concreto.

1.4 Elaboración y curado de muestras de concreto

Es necesario que el manejo de los materiales, el mezclado del concreto, el moldeado de los especímenes de ensayo, y el curado de los especímenes de ensayo sean realizados en forma cuidadosa y con los conocimientos necesarios; los laboratorios que realizan este importante trabajo son inspeccionados o acreditados en forma independiente.

De acuerdo a (MTC E 702, 2000), los resultados de ensayos de especímenes de concreto hechos y curados usando esta práctica son ampliamente usados; ellos pueden ser la base para ensayos de aceptación de concreto de proyecto, evaluaciones de investigación y otros estudios.

1.5 Resistencias del concreto

1.5.1 Resistencia a la compresión

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.



Figura 1.1. Ensayo a compresión de una probeta de concreto de 6"x12".

Fuente: Propia, de las probetas de control de la presente tesis.

Así mismo la N.T.P. 339.034, indica que el resultado es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm.) de diámetro y 12" (30 cm.) de altura (véase figura 1.1.), el espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo, durante la prueba el cilindro es cargado a un ritmo uniforme de $2.45 \text{ kg/cm}^2/\text{s.}$, definiéndose como " f'_c " a la resistencia a la compresión.

1.5.2 Resistencia a la tracción

En su libro (Harmsen, 2002) indica que la resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión, constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta. Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se

presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga, por lo que se utilizan métodos indirectos como se indica a continuación:

1.5.2.1 Resistencia a la tracción por compresión diametral o Split test

De acuerdo (ASTM C496, 2004) y a la norma N.P.T. 339.084, este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto (véase figura 1.2.) a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla, esta carga induce esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente alrededor de la carga aplicada, ocurriendo más bien la falla por tracción, en vez de la por compresión porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, permitiendo de ese modo soportar esfuerzos de compresión mucho más altos que lo que estaría indicado por un resultado de ensayo de resistencia uniaxial; así mismo, para distribuir la carga a lo largo de la longitud del cilindro, se utilizan listones de apoyos finos.

La resistencia a la tracción indirecta es generalmente mayor que la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (Módulo de rotura).

Así mismo la N.T.P. 339.084, indica que consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar de 6"x12" (véase figura 1.3.) a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompa, calculándose esta resistencia con la expresión 1.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi h d} \dots\dots\dots(1)$$

- Dónde: f_{ct} : Resistencia a la tracción del concreto
 P : Carga de rotura
 l : Altura del cilindro
 d : Diámetro del cilindro

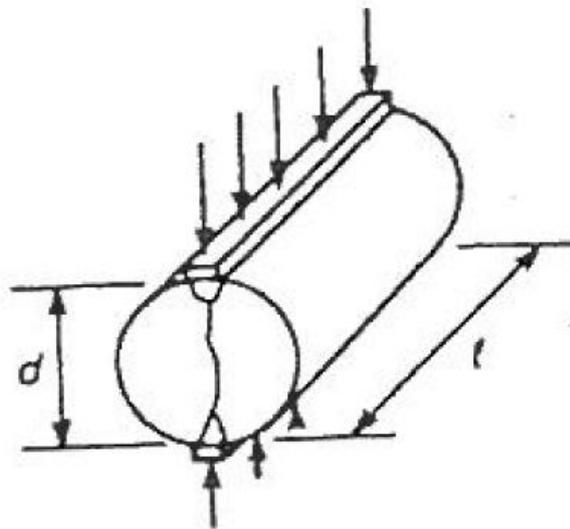


Figura 1.2. Aplicación de carga para el ensayo a compresión diametral.
 Fuente: (Otazzi, 2012)



Figura 1.3. Ensayo a tracción por compresión diametral o split test de una probeta de concreto (6"x12").

Fuente: Propia, de las probetas realizadas para la presente tesis.

1.5.2.2 Tracción por flexión o Módulo de rotura



Figura 1.4. Ensayo de tracción por flexión de una viga de 15 x 15 x 70 cm.

Fuente: Propia, basa en el desarrollo de la presente tesis.

De acuerdo a la (ASTM C78, 2008), indica que este ensayo de resistencia a la tracción por flexión se realiza con una viga de sección cuadra de 6" (15 cm.) y una longitud de 70 cm (véase figura 1.4.), la cual se carga en el tercio de la luz entre apoyos; si la falla se produce entre los puntos de aplicación de las cargas, esta resistencia es calculada con la expresión 2.

$$f_r = \frac{6M}{bh^2} \dots\dots\dots(2)$$

- Dónde: f_r : Módulo de ruptura.
 M : Momento flector en la sección de falla.
 b : Ancho de la sección rectangular
 h : Peralte de la sección rectangular.

1.6 Fallas del concreto en tracción indirecta

En su tesis (Labbe, 2013) , indica que hay dos modos de fractura que indican la validez de una prueba, la falla a tracción normal y de triple hendimiento; un tercer tipo de falla o fractura, llamada falla de compresión y cortante invalida el resultado de prueba.

Como se tiene una variedad de posibles facturas y porque no hay manera satisfactoria para predecir cómo se producen, la muestra debe ser examinada después de la prueba para calificar y validar los resultados.

1.6.1 Falla de Tracción normal

En esta falla la probeta se divide a lo largo del diámetro de carga; esta falla es ideal y se puede utilizar para calcular la tensión de tracción indirecta (véase figura 1.5.).

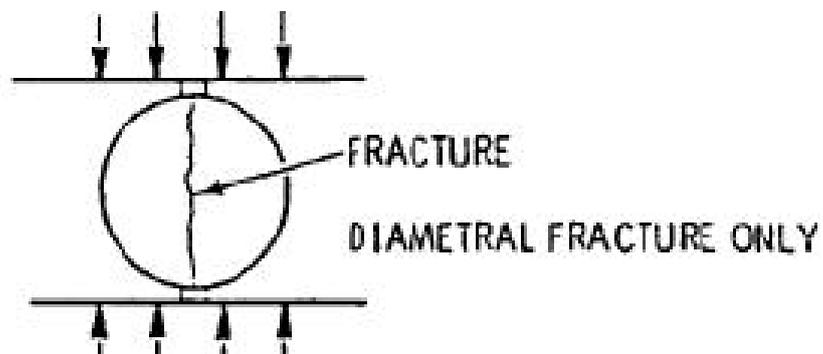


Figura 1.5. Falla por tracción normal para el ensayo del Split test.

Fuente: (Labbe, 2013).

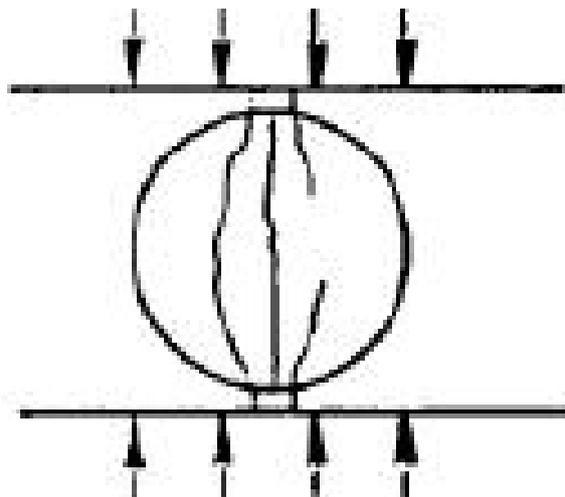


Figura 1.6. Falla de triple hendimiento para el ensayo del Split test.

Fuente: (Labbe, 2013).

1.6.2 Falla de triple hendimiento

Esta falla es una variación de la falla de tracción normal, donde la muestra se divide en 04 trozos de igual tamaño (véase figura 1.6.), dos a cada lado del diámetro; este fallo produce valores válidos de resistencia a la tracción.

1.6.3 Falla de compresión y corte

En esta falla, la muestra se tritura cerca los bloques de carga sin agrietarse a través del diámetro, o puede fallar cerca de la plataforma de carga debido al aplastamiento local (véase figura 1.7.); las pruebas con este tipo de falla no pueden ser utilizadas para calcular la resistencia a la tracción.

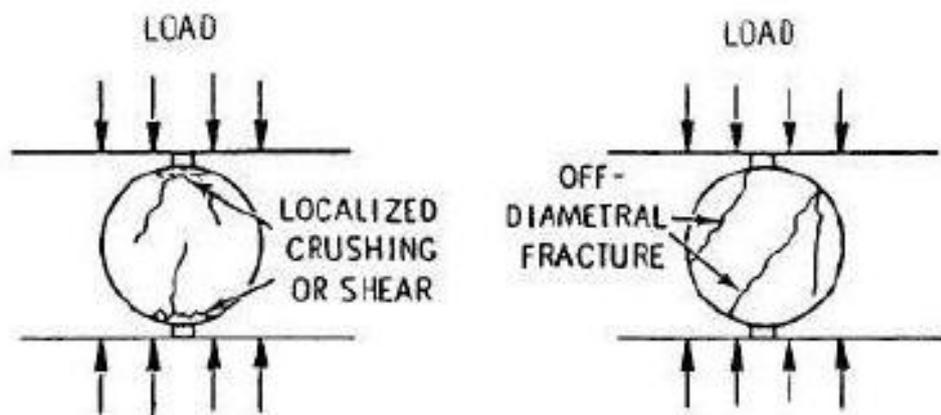


Figura 1.7. Falla de compresión y corte para el ensayo del Split test.

Fuente: (Labbe, 2013).

1.7 Juntas de construcción en el concreto

Es la sección de encuentro de dos concretos con distintas edades o que estos concretos hayan tenido alguna interrupción en el momento de su colocado; así mismo el ACI menciona que la junta de construcción/fría es una articulación o vacío resultante de un retraso en la colocación del concreto.

1.7.1 Predeterminadas

Proviene de la estética y las condiciones de ejecución (jornada de trabajo) de la obra en construcción.

1.7.2 Imprevistas

Proviene por eventuales sucesos insubsanables de desperfectos en maquinarias, equipos, o por cambios no previsibles en el clima.

El tratamiento de estas juntas se realizaran de acuerdo a lo indicado en los incisos de la Norma E.060 de concreto armado numeral 6.4, donde indica que:

- Las superficies de la junta de construcción deberán ser limpiadas y libre de lechada superficial.

1.8 Adhesivo epóxico

Los adhesivos han sido utilizados por la necesidad de unir diferentes tipos de materiales, estos adhesivos son bicomponentes en forma de resina más activador, el cual una vez mezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre las piezas a unir; además, están constituidas a base de resinas epóxicas, el cual se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor tal como lo indica (Archilla, 2007) en su investigación.

1.9 Programa experimental

Según (Montgomery, 2004), los investigadores prácticamente de todos los campos de estudio llevan a cabo experimentos, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema en particular; además indica que es una prueba donde se realizan cambios a las variables de entrada para observar la respuesta de salida.

En su libro (Gutiérrez & De la Vara, 2008), menciona que el diseño de experimentos es válido en el campo de la investigación científica o aplicada, ya que a fin de cuentas, el objetivo es generar nuevas ideas y mejores respuestas a las interrogantes; además menciona que el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas

planeadas adecuadamente; esta metodología de estudio se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa-efecto.

1.10 Principios básicos del diseño de experimentos

Para realizar un diseño de experimento adecuado es necesario utilizar un enfoque científico (Montgomery, 2004), en su libro (Gutiérrez & De la Vara, 2008), indica que el diseño de experimento son fenómenos observables y repetibles, razón por la cual cualquier cosa observada se aprecia con variabilidad, así se hagan mediciones a un mismo evento.

1.10.1 Aleatorización

Es la piedra angular en la que se fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño experimental, por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizarán las corridas o ensayos del experimento, estos se determinan al azar según (Montgomery, 2004). Además es una manera de asegurar que las pequeñas diferencias provocadas por materiales, equipos y todos los factores no controlados, se repartan de manera homogénea en todos los tratamientos tal como lo indica en su libro (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

1.10.2 Repetición o réplica

Es correr más de una vez un tratamiento, entiéndase por volver a realizar el tratamiento a las variables independientes; así mismo la comunidad científica considera la réplica de un experimento como el primer requisito para obtener resultados experimentales válidos, tal como lo indica en su libro (Kuehl, 2001).

1.10.3 Bloqueo

Podemos definir como un conjunto de condiciones experimentales relativamente homogéneas, donde se espera tener mediciones parecidas.

Por tanto, según (Montgomery, 2004) cada nivel del factor pasaría a ser un bloque; donde el sub conjunto de datos resultaría ser más homogéneo que el conjunto de datos.

1.11 Hipótesis

Hipótesis de investigación:

“La resistencia a la tracción del concreto con junta de construcción depende directamente del tipo de tratamiento aplicado y del tiempo de aplicación”.

Hipótesis estadística:

A=Tipo de tratamiento, B=Tiempo de aplicación

Ho: Efecto AB = 0, Ha: Efecto AB ≠ 0

La hipótesis planteada se demostrará mediante el análisis de varianza (Tabla del ANOVA) y del diseño factorial 2^2 de acuerdo a (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

1.12 Variables

Variabes independientes:

A: Tipo de tratamiento, B: Tiempo de aplicación.

Variable dependiente:

Y: Resistencia a la tracción del concreto

1.13 Objetivos

1.13.1 Objetivo general

Analizar el efecto del tipo de tratamiento en juntas de construcción y su tiempo de aplicación, sobre la resistencia a la tracción del concreto.

1.13.2 Objetivos específicos

- Comparar las resistencias a la tracción del concreto alcanzadas por las probetas experimentales y las probetas de control.
- Analizar las resistencias a la tracción del concreto con juntas tratadas sin adhesivo epóxico a los 7 y 15 días.

- Analizar las resistencias a la tracción del concreto con juntas tratadas con adhesivo epóxico a los 7 y 15 días.

1.14 Muestra

Siendo importante definir el tamaño de muestra para el desarrollo de la tesis, y teniendo diferentes formas para calcularlas, pero siendo el inconveniente de que estas requieren un previo conocimiento de algunos datos; por lo que (Gutiérrez & De la Vara, 2008) indica en su libro que si se recurre a la experiencia éstas varían de 5 a 10 repeticiones o réplicas.

Para el tamaño de muestra del grupo experimental de acuerdo al diseño de experimento factorial 2^2 , se tiene $12 \times 2^2 = 48$ probetas experimentales distribuidas de la siguiente manera:

- ⊕ 12 réplicas de las probetas experimentales con junta tratada sin adhesivo epóxico aplicado a los 7 días (ver tabla 1.1.).
- ⊕ 12 réplicas de las probetas experimentales con junta tratada con adhesivo epóxico aplicado a los 7 días (ver tabla 1.1.).
- ⊕ 12 réplicas de las probetas experimentales con junta tratada sin adhesivo epóxico aplicado a los 15 días (ver tabla 1.2.).
- ⊕ 12 réplicas de las probetas experimentales con junta tratada con adhesivo epóxico aplicado a los 15 días (ver tabla 1.2.).

Y el tamaño de muestra para el grupo de control será también de 12 réplicas, distribuidas de la siguiente manera:

- ⊕ 12 réplicas de las probetas de control para la resistencia a la tracción por compresión diametral (ver tabla 1.3.).
- ⊕ 12 probetas de control para la resistencia a la compresión (ver tabla 1.4.).

Por tanto de tiene un total de 72 probetas (véase tabla 1.5.) de concreto de 6"x12" realizados para el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 1.1. Muestra para probetas experimentales con juntas de 7 días.

N°	Código de probetas	Resistencia de la probeta sin adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)		N°	Código de probetas	Resistencia de la probeta con adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)	
1	PESA-2	13.99		13	PECA-6	26.33	
2	PESA-3	12.27		14	PECA-7	17.62	
3	PESA-8	9.19		15	PECA-1	19.90	
4	PESA-5	14.72		16	PECA-3	15.66	
5	PESA-1	13.78		17	PECA-8	13.42	
6	PESA-7	18.46		18	PECA-10	16.43	
7	PESA-6	9.92		19	PECA-12	16.97	
8	PESA-12	11.01		20	PECA-5	13.33	
9	PESA-10	12.91		21	PECA-4	11.41	
10	PESA-11	14.43		22	PECA-2	15.81	
11	PESA-9	13.33		23	PECA-9	9.25	
12	PESA-4	16.36		24	PECA-11	11.41	

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 1.2. Muestra para probetas experimentales con juntas de 15 días.

