

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN LA  
UNIÓN DE CONCRETO NUEVO Y ENDURECIDO  
TRATADA**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA

Lessly Jeniffer Rivera Avalos

ASESOR

Dr. Ing. Romer Iván Lovón Dávila

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2015**





## AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Iván Romer Lovón Dávila, por la confianza, contribución y empeño en la asesoría de mi Tesis.

Al Ingeniero Alejandro Salazar Ahumada, Director de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes del Perú (DEE – MTC); por permitirme desarrollar la tesis en su laboratorio específicamente en la elaboración y ensayos de probetas.

Al Ingeniero Juan Carlos Flores Cornejo, Coordinador del Laboratorio de la DEE – MTC del Perú, por apoyarme en todo momento dando las facilidades para realizar los ensayos de laboratorio.

A los Ingenieros Cesar Ferreyros Corcuera y Juan Manuel González Flores, Área de Laboratorio de mezclas de concreto de la DEE – MTC del Perú, por transmitirme sus experiencias y conocimientos del diseño de mezclas, la elaboración y ensayos de probetas.

Al Ingeniero Juan Alberto Mesías Salazar, Jefe del Laboratorio de Suelos y agregados de la DEE – MTC del Perú, por su apoyo y aportes valiosos en la realización de los ensayos de agregados grueso y fino.

A todo el personal técnico de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes del Perú, por brindarme su apoyo durante el proceso de desarrollo de tesis en su prestigiosa institución.

Al Ingeniero Jesús Basurto y Magister Ana Torre, del Laboratorio N° 1 Ensayo de materiales "Ing. Manuel Gonzales de la Coterá", por sus aportes valiosos para el proceso de ensayos de probetas en laboratorio.

A la ingeniera Laura Navarro, del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú; por transmitirme sus experiencias y conocimientos de ensayos de resistencia a compresión, ensayos de resistencia tracción por compresión diametral y procesamiento de resultados de dichos ensayos.



## DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos difíciles y por haberme dado una vida de aprendizajes y experiencias.

A mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida. A mis tíos y demás familiares por darme su apoyo y aliento para seguir adelante-

A mis amigos por confiar y creer en mí; y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias inolvidables.





## RESUMEN

En esta tesis, se estudia y analiza la resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada. Para esto se ha usado el método científico con la aplicación del diseño experimental con un solo factor, en el que se planeó un conjunto de pruebas experimentales de manera que los datos generados fueron analizados estadísticamente con el Análisis de varianza (ANOVA) y el Método de Dunnett, así realizar la prueba de hipótesis.

Para lograr este estudio se elaboraron 69 probetas en total: 9 para ensayo de resistencia a compresión y para ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral se tienen: 20 probetas control (probetas monolíticas o sin unión) y 40 probetas experimentales (uniones de concreto nuevo y endurecido tratada con y sin adhesivo epóxico).

El procedimiento fue realizado para un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , que consistió en elaborar probetas experimentales vaciándose la mezcla de concreto en un molde cilíndrico con una división vertical, obteniendo dos mitades que simulan al concreto endurecido; al cabo de 7 días se dieron los tratamientos con adhesivo epóxico y sin adhesivo epóxico (solo escobillado en la superficie); luego vaciar el concreto nuevo y completar la probeta.

Seguidamente se realizaron los ensayos de resistencia a compresión para verificar la calidad del concreto, que se realizó de acuerdo a la norma ASTM C39 y ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (Split Test) de las probetas experimentales y control a 7 y 28 días de edad del concreto que se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.084 2012, que se rige a la norma ASTM C496.

La elaboración y ensayos de probetas contaron con mano de obra calificada del personal técnico del Laboratorio de mezclas de concreto de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes del Perú

Finalmente se hizo el análisis de resultados del cual se concluyó que se obtienen mejores resistencias a la tracción en la unión tratada con adhesivo epóxico por sobre la unión tratada sin adhesivo epóxico, con respecto a la probeta monolítica.



## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	V
INDICE GENERAL .....	VI
INDICE DE FIGURAS .....	IX
INDICE DE TABLAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
<b>CAPÍTULO I</b> .....	13
1. MARCO TEÓRICO .....	14
1.1. ANTECEDENTES .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO .....	16
1.4. HIPOTESIS .....	16
1.4.1. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	16
1.4.2. HIPOTESIS ESTADISTICA .....	16
1.5. VARIABLES .....	17
1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	17
1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	17
1.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES .....	17
1.7. TAMAÑO DE MUESTRA .....	18
1.8. REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS .....	19
1.9. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS: .....	21
1.9.1. CONCRETO: .....	21
1.9.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN: .....	22
1.9.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: .....	23
1.9.4. UNIÓN CONCRETO NUEVO Y ENDURECIDO: .....	24
1.9.5. PROBETAS EXPERIMENTALES Y DE CONTROL: .....	24
1.9.5.1. Probetas experimentales: .....	24
1.9.5.2. Probetas de control: .....	25
1.9.6. ADHESIVOS: .....	25
1.9.7. TRATAMIENTOS UTILIZADOS: .....	27



1.9.7.1. Tratamiento con adhesivo epóxico: .....	27
1.9.7.2. Tratamiento sin adhesivo epóxico: .....	28
1.9.8. ENSAYO DE TRACCION POR COMPRESIÓN DIAMETRAL: .....	28
1.9.9. MODOS DE FALLA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL: .....	29
1.9.9.1. Falla de tracción normal: .....	30
1.9.9.2. Falla de triple hendimiento: .....	30
1.9.9.3. Falla de compresión y corte: .....	31
1.9.10. FACTORES QUE AFECTAN EL ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL: .....	32
1.9.10.1. Efecto del tamaño de la probeta (altura y diámetro) .....	32
1.9.10.2. Efecto del ancho de reparto .....	32
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>33</b>
<b>2. MARCO METODOLOGICO</b> .....	<b>34</b>
2.1. METODO DE INVESTIGACIÓN .....	34
2.1.1. MÉTODO EXPERIMENTAL .....	34
2.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	34
2.2.1. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	34
2.3. ELABORACIÓN Y ENSAYOS DE PROBETAS .....	35
2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES .....	35
2.3.2. DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA DE CONCRETO .....	36
2.3.3. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO .....	37
2.3.3.1. Elaboración de probetas monolíticas (probetas control) .....	37
2.3.3.2. Elaboración de probetas con unión de concreto nuevo y endurecido (probetas experimentales): .....	42
2.3.4. ENSAYOS DE PROBETAS DE CONCRETO .....	52
2.3.4.1. Ensayo de resistencia a compresión: .....	52
2.3.4.2. Ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral: .....	53
2.4. RESULTADOS DE ENSAYOS .....	58
2.4.1. ANALISIS VISUAL .....	61
2.4.1.1. Análisis visual de datos a los 7 días .....	62
2.4.1.2. Análisis visual de datos a los 28 días .....	65
2.4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	69
2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	72



2.5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL CON UN SOLO FACTOR .....	72
2.5.1.1. ANOVA (Análisis De Varianza) .....	72
2.5.1.2. Verificación de los supuestos del Análisis de varianza: .....	74
2.5.1.3. Método de Dunnett (Comparación de tratamientos con un control)76	
2.5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS:.....	76
2.5.2.1. Análisis de datos para 7 días de edad de concreto: .....	76
2.5.2.2. Análisis de datos para 28 días de edad de concreto: .....	87
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>98</b>
<b>3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>99</b>
3.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: .....	99
3.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS INVESTIGACIONES: 105	
CONCLUSIONES .....	109
RECOMENDACIONES .....	111
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN .....	112
BIBLIOGRAFÍA .....	113
ANEXOS .....	115
ANEXO I: Documento de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes del Perú para el apoyo de elaboración y ensayos en laboratorio	
ANEXO II: Ensayos de agregados grueso y fino.	
ANEXO III: Dosificación de agregados para mezcla de concreto.	
ANEXO IV: Resultados de ensayos de resistencia a compresión y resistencia a tracción por compresión diametral.	
ANEXO V: Normas para elaboración y ensayos de probetas:	
- MTC E 702-2000: Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de laboratorio.	
- MTC E 705-2000: Asentamiento del concreto.	
- ASTM C39-12a: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.	
- ASTM C496-11a: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.	
ANEXO VI: Tablas de la distribución F, distribución T de Student y Método de Dunnett	
ANEXO VII: Procesamiento y análisis de datos sin considerar datos atípicos	
ANEXO VIII: Ficha técnica de adhesivo epóxico	
ANEXO IX: Declaración jurada sin conflicto de intereses	