N°	Código de probetas	Resistencia de la		N°	Código de probetas	Resistencia de la	
		probeta sin adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)				probeta con adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)	
25	PESA-8	23.75		37	PECA-5	20.82	
26	PESA-2	9.98		38	PECA-4	13.75	
27	PESA-11	13.12		39	PECA-6	18.19	
28	PESA-9	17.85		40	PECA-1	20.69	
29	PESA-1	14.61		41	PECA-2	18.90	
30	PESA-12	12.18		42	PECA-8	16.54	
31	PESA-4	21.65		43	PECA-3	20.70	
32	PESA-3	20.96		44	PECA-7	16.37	
33	PESA-10	21.96		45	PECA-10	22.27	
34	PESA-5	12.06		46	PECA-12	15.22	
35	PESA-7	11.33		47	PECA-9	20.34	
36	PESA-6	15.76		48	PECA-11	20.48	

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 1.3. Probetas de control para la resistencia a la tracción.

N°	Código de probetas	Resistencia a la tracción por compresión	
		de las probetas de control a los 28 días (kg/cm ²)	
1	PCT-4	27.50	
2	PCT-5	24.92	
3	PCT-6	26.33	
4	PCT-1	31.71	
5	PCT-2	31.79	
6	PCT-3	25.05	
7	PCT-7	30.90	
8	PCT-8	32.99	
9	PCT-9	17.50	
10	PCT-10	28.78	
11	PCT-11	27.59	

Nota: La probeta PCT-12 fue excluida ya que presentó una falla por compresión.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 1.4. Probetas de control para la resistencia a la compresión.

N°	Código de probetas	Resistencia a la compresión axial de las probetas de control a los 28 días (kg/cm ²)	
1	PCC-1		253.97
2	PCC-2		251.12
3	PCC-3		256.86
4	PCC-4		240.48
5	PCC-5		250.97
6	PCC-6		238.35
7	PCC-7		246.06
8	PCC-8		256.06
9	PCC-9		252.96
10	PCC-10		244.11
11	PCC-11		254.48
12	PCC-12		256.86

Fuente: Elaboración propia, basado en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 1.5. Resumen del total de tamaño de muestra

Probetas experimentales				Probetas de control	
Resistencia de la probeta sin adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia de la probeta con adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia de la probeta sin adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)	Resistencia de la probeta con adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción de probetas de control (kg/cm ²)	Resistencia a compresión de probetas de control (kg/cm ²)
12	12	12	12	12	12

Nota: Resistencia a la tracción por compresión ensayados a los 28 días. Fuente: Elaboración propia, basado en el desarrollo de la presente tesis.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Método de investigación

En su libro (Sánchez & Reyes, 2006) indica los métodos básicos de investigación los cuales son: el método descriptivo y experimental.

Para el desarrollo de la presente tesis se optó por el método experimental; ya que, buscamos las posibles relaciones de causa-efecto, exponiendo a uno o más grupos experimentales a la acción de variables experimentales.

2.2 Diseño de la investigación

Debido a que vamos a estudiar el efecto simultáneo de 2 variables independientes (tipo de tratamiento y su tiempo de aplicación) sobre la resistencia a la tracción por compresión del concreto, se optó por el diseño factorial 2^2 .

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 2.1. Operacionalización de variables.

<i>Variable dependiente</i>	<i>Variables independientes</i>	Indicador
Resistencia a la tracción por compresión del concreto	Tipo de tratamiento en las juntas de construcción	Con adhesivo epóxico Sin adhesivo epóxico
	Tiempo de aplicación del tipo de tratamiento	7 días 15 días

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.4 Lugar de experimentación

La realización del presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes, ubicado en la Avenida Túpac Amaru N°150-Rimac-Lima, ver figura 2.1.



Figura 2.1. Instalaciones de la Dirección de Estudios Especiales del MTC–Lima–Perú.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.5 Aplicación práctica

Los resultados obtenidos pueden ser aplicados en las juntas frías o de construcción formados por el vaciado interrumpido del concreto, también pueden aplicarse para las reparaciones y reforzamientos estructurales; ya

que, se tendrán concretos viejos o con determinadas edades de fraguado que recibirán al nuevo concreto.

2.6 Ejecución de la investigación

2.6.1 Ensayo de agregados

Para empezar con el experimento se tuvo que obtener los agregados fino y grueso, los cuales fueron sometidos a determinados ensayos para demostrar su calidad, a continuación mostramos los ensayos realizados:

- ⊕ Durabilidad de los agregados por medio de SO_4Na_2 . (USA-20).
- ⊕ Método de ensayo para determinar el contenido de humedad (NPT 339.127).
- ⊕ Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado fino y grueso (N.T.P. 300.017).
- ⊕ Ensayo de partículas con caras de fractura (ASTM D-5821).
- ⊕ Ensayo de partículas chatas y alargadas (NTP 400.040 – 1989).
- ⊕ Método de ensayo de desgaste de los ángeles. (ASTM C131, AASHTO T 96).
- ⊕ Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. (USA-17)
- ⊕ Equivalente de arena. (USA-16).
- ⊕ Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021).

- ⊕ Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022).
- ⊕ Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto (NTP 400.024 – 1999).

En la figura 2.2. se muestra el ensayo de equivalente de arena realizado en el laboratorio de suelos y agregados; así mismo, los resultados de cada uno de los ensayos se adjuntan en el anexo B.



Figura 2.2. Ensayo de equivalente de arena para el agregado fino.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.2 Diseño de mezcla

Luego de haber obtenido las propiedades de los agregados se procedió a la realización del diseño de mezcla mediante el Método del Comité 211 del ACI para un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

En la tabla 2.2 se muestra la dosificación en peso para el concreto; así mismo, se adjunta el diseño de mezcla en el anexo C.

Tabla 2.2. Dosificación en peso para 6.5 probetas de concreto (6"x12").

<i>Cemento (kg)</i>	<i>Agregado fino (kg)</i>	<i>Agregado grueso (kg)</i>	<i>Agua (lt)</i>
13.812	41	38	9.038

Fuente: Elaboración Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.3 Elaboración del concreto

Ya obtenido el diseño de mezcla, se procedió a la elaboración del concreto de acuerdo a la norma (MTC E 702, 2000) como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3. Adicionando el agua para la elaboración del concreto.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.4 Elaboración de probetas de control

Se procedió a la elaboración de las probetas de control para los ensayos de tracción y compresión; se enrasó los moldes de plástico con petróleo (ver figura 2.4.) y enseguida se vació el concreto en los moldes plásticos (ver figura 2.5).

2.6.5 Elaboración de las probetas experimentales

Se enrasó los moldes de plástico (6"x12") y el triplay de (6"x12"x4mm.), para ser colocados en la posición que se muestra en la figura 2.6., y posteriormente se vació el concreto como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.4. Habilitado de la probeta de plástico (6"x12")

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.5. Vaciado con concreto sobre las probetas de plástico (6"x12").

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.6. Colocación de del triplay ($e=4\text{mm}$) en los moldes de plástico.

Nota: Se realizó el ensayo de revenimiento, que para este caso fue de 3cm – 4cm.



Figura 2.7. Vaciado de las probetas experimentales

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.8. Desencofrado con aire comprimido de las probetas.

Fuente: Propia, basado en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.5.1 Desencofrado y curado de las medias probetas experimentales

De acuerdo a la norma (MTC E 702, 2000), donde indica que las probetas deben ser removidas (desencofradas) en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos.

Siguiendo el tiempo indicado en la norma, en la figura 2.8 apreciamos el desencofrado de las probetas mediante aire comprimido, y el colocado de las probetas en la piscina de curado (ver figura 2.10).



Figura 2.9. Procedimiento de la obtención de 2 medias probetas después del desencofrado de las probetas experimentales.

Fuente: Propia, basado en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.10. Colocación de probetas experimentales de concreto en la piscina de curado.

Fuente: Propia, basado en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.11. Secado superficial de las medias probetas experimentales.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.5.2 Habilitado de las medias probetas experimentales

Cumplido los días de 7 y 15 días de curado las medias probetas, se procedió al retiro de la piscina de curado y a su secado superficial (ver figura 2.11.), las probetas fueron limpiadas con una escobilla de acero hasta quitar la lechada superficial (un aproximado de 10 pasadas) preparando la junta de construcción lisa (ver figura 2.12.) y limpiadas con aire comprimido (véase figura 2.13.).

2.6.5.3 Aplicación del tipo de tratamiento

Luego de la limpieza de las juntas, se procedió a la preparación del adhesivo epóxico (véase figura 2.14) y a la aplicación de este en las probetas designadas (ver figura 2.15); siguiendo las recomendaciones del fabricante para su preparación (ver anexo E).



Figura 2.12. Limpieza con escobilla de acero de la lechada de cemento.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.13. Limpieza con aire comprimido.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.14. Preparación del adhesivo epóxico (Sikadur-32 gel) para el pegado de concreto viejo y nuevo.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.15. Aplicación del adhesivo epóxico en las medias probetas experimentales de concreto.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.16. Medias probetas de concreto tratadas con adhesivo epóxico.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.5.4 Vaciado para completar las medias probetas experimentales

Ya completado los tratamientos con sus tiempos de aplicación, se procedió a colocar las medias probetas de concreto en los moldes de plástico ya habilitadas (véase figura 2.16), para luego completar la probeta con concreto fresco como se muestra en las figura 2.17 y 2.18.



Figura 2.17. Completado de las probetas experimentales de concreto tratadas (pegadas) con adhesivo epóxico

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.5.5 Desencofrado y curado de las probetas experimentales

Después de terminar de vaciar las probetas experimentales y de control, se procedió a desencofrarlas (ver figura 2.19) y a su curado correspondiente hasta sus fechas de ensayo como se muestra en le figura 2.20.



Figura 2.18. Completado de las probetas experimentales y de control.
Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.19. Desencofrado con aire comprimido de las probetas experimentales de concreto pegado con adhesivo epóxico.
Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.20. Curado de las probetas de concreto experimentales y de control.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.21. Probetas experimentales de concreto con junta tratada con adhesivo epóxico a los 15 días.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.6 Realización de ensayos

2.6.6.1 Ensayo de tracción por compresión diametral o Split test

Este ensayo se realizó de acuerdo a los procedimientos indicados en la NTP 339.084 y a los principios básicos del diseño de experimentos; las figuras 2.21 y 2.22 muestran las probetas experimentales pegadas a los 15 días con y sin adhesivo respectivamente.

Para la realización del ensayo de tracción por compresión diametral del concreto, la junta de construcción simulada en el concreto se posicionará de manera paralela al plano (véase figura 2.23) de la junta realizada tal como lo indica (Rodriguez, 2012).

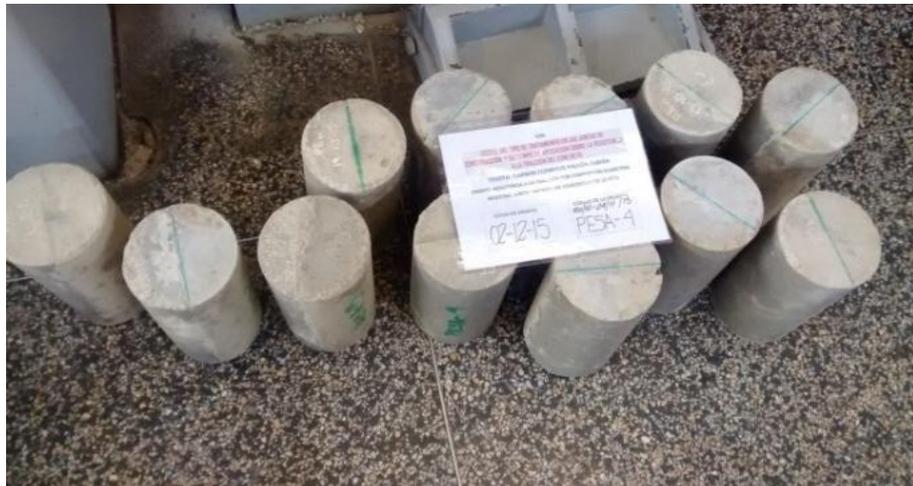


Figura 2.22. Probetas experimentales de concreto con junta tratada sin adhesivo epóxico a los 15 días.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

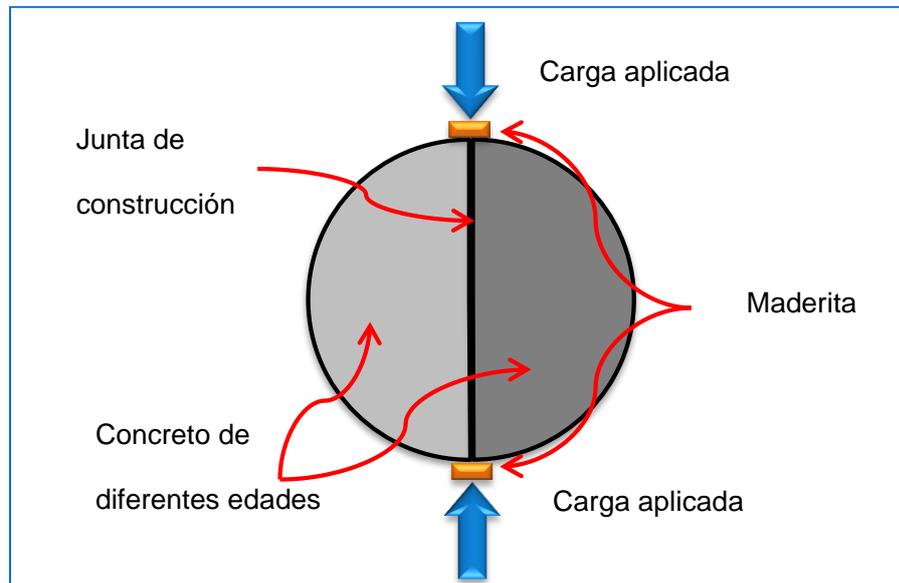


Figura 2.23. Esquema de colocación para el ensayo de las probetas experimentales.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.24. Ensayo a compresión diametral a los 7 días de las probetas experimentales sin adhesivo.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Las figuras 2.24 y 2.25 nos muestran el ensayo a compresión diametral de las probetas experimentales sin adhesivo epóxico.



Figura 2.25. Ensayo a compresión diametral o Split test a los 15 días de las probetas experimentales sin adhesivo epóxico.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

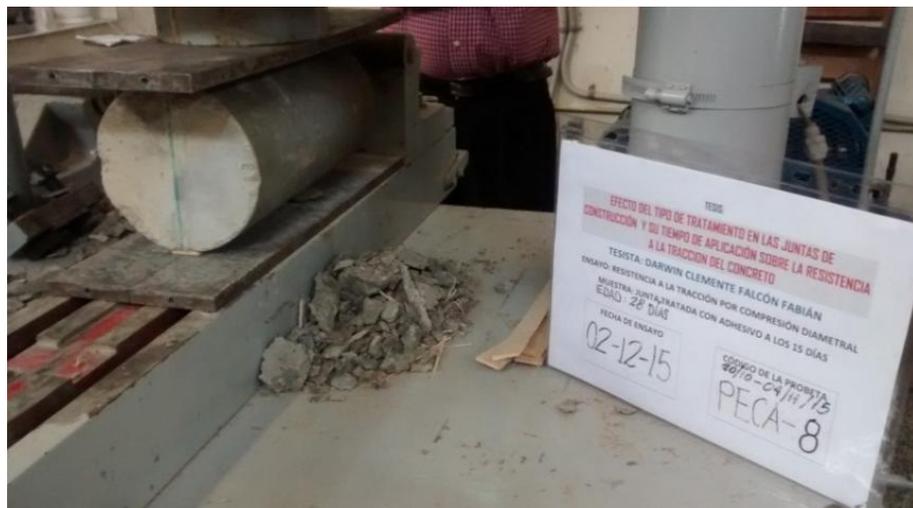


Figura 2.26. Ensayo a compresión diametral a 15 días.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Las figuras 2.26 y 2.27 nos muestran el ensayo a compresión diametral de la probeta experimental pegado sin y con adhesivo a los 15 días respectivamente.