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Relación entre la resistencia a la tracción con Split Test y a compresión	20
Figura 1.2 - Ensayo de Tracción por compresión diametral (Split Test)	23
Figura 1.3 – Probetas tratadas con y sin adhesivo epóxico.	24
Figura 1.4 – Probeta de control (probeta monolítica)	25
Figura 1.5 – Rotura del ensayo de tracción indirecta	29
Figura 1.6 – Falla de tracción normal, valida en ensayos de tracción indirecta	30
Figura 1.7 – Falla de triple hendimiento, valida en ensayos de tracción indirecta.	31
Figura 1.8 – Modos de falla no validos en ensayos de tracción indirecta	31
Figura 2.1 – Moldes cilíndricos para probetas de concreto	37
Figura 2.2 – Varilla compactadora, mazo de goma, espátulas y cono de Abrams	38
Figura 2.3 – Mezcladora (a) y carretilla (b)	38
Figura 2.4 – Humedecido de los moldes	39
Figura 2.5 – Pesado de materiales	39
Figura 2.6 – Elaboración de la mezcla del concreto	40
Figura 2.7 – Recepción de mezcla del concreto	40
Figura 2.8 – Cálculo de asentamiento de la mezcla del concreto	41
Figura 2.9 – Vaciado de probetas monolíticas	41
Figura 2.10 – Golpeado a lados de los moldes para liberar las burbujas de aire	42
Figura 2.11 – Humedecido de los moldes	43
Figura 2.12 – Colocado de divisiones	43
Figura 2.13 – Preparación de mezcla de concreto para probetas experimentales	44
Figura 2.14 – Vaciado del concreto de probetas experimentales	45
Figura 2.15 – Varillado del concreto de probetas experimentales	45
Figura 2.16 – Desencofrado de mitades de las probetas experimentales	46
Figura 2.17 – Colocado de mitades - probetas experimentales en piscina de curado	46
Figura 2.18 – Secado de mitades de probetas experimentales	47
Figura 2.19 – Preparación de adhesivo epóxico	48
Figura 2.20 – Tratamiento con adhesivo epóxico de probetas experimentales	48
Figura 2.21 – Tratamiento sin adhesivo o escobillado de superficie de contacto	49
Figura 2.22 – Limpieza de superficie de contacto con aire comprimido	49
Figura 2.23 – Humedecido de los moldes con petróleo	50
Figura 2.24 – Colocado de mitades en los moldes	50
Figura 2.25 – Probetas unidas con y sin adhesivo epóxico.	51
Figura 2.26 – Curado de las probetas unidas con y sin adhesivo epóxico	52
Figura 2.27 – Ensayo de resistencia a compresión	53
Figura 2.28 – Mediciones de las probetas control y experimentales	54
Figura 2.29 – Trazado de líneas de contacto de probetas control y experimentales	54
Figura 2.30 – Colocado de tablilla, platina inferior y probeta en la maquina uniaxial	55
Figura 2.31 – Coleado de tablilla, platina superior en la maquina uniaxial	55
Figura 2.32 – Verificación del colocado de la probeta en la maquina uniaxial	56
Figura 2.33 – Ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral	56
Figura 2.34 – Registro de carga máxima P	56
Figura 2.35 – Ensayo de resistencia a tracción de unión con adhesivo (antes)	57



Figura 2.36 – Ensayo de resistencia a tracción de unión con adhesivo (después) .....	57
Figura 2.37 – Probeta MECA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días.....	62
Figura 2.38 – Probeta MECA28-4 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días.....	63
Figura 2.39 – Probeta MESA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días.....	64
Figura 2.40 – Probeta MCT22-7 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días.....	64
Figura 2.41 – Probeta MECA27-6 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	65
Figura 2.42 – Probeta MESA27-3 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	66
Figura 2.43 – Probeta MESA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	66
Figura 2.44 – Probeta MESA28-4 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	67
Figura 2.45 – Probeta MESA28-5 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	67
Figura 2.46 – Probeta MCT21-5 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	68
Figura 2.47 – Probeta MCT21-6 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días.....	68
Figura 2.48 – Distribución F k - 1, N – k para 7 días de curado .....	78
Figura 2.49 – Gráfica de probabilidad a 7 días de curado .....	82
Figura 2.51 – Grafica de Residuos vs Predichos a 7 días de curado.....	83
Figura 2.51 – Gráfica de Residuos vs Orden de corrida a 7 días de curado.....	84
Figura 2.52 – Gráfica de medias de 7 días de curado .....	86
Figura 2.53 – Distribución F k - 1, N – k para 28 días de curado .....	88
Figura 2.55 – Gráfica de probabilidad a 28 días de curado .....	92
Figura 2.56 – Grafica de Residuos vs Predichos a 28 días .....	94
Figura 2.57 – Gráfica de Residuos vs orden de corrida a 28 días de curado.....	95
Figura 2.54 – Gráfica de medias de 28 días de curado .....	97
Figura 3.1 – Comparación de grafica de medias a 7 y 28 días de curado .....	101
Figura 3.2 – Grafica del supuesto de normalidad de los 7 días de curado.....	102
Figura 3.3 – Grafica del supuesto de normalidad de los 28 días de curado.....	102
Figura 3.4 – Grafica del supuesto de varianza constante a los 7 días de curado .....	103
Figura 3.5 – Grafica del supuesto de varianza constante a los 28 días de curado ....	103
Figura 3.6 – Grafica del supuesto de independendencia a los 7 días de curado .....	104
Figura 3.7 – Grafica del supuesto de independendencia a los 28 días de curado .....	104
Figura 3.8 – Comparación grafica de resistencias a tracción a 7 días de curado .....	106
Figura 3.9 – Comparación grafica de resistencias a tracción a 28 días de curado ....	107





## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Operacionalización de variables .....	17
Tabla 1.2: Elección del tamaño de muestra.....	19
Tabla 2.1: Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
Tabla 2.2: Características de los materiales .....	36
Tabla 2.3: Dosificación de agregados para mezcla de concreto .....	36
Tabla 2.4: Resultados de ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral 7 días .	58
Tabla 2.5: Resultados de ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral 28 días	59
Tabla 2.6: Resultados de ensayos de resistencia a compresión del concreto .....	60
Tabla 2.7: Media aritmética, varianza y desviación estándar de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días .....	60
Tabla 2.8: Media aritmética, varianza y desviación estándar de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días .....	61
Tabla 2.9: Numero de repeticiones restantes a los 7 y 28 días.....	68
Tabla 2.10: Datos de resistencia a la tracción en unión tratada sin adhesivo epóxico a los 7 días usando números aleatorios .....	70
Tabla 2.11: Datos de resistencia a la tracción en probetas monolíticas a los 28 días usando números aleatorios.....	70
Tabla 2.12: Resultados finales de resistencia a tracción indirecta a 7 días de curado .....	71
Tabla 2.13: Resultados finales de resistencia a tracción indirecta a 28 días .....	71
Tabla 2.14: Tabla para el ANOVA.....	73
Tabla 2.15: Cálculos para el ANOVA con 7 días de curado .....	77
Tabla 2.16: Cálculos del valor-p para 7 días de curado .....	78
Tabla 2.17: Análisis de Varianza (ANOVA) para 7 días de curado .....	79
Tabla 2.18: Residuos para los 7 días de curado .....	80
Tabla 2.19: Calculo para el estadístico W de datos a 7 días.....	80
Tabla 2.20: Cálculos para gráfica de supuesto de normalidad a los 7 días de curado .....	81
Tabla 2.21: Calculo para el estadístico de Bartlett de los datos a 7 días .....	83
Tabla 2.22: Media de los tratamientos para prueba de Dunnett de 7 días de curado.....	85
Tabla 2.23: Prueba de Dunnett para 7 días de curado.....	85
Tabla 2.24: Cálculos para el ANOVA con 28 días de curado .....	87
Tabla 2.25: Cálculos del valor-p para 28 días de curado .....	88
Tabla 2.26: Análisis de Varianza (ANOVA) para 28 días de curado .....	89
Tabla 2.27: Residuos para los 28 días de curado .....	90
Tabla 2.28: Calculo para el estadístico W de datos a 28 días.....	91
Tabla 2.29: Cálculos para gráfica de probabilidad a 28 días de curado.....	92
Tabla 2.30: Calculo para el estadístico de Bartlett de los datos a 7 días .....	93
Tabla 2.31: Media de los tratamientos para prueba de Dunnett de 28 días de curado.....	96
Tabla 2.32: Prueba de Dunnett para 28 días de curado.....	96
Tabla 3.1: ANOVA para los 7 días de curado.....	99
Tabla 3.2: ANOVA para los 28 días de curado .....	99
Tabla 3.3: Prueba de Dunnett para los 7 días de curado .....	100
Tabla 3.4: Prueba de Dunnett para los 28 días de curado .....	100
Tabla 3.5: Resistencia promedio de probetas experimentales, control a 7 y 28 días .....	105
Tabla 3.6: Resistencia a la tracción de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville a 7 y 28 días. ....	106
Tabla 3.7: Resistencia promedio de procesamiento de datos considerando datos atípicos ....	108
Tabla 3.8: Resistencia promedio de procesamiento de datos sin considerar datos atípicos ...	108



## INTRODUCCIÓN

En cualquier obra de construcción en que esté involucrado el concreto como material estructural, se presentan situaciones que hacen que su producción no sea continua (vaciado de grandes volúmenes, cambios climáticos, etc.), dado que vaciar una estructura robusta y compleja, es poco probable a pesar del avance tecnológico actual, agregándose a este hecho que en la mayoría de casos no se da ningún tratamiento a dichas interrupciones, lo cual rompe la continuidad del concreto propiciando que la estructura se vea afectada, es por ello que el objetivo de la tesis es analizar la resistencia a la tracción de concreto en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada.

A continuación se indica el contenido de esta investigación:

En el primer capítulo, se indican los antecedentes, formulación del problema, objetivos, hipótesis, variables, tamaño de muestra y revisión de estudios realizados y marco teórico.

En el segundo capítulo, se trata del método de investigación, las técnicas de recolección de datos, elaboración y ensayos de probetas, análisis visual de datos, procesamiento de datos y análisis de resultados usando el diseño experimental con un solo factor, con el ANOVA y Método de Dunnett; los cuales nos permiten rechazar o aceptar la hipótesis nula.

En el tercer capítulo, se trata de la discusión de resultados en el que se realizan las interpretaciones y comparaciones con las investigaciones de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville.

Culminando con las conclusiones y recomendaciones de la investigación desarrollada.

Para que los ensayos sean los adecuados y con el fin de obtener resultados confiables, se deben realizar en laboratorios certificados, con equipos calibrados y que cuenten con mano de obra calificada; así reducir la posible influencia de las variables extrañas (mano de obra, equipos, etc.). Con éste criterio se optó por realizar la elaboración y ensayos de probetas en los Laboratorios de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes del Perú, proceso autorizado mediante OFICIO N° 330-2015-MTC/14.01.





# CAPÍTULO I

---

## MARCO TEÓRICO



## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES

(McCormac, 2002), el concreto es un compuesto de cemento, agua, agregado y aditivos si se requieren, la cual tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tracción. Este material es concebido monolíticamente en el análisis y diseño de estructuras; la cual, muchas veces no se ve reflejada en su ejecución debido a las jornadas de trabajo o al abastecimiento de concreto que se tiene en la construcción, formándose interrupción del colocado de un volumen de concreto sobre otro; a la vez esta interrupción genera que se trate la unión de concreto nuevo y endurecido.