Figura 2.27. Ensayo a compresión diametral a 7 días.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Además en las figuras 2.27 y 2.28 se muestran al personal técnico del laboratorio realizando el ensayo a compresión diametral de las probetas experimentales y de control.



Figura 2.28. Ensayo a compresión diametral de la probeta de control.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.29. Mediciones del peso, altura y diámetro de la probeta de concreto.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.6.6.2 Ensayo de compresión

El ensayo a compresión (ver figura 2.29 y 2.30) se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NPT 339.034.2008



Figura 2.30. Ensayo a compresión de la probeta de control.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.3. Niveles de las variables independientes (factores).

Niveles	Factor A	Factor B
	Tipo de tratamiento	Tiempo de aplicación
1	Sin adhesivo	7 días
2	Con adhesivo	7 días
3	Sin adhesivo	15 días
4	Con adhesivo	15 días

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.7 Análisis de los resultados obtenidos

Después de ensayar 12 réplicas de las probetas experimentales en sus 4 niveles (véase tabla 2.3) a la compresión diametral (ver tablas 2.4 y 2.5) y 12 réplicas de las probetas de control (véase tabla 2.6) también sometido al mismo ensayo, se procedió a analizar los resultados.

Los ensayos realizados se adjuntan en el anexo E; así mismo en la figura 2.31 se observan las probetas experimentales después de ser ensayadas a la tracción por compresión diametral.

Tabla 2.4. Resistencia a la tracción de probetas experimentales a 7 días.

N°	Código de probetas	Resistencia de la		N°	Código de probetas	Resistencia de la	
		probeta sin adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)				probeta con adhesivo a los 7 días (kg/cm ²)	
1	PESA-2	13.99		13	PECA-6	26.33	
2	PESA-3	12.27		14	PECA-7	17.62	
3	PESA-8	9.19		15	PECA-1	19.90	
4	PESA-5	14.72		16	PECA-3	15.66	
5	PESA-1	13.78		17	PECA-8	13.42	
6	PESA-7	18.46		18	PECA-10	16.43	
7	PESA-6	9.92		19	PECA-12	16.97	
8	PESA-12	11.01		20	PECA-5	13.33	
9	PESA-10	12.91		21	PECA-4	11.41	
10	PESA-11	14.43		22	PECA-2	15.81	
11	PESA-9	13.33		23	PECA-9	9.25	
12	PESA-4	16.36		24	PECA-11	11.41	

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.5. Resistencia a la tracción de probetas experimentales a 15 días.

N°	Código de probetas	Resistencia de la			
		probeta sin adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)	probeta con adhesivo a los 15 días (kg/cm ²)		
25	PESA-8	23.75	37	PECA-5	20.82
26	PESA-2	9.98	38	PECA-4	13.75
27	PESA-11	13.12	39	PECA-6	18.19
28	PESA-9	17.85	40	PECA-1	20.69
29	PESA-1	14.61	41	PECA-2	18.90
30	PESA-12	12.18	42	PECA-8	16.54
31	PESA-4	21.65	43	PECA-3	20.70
32	PESA-3	20.96	44	PECA-7	16.37
33	PESA-10	21.96	45	PECA-10	22.27
34	PESA-5	12.06	46	PECA-12	15.22
35	PESA-7	11.33	47	PECA-9	20.34
36	PESA-6	15.76	48	PECA-11	20.48

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.31. Probetas experimentales después del ensayo.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Para saber la confiabilidad de los datos obtenidos se realiza “el análisis de los datos experimentales, donde más que hacer un análisis riguroso de toda la información obtenida y tomar en cuenta la variación, se realiza un análisis informal, “intuitivo””. (Gutiérrez & De la Vara, 2008, pág. 4).

Tabla 2.6. Resistencias a la tracción de las probetas de control.

<i>N°</i>	<i>Código de probetas</i>	<i>Resistencia a la tracción por compresión de las probetas de control a los 28 días (kg/cm²)</i>
1	PCT-4	27.50
2	PCT-5	24.92
3	PCT-6	26.33
4	PCT-1	31.71
5	PCT-2	31.79
6	PCT-3	25.05
7	PCT-7	30.90
8	PCT-8	32.99
9	PCT-9	17.50
10	PCT-10	28.78
11	PCT-11	27.59

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.7.1 Análisis visual de los resultados de compresión diametral

Para la validez de los resultados de la resistencia a la tracción por compresión diametral, se verifica visualmente las fallas al final del ensayo.

2.7.1.1 Probetas de control

En las figuras 2.32 y 2.33 se presenta a una probeta de control antes y después del ensayo; de la figura 2.33 podemos verificar la falla de compresión, el cual no será considerado en los cálculos.



Figura 2.32. Probeta de control antes del ensayo a compresión diametral o Split test.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

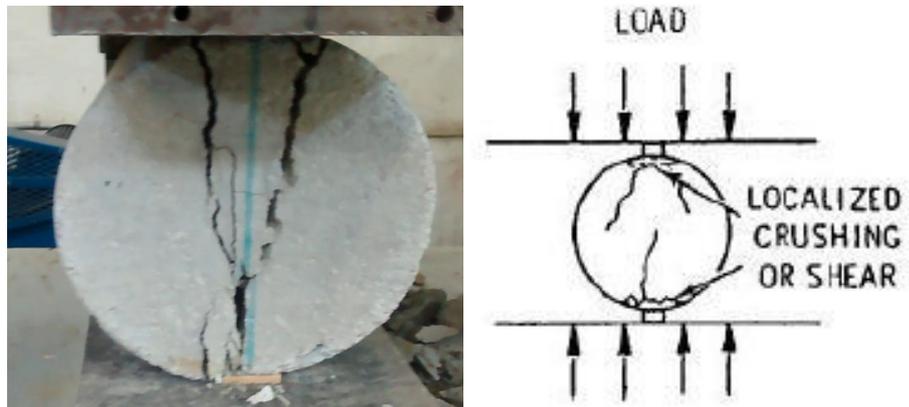


Figura 2.33. Probeta de control después del ensayo a compresión diametral o Split test.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.7.1.2 Probetas experimentales

La figura 2.34 se muestra a la probeta experimental de código PESA-2 antes del ensayo y en la figura 2.35 se muestra después del ensayo, del cual se hace un comparativo con un tipo de falla.



Figura 2.34. Probeta experimental sin adhesivo antes del ensayo.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

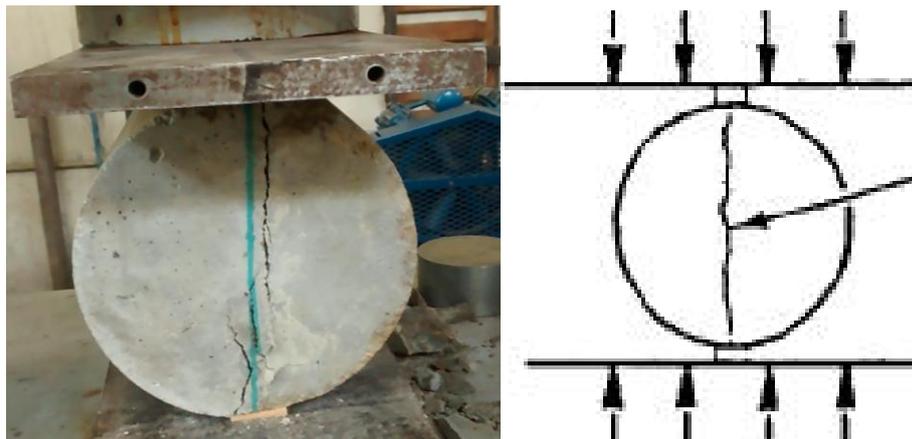


Figura 2.35. Probeta experimental sin adhesivo después del ensayo.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.36. Probeta experimental con adhesivo antes del ensayo.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

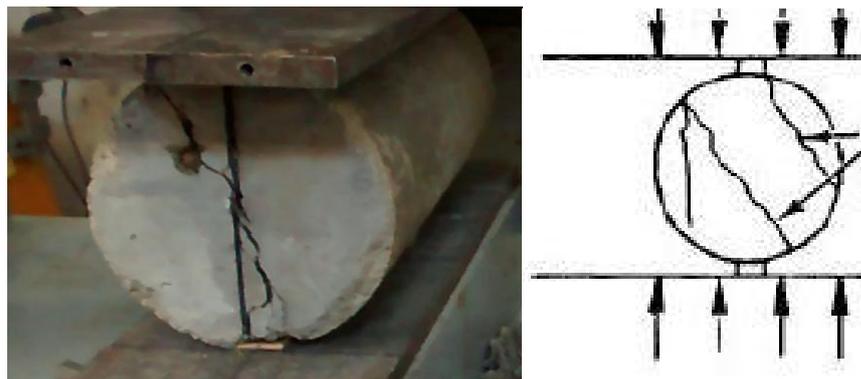


Figura 2.37. Probeta experimental con adhesivo después del ensayo.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

De la figura 2.35 podemos verificar la validez de la resistencia a la tracción de la probeta experimental, ya que presenta una falla por tracción normal; la figura 2.36 muestra a la probeta experimental de código PECA-12 a los 7 días de pegado con adhesivo epóxico antes del ensayo, y en la figura 2.37 se muestra después del ensayo, del cual se realiza un comparativo con un tipo de falla.



Figura 2.38. Mala señal de diámetro de la probeta experimental antes del ensayo a compresión diametral o Split test.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.



Figura 2.39. Lectura confiable después del ensayo a compresión diametral o Split test de la probeta experimental.

Fuente: Propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Por tanto, la mala colocación de las probetas a ensayar, nos dan resultados de la resistencia a la tracción erróneos para nuestra tesis, los cuales no fueron considerados en los cálculos.

Del análisis visual de los ensayos de la resistencia a la tracción de las probetas, obtuvimos los siguientes datos confiables para cada nivel de las variables independientes mostrados en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Cantidad de datos de la resistencia a la tracción de las probetas después del análisis visual.

N°	Código	Datos		Datos		Datos		Datos	
		finales RPSA7 (kg/cm2)	Código	finales RPCA7 (kg/cm2)	Código	finales RPSA15 (kg/cm2)	Código	finales RPCA15 (kg/cm2)	
1	PESA-2	13.99	PECA-7	17.62	PESA-2	9.98	PECA-5	20.82	
2	PESA-3	12.27	PECA-1	19.90	PESA-11	13.12	PECA-1	20.69	
3	PESA-1	13.78	PECA-3	15.66	PESA-1	14.61	PECA-2	18.90	
4	PESA-7	18.46	PECA-8	13.42	PESA-12	12.18	PECA-8	16.54	
5	PESA-6	9.92	PECA-10	16.43	PESA-4	21.65	PECA-7	16.37	
6	PESA-12	11.01	PECA-2	15.81	PESA-5	12.06	PECA-10	22.27	
7	PESA-10	12.91	PECA-9	9.25	PESA-7	11.33	PECA-9	20.34	
8	PESA-11	14.43	PECA-11	11.41			PECA-11	20.48	
9	PESA-4	16.36							
	Cantidad de Datos	9.00	Cantidad de Datos	8.00	Cantidad de Datos	7.00	Cantidad de Datos	8.00	

Nota: la denotación RPSA7 son resistencias a la tracción de las probetas sin adhesivo a los 7 días, RPCA7 significa las resistencias a la tracción de las probetas con adhesivo a los 7, RPSA15 son resistencias a la tracción de las probetas sin adhesivo a los 15 días, RPCA15 significa las resistencias a la tracción de las probetas con adhesivo a los 15 días.
Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.7.2 Tratamientos de datos atípicos

2.7.2.1 Prueba de Grubbs

(Murphy & Lau, 2008) menciona a la prueba estadística de grubbs para la identificación de un valor atípico basada en la prueba T de student, que es la diferencia absoluta entre el valor atípico y el promedio de la muestra dividida por la desviación estándar de la muestra.

Tabla 2.8. Prueba estadística de grubbs para RPSA7.

Nº	Código de probetas	RPSA7 (kg/cm ²)	Estadístico T de Grubbs	Valor crítico $T_{9,0.05}$	si $T < T_{(9,0.05)}$
1	PESA-2	13.99	0.12	2.11	No es atípico
2	PESA-3	12.27	0.54	2.11	No es atípico
3	PESA-1	13.78	0.04	2.11	No es atípico
4	PESA-7	18.46	1.83	2.11	No es atípico
5	PESA-6	9.92	1.44	2.11	No es atípico
6	PESA-12	11.01	1.02	2.11	No es atípico
7	PESA-10	12.91	0.30	2.11	No es atípico
8	PESA-11	14.43	0.29	2.11	No es atípico
9	PESA-4	16.36	1.03	2.11	No es atípico
Promedio =		13.68			
Desv. estándar =		2.61			

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.9. Prueba estadística de grubbs para RPCA7.

<i>N°</i>	<i>Código de probetas</i>	<i>RPCA7 (kg/cm2)</i>	<i>Estadístico T de Grubbs</i>	<i>Valor crítico $T_{8,0.05}$</i>	<i>si $T < T_{(8,0.05)}$</i>
1	PECA-7	17.62	0.78	2.03	No es atípico
2	PECA-1	19.90	1.45	2.03	No es atípico
3	PECA-3	15.66	0.21	2.03	No es atípico
4	PECA-8	13.42	0.44	2.03	No es atípico
5	PECA-10	16.43	0.43	2.03	No es atípico
6	PECA-2	15.81	0.26	2.03	No es atípico
7	PECA-9	9.25	1.66	2.03	No es atípico
8	PECA-11	11.41	1.03	2.03	No es atípico
Promedio =		14.94			
Desv. estándar =		3.43			

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.10. Prueba estadística de grubbs para RPSA15.

<i>N°</i>	<i>Código de probetas</i>	<i>RPSA15 (kg/cm2)</i>	<i>Estadístico T de Grubbs</i>	<i>Valor crítico $T_{7,0.05}$</i>	<i>si $T < T_{(7,0.05)}$</i>
1	PESA-11	13.12	0.11	1.94	No es atípico
2	PESA-2	9.98	0.93	1.94	No es atípico
3	PESA-1	14.61	0.27	1.94	No es atípico
4	PESA-12	12.18	0.36	1.94	No es atípico
5	PESA-4	21.65	2.10	1.94	Es atípico
6	PESA-5	12.06	0.39	1.94	No es atípico
7	PESA-7	11.33	0.58	1.94	No es atípico
Promedio =		13.56			
Desv. estándar =		3.84			

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.11. Prueba estadística de grubbs para RPCA15.

N°	Código de probetas	RPCA15 (kg/cm ²)	Estadístico T de Grubbs	Valor crítico $T_{8,0.05}$	si $T < T_{(8,0.05)}$
1	PECA-5	20.82	0.60	2.03	No es atípico
2	PECA-1	20.69	0.54	3.03	No es atípico
3	PECA-2	18.90	0.31	4.03	No es atípico
4	PECA-8	16.54	1.42	5.03	No es atípico
5	PECA-7	16.37	1.50	6.03	No es atípico
6	PECA-10	22.27	1.28	7.03	No es atípico
7	PECA-9	20.34	0.37	8.03	No es atípico
8	PECA-11	20.48	0.44	9.03	No es atípico
Promedio =		19.55			
Desv. estándar =		2.12			

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

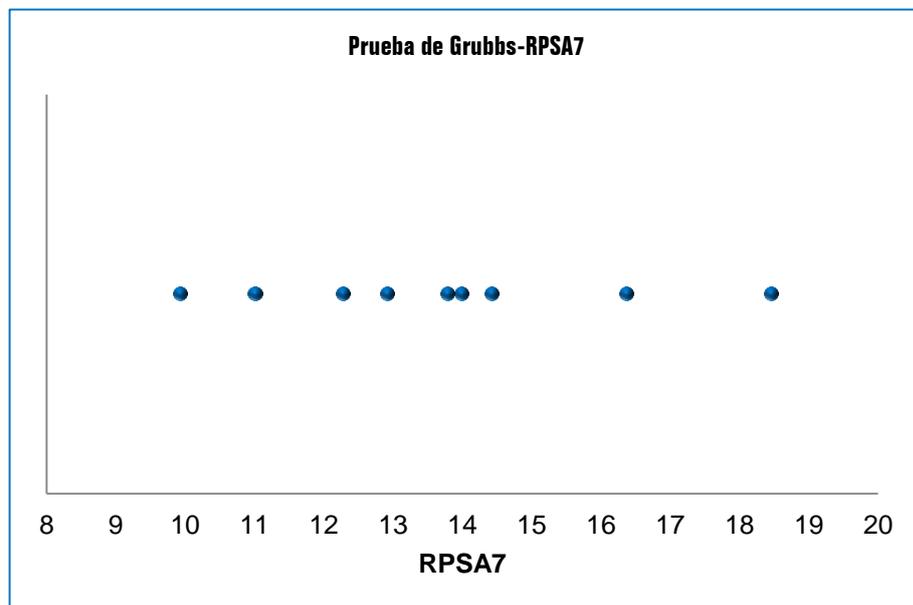


Figura 2.40. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPSA7.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

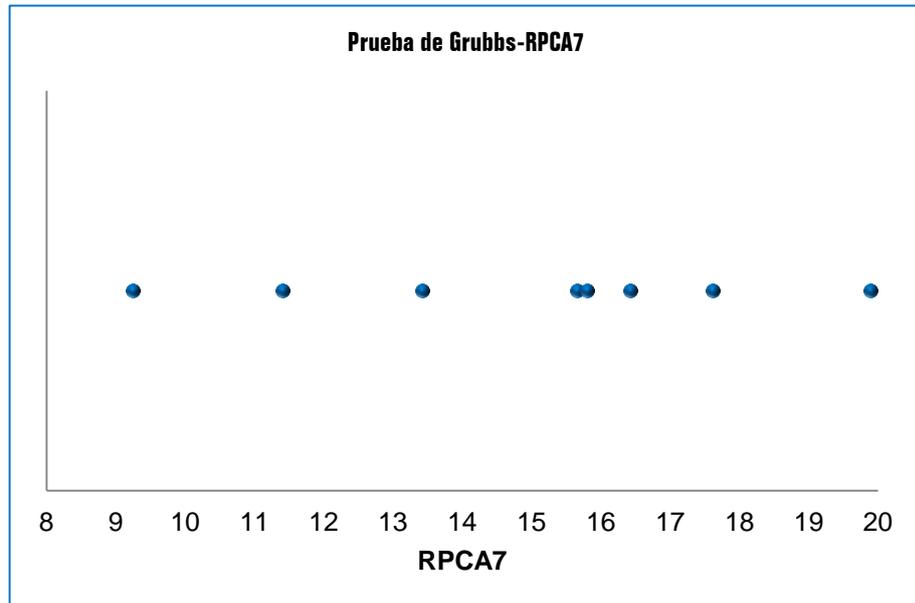


Figura 2.41. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPCA7.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

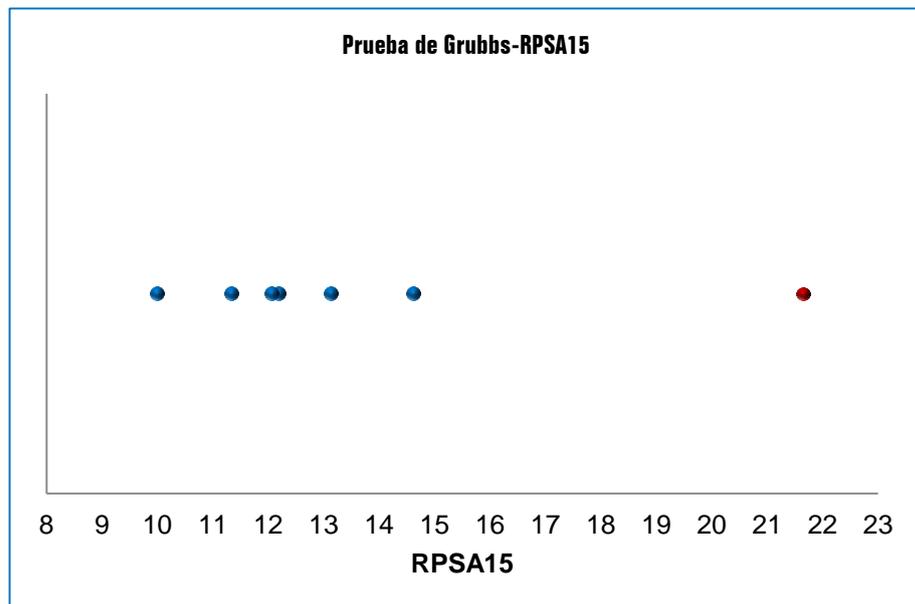


Figura 2.42. Prueba gráfica de la prueba de grubbs RPSA15.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

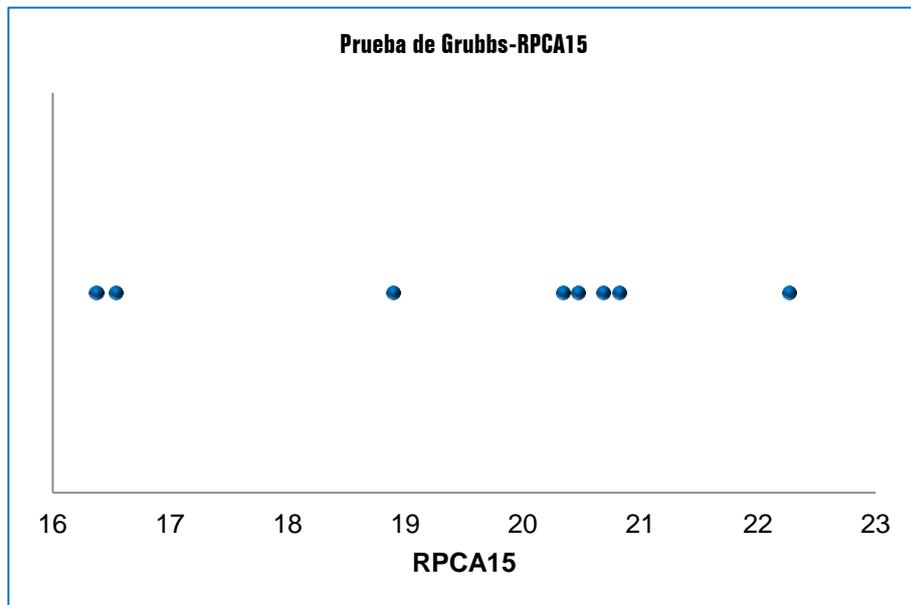


Figura 2.43. Prueba gráfica de la prueba de grubbs para RPSA15.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.7.2.2 Prueba de Normalidad

Según (Díaz, 2009, pág. 39) “la prueba de normalidad (aplicando la prueba de Shapiro-Wilks) es también una prueba para la detección de valores atípicos”; la prueba se calcularán por la siguiente fórmula:

$$W = \frac{1}{(n-1)S^2} \left[\sum_{i=1}^{k=n/2} a_i (X_{(n-i+1)} - X_{(i)}) \right]^2$$

Dónde:

n: Total de resultados = 24 , S^2 : Varianza del total de resultados

a_i : Coef. Shapiro – Wilks , $X_{(n-i+1)}$: Dato mayor de la muestra ordenada

$X_{(i)}$: Dato menor de la muestra ordenada

Tabla 2.12. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilks para RPSA7.

i	Y_i	$Y_{(n-i+1)}$	$Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)}$	a_i $n = 9$	$a_i(Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)})$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	9.92	18.46	8.54	0.5888	5.0311	14.16
2	11.01	16.36	5.35	0.3244	1.7365	7.15
3	12.27	14.43	2.15	0.1976	0.4257	1.98
4	12.91	13.99	1.08	0.0947	0.1022	0.60
5	13.78	13.78	0.00	0.0000	0.0000	0.01
6	13.99	12.91	-1.08	0.0000	0.0000	0.09
7	14.43	12.27	-2.15	0.0000	0.0000	0.56
8	16.36	11.01	-5.35	0.0000	0.0000	7.18
9	18.46	9.92	-8.54	0.0000	0.0000	22.86
Suma					7.30	54.59

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

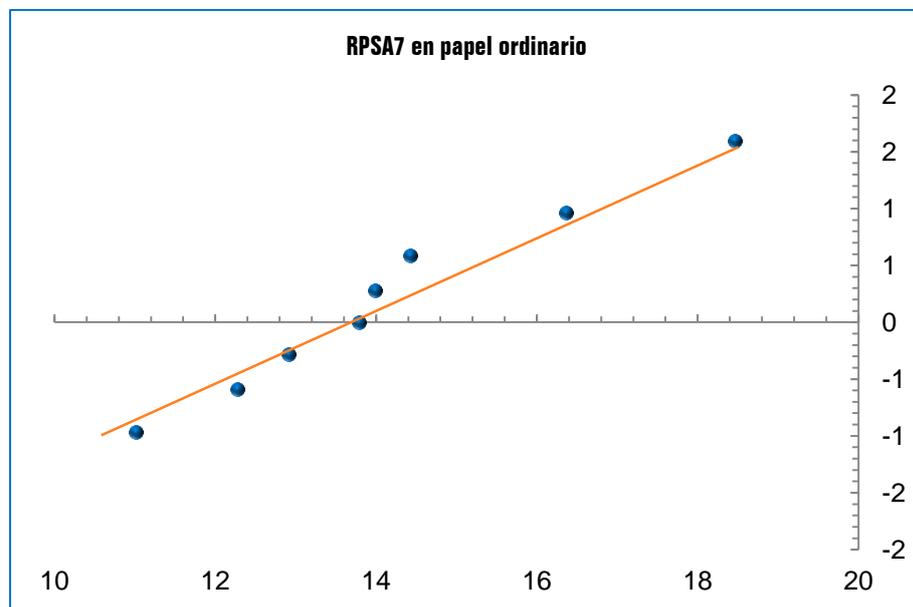


Figura 2.44. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA7.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.13. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA7.

i	Y_i	$Y_{(n-i+1)}$	$Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)}$	a_i $n = 8$	$a_i(Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)})$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	9.25	19.90	10.65	0.6052	6.4459	32.32
2	11.41	17.62	6.21	0.3164	1.9639	12.45
3	13.42	16.43	3.00	0.1743	0.5235	2.29
4	15.66	15.81	0.16	0.0561	0.0088	0.52
5	15.81	15.66	-0.16	0.0000	0.0000	0.77
6	16.43	13.42	-3.00	0.0000	0.0000	2.22
7	17.62	11.41	-6.21	0.0000	0.0000	7.17
8	19.90	9.25	-10.65	0.0000	0.0000	24.66
Suma					8.94	82.40

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

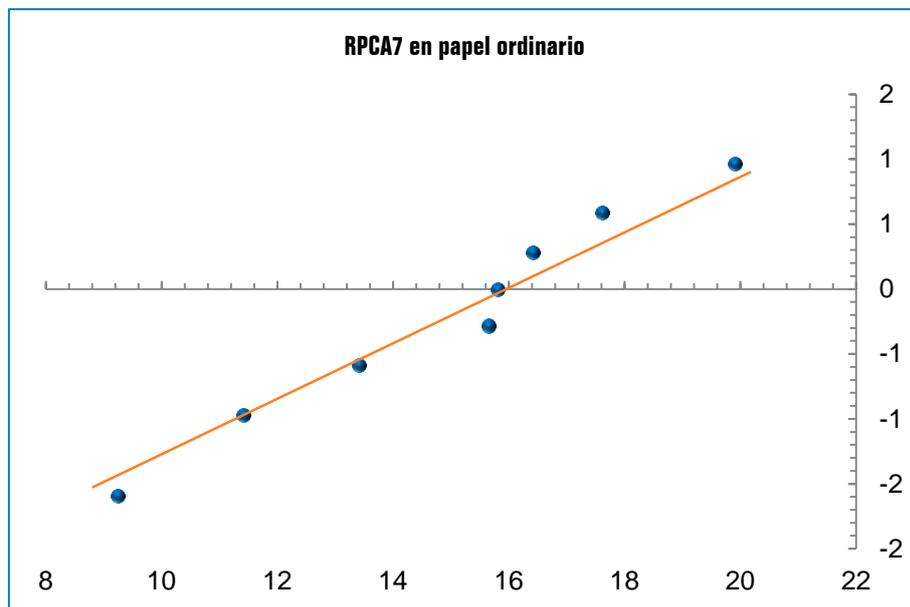


Figura 2.45. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA7.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.14. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA15.

i	Y_i	$Y_{(n-i+1)}$	$Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)}$	a_i $n = 7$	$a_i(Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)})$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	9.98	21.65	11.67	0.6233	7.2733	24.54
2	11.33	14.61	3.28	0.3031	0.9927	12.99
3	12.06	13.12	1.07	0.1401	0.1493	8.29
4	12.18	12.18	0.00	0.0000	0.0000	7.61
5	13.12	12.06	-1.07	0.0000	0.0000	3.29
6	14.61	11.33	-3.28	0.0000	0.0000	0.11
7	21.65	9.98	-11.67	0.0000	0.0000	45.10
Suma					8.42	101.93

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

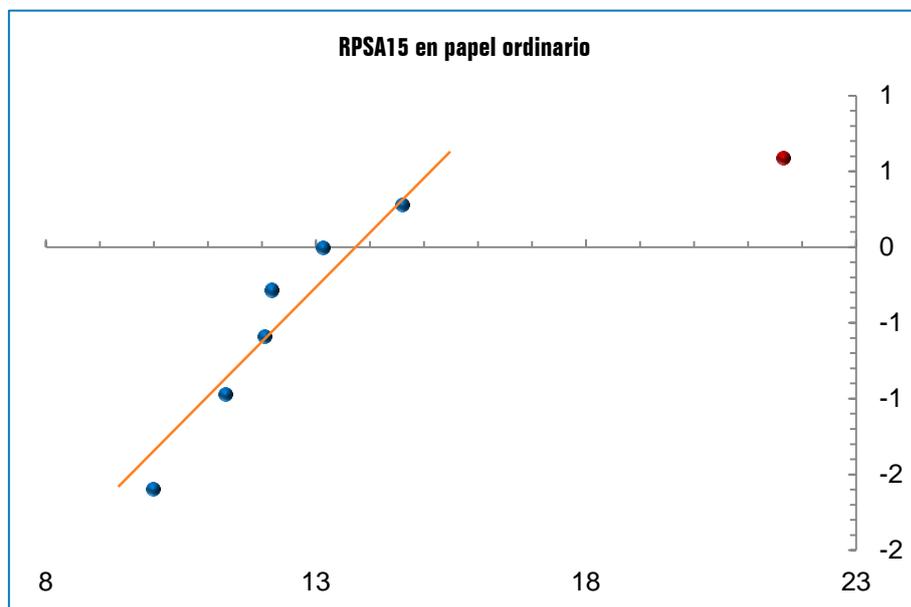


Figura 2.46. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPSA15.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.15. Operación de datos para la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA15.

i	Y_i	$Y_{(n-i+1)}$	$Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)}$	a_i $n = 8$	$a_i(Y_{(n-i+1)} - Y_{(i)})$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	16.37	22.27	5.90	0.6052	3.5691	10.10
2	16.54	20.82	4.29	0.3164	1.3568	9.09
3	18.90	20.69	1.79	0.1743	0.3113	0.42
4	20.34	20.48	0.14	0.0561	0.0076	0.62
5	20.48	20.34	-0.14	0.0000	0.0000	0.86
6	20.69	18.90	-1.79	0.0000	0.0000	1.29
7	20.82	16.54	-4.29	0.0000	0.0000	1.62
8	22.27	16.37	-5.90	0.0000	0.0000	7.39
Suma					5.24	31.40

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

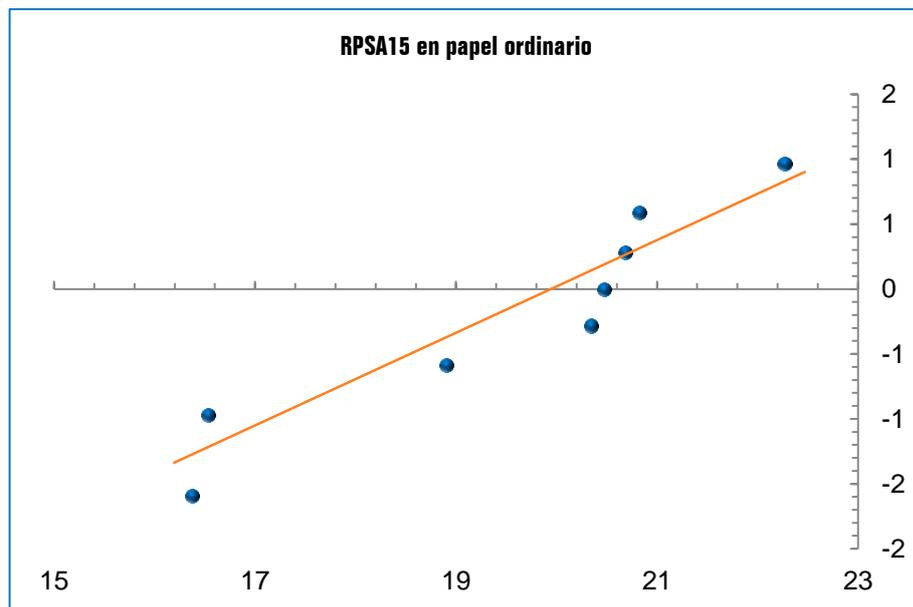


Figura 2.47. Prueba gráfica de la prueba de Shapiro-Wilk para RPCA15.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2.16. Resumen de la prueba de normalidad.