La resistencia a la tracción del concreto, es la capacidad que tiene para soportar las cargas o fuerzas que se le apliquen, su determinación depende del tipo de ensayo utilizado, siendo estos de manera directa o indirecta.

(Archila, 2007), en su tesis menciona, sobre la unión de concreto viejo y nuevo con el uso de aditivos y sobre la efectividad de uno con precio mayor al otro, el cual comprueban los resultados mediante el ensayo de compresión con diferentes planos de falla realizadas a las probetas analizadas; llegando a obtenerse igual o mayor resistencia a la probeta patrón.

(Castillo, 2008), estudia el comportamiento de tres tipos de concreto al evaluar las juntas de hormigonado con mortero frente a los esfuerzos de flexo tracción, concluyendo que este no es adecuado en la unión de concreto endurecido y nuevo, debido a que disminuye la resistencia a flexo tracción en dicha junta.

(Perez, 1981), estudió la resistencia de juntas de hormigonado variando el tratamiento de la superficie y la edad del hormigón base al momento de materializar la junta. Como tratamiento utilizó el escobillado de la superficie más la aplicación de distintos adhesivos. En cuanto a los tratamientos de superficie aplicados, el mejor resultado ser el chorro de arena por sobre el escobillado con 86% de la resistencia del hormigón monolítico.



De los adhesivos utilizados el mejor resultó ser el puente de adherencia AS233-10 Químicas S.A. con un 96% de la resistencia del hormigón monolítico; por lo que recomienda la utilización de chorro de arena junto con la película de resina epóxica para lograr una mejor adhesión en la junta de hormigonado.

(Rodríguez, 2012) Cita a (Foncea & Levy, 1963), quienes estudiaron la unión de concreto endurecido y nuevo preparadas con distintos tratamientos como: chorro de arena, resina epóxica, escobillado, ataque con ácido y picado de la superficie. De estos, el mejor resultado ser el chorro de arena donde se alcanzó un 87% de la resistencia del hormigón monolítico. Tras este tratamiento la resina, el escobillado y el ataque con ácido alcanzaron un 78%, 50% y 48% de la resistencia alcanzada para el caso monolítico respectivamente.

(Pereperez, 1985), en su tesis compararon con los resultados experimentales diversas propuestas. Se manifestó para la tracción indirecta, ( $f_{ctb}$ ), como más adecuada la propuesta de Brooks – Neville:  $f_{ctb} = 0,32 * f_c^{0,8}$  ( $kg/cm^2$ ); donde  $f_c$ , es la resistencia a compresión del concreto.

(Barbera, Balash, & Moscardó, 1985), en su estudio analizan las resistencias a tracción indirecta de tres tipos de hormigones con diferentes ecuaciones, del cual indican que la relación entre  $f_{ctb}$  sobre  $f_c$  el exponente 0,8 propuesto por Brooks-Neville resulta más adecuado que el de  $2/3$  que figura en el Model Code o el de valor  $1/2$  que también se utiliza con cierta frecuencia.

(CEB - FIP MODEL CODE, 1990), en su segundo capítulo menciona a la ecuación  $f_{ctsp} = 0,33 * f_{ck}^{2/3}$  (MPa), para el cálculo de la resistencia a la tracción indirecta  $f_{ctsp}$  en función de la resistencia a compresión  $f_{ck}$  y cambiando de unidades:  $f_{ctsp} = 0,72 * f_{ck}^{2/3}$  ( $kg/cm^2$ )



## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido se acerca más a la resistencia de la probeta monolítica cuando es tratada con adhesivo epóxico que cuando es tratada sin adhesivo?

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada.

### 1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

Analizar las resistencias a la tracción alcanzadas por las probetas experimentales (probetas tratadas con adhesivo epóxico y tratadas sin epóxico) y las probetas de control (probetas monolíticas).

## 1.4. HIPOTESIS

### 1.4.1. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN

La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico es mayor que en la unión tratada sin adhesivo, con respecto a la resistencia a la tracción de la probeta monolítica.

### 1.4.2. HIPOTESIS ESTADISTICA

Se tiene la hipótesis nula  $H_0$  y alterna  $H_A$ :

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_C$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_C$$

Donde:

$\mu_C$  = Media de probetas monolíticas

$\mu_1$  = Media de probetas de unión tratada con adhesivo epóxico

$\mu_2$  = Media de probetas de unión tratada sin adhesivo epóxico



## 1.5. VARIABLES

### 1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Unión de concreto nuevo y endurecido tratada.

### 1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Resistencia a la tracción del concreto

## 1.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 1.1: Operacionalización de variables

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido se acerca más a la resistencia de la probeta monolítica cuando es tratada con adhesivo epóxico que cuando es tratada sin adhesivo?	<b>General:</b> Analizar la resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada.	La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico es mayor que en la unión tratada sin adhesivo, con respecto a la resistencia de la probeta monolítica.	<b>Independiente:</b> Unión de concreto nuevo y endurecido tratada.  <b>Dependiente:</b> Resistencia a la tracción del concreto	Carga aplicada  Medida de la resistencia a la tracción (Fsp)
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS		
¿La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido se acerca más a la resistencia de la probeta monolítica cuando es tratada con adhesivo epóxico que cuando es tratada sin adhesivo?	Analizar las resistencias a la tracción alcanzadas por las probetas experimentales (probetas tratadas con adhesivo epóxico y tratadas sin epóxico) y las probetas de control (probetas monolíticas).	La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico es mayor que en la unión tratada sin adhesivo, con respecto a la resistencia de la probeta monolítica.		

Fuente: Elaboración propia



## 1.7. TAMAÑO DE MUESTRA

En la elección del tamaño de muestra para el diseño experimental con un solo factor: *“Por lo general, si se esperan diferencias pequeñas entre tratamientos será necesario un mayor tamaño de muestra. Aunque existen varios métodos para estimar el tamaño muestral, muchas veces tienen poca aplicabilidad porque requieren cierto conocimiento previo sobre la varianza del error experimental. Si recurrimos a la experiencia vemos que el número de réplicas en la mayoría de las situaciones experimentales en las que se involucra un factor varía entre cinco y diez; incluso, puede llegar hasta 30”*<sup>1</sup> Del cual se tiene:  $n = 20$  réplicas; así mismo se estudian al grupo experimental y grupo control, como se indica a continuación:

### **Grupo Experimental:**

De acuerdo a lo indicado en el párrafo anterior, se tiene:  $n = 20$

Además:  $N = k \times n$

Donde:

$n$  = Número de réplicas

$k$  = Número de tratamientos

$N$  = Número total de muestras o probetas experimentales

Entonces:

$n = 20$  Réplicas

$k = 2$  Tratamientos;(Unión tratada con adhesivo epóxico y tratada sin adhesivo)

$N = k \times n = 2 \times 20$

$N = 40$  Probetas experimentales

### **Grupo de Control:**

Se ensayó 20 probetas control (probetas monolíticas de concreto).

---

<sup>1</sup> Gutiérrez H. y De la Vara R. (2008), “Análisis y Diseño de Experimentos”; Capítulo 3: pág. 89;



En resumen:

Tabla 1.2: Elección del tamaño de muestra

	DESCRIPCIÓN	EDAD DE CONCRETO		N° MUESTRAS
		7 días	28 días	
PROBETAS EXPERIMENTALES	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	10	10	20
	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	10	10	20
PROBETAS CONTROL	Probeta monolítica	10	10	20
<b>TOTAL</b>				<b>60</b>

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que de las 60 probetas en total, se ensayaron 30 probetas a los 7 días y 30 probetas a 28 días.

## 1.8. REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS

(Harmsen, 2002) menciona en su estudio que la resistencia del concreto a la tracción es relativamente baja aproximadamente del 8% al 15% de su resistencia a la compresión, pero puede ser hasta del 20%, siendo la resistencia del concreto a la tracción más difícil de determinar que su resistencia a la compresión. Los resultados de las pruebas de tracción son más variables.

En la ejecución de obras de ingeniería generalmente requiere de la provisión de concreto para la construcción de elementos tales como columnas, vigas, losas, placas, muros, etc. El concreto necesario para la construcción de estos elementos puede ser fabricado en el sitio de la construcción o puede ser transportado en camiones mezcladores, y en cualquier caso puede ocurrir una interrupción en el suministro de mezcla.

(MacGregor, 1997). En su estudio muestra en la Fig. 1-11, los resultados de un gran número de ensayos de compresión diametral ( $f_{sp}$ ) con relación a la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ). La curva superior corresponde al promedio representado por la ecuación  $f_{sp} \approx 1.7 \sqrt{f'_c}$  ( $kg/cm^2$ ).

Es notoria la fuerte dispersión de los resultados en todos los rangos de resistencia, en consecuencia los valores promedio deben utilizarse con criterio. En general las resistencias obtenidas, se ordenan del siguiente modo:

$$fr > fsp > ft$$

Dónde:

***fr*** : resistencia a la tracción obtenida por ensayo de tracción por flexión.

***fsp*** : resistencia a la tracción por ensayo de compresión diametral.

***ft*** : resistencia a la tracción obtenida por ensayo de tracción directa.

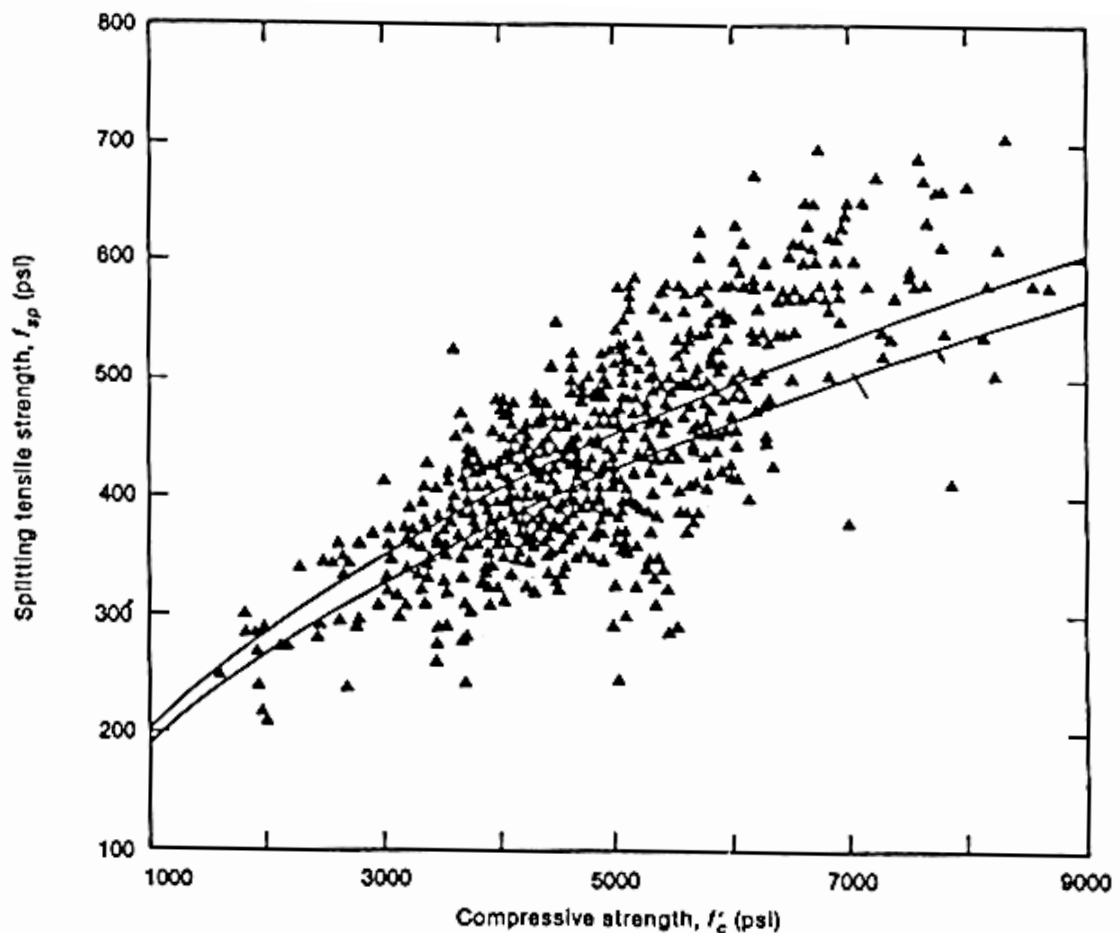


Figura 1.1 – Relación entre la resistencia a la tracción con Split Test y a compresión

FUENTE: Fig. 1-11 Relación entre el ensayo Split Test y la resistencia a compresión (MacGregor J)

(Jimenez, Garcia, & Morán, 1991); admite las siguientes relaciones entre los resultados de los ensayos:  $ft \approx 0.9 fsp$  y  $ft \approx 0.5 fr$





(Ottazzi, Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento de concreto armado, 2004), indica en su estudio que el ensayo de tracción por flexión o módulo de rotura ( $f_r$ ) presenta mayor dispersión que el ensayo de tracción por compresión diametral. La correlación entre la resistencia a tracción por flexión y la resistencia a la tracción directa no es buena. Si fuera necesario estimar la resistencia a la tracción directa del concreto, es preferible utilizar el ensayo de compresión diametral.

## 1.9. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS:

### 1.9.1. CONCRETO:

El concreto es la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, a la que además se le puede agregar aditivos si lo requiere; el concreto en estado fresco es manejable y puede adaptarse fácilmente a la forma que se requiera, con especial cuidado en la vibración, para después mantenerlo en curado y garantizar que la reacción del agua con el cemento se lleve a cabo satisfactoriamente, que el concreto endurezca y gane resistencia con el paso del tiempo, con el fin de que sea capaz de resistir las cargas impuestas, que sea durable y tenga una estética adecuada según sea su función.

- **CONCRETO NUEVO:** Se denomina así a la etapa del concreto que abarca desde la mezcla de todos los materiales componentes del concreto hasta que sea colocado en su posición final y se ha dado el curado inicial. También es conocido como concreto fresco.
- **CONCRETO ENDURECIDO:** Es aquella que está en la etapa de endurecimiento, es decir, En condiciones normales un concreto después que termina fraguar, comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.



### 1.9.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:

La resistencia en tracción directa o indirecta del concreto, es una magnitud muy variable. La resistencia a la tracción directa ( $f_t$ ) del concreto varía entre el 8% y el 15% de la resistencia en compresión ( $f'_c$ ). La resistencia en tracción directa, depende mucho del tipo de ensayo utilizado para su determinación.

(Ottazzi, Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento de concreto armado, 2004), indica en su estudio lo siguiente: Los principales ensayos utilizados para determinar, de manera indirecta, la resistencia a la tracción del concreto son:

- a) **Módulo de Rotura ( $f_r$ )** (ensayo de tracción por flexión) es una medida indirecta de  $f_t$ . Se obtiene ensayando hasta la rotura una probeta prismática de concreto simple de 6"x6"x18" simplemente apoyada, con cargas a los tercios. Para calcular el esfuerzo de rotura  $f_r$  se asume una distribución lineal de los esfuerzos internos y se aplica la fórmula de resistencia de materiales:

$$f_r = 6M/(bh^2) \dots\dots\dots (1-1)$$

El ajuste de un gran número de resultados experimentales, arroja un promedio (con mucha dispersión) de:

$$f_r = 2.2\sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \dots\dots\dots (1-2)$$

- b) **Split Test ( $f_{sp}$ )**. También llamado Ensayo Brasileño o Ensayo de Compresión Diametral. Se ensaya hasta la rotura una probeta cilíndrica de estándar 6"x12" cargada diametralmente, tal como se ilustra en la figura 1.2. Los esfuerzos a lo largo del diámetro vertical varían de compresiones transversales muy altas cerca de las zonas de aplicación de cargas a esfuerzos de tracción prácticamente uniformes en las dos terceras partes del diámetro. El esfuerzo de rotura se calcula con la fórmula 1-3 deducida de la teoría de la elasticidad para materiales homogéneos.

$$f_{sp} = 2P/(\pi \cdot d \cdot l) \dots\dots\dots (1-3)$$

El ajuste de un gran número de resultados experimentales, arroja un promedio (con mucha dispersión) de:

$$f_{sp} = 1.7\sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \dots \dots \dots (1-4)$$

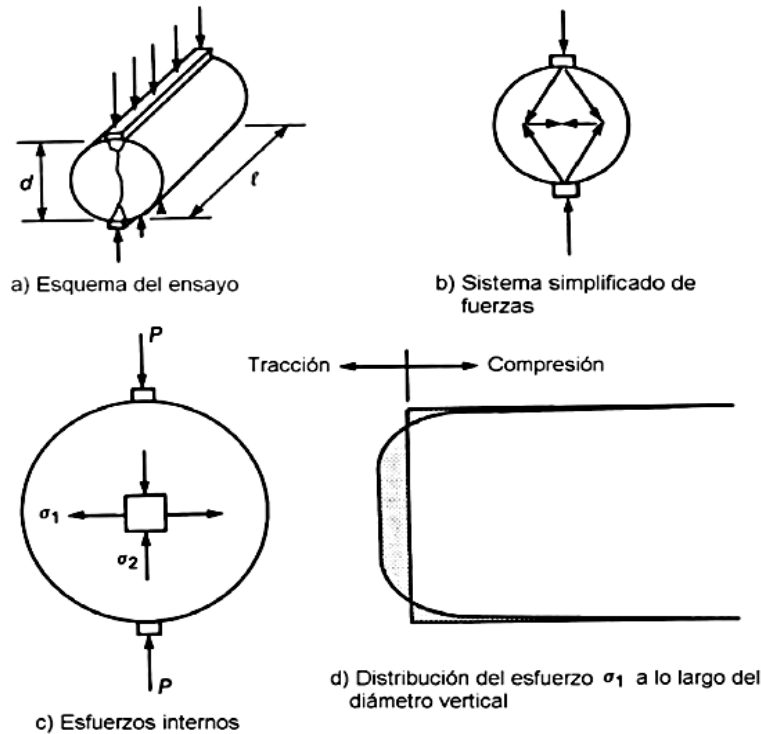


Figura 1.2 - Ensayo de Tracción por compresión diametral (Split Test)  
 FUENTE: Ottazzi G. (2004)

### 1.9.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

El valor de  $f'c$  (resistencia a la compresión) se utiliza generalmente como indicador de la calidad del concreto. Es claro que pueden existir otros indicadores más importantes dependiendo de las solicitaciones y de la función del elemento estructural o estructura. Por ejemplo en el diseño de pavimentos la resistencia a la tracción por flexión es un indicador importante.

La resistencia a la compresión se determina a partir de ensayos de laboratorio en probetas estándar cargadas axialmente. Este ensayo se utiliza para monitorear la resistencia del concreto tanto para el control de la calidad como para la aceptación del concreto fabricado.

La confección de las probetas y el ensayo están regulados por las Normas (ASTM). La edad de concreto; con cemento tipo I la resistencia a los 7 días es aproximadamente el 65% a 70% de la resistencia a los 28 días.