<i>Tiempo de aplicación</i>	<i>Tipo de tratamiento</i>	<i>W (Calculado)</i>	<i>W_(n,1-0.05) (Tabla Shapiro-Wilk)</i>	<i>si W > W_(n,1-0.05)</i>
7 días	Sin adhesivo	0.9750	0.8290	hay normalidad
	Con adhesivo	0.9704	0.8180	hay normalidad
15 días	Sin adhesivo	0.6948	0.8030	no hay normalidad
	Con adhesivo	0.8761	0.8180	hay normalidad

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Luego de la verificación del análisis visual que se realizó y de la verificación de datos atípicos, se muestra en la tabla 2.17 los datos finales que fueron usados en los cálculos del diseño factorial 2².

Tabla 2.17. Datos después del tratamiento de datos atípicos.

<i>N°</i>	<i>Código</i>	<i>RPSA7 (kg/cm2)</i>	<i>Código</i>	<i>RPCA7 (kg/cm2)</i>	<i>Código</i>	<i>RPSA15 (kg/cm2)</i>	<i>Código</i>	<i>RPCA15 (kg/cm2)</i>
1	PESA-2	13.99	PECA-7	17.62	PESA-11	13.12	PECA-5	20.82
2	PESA-3	12.27	PECA-1	19.90	PESA-2	9.98	PECA-1	20.69
3	PESA-1	13.78	PECA-3	15.66	PESA-1	14.61	PECA-2	18.90
4	PESA-7	18.46	PECA-8	13.42	PESA-12	12.18	PECA-8	16.54
5	PESA-6	9.92	PECA-10	16.43	PESA-5	12.06	PECA-7	16.37
6	PESA-12	11.01	PECA-2	15.81	PESA-7	11.33	PECA-10	22.27
7	PESA-10	12.91	PECA-9	9.25			PECA-9	20.34
8	PESA-11	14.43	PECA-11	11.41			PECA-11	20.48
9	PESA-4	16.36						

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

2.8 Diseño factorial 2²

Mostramos a continuación las variables identificadas y niveles que van a intervenir en este diseño (ver tabla 2.18).

Tabla 2.18. Resistencia a la tracción de las probetas experimentales con sus 6 réplicas.

Niveles	Factor A	Factor B			R1	R2	R3	R4	R5	R6	Total	
	Tipo de tratamiento	Tiempo de aplicación	x1	x2								
1	Sin adhesivo	7 días	-1	-1	13.99	12.27	13.78	18.46	9.92	16.36	84.78	=(1)
2	Con adhesivo	7 días	1	-1	17.62	19.90	15.66	13.42	16.43	11.41	94.43	= a
3	Sin adhesivo	15 días	-1	1	13.12	9.98	14.61	12.18	12.06	11.33	73.28	= b
4	Con adhesivo	15 días	1	1	20.82	18.90	16.54	22.27	20.34	20.48	119.34	= ab

Nota: De la tabla 2.17 se escogieron 6 datos con números aleatorios, en aquellos que se tuvieron mayor a 6 datos. Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Luego de obtener las variables dependientes (resistencia a la tracción por compresión diametral de las probetas experimentales), se procede al estudio estadístico.

2.8.1 Cálculos de los efectos

En este diseño encontramos tres efectos de interés, siendo dos efectos principales (A y B) y el efecto de interacción (AB), de acuerdo al gráfico 2.48 se procede a calcular estos efectos con las expresiones 3, 4 y 5 que se muestran a continuación.

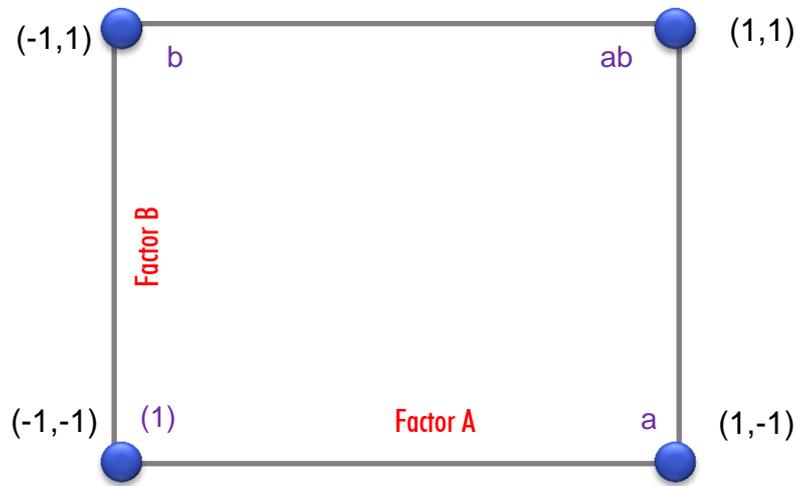


Figura 2.48. Representación geométrica del experimento

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

$$A = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] \quad \dots(3)$$

$$B = \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)] \quad \dots(4)$$

$$AB = \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] \quad \dots(5)$$

De la tabla 2.18 se obtienen los valores de:

$$(1) = 84.78 \quad , \quad a = 94.43 \quad , \quad b = 73.28 \quad , \quad ab = 119.34$$

Reemplazando estos valores en las expresiones (3), (4) y (5) los efectos resultan ser:

$$\text{Efecto A} = 4.64 \quad , \quad \text{Efecto B} = 1.12 \quad , \quad \text{Efecto AB} = 3.03$$

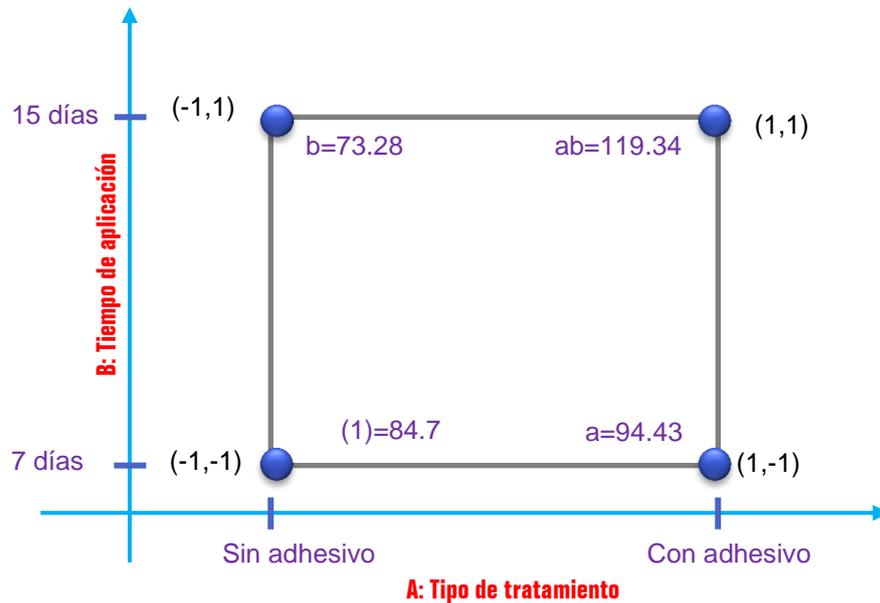


Figura 2.49. Representación geométrica con los valores calculados

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

2.8.2 Análisis de varianza

Para verificar cuales de los tres efectos son significativos, se procede a probar las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \text{Efecto A} = 0 \quad , \quad H_a : \text{Efecto A} \neq 0$$

$$H_0 : \text{Efecto B} = 0 \quad , \quad H_a : \text{Efecto B} \neq 0$$

$$H_0 : \text{Efecto AB} = 0 \quad , \quad H_a : \text{Efecto AB} \neq 0$$

Estas hipótesis se prueban con el análisis de varianza (ANOVA), las cuales tienen la siguiente secuencia de cálculo:

2.8.2.1 Suma de cuadrados

Para el cálculo de las sumas de los cuadrados para cada efecto se aplican las siguientes expresiones:

$$SC_A = \frac{[a + ab - b - (1)]^2}{n2^2} \dots\dots\dots(6)$$

$$SC_B = \frac{[b + ab - a - (1)]^2}{n2^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$SC_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{n2^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{4n} \dots\dots\dots(9)$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} \dots\dots\dots(10)$$

Del tabla 2.18 se obtienen los valores de:

$$(1) = 84.78 \quad , \quad a = 94.43 \quad , \quad b = 73.28 \quad ab = 119.34, \quad n = 6$$

Reemplazando valores en las expresiones (6), (7), (8), (9) y (10) se tiene:

$$SC_A = 129.32 \quad , \quad SC_B = 7.49 \quad , \quad SC_{AB} = 55.24$$

$$SC_T = 314.22 \quad , \quad SC_E = 122.18$$

2.8.2.2 Grados de libertad

Los grados de libertad se calculan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$Gl_A = a - 1 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$Gl_B = b - 1 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$Gl_{AB} = (a - 1)(b - 1) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$Gl_E = ab(n - 1) \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$Gl_T = abn - 1 \quad \dots\dots\dots(15)$$

De acuerdo a las expresiones 11, 12, 13, 14 y 15, y con $a = 2$ (niveles del factor A), $b = 2$ (niveles del factor B) y $n = 6$ (número de réplicas), se calcularon los grados de libertad:

$$Gl_A = 1 \quad , \quad Gl_B = 1 \quad , \quad Gl_{AB} = 1 \quad , \quad Gl_E = 20, \\ Gl_T = 23$$

Con los resultados obtenidos presentamos el análisis de varianza mostrado en la tabla 2.19.

Tabla 2.19. Análisis de varianza para la resistencia a la tracción del concreto de las probetas experimentales.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>valor-p</i>
A:Tipo de tratamiento	129.32	1.00	129.32	21.17	0.0001730
B: Tiempo de aplicación	7.49	1.00	7.49	1.23	0.2812193
AB	55.24	1.00	55.24	9.04	0.0069649
Error	122.18	20.00	6.11		
Total	314.22	23.00			

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

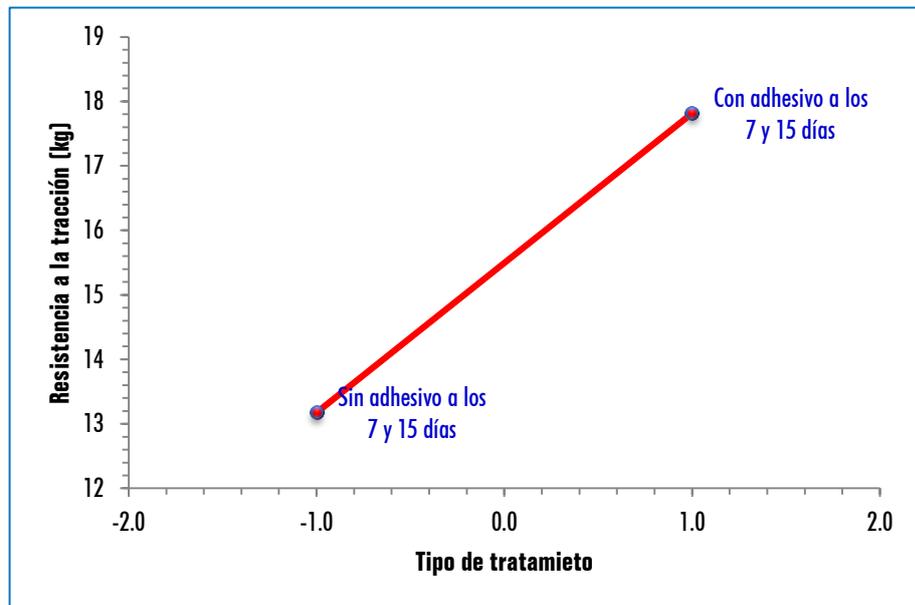


Figura 2.50. Efecto principal del factor A.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

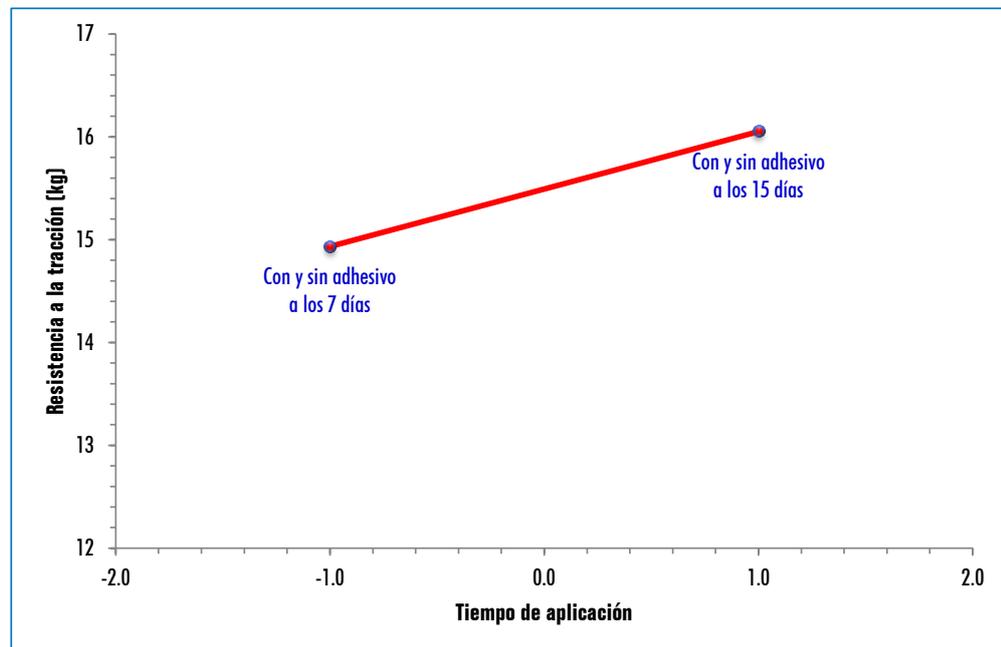


Figura 2.51. Efecto principal del factor B.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

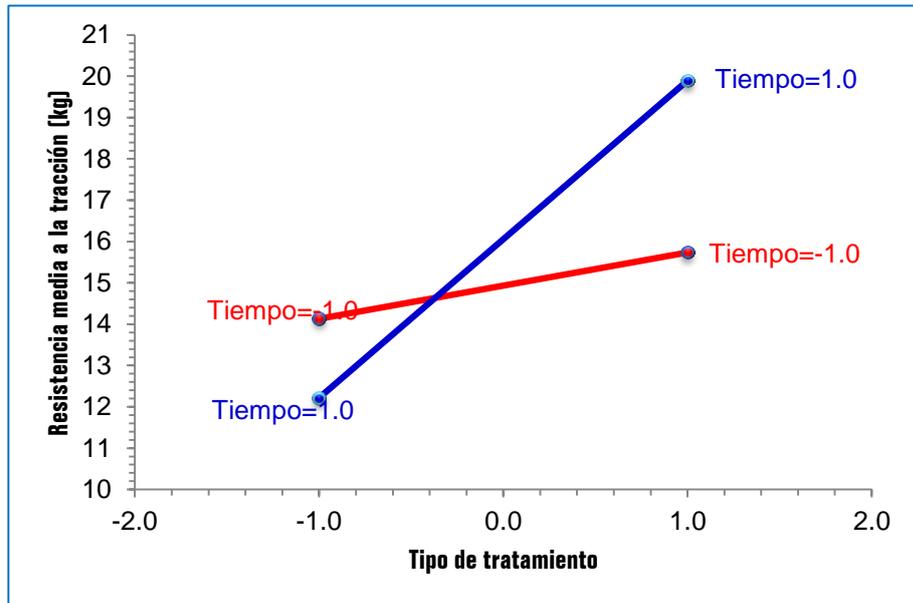


Figura 2.52. Interacción del factor A y el factor B.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Como podemos ver la gráfica de interacción (véase figura 2.52) nos da una mayor información del proceso que sucede en el experimento.