(Ottazzi, 2011), en su estudio indica que: el Comité 209 del ACI, para concreto fabricado con cemento tipo I y curado por vía húmeda, propone la siguiente expresión para determinar la evolución de la resistencia del concreto en el tiempo.

$$(f'_c)_t = \frac{t}{4+0.85t} (f'_c)_{28}$$

#### 1.9.4. UNIÓN CONCRETO NUEVO Y ENDURECIDO:

Es la unión que se debe realizar para mantener la continuidad monolítica entre dos secciones contiguas cuando se ha producido una interrupción prolongada que supera el periodo plástico del hormigón. Esto implica que estas uniones deben ser capaces de transferir esfuerzos de tracción a través de la interfaz entre los concretos que conforman el elemento estructural de concreto.

#### 1.9.5. PROBETAS EXPERIMENTALES Y DE CONTROL:

##### 1.9.5.1. Probetas experimentales:

Son aquellas probetas tratadas con adhesivo epóxico y tratadas sin adhesivo epóxico (tratamiento mecánico).

Las probetas tratadas consta en la unión de concreto endurecido y nuevo, es así teniendo una superficie de contacto de la unión donde la carga se aplica paralela a dicha superficie (plano de la unión).

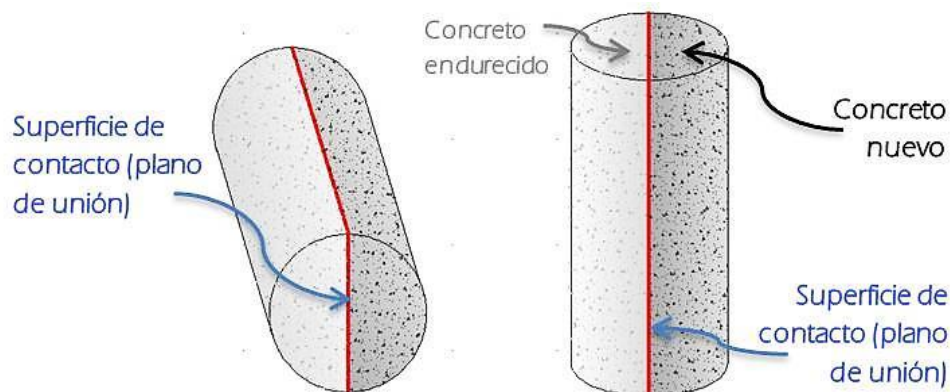


Figura 1.3 – Probetas tratadas con y sin adhesivo epóxico.  
FUENTE: elaboración propia

### 1.9.5.2. Probetas de control:

Se denominan así a las probetas monolíticas, estas son aquellas probetas sin ningún tipo de unión y tienen continuidad en su estructura.

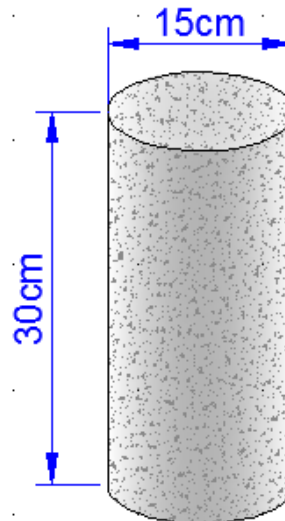


Figura 1.4 – Probeta de control (probeta monolítica)  
FUENTE: Elaboración propia

### 1.9.6. ADHESIVOS:

Sustancia capaz de mantener juntos a los materiales, por la unión de sus superficies, de los cuales cabe mencionar:

- ❖ **ADHESIVOS EPÓXICOS:** se presentan en dos o más elementos. Las resinas y el endurecedor forman el sistema básico del material, La resina es el adhesivo en sí, mientras que el endurecedor permite la reactividad y reticulación de las moléculas para formar la malla de pegado en el producto.
- **ADHESIVO SIKADUR 32 GEL:** Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.



## USOS

- Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido.
- Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibra cemento, madera.
- Adhesivo entre concreto y mortero.

## VENTAJAS

- Fácil de aplicar
- Libre de solventes
- No es afectado por la humedad
- Altamente efectivo, aun en superficies húmedas
- Trabajable a bajas temperaturas
- Alta resistencia a la tracción

## CARACTERÍSTICAS:

- **COLORES:**  
Gris (Mezcla A+B)
- **ASPECTO:**  
Líquido Denso
- **PRESENTACIÓN:**  
Juego de 1 kg, Juego de 5 kg.
- **DENSIDAD:**  
1.6 kg/lts.
- **PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN PESO:**  
A: B = 2:1



### **METODO DE APLICACIÓN:**

- Al momento de aplicar Sikadur-32 Gel el concreto debe encontrarse limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, eliminando totalmente la lechada superficial.
- Mezclar totalmente las partes A y B del producto en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica con un taladro de bajas revoluciones durante 3–5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea.
- La colocación de Sikadur-32 Gel se realiza con brocha, rodillo o pulverizado sobre una superficie preparada. El concreto fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C o 1 hora a 30°C de aplicado el Sikadur-32 Gel.
- Limpie las herramientas con diluyente a la piroxilina.

### **1.9.7. TRATAMIENTOS UTILIZADOS:**

Estos se darán con el fin de determinar la eficacia del tratamiento de superficie aplicado en la transferencia de los esfuerzos de tracción en la unión de concreto endurecido y nuevo, es que se variará el tipo de preparación que se le dará a la superficie de contacto entre los concretos. Para materializar la unión se plantea la utilización de adhesivo epóxico y sin adhesivo (usando la eliminación de la lechada superficial). Los tratamientos a utilizar se detallan a continuación:

#### **1.9.7.1. Tratamiento con adhesivo epóxico:**

Usando este tratamiento se busca determinar la eficacia de la transferencia de esfuerzos al aplicar un adhesivo epóxico sobre la superficie de contacto entre el concreto endurecido y nuevo; el tratamiento se dará siguiendo los siguientes pasos:



- a) Raspar o escobillar la superficie de contacto que pertenece al concreto endurecido, para eliminar la capa de lechada superficial o de mortero relativamente blando.
- b) Dar limpieza de la superficie de contacto usando compresora de aire para eliminar los residuos del escobillado de la lechada superficial.
- c) Recubrir con adhesivo epóxico, siguiendo las instrucciones y recomendaciones del fabricante del producto.
- d) Continuar con el vaciado del concreto nuevo sobre la superficie de contacto preparada con el adhesivo epóxico.

#### 1.9.7.2. Tratamiento sin adhesivo epóxico:

Conocido también como tratamiento mecánico o eliminación de lechada superficial, Usando este tratamiento se busca determinar la eficacia de la transferencia de esfuerzos solo al eliminar la lechada superficial de la superficie de contacto entre el concreto endurecido y nuevo. El tratamiento se dará siguiendo los siguientes pasos:

- a) Raspar o escobillar la superficie de contacto que pertenece al concreto endurecido, para eliminar la capa de lechada superficial.
- b) Dar limpieza de la superficie de contacto usando compresora de aire para eliminar los residuos del escobillado de la lechada superficial.
- c) Continuar con el vaciado del concreto nuevo sobre la superficie de contacto preparada.

#### 1.9.8. ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL:

También llamado Ensayo de tracción indirecta o Ensayo Brasileño, es uno de los ensayos más utilizados para evaluar la resistencia a la tracción de materiales como concreto, suelos y otros. Es un método ampliamente aceptado para determinar en forma indirecta la resistencia a tracción uniaxial del concreto, principalmente debido a que se puede ejecutar sobre probetas cilíndricas, moldeadas o testigos, cúbicas o prismáticas.



Además ha sido especificado por varias normas, la Norma Peruana NTP 339.084-2012 y otras como ASTM C – 496.

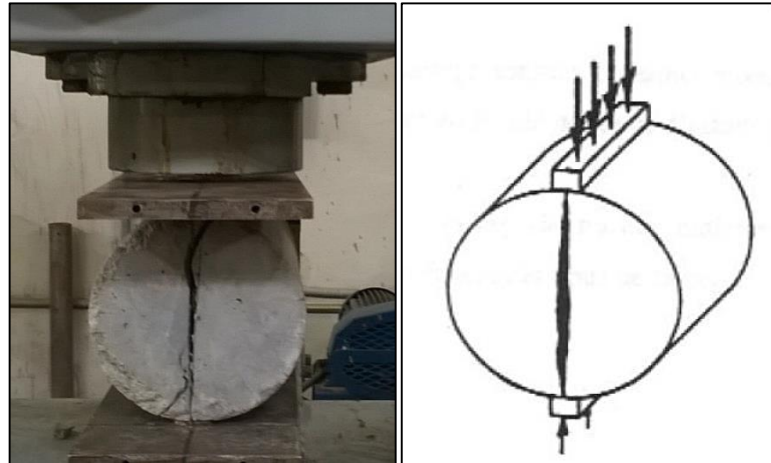


Figura 1.5 – Rotura del ensayo de tracción indirecta

FUENTE: Elaboración propia

Las principales ventajas del ensayo son:

- Es un ensayo relativamente sencillo.
- El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.
- La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta.
- La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.

#### 1.9.9. MODOS DE FALLA EN ENSAYOS DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL:

Para verificar que un ensayo sea válido existen dos modos de fractura: falla de tracción normal y falla de triple hendimiento, las cuales pueden ser seguidas por fragmentación adicional severa de la región vertical central de la muestra.

Un tercer tipo de falla o fractura, llamada falla de compresión y cortante, invalida el resultados de las pruebas. Debido a la variedad de posibles fracturas y porque no hay manera satisfactoria para predecir cómo se producen, la muestra debe ser examinada después de la prueba para calificar los resultados.

Según la norma ASTM C1144 – 89 las muestras de concreto se deben inspeccionar visualmente después de la fractura. El rechazo de la prueba se basa en la aparición fallas observables de compresión, cortante o una falla por defecto superficial.

#### 1.9.9.1. Falla de tracción normal:

En la falla de tracción normal, la probeta se divide a lo largo del diámetro de carga (Figura 1.6). Esta es la falla ideal y se puede utilizar para calcular la tensión de tracción indirecta. Inicialmente, la fractura no está completamente extendida entre ambos bloques de carga. La carga que inicia la fracturase utiliza para calcular la tensión de rotura.

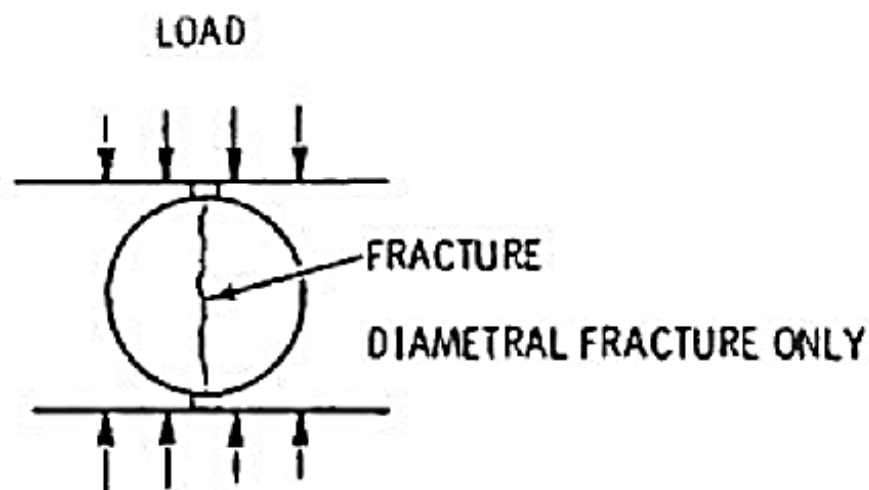


Figura 1.6 – Falla de tracción normal, válida en ensayos de tracción indirecta.  
FUENTE: ASTM C1144 – 1989

#### 1.9.9.2. Falla de triple hendimiento:

La falla de triple hendimiento es una variación en la falla de tracción normal en que la muestra se divide en cuatro trozos de igual tamaño, dos a cada lado del diámetro con carga (Figura 1.7). Las pruebas que presenta este fallo también producen valores válidos de resistencia a la tracción. Se puede producir fragmentación adicional cuando la fractura se ha iniciado en el plano diametral.

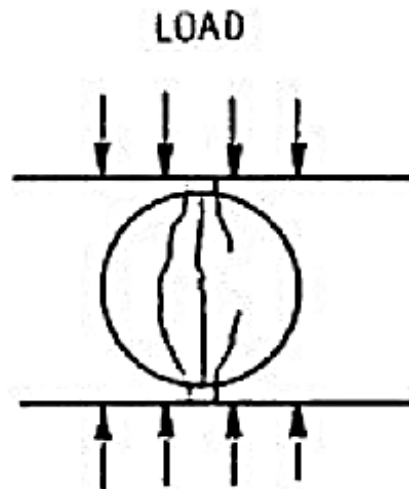


Figura 1.7 – Falla de triple hendimiento, válida en ensayos de tracción indirecta.  
FUENTE: ASTM C1144 – 1989

### 1.9.9.3. Falla de compresión y corte:

En la falla de compresión y de corte, la muestra se tritura cerca de los bloques de carga sin agrietarse a través del diámetro, o la muestra puede fallar cerca de la plataforma de carga, debido a un aplastamiento local o por fracturamiento en cualquier ángulo lejos de la carga diametral (Figura 1.8). En algunos casos, la muestra puede cambiar de forma antes de la fractura o no se puede fracturar en absoluto. Las pruebas con este tipo de falla o deformación no se pueden utilizar para calcular la resistencia a la tracción, y las tensiones calculadas a partir de estas pruebas no son reportadas como resistencia a la tracción.

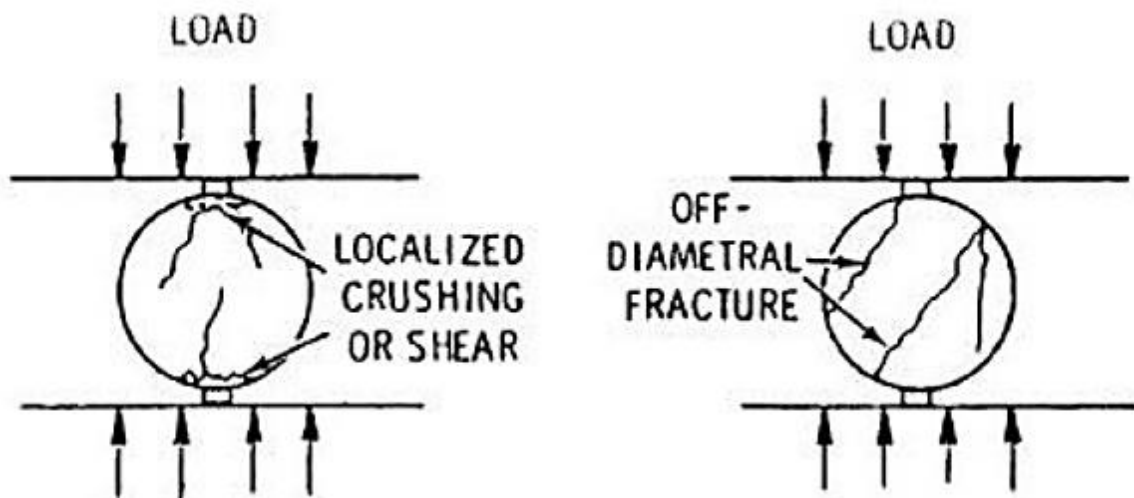


Figura 1.8 – Modos de falla no válidos en ensayos de tracción indirecta.  
FUENTE: ASTM C1144 – 1989



### **1.9.10. FACTORES QUE AFECTAN EL ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL:**

Varios factores afectan los resultados del ensayo de tracción indirecta, como la geometría de las probetas, factores ambientales, distribución de tensiones en la probeta según condiciones de borde, tasa de carga. Aun así el ensayo es razonablemente fácil de ejecutar y los resultados proveen valores comparativos, incluso si la tensión de tracción indirecta no es obtenido (ASTM, 2006).

#### **1.9.10.1. Efecto del tamaño de la probeta (altura y diámetro)**

(Labbe, 2013), describe que al igual que en otros tipos de rotura del hormigón, se ha detectado que los resultados obtenidos ensayando cilindros de diferentes diámetros dependen del tamaño de la probeta. Sin embargo, a diferencia de lo observado en otros tipos de rotura, los resultados del ensayo de tracción indirecta no muestran una tendencia clara del efecto del tamaño.

#### **1.9.10.2. Efecto del ancho de reparto**

En la norma ASTM C-496 el ensayo de tracción indirecta requiere el uso de tiras de 3mm de espesor hechas de madera contrachapada gruesa de 25 mm de ancho a lo largo del cilindro. El propósito de estas tiras es el de adecuarse a la superficie de la probeta y distribuir la carga a lo largo de la probeta a través del ancho de la tira. El aumento del espesor de las tiras puede causar reducciones de tensiones. La lámina de cartón o madera contrachapada sobre la barra de acero de carga causa significativas reducciones de tensiones, probablemente debido a su incapacidad para adecuarse a la superficie de la probeta.

Labbe D. (2013) indica en su estudio que, restringiendo convenientemente el ancho de la zona de carga, en función del diámetro de la probeta, desaparece el efecto del tamaño y se obtiene una resistencia prácticamente constante para todo el rango de diámetros estudiado.



## CAPÍTULO II

---

### MARCO METODOLOGICO



## 2. MARCO METODOLOGICO

Esta investigación se basa principalmente en el estudio del concreto, a través del análisis de la resistencia a la tracción en la unión del concreto nuevo y endurecido, procurando obtener el monolitismo de los elementos estructurales y asegurar el buen comportamiento de las estructuras, es decir, tener una mayor eficiencia en localización y tratamientos de uniones para su aplicación en la ejecución de obras.

### 2.1. METODO DE INVESTIGACIÓN

Los métodos básicos de investigación son: el método descriptivo y experimental, los cuales tienen diferencias entre sí; ya que el método descriptivo permite estudios de fenómenos en su forma natural teniendo un menor control sobre este, a comparación del método experimental que permite el estudio de fenómenos en su forma artificial en el que se tiene un mayor control sobre este (Sanchez, 2006)

#### 2.1.1. MÉTODO EXPERIMENTAL

En el método experimental es frecuente hacer experimentos o pruebas con la intención de resolver un problema o comprobar una hipótesis. Así mismo en este método se usa el diseño de experimentos, que es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Gutierrez & De la Vara , 2008)

## 2.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 2.2.1. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 2.1: Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

FUENTES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Serán físicas y electrónicas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Se utilizará la técnica de la recolección de datos.</li> <li>La Observación</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Equipos y herramientas para medir la resistencia a la compresión y tracción indirecta del concreto.</li> <li>Cámara fotográfica.</li> <li>Memorias portátiles de almacenamiento.</li> </ol>

FUENTE: Elaboración propia



## 2.3. ELABORACIÓN Y ENSAYOS DE PROBETAS

### 2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Para obtener las características de los agregados gruesos y finos se hicieron los siguientes ensayos:

- Peso unitario suelto de agregado fino y grueso (USA-21)
- Peso unitario varillado de agregado fino y grueso (USA-22)
- Análisis granulométrico de agregado fino y grueso por tamizado (USA-17)
- Contenido de Humedad del agregado grueso y fino (USA-03)
- Determinación de material que pasa el tamiz N° 200 (USA-11)
- Equivalente de arena del agregado fino (USA-16)
- Terrones de arcilla en los agregados (USA-18)
- Durabilidad de agregados finos y gruesos por medio de sulfato de magnesio (USA-22)
- Abrasión en la máquina de los ángeles en agregado grueso (USA-24)
- Peso específico y absorción del agregado grueso (USA-26)
- Peso específico y absorción del agregado fino (USA-27)
- Impurezas orgánicas en arenas (USA-28)
- Partículas chatas y alargadas del agregado grueso (USA-29)
- Carbón y lignito o partículas livianas en el agregado (USA-32)
- Calculo del módulo de fineza del agregado fino (USA-33)
- Esfuerzo a la compresión de probetas cilíndricas de concreto (UMC-01)
- Resistencia a la tracción simple del concreto por compresión diametral de una probeta (UMC-08).