2.8.3 Modelo de regresión

Ajustamos un modelo de regresión para poder predecir el valor de la resistencia a la tracción en el tipo de tratamiento así como su tiempo de aplicación; según (Gutiérrez & De la Vara, 2008) en los diseños 2^k los coeficientes del modelo de regresión son iguales a los efectos entre dos.

Para el cálculo de este modelo se utilizan las siguientes expresiones:

$$y = \bar{x}_g + \frac{A}{2}x_1 + \frac{B}{2}x_2 + \frac{AB}{2}x_1.x_2 \dots\dots\dots(16)$$

Donde: \bar{x}_g : Media global

x_1 : Niveles del factor A

x_2 : Niveles del factor B

A: Efecto A

B: Efecto B

AB: Efecto de interacción del factor A y B

Reemplazando valores en la expresión 16 se tiene:

$$y = 15.49 + 2.32x_1 + 0.56x_2 + 1.52x_1x_2 \quad \dots\dots\dots(17)$$

2.8.4 Coeficientes de determinación

Con este estadístico medimos la calidad global del modelo de regresión múltiple, las cuales serán calculadas con las expresiones 18 y 19; este es el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2).

$$R^2 = \frac{SC_{total} - SC_{error}}{SC_{total}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$R_{aj}^2 = \frac{CM_{total} - CM_{error}}{CM_{total}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(19)$$

Con los datos de la tabla 2.19 y las expresiones 18 y 19, calculamos:

$$R^2 = 61.12\% \quad , \quad R_{aj}^2 = 55.29\%$$

2.8.5 Verificación de supuestos

Los resultados obtenidos de la resistencia a la tracción del análisis de varianza queda supeditado a que los siguientes supuestos se cumplan:

2.8.5.1 Supuesto de normalidad

Este supuesto de normalidad se verifica al graficar los residuos en papel, estos tienden a quedar alineados en una línea recta; por lo tanto, si esto no ocurre se concluye que este supuesto de normalidad no se cumple.

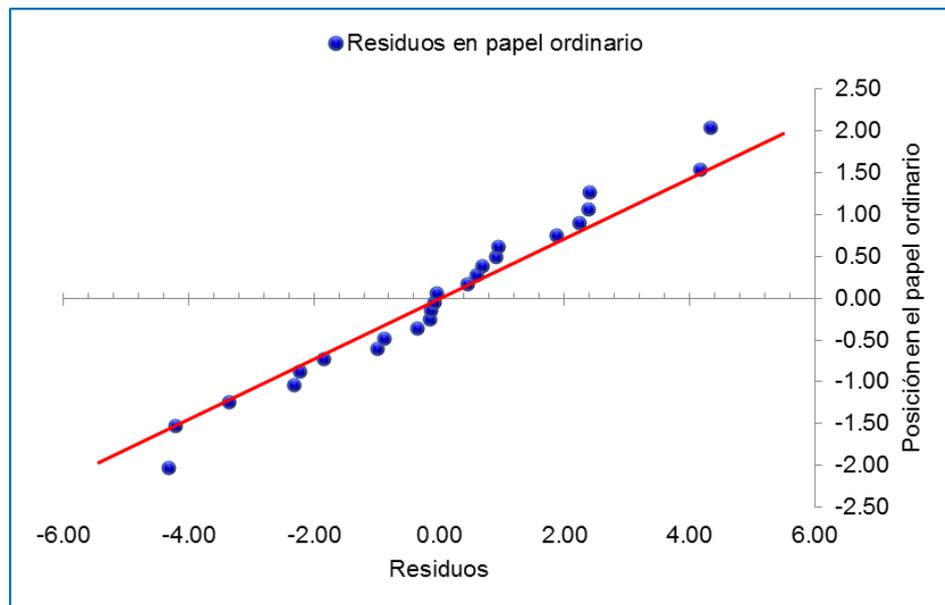


Figura 2.53. Residuos en papel ordinario

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Evaluación visual

De la figura 2.53, se puede observar que los puntos se apegan a una línea colocada visualmente; concluyéndose, que no hay violaciones al supuesto de normalidad.

Evaluación analítica

Prueba de Shapiro-Wilks para la normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad se tiene las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos proceden de una distribución normal

Ha: Los datos no proceden de una distribución normal

El estadístico de prueba para las hipótesis es:

$$W = \frac{1}{(n-1)S^2} \left[\sum_{i=1}^{k=n/2} a_i (X_{(n-i+1)} - X_{(i)}) \right]^2 \dots\dots\dots(20)$$

Donde:

n: Total de resultados = 24

S²: Varianza del total de resultados

a_i: Coeficientes del estadístico Shapiro – Wilks

X_(n-i+1): Dato mayor de la muestra ordenada

X_(i): Dato menor de la muestra ordenada

Se realiza el cálculo de valores con la expresión 20, el cual se muestran en las tablas 2.20, 2.21, 2.22, 2.22 y mostrando el resumen en la tabla 2.24.

Tabla 2.20. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPSA7.

i	X_i	i	$X_{(n-i+1)}$	$X_{(n-i+1)} - X_{(i)}$	a_i $n = 6$	$a_i(X_{(n-i+1)} - X_{(i)})$
1	9.92	24	18.46	8.54	0.6431	5.4950
2	12.27	23	16.36	4.09	0.2806	1.1465
3	13.78	22	13.99	0.21	0.0875	0.0181
4	13.99	21	13.78	-0.21	0.0000	0.0000
5	16.36	20	12.27	-4.09	0.0000	0.0000
6	18.46	19	9.92	-8.54	0.0000	0.0000
Varianza de los datos: $S^2 = 9.01$					Suma =	6.6596

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Tabla 2.21. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPCA7.

i	X_i	i	$X_{(n-i+1)}$	$X_{(n-i+1)} - X_{(i)}$	a_i $n = 6$	$a_i(X_{(n-i+1)} - X_{(i)})$
1	11.41	24	19.90	8.49	0.6431	5.4629
2	13.42	23	17.62	4.19	0.2806	1.1765
3	15.66	22	16.43	0.77	0.0875	0.0673
4	16.43	21	15.66	-0.77	0.0000	0.0000
5	17.62	20	13.42	-4.19	0.0000	0.0000
6	19.90	19	11.41	-8.49	0.0000	0.0000
Varianza de los datos: $S^2 = 9.09$					Suma =	6.7067

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Tabla 2.22. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPSA15.

i	X_i	i	$X_{(n-i+1)}$	$X_{(n-i+1)} - X_{(i)}$	a_i $n = 6$	$a_i(X_{(n-i+1)} - X_{(i)})$
1	9.98	24	14.61	4.62	0.6431	2.9741
2	11.33	23	13.12	1.79	0.2806	0.5023
3	12.06	22	12.18	0.12	0.0875	0.0106
4	12.18	21	12.06	-0.12	0.0000	0.0000
5	13.12	20	11.33	-1.79	0.0000	0.0000
6	14.61	19	9.98	-4.62	0.0000	0.0000
Varianza de los datos: $S^2 = 2.47$					Suma =	3.4869

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Tabla 2.23. Datos para el supuesto de normalidad analítica para RPCA15.

i	X_i	i	$X_{(n-i+1)}$	$X_{(n-i+1)} - X_{(i)}$	a_i $n = 6$	$a_i(X_{(n-i+1)} - X_{(i)})$
1	16.54	24	22.27	5.73	0.6431	3.6873
2	18.90	23	20.82	1.92	0.2806	0.5398
3	20.34	22	20.48	0.14	0.0875	0.0119
4	20.48	21	20.34	-0.14	0.0000	0.0000
5	20.82	20	18.90	-1.92	0.0000	0.0000
6	22.27	19	16.54	-5.73	0.0000	0.0000
Varianza de los datos: $S^2 = 3.86$					Suma =	4.2390

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Tabla 2.24. Resumen de la prueba analítica de normalidad.

Tiempo de aplicación	Tipo de tratamiento	W (Calculado)	$W_{(6,1-0.05)}$ (Tabla Shapiro-Wilk)	si $W > W_{(6,1-0.05)}$
7 días	Sin adhesivo	0.9840	0.7880	hay normalidad
	Con adhesivo	0.9895	0.7880	hay normalidad
15 días	Sin adhesivo	0.9857	0.7880	hay normalidad
	Con adhesivo	0.9306	0.7880	hay normalidad

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

2.8.5.2 Supuesto de varianza

Evaluación visual

Este supuesto de varianza se verifica cuando al graficar los predichos contra los residuos, se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal (sin ningún patrón claro) como se muestra en la figura 2.54; otra forma de verificar el supuesto de varianza es graficar los niveles del factor

contra los residuos (véase figura 2.55), por lo que si estos presentan similares amplitudes en la dispersión se cumplirá este supuesto de varianza.

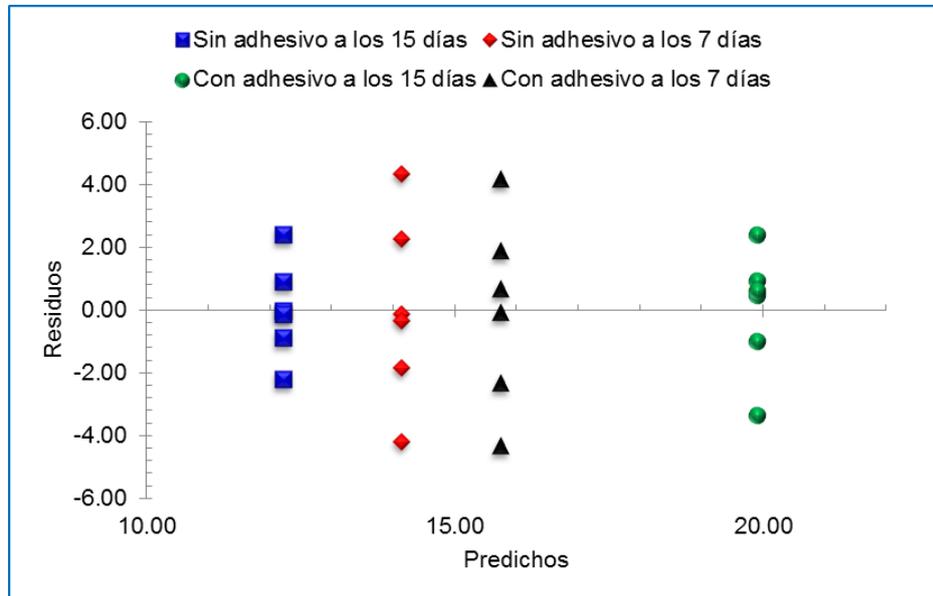


Figura 2.54. Supuesto de varianza de predichos contra residuos

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

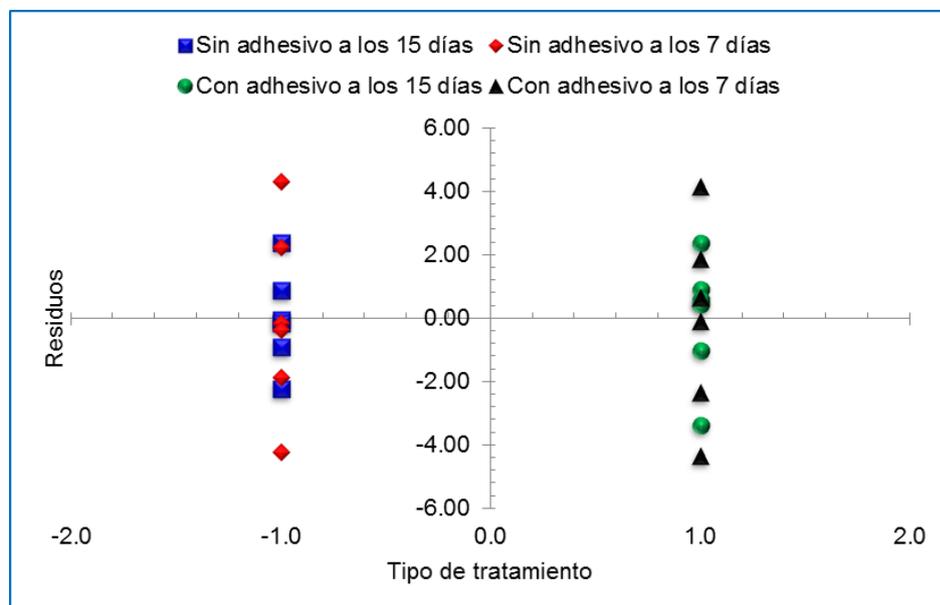


Figura 2.55. Supuesto de varianza, tipo de tratamiento contra residuos.

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Evaluación analítica

Prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas

Para la homogeneidad de varianzas se tiene las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma_i^2 = \sigma_j^2 = \sigma$$

$$H_a: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2, \text{ para algún } i \neq j$$

El estadístico de prueba para las hipótesis es:

$$X_{0^2} = 2.3026 \frac{q}{c} \dots\dots\dots(21)$$

Donde:

$$q = (N - k) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log_{10} S_i^2 \dots\dots\dots(22)$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k (n_i - 1)^{-1} - (N - 1)^{-1} \right) \dots\dots\dots(23)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{N - k} \dots\dots\dots(24)$$

N: Total de mediciones = 24

n_i : Número de réplicas de cada nivel = 6

k: Cantidad de niveles = 4

S_i^2 : Varianza de cada nivel

Tabla 2.25. Resistencias a la tracción de las probetas experimentales para calcular la prueba de Bartlett.

N°	Código	Datos		Datos		Datos		Datos	
		finales RPSA7 (kg/cm2)	Código	finales RPCA7 (kg/cm2)	Código	finales RPSA15 (kg/cm2)	Código	finales RPCA15 (kg/cm2)	
1	PESA-2	13.99	PECA-7	17.62	PESA-11	13.12	PECA-5	20.82	
2	PESA-3	12.27	PECA-1	19.90	PESA-2	9.98	PECA-2	18.90	
3	PESA-1	13.78	PECA-3	15.66	PESA-1	14.61	PECA-8	16.54	
4	PESA-7	18.46	PECA-8	13.42	PESA-12	12.18	PECA-10	22.27	
5	PESA-6	9.92	PECA-10	16.43	PESA-5	12.06	PECA-9	20.34	
6	PESA-4	16.36	PECA-11	11.41	PESA-7	11.33	PECA-11	20.48	
		S ² = 9.01		S ² = 9.09		S ² = 2.47		S ² = 3.86	

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Tabla 2.26. Cálculos para la verificación de la prueba de Bartlett.

<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>S²_i</i>	$(n_i-1)S_i^2$	$(n_i-1)^{-1} - (N-1)^{-1}$	$(n_i-1)\log_{10} S_i^2$
RPSA7	6	9.01	45.07	0.16	4.77
RPCA7	6	9.09	45.46	0.16	4.79
RPSA15	6	2.47	12.34	0.16	1.96
RPCA15	6	3.86	19.31	0.16	2.93
Suma =			122.18	0.63	14.46

Nota: N=24(número total de mediciones), k=Cantidad de niveles. Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

Resolviendo las expresiones 21, 22, 23 y 24 con los valores de las tablas 2.24 y 2.25, se tiene:

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{N - k} = 6.11$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k (n_i - 1)^{-1} - (N - 1)^{-1} \right) = 1.07$$

$$q = (N - k) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log_{10} S_i^2 = 1.26$$

$$X_o^2 = 2.3026 \frac{q}{c} = 2.70$$

El estadístico X_o^2 sigue una distribución ji-cuadrada con $k-1$ grados de libertad, por lo que se rechaza H_0 cuando X_o^2 es más grande que $X_{(\alpha, k-1)}^2$; de la tabla de X^2 de Pearson con 3 grados de libertad: $X_{(0.05, 3)}^2 = 7.815$.

2.8.5.3 Supuesto de independencia

En la figura 2.56 se grafica el orden de la realización de los ensayos contra los residuos.

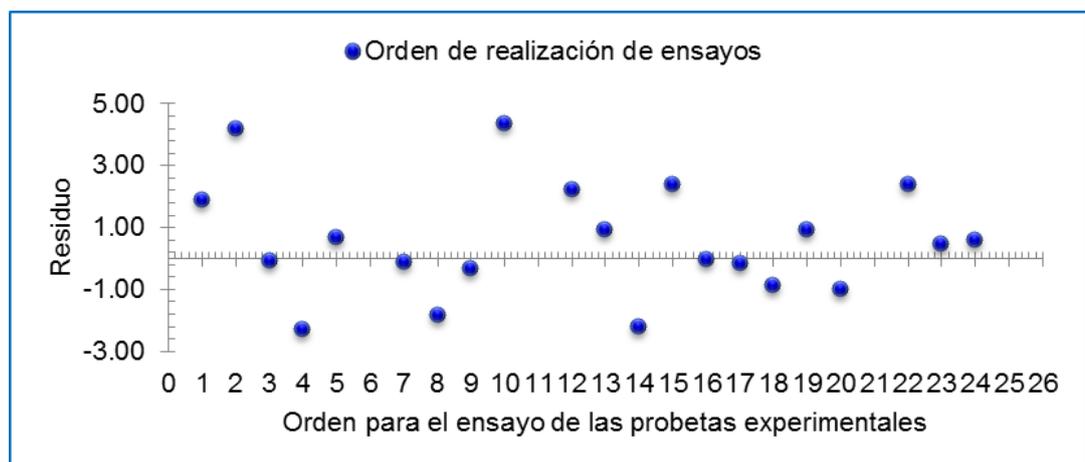


Figura 2.56. Orden de realización de ensayos de las probetas.

Fuente: Elaboración propia, basada en el Diseño factorial de experimentos.

CAPÍTULO III

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Discusión de resultados obtenidos

A continuación se presenta la interpretación de los resultados obtenidos después de la metodología seguida.

3.1.1 Tabla del ANOVA

Tabla 3.1. Niveles de significancia para los factores.

<i>Fuente de variabilidad</i>	<i>valor-p</i>
A: Tipo de tratamiento	0.000
B: Tiempo de aplicación	0.281
AB: Interacción	0.007

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

La tabla 3.1 fue obtenida a base de la tabla 2.19, donde se realizó el análisis de varianza (ANOVA); del cual en la columna valor-p, observamos que el efecto de la interacción de los factores A y B son significativos con respecto a la resistencia a la tracción del concreto, por lo que se rechaza la hipótesis nula, ya que $0.007 < 0.05$ (nivel de significancia); por lo que se acepta que el efecto de la interacción de A y B son significativos.

Así mismo de acuerdo a esta tabla, el efecto más significativo e importante es el tipo de tratamiento a las juntas de construcción, también se observa que el tiempo de aplicación resulta no ser tan significativo sobre la resistencia a la tracción del concreto, debido a que $0.281 > 0.05$.

3.1.2 Efectos de los factores participantes

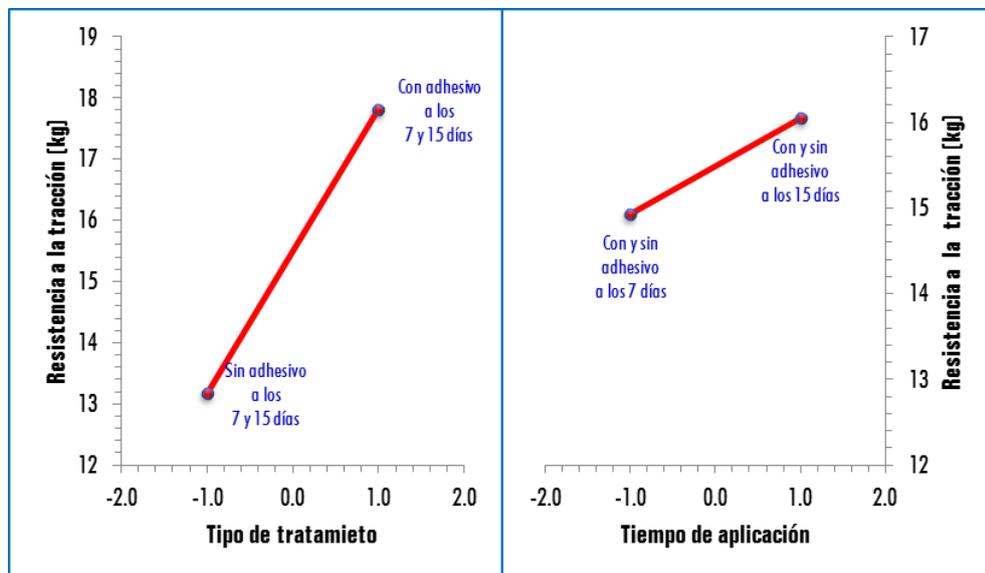


Figura 3.1. Efectos principales contra la resistencia a la tracción del concreto.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

En la figura 3.1 se observa que para un tratamiento de la junta sin adhesivo epóxico (-1) aplicado a los 7 y 15 días, reportó una resistencia del 47.49% (13.17 kg/cm²), mientras que cuando la junta fue tratada con adhesivo epóxico (+1) aplicado a los 7 y 15 días se obtiene un 64.23% (17.81 kg/cm²) de la resistencia promedio a la tracción del concreto (sin juntas); también en la misma figura 3.1, se observa que para un tratamiento con o sin adhesivo epóxico aplicado a los 7 días (-1), se obtuvo una resistencia del 53.84% (14.93 kg/cm²), mientras que cuando el tiempo de aplicación fue de 15 días (+1) se obtuvo un 57.88% (16.05 kg/cm²), con respecto a la resistencia promedio a la tracción del concreto patrón (sin juntas) que representó el 100% (27.73 kg/cm²) ensayados a los 28 días.

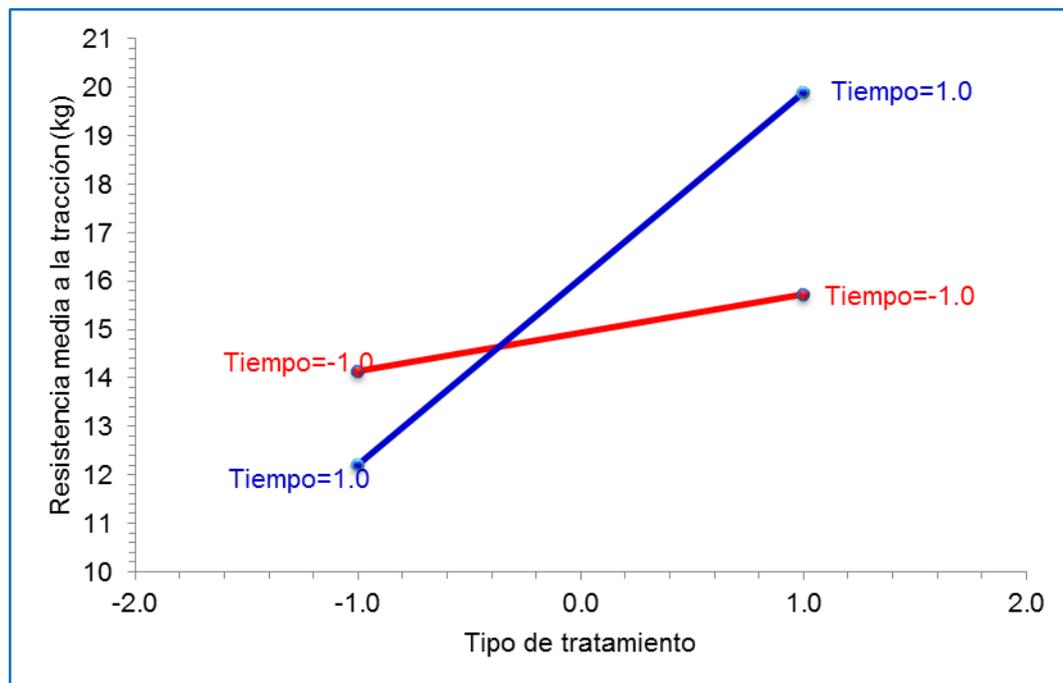


Figura 3.2. Efecto de la interacción de los factores A y B

Nota: Tiempo=-1.0 tiempo de aplicación a los 7 días y Tiempo=+1.0 tiempo de aplicación de aplicación a los 15 días. Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Observamos en la figura 3.2. que si realizamos el tratamiento de la junta sin adhesivo a los 7 y 15 días obtenemos resistencias a la tracción del 50.95% (14.13 kg/cm²) y 44.03% (12.21 kg/cm²) respectivamente, que son bajas con respecto a las resistencias a la tracción de nuestro concreto patrón que representa el 100% (27.73 kg/cm²).

La resistencia a la tracción del concreto se ve ligeramente incrementada con respecto a los resultados anteriores, cuando la junta es tratada con adhesivo epóxico aplicada a los 7 días teniendo una resistencia a la tracción del 56.76% (15.74 kg/cm²); en cambio cuando la junta es tratada a los 15

días, reportó un 71.73% (19.89 kg/cm²), con respecto a la resistencia a la tracción del concreto patrón que representó el 100% (27.73 kg/cm²).

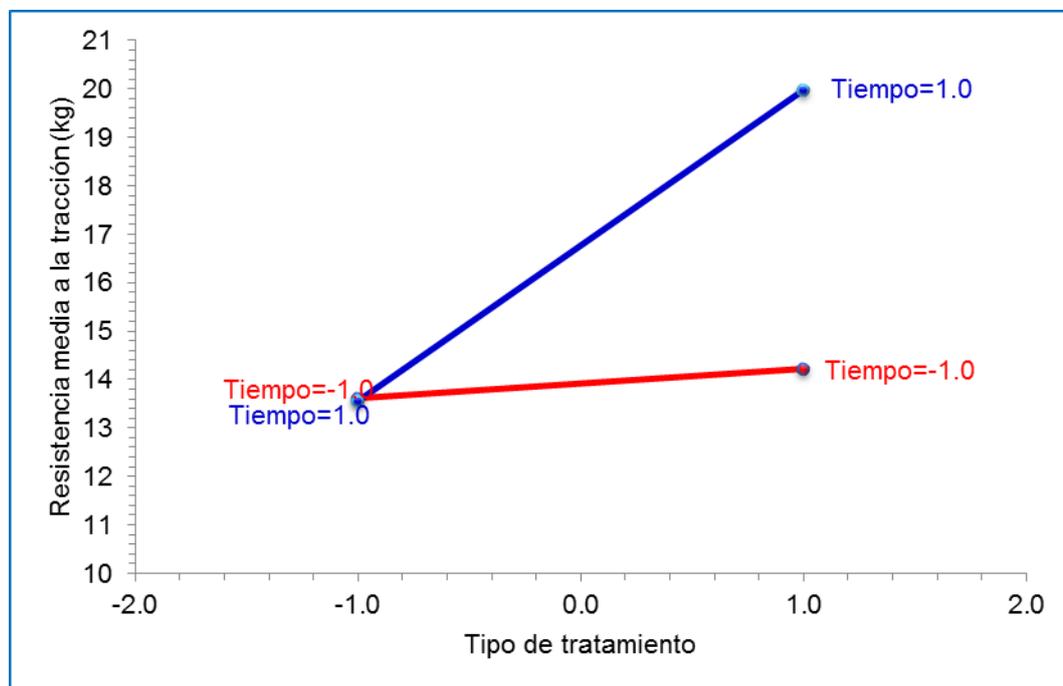


Figura 3.3. Efecto de la interacción de los factores A y B

Nota: Esta gráfica pertenece a los datos sin el tratamiento de datos atípicos; la notación de la gráfica es: Tiempo=-1.0 tiempo de aplicación a los 7 días y Tiempo=+1.0 tiempo de aplicación de aplicación a los 15 días. Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

De acuerdo a (Bzik, 2011), donde indica que se debe presentar los datos sin y con el dato atípico, se presenta en la figura 3.3 el gráfico de la interacción de los factores A y B sin la verificación de los datos atípicos, y comparándolo con la figura 3.2, podemos concluir que no afecta a la hipótesis, por la cual a se puede concluir nuevamente que a al aplicar el

adhesivo epóxico a los 15 días sobre la junta del concreto, esta reporta una mayor resistencia a la tracción del concreto frente a los demás tratamientos.

3.1.3 Verificación de supuestos

3.1.3.1 Supuesto de normalidad

De la figura 3.4. se observa que los residuos de la resistencia a la tracción del concreto con juntas quedan alineados en una línea recta, así mismo se demuestra analíticamente el supuesto de normalidad con la prueba de Shapiro Wilk mostrado en la tabla 3.2 calculada con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{1}{(n-1)S^2} \left[\sum_{i=1}^{k=n/2} a_i (X_{(n-i+1)} - X_{(i)}) \right]^2$$

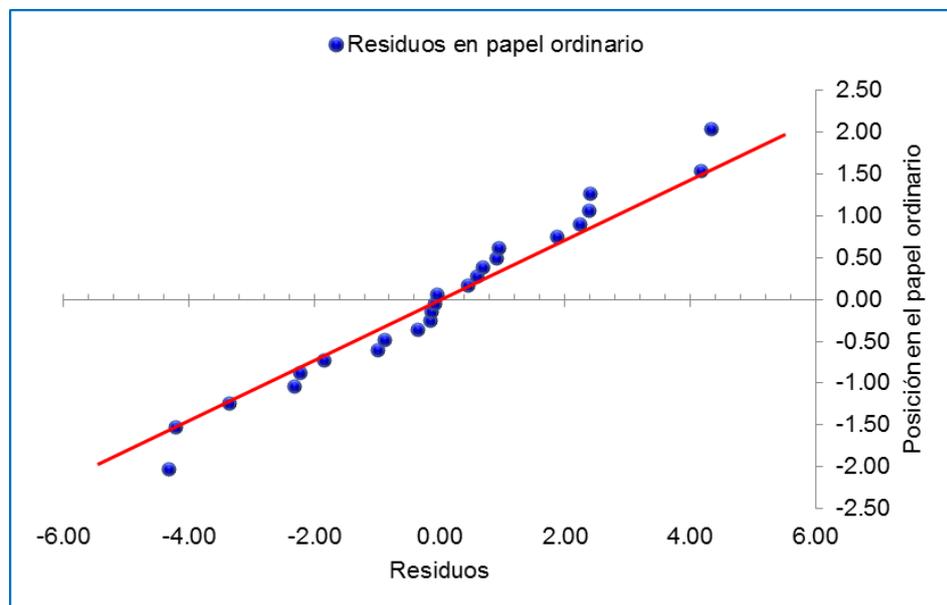


Figura 3.4. Gráfica para el supuesto de normalidad.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 3.2. Prueba de Shapiro-Wilks para probetas experimentales.