De estos ensayos se utilizan características que indican en la Tabla 2.2; para mayor información de los resultados de ensayos (ver Anexo 2).



Tabla 2.2: Características de los materiales

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADOS	
	FINO (ARENA GRUESA)	GRUESO (PIEDRA CHANCADA)
PESO ESPECIFICO BULK SECO	2.72	2.71
PESO UNITARIO SUELTO (kg/cm <sup>3</sup> )	1533	1545
PESO UNITARIO VARILLADO (kg/cm <sup>3</sup> )	1814	1617
ABSORCION (%)	0.50	0.62
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.13	1.11
MODULO DE FINURA	3.12	7.42
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (pulg)	-	½"

FUENTE: Elaboración propia

### 2.3.2. DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA DE CONCRETO

El cálculo de la dosificación se realizó de acuerdo a lo establecido en el ACI 211, para un concreto de resistencia a la compresión  $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$ ; con el siguiente procedimiento: Primero se seleccionó el asentamiento máximo y el tamaño máximo del agregado de grueso, luego se estimó el contenido de aire y agua, con estos parámetros se determinó la resistencia del diseño y se seleccionó la relación agua - cemento, calculando el contenido de cemento; por último la proporción de los agregados se determinó y se ajustó la mezcla de prueba. El mismo que se muestra en la siguiente tabla y se adjunta en el Anexo 3

Tabla 2.3: Dosificación de agregados para mezcla de concreto

VALORES DE DISEÑO	Para 6.5 Probetas = 0.0345 m <sup>3</sup>
	Sin considerar mortero extra
Cemento (kg)	13.051
Agregado Fino (kg)	40.747
Agregado Grueso (kg)	38.484
Agua (lt)	9.000
Relación Agua/Cemento Efectiva (a/c)	0.69

FUENTE: Elaborado por el Laboratorio de mezclas de concreto de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes (DEE-MTC)



### 2.3.3. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

Para la elaboración y curado de las probetas se utilizó el procedimiento establecido en la norma MTC E702-2000<sup>2</sup> que se rige al ASTM C192<sup>3</sup>; con los siguientes pasos:

#### 2.3.3.1. Elaboración de probetas monolíticas (probetas control)

##### MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

- Se usó agregado fino (arena gruesa); agregado grueso (piedra chancada), cemento portland tipo I y agua.
- Los moldes empleados fueron cilíndricos y de plástico con dimensiones de 150mm de diámetro por 300mm de altura. (ver figura 2.1)



Figura 2.1 – Moldes cilíndricos para probetas de concreto

FUENTE: Elaboración propia

- La varilla compactadora es de acero estructural, cilíndrica y el extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Tiene un diámetro de 16mm (5/8"), y aproximadamente 600mm (24") de longitud. (Ver Figura 2.2 (a)).
- Se usaron cono de Abrams, recipientes, palas, espátulas, mazo de goma, regla, elementos de división (triplay de 15cmx30cm y espesor 4mm), wincha. (Ver figura 2.2 (a) y (b)).

---

<sup>2</sup> MTC E702-2000: Norma de elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de laboratorio

<sup>3</sup> ASTM 192: Práctica normalizada para la preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio.



Figura 2.2 – Varilla compactadora, mazo de goma, espátulas y cono de Abrams  
FUENTE: Elaboración propia

- Se usaron balanzas con capacidad de 10kg y de 50kg.
- Se usó mezcladora mecánica de concreto, una compresora de aire y una carretilla (Ver Figura 2.3 (a) y (b))



Figura 2.3 – Mezcladora (a) y carretilla (b)  
FUENTE: Elaboración propia

### PROCEDIMIENTO:

- Los moldes se cubrieron de una capa interna de petróleo para que el concreto no se pegara a las paredes del molde, (Ver Figura 2.4)
- De acuerdo a los valores obtenidos en el diseño de mezcla, se procedió a pesar cada uno de los elementos que conforman el concreto, además alistar las herramientas a utilizar. (Ver Figura 2.4 (b))



Figura 2.4 – Humedecido de los moldes  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.5 – Pesado de materiales  
FUENTE: Elaboración propia

- Cuando empieza la rotación de la mezcladora se introduce algo de agua que se usa en la mezcla para humedecer su interior, al cabo de algunas revoluciones se adiciona el agregado grueso, fino, el cemento y el agua (Ver Figura 2.6).



Figura 2.6 – Elaboración de la mezcla del concreto

FUENTE: Elaboración propia

- Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los materiales estén en la mezcladora, se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final. Luego se recibe el concreto en la carretilla, (Ver Figura 2.7).



Figura 2.7 – Recepción de mezcla del concreto

FUENTE: Elaboración propia



- Se calcula el asentamiento de mezcla de acuerdo a la norma MTC E705<sup>4</sup> (Ver Figura 2.8).



Figura 2.8 – Cálculo de asentamiento de la mezcla del concreto

FUENTE: Elaboración propia

- Se procede con el vaciado de concreto en los moldes: se llenó el molde en tres capas de igual volumen. Cada capa con 25 golpes de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. Seguidamente la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior. (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9 – Vaciado de probetas monolíticas

FUENTE: Elaboración propia

---

<sup>4</sup> MTC E705: Determinación del asentamiento en mezclas de concreto

- Después de compactar cada capa golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire. (Ver Figura 2.10).



Figura 2.10 – Golpeado a lados de los moldes para liberar las burbujas de aire

FUENTE: Elaboración propia

- En la última capa, se agregó la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quedara lleno después de la compactación. Se ajustó el sobrante del hormigón con una porción de mezcla, completando el número de golpes faltantes. Por último se enrasó el exceso de hormigón con la varilla de compactación

Después de 24 horas se procedió a extraer las probetas de sus moldes, luego éstas se introdujeron en la piscina del laboratorio para completar su etapa de curado.

### 2.3.3.2. Elaboración de probetas con unión de concreto nuevo y endurecido (probetas experimentales):

#### MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

- Son los mismos que se indica en el ítem 2.3.3.1

## PROCEDIMIENTO:

### 1° Etapa:

- Los moldes y tablas se humedecieron con petróleo para que el concreto no se pegara a las paredes del molde ni del elemento de división (tabla). (Ver Figura 2.11). Luego se coloca la tabla en el interior de cada molde. (Ver Figura 2.12).



Figura 2.11 – Humedecido de los moldes

FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.12 – Colocado de divisiones

FUENTE: Elaboración propia

- De acuerdo a los valores obtenidos en el diseño de mezcla, se procedió a pesar cada uno de los elementos que conforman el concreto, además alistar las herramientas a utilizar.
- Cuando empieza la rotación de la mezcladora se introduce algo de agua que se use en la mezcla para humedecer el interior de la mezcladora, al cabo de algunas revoluciones se adiciona el agregado grueso, fino, el cemento y el agua. (Ver Figura 2.13).



Figura 2.13 – Preparación de mezcla de concreto para probetas experimentales

FUENTE: Elaboración propia

- Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir de que todos los materiales estén en la mezcladora, se apaga durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final. Luego se recibe el concreto en la carretilla.
- Se calcula el asentamiento de mezcla de acuerdo a la norma MTC E705.
- Se procede con el vaciado de concreto en los moldes: se llenó el molde en tres capas de igual volumen a cada lado de la tabla (Ver Figura 2.14). Cada capa al lado izquierdo y derecho de la tabla se compactó con 12 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. Seguido; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior. (Ver Figura 2.15)





Figura 2.14 – Vaciado del concreto de probetas experimentales  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.15 – Varillado del concreto de probetas experimentales  
FUENTE: Elaboración propia

- Después de compactar cada capa a ambos lados de la tabla, golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire.
- En la última capa, se agregó la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quedara lleno después de la compactación. Se ajustó el sobrante del hormigón con una porción de mezcla, completando el número de golpes faltantes.

- Se enraso el exceso de hormigón con la varilla de compactación
- Después de 24 horas se procedió a desencofrar las probetas de sus moldes, usando la compresora de aire, luego se golpeó en la zona donde estaba la tabla, con el mazo de goma para así tener las primeras mitades que simulan a el concreto endurecido (Ver Figura 2.16), luego éstas se introdujeron en la piscina del laboratorio para completar su etapa de curado (Ver Figura 2.17)



Figura 2.16 – Desencofrado de mitades de las probetas experimentales  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.17 – Colocado de mitades - probetas experimentales en piscina de curado  
FUENTE: Elaboración propia

## 2° Etapa:

- Después de 7 días de curado las mitades concreto se retiran de la piscina de curado y se dejan secar por 30 minutos. Así mismo de acuerdo a los valores obtenidos en el diseño de mezcla, se procedió a pesar cada uno de los elementos que conforman el concreto, además alistar las herramientas a utilizar
- Luego de secados las mitades de probetas (ver Figura 2.18)



Figura 2.18 – Secado de mitades de probetas experimentales  
FUENTE: Elaboración propia

Se darán los siguientes tratamientos:

- **Tratamiento con adhesivo epóxico:**

Este tratamiento permitirá unir el concreto endurecido y nuevo al aplicar un adhesivo epóxico sobre la superficie de contacto y el tratamiento se dará siguiendo los siguientes pasos:

- a) Raspar o escobillar la superficie de contacto que pertenece al concreto endurecido, para eliminar la capa de lechada superficial o de mortero relativamente blando.
- b) Dar limpieza de la superficie de contacto usando compresora de aire para eliminar los residuos del escobillado de la lechada superficial.
- c) Preparar y recubrir con adhesivo epóxico, siguiendo las instrucciones, recomendaciones del fabricante del producto. (Ver Figura 2.19 y 2.20)