Tiempo de aplicación	Tipo de tratamiento	W (Calculado)	$W_{(6,1-0.05)}$ (Tabla Shapiro-Wilk)	si $W > W_{(6,1-0.05)}$
7 días	Sin adhesivo	0.9840	0.7880	hay normalidad
	Con adhesivo	0.9895	0.7880	hay normalidad
15 días	Sin adhesivo	0.9857	0.7880	hay normalidad
	Con adhesivo	0.9306	0.7880	hay normalidad

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

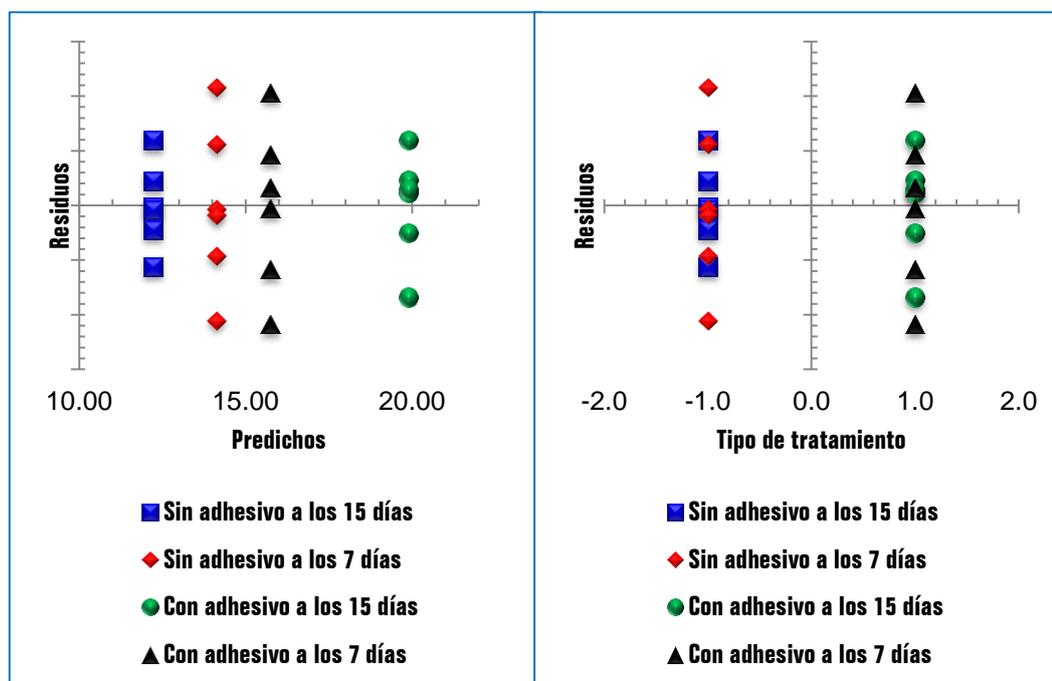


Figura 3.5. Supuesto de varianza de los residuos vs predichos.

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

3.1.3.2 Supuesto de varianza

Se cumple el supuesto de varianza, ya que la gráfica de los predichos contra los residuos cayó de manera aleatoria y sin ningún patrón de

tendencia, también la gráfica del tipo de tratamiento contra los residuos cayendo de forma vertical, teniendo esta última una amplitud de dispersión similar, tal como muestra la figura 3.5. Verifica también la homogeneidad de varianza para la prueba de Bartlett, de donde al realizar los cálculos, se cumple que: $X_0^2 = 1.70 < X^2_{0.05,3} = 7.80$.

X_0^2 : estadístico ji – cuadrada con 3 gl.

$X^2_{0.05,3}$: valor de la distribución X^2 de pearson

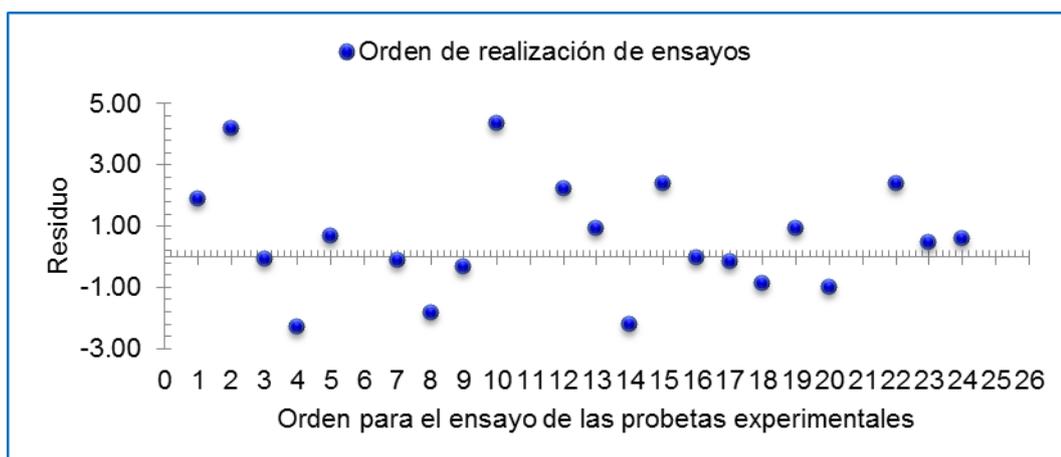


Figura 3.6. Realización del ensayo de resistencia a la tracción

Fuente: Elaboración propia, basada en el desarrollo de la presente tesis.

3.1.3.3 Supuesto de independencia

De la figura 3.6 se puede observar que al graficar el orden de corrida de los ensayos contra los residuos, no tiene ningún patrón o tendencia; por lo que podemos decir, que no existe problema para declarar su independencia.

3.2 Discusión de resultados obtenidos con investigaciones anteriores

3.2.1 Tiempo de aplicación del tratamiento

De la tabla 3.1 realizado para los tratamientos aplicados a las probetas de concreto experimentales, se pudo observar que el efecto del tiempo de aplicación no es significativo con respecto a los demás efectos, tal como el estudio realizado por Cánovas (citado en Rodríguez, 2012), donde indicó que el tiempo de pegado entre el concreto endurecido y nuevo no influye en la resistencia del concreto.

Este resultado se debe sólo a la interpretación del efecto principal sobre la variable respuesta, el cual no explica en conjunto la interacción de los efectos del tipo de tratamiento y el tiempo de aplicación como se puede observar en la figura 3.1; ya que, como quiera que se estudian dos factores frente a la variable dependiente, el que mejor explica el comportamiento de la resistencia a la tracción del concreto es cuando actúan ambos efectos a la vez (véase figura 3.2).

3.2.2 Tratamiento de la junta con adhesivo epóxico

La resistencia a la tracción del concreto con junta tratada con adhesivo epóxico, presentó un 64.23% del efecto principal (tipo de tratamiento) y un 71.73 % del efecto de interacción (tipo de tratamiento y tiempo de aplicación) con respecto al concreto patrón (sin junta); el cual también fue el segundo mejor resultado obtenido por Foncea y Levy (1963 citado en Rodríguez,

2012) con un resultado de la resistencia a la tracción del 78% con el tratamiento de la junta con adhesivo epóxico.

Estos resultados obtenidos lo podemos corroborar de la tabla 3.1, donde el tipo de tratamiento es el efecto más significativo que describe el comportamiento de la resistencia a la tracción del concreto con junta; así mismo, en la figura 3.1 podemos apreciar el incremento de la resistencia a la tracción del concreto con junta tratada con adhesivo epóxico, tal y como lo recomendó (Castillo, 2008) en su investigación.

3.2.3 Tipo de tratamiento y tiempo de aplicación

La resistencia a la tracción del concreto con junta tratada sin adhesivo epóxico, se ve influenciada por la edad del concreto (véase de figura 3.2), obteniéndose menores resistencias cuando el concreto base (endurecido) tiene mayor tiempo de fraguado. El tiempo de aplicación del tratamiento de la junta con adhesivo epóxico, reportó un mejor comportamiento en la resistencia a la tracción del concreto cuando este fue aplicado a los 15 días que cuando fue aplicado a los 7 días (véase figura 3.2), estos resultados coinciden con los obtenidos por Pérez (1981 citado en Rodríguez, 2012), que realizó la unión de concreto a 6 horas, 1 día y 7 días, indicando que mientras más edad tenga el concreto base mejor será la resistencia del concreto; coincidiendo también con (Román, 2005) que realizó el pegado de concreto con diferentes adhesivos a 7, 14 y 28 días.

CONCLUSIONES

- ⊕ Se concluye que la aplicación de un método científico nos permite obtener resultados confiables y que puedan validarse; siendo uno de estos el diseño experimental factorial 2^2 , el cual nos permiten ver el proceso de lo que pasa entre las variables con sus diferentes niveles y como actúan estos frente a la variable dependiente (resistencia a la tracción).
- ⊕ El efecto del tipo de tratamiento y el tiempo de aplicación sobre una junta de construcción, tiene un efecto importante en su resistencia a la tracción del concreto.
- ⊕ Las juntas de construcción en su caso más crítico (lisas libre de lechada de cemento) tratadas con adhesivo epóxico con 15 días de diferencia entre el concreto base (endurecido) y nuevo, ensayadas a los 28 días contados a partir del último volumen de concreto vaciado, reportan una mejor resistencia a la tracción equivalente al 71.73% (19.89 kg/cm²), con respecto a la resistencia promedio de las probetas de control que representa el 100% (27.73 kg/cm²).
- ⊕ Las probetas experimentales con 7 días de diferencia entre el concreto base (endurecido) y nuevo, ensayados a los 28 días de edad contados a partir del último concreto vaciado, reportan una resistencia a la tracción equivalente al 56.76% (15.74 kg/cm²) si es tratada con adhesivo

epóxico, y 50.95% (14.13 kg/cm²) cuando es tratada sin adhesivo epóxico con respecto a nuestras probetas de control que presenta el 100% (27.73 kg/cm²).

- ⊕ La edad del concreto base (endurecido) influye en la resistencia a la tracción del concreto; ya que, para un tratamiento sin adhesivo epóxico reportará menores resistencias, mientras que para un tratamiento con adhesivo epóxico obtendremos mejores resultados en la resistencia del concreto.
- ⊕ La resistencia a la tracción del concreto presenta valores similares cuando la junta de construcción es tratada sin adhesivo epóxico aplicados a los 7 y 15 días, y cuando la junta es tratada con adhesivo epóxico a los 7 días.

DECLARACIÓN JURADA SIN CONFLICTO DE INTERESES

Yo Darwin Clemente Falcón Fabián identificado, con DNI N° 46226870, con domicilio actual en Prolog. Dámaso Beraum Pasaje Yauli MZ. "E" Lt. 10 – AA-HH Alfonso Ugarte Distrito de Huánuco Provincia de Huánuco Departamento de Huánuco, en mi condición de Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que, mi nombre y demás circunstancias personales son las antes indicadas.
2. Que, mi situación académica es la indicada en el centro de estudios superiores indicado.
3. Que, he presentado el borrador de tesis intitulado: "Efecto del tipo de tratamiento en las juntas de construcción y su tiempo de aplicación sobre la resistencia a la tracción del concreto", cuya revisión se encuentra a cargo del jurado de sustentación de tesis nombrado mediante Resolución N° 030-2016-UNHEVAL-FICA-D de fecha 09 de marzo del 2016.
4. Que, no me encuentro afecto por ningún conflicto de intereses en relación con los proveedores de los insumos y equipos utilizados en el desarrollo de la Tesis. Entendiéndose que el conflicto de intereses podría plantearse como consecuencia de intereses económicos con fines promocionales, afinidad política o nacional, vínculos familiares o afectivos, o cualesquiera de otros intereses compartidos.
5. Que, no he concedido ni concederé, no he buscado ni buscaré, no he intentado ni intentaré obtener, y no he aceptado ni aceptaré ningún

tipo de ventaja financiera o en especie en favor de nadie ni por parte de nadie, cuando tal ventaja constituya una práctica ilegal o implique corrupción directa o indirectamente, por ser un incentivo a una recompensa relacionada con el desarrollo de la Tesis.

6. Que, cumplo con suscribir la presente declaración jurada con arreglo a ley y en pleno uso de mis facultades.

PARA QUE ASÍ CONSTE, juro y suscribo la presente en la ciudad Universitaria, ubicada en la localidad de Cayhuayna, distrito de Pillcomarca, Provincia y Departamento de Huánuco, hoy 20 de junio del año 2016.

Firma del declarante

DNI: 46226870

Huella Digital:

SUGERENCIAS

- ⊕ Para que los resultados sean confiables, es necesario realizarlos con personas calificadas y en laboratorios con equipos calibrados y certificados, para controlar de esta manera las variables no estudiadas, caso contrario incluir estas variables en el estudio que puedan alterar los resultados de la investigación.
- ⊕ Se sugiere que el tratamiento de la junta de concreto sea con adhesivo epóxico seguido de un escobillado para quitar la lechada de cemento, aplicado a 15 días de fraguado el concreto base que recibirá al concreto nuevo.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- ⊕ Verificar la permeabilidad del concreto en las juntas de construcción después de aplicar un determinado tratamiento.
- ⊕ Estudiar el efecto de la resistencia a la compresión del concreto en las juntas de construcción.
- ⊕ Realizar ensayos en elementos estructurales de dimensiones reales típicas de concreto con juntas simuladas, teniendo como tipo de tratamiento el adhesivo epóxico aplicado a diferentes edades del concreto base (endurecido).

BIBLIOGRAFÍA

- Archilla, G. (2007). Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epóxicos. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- ASTM C496. (2004). Norma. *Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.*
- ASTM C78. (2008). Norma. *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportadas con cargas a los tercios de la luz).*
- Bzik, T. (Enero/Febrero de 2011). *ASTM International*. Recuperado el 9 de Abril de 2016, de http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF11/datapoints_spjf11.html
- Castillo, G. (2008). Comportamiento de juntas de hormigonado a los esfuerzos de compresión y flexotracción en hormigones H30, H25 y H20. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Díaz, A. (Diciembre de 2009). *Libros de google*. Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de <https://books.google.com.pe>

- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México DF, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos*. México DF, México: International Thomson Editores S.A.
- Labbe, D. (2013). Anteproyecto de norma ensayos de hormigón a fatiga por hendimiento. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México DF, México: Limusa, S.A.
- MTC E 702. (2000). Manual de ensayo de materiales. *Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de laboratorio*.
- Murphy, T., & Lau, A. (Diciembre de 2008). *ASTM International*. Recuperado el 9 de Abril de 2016, de http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.html
- Otazzi, G. (2012). *Apuntes del curso concreto armado 1*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Rodríguez, J. (2012). Estudio comparativo del comportamiento mecánico y permeabilidad de juntas frías de hormigonado materializado con mallas metálicas. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Román, F. (2005). Evaluación sobre adherencia entre mortero fresco y endurecido con diferentes productos adhesivos. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (27 de Marzo de 2014). *Scielo*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de Escielo México: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v3n1/v3n1a4.pdf>
- Sánchez, H., & Reyes, C. (2006). *Metodología y Diseño en la Investigación Científica*. Lima-Perú: Visión Universitaria.

ANEXOS