Figura 2.19 – Preparación de adhesivo epóxico  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.20 – Tratamiento con adhesivo epóxico de probetas experimentales  
FUENTE: Elaboración propia

- **Tratamiento sin adhesivo epóxico:**

Conocido también como tratamiento mecánico o solo escobillado de superficie de contacto, permite unir el concreto endurecido y nuevo solo al eliminar la lechada de la superficie de contacto. El tratamiento se da con los siguientes pasos:

- a) Escobillar la superficie de contacto que pertenece al concreto endurecido, para eliminar la capa de lechada superficial (Ver Figura 2.21)
- b) Dar limpieza de la superficie de contacto usando compresora de aire para eliminar los residuos del escobillado de la lechada (Ver Figura 2.22)



Figura 2.21 – Tratamiento sin adhesivo o escobillado de superficie de contacto  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.22 – Limpieza de superficie de contacto con aire comprimido  
FUENTE: Elaboración propia

- Los moldes se humedecieron con petróleo para que el concreto no se pegara a las paredes (Ver Figura 2.23); y luego se colocaron las mitades de concreto endurecido en los moldes. (Ver Figura 2.24)



Figura 2.23 – Humedecido de los moldes con petróleo  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.24 –Colocado de mitades en los moldes  
FUENTE: Elaboración propia

- Cuando empieza la rotación de la mezcladora se introduce algo de agua que se use en la mezcla para humedecer el interior de la mezcladora, al cabo de algunas revoluciones se adiciona el agregado grueso, fino, el cemento y el agua.
- Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los materiales estén en la mezcladora, se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final. Luego se recibe el concreto en la carretilla.



- Se calcula el asentamiento de mezcla de acuerdo a la norma MTC E705.
- Se procede con el vaciado de concreto en los moldes: se llenó el molde en tres capas de igual volumen. Cada capa al lado izquierdo y derecho de la tabla se compactó con 12 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral. Seguido; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior.
- Después de compactar cada capa, golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire.
- En la última capa, se agregó la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quedara lleno después de la compactación. Se ajustó el sobrante del concreto con una porción de mezcla, completando el número de golpes faltantes.
- Se enraso el exceso de concreto con la varilla de compactación (Ver Figura 2.25)



Figura 2.25 – Probetas unidas con y sin adhesivo epóxico.

FUENTE: Elaboración propia

- Después de 24 horas se procedió a desencofrar las probetas de sus moldes, usando la compresora de aire, luego éstas se introdujeron en la piscina del laboratorio para completar su etapa de curado. (Ver Figura 2.26)



Figura 2.26 – Curado de las probetas unidas con y sin adhesivo epóxico  
FUENTE: Elaboración propia

#### 2.3.4. ENSAYOS DE PROBETAS DE CONCRETO

Se realizaron las pruebas de compresión y tracción según lo especificado en las normas ASTM C39 y NTP 339–084-2012 que se rige a ASTM C496 respectivamente.

##### 2.3.4.1. Ensayo de resistencia a compresión:

En la prueba de resistencia a la compresión se usó la máquina de ensayo universal marca KESSEL-ELE, los cilindros se secaron superficialmente durante 30 minutos después que fueron sacados de la piscina de curado, después fueron medidos: sus diámetros superior e inferior dos veces para obtener un diámetro promedio y su altura, después se llevaron los cilindros a la máquina universal, colocados de manera vertical, a estos se le adicionaron unas bandas de neopreno en la parte inferior y superior. Por último, se empezó a operar la máquina y el tablero electrónico midió la fuerza aplicada cuando se produjo la ruptura del cilindro. Este ensayo se realizó para 7, 14 y 28 días de edad de concreto.





Figura 2.27 – Ensayo de resistencia a compresión  
FUENTE: Elaboración propia

#### 2.3.4.2. Ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral:

En la prueba de resistencia a la tracción por compresión diametral se usó la máquina de ensayo uniaxial modelo AMSLER TYPE COMPRESSER TESTER marca MARUI&CO. LTD, con una carga de compresión máxima de 100tn aplicadas a velocidad constante utilizando platinas de hierro y tablillas de madera contrachapada de 3mm de espesor.

Las probetas se secaron superficialmente durante 30 minutos después que fueron sacados de la piscina de curado, luego fueron medidos de la siguiente forma:

- Trazar el diámetro en las dos bases de la probeta, unir ambas rectas trazando dos generatrices. Determinar el diámetro de la probeta como el promedio aritmético de los dos diámetros medidos (Ver Figura 2.28)
- Determinar la longitud de la probeta como el promedio aritmético de las longitudes medidas sobre las dos generatrices (Ver Figura 2.29)



Figura 2.28 – Mediciones de las probetas control y experimentales  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.29 – Trazado de líneas de contacto de probetas control y experimentales  
FUENTE: Elaboración propia

Luego se hizo el ensayo siguiendo el procedimiento siguiente:

- Limpiar las superficies de las platinas, tablillas de madera y de la línea de contacto de la probeta.
- Colocar una tablilla centrada sobre el eje de la platina inferior de la maquina uniaxial. Poner la probeta sobre la tablilla, alineada de modo que las líneas de trazado diametral quedaran verticales y centradas sobre la tablilla y platina (Ver Figura 2.30). Colocar la otra tablilla, luego la platina centrada sobre la línea de contacto de la probeta (Ver Figura 2.31).

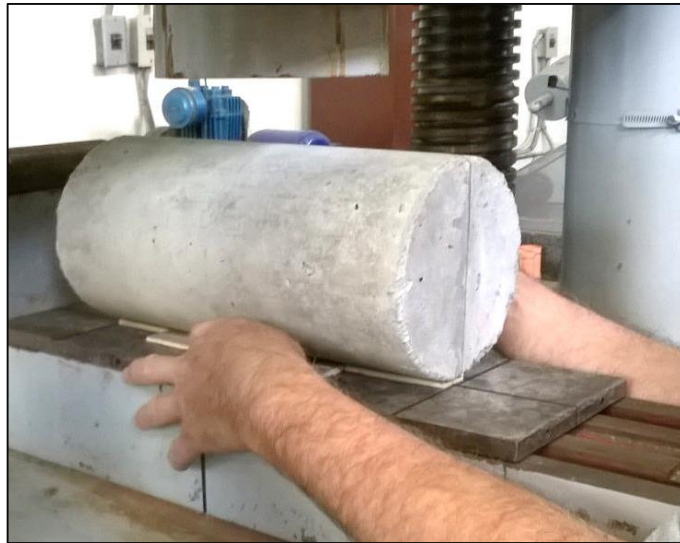


Figura 2.30 – Colocado de tablilla, platina inferior y probeta en la maquina uniaxial

FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.31 – Coleado de tablilla, platina superior en la maquina uniaxial

FUENTE: Elaboración propia

- Verificar que las líneas de trazado diametral queden verticales y centradas respecto de las tablillas, platinas, piezas de apoyo y carga (Ver Figura 2.32).
- Aplicar la carga en forma continua y uniforme, hasta la rotura y finalmente registrar la carga máxima  $P$  (Ver Figura 2.33).



Figura 2.32 – Verificación del colocado de la probeta en la maquina uniaxial  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.33 – Ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.34 – Registro de carga máxima P  
FUENTE: Elaboración propia





Figura 2.35 – Ensayo de resistencia a tracción de unión con adhesivo (antes)  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.36 – Ensayo de resistencia a tracción de unión con adhesivo (después)  
FUENTE: Elaboración propia

Haciendo el análisis visual de cada probeta se observa falla de tracción normal, que es una falla ideal en ensayos de tracción por compresión diametral.



## 2.4. RESULTADOS DE ENSAYOS

En las siguientes tablas se resumen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión ( $f'c$ ) y a tracción por compresión diametral ( $f_{sp}$ ), realizados a probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura.

**Tabla 2.4: Resultados de ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral 7 días**

N°	TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO "d" (cm)	ALTURA "L" (cm)	CARGA "P" (kg)	$f_{sp}$ (kg-f/cm <sup>2</sup> )	$f_{sp}$ prom. (kg-f/cm <sup>2</sup> )
1	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	MECA28-1	15.30	30.00	18575.10	25.763	22.640
2		MECA28-2	15.05	30.00	15708.00	22.148	
3		MECA28-3	15.20	30.00	17188.00	23.996	
4		MECA28-4	15.05	30.00	12248.40	17.270	
5		MECA28-5	15.00	30.00	17111.00	24.207	
6		MECA28-6	15.10	30.00	16170.19	22.725	
7		MECA28-7	15.05	30.00	17390.00	24.520	
8		MECA28-8	15.10	30.00	16170.19	22.725	
9		MECA29-1	15.15	30.00	12650.00	17.719	
10		MECA29-2	15.10	30.00	18025.10	25.331	
1	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	MESA28-1	15.00	30.00	10657.00	15.077	17.405
2		MESA28-2	15.00	30.00	12307.00	17.411	
3		MESA28-3	15.05	30.00	13258.60	18.695	
4		MESA28-4	15.00	30.00	11874.00	16.798	
5		MESA28-5	15.15	30.00	13576.10	19.016	
6		MESA28-6	15.30	30.00	12381.00	17.172	
7		MESA28-7	15.20	30.00	12709.65	17.744	
8		MESA28-8	15.05	30.00	12740.60	17.964	
9		MESA29-1	15.05	30.00	14380.79	20.277	
10		MESA29-2	15.30	30.00	10019.60	13.897	
1	Probetas monolíticas	MCT22-1	15.25	30.00	20654.00	28.740	24.837
2		MCT22-2	15.15	30.00	19455.10	27.251	
3		MCT22-3	15.15	30.00	18513.00	25.931	
4		MCT22-4	15.10	30.00	20702.40	29.094	
5		MCT22-5	15.20	30.00	13164.00	18.378	
6		MCT22-6	15.25	30.00	13925.10	19.377	
7		MCT22-7	15.25	30.00	16578.00	23.069	
8		MCT29-1	15.25	30.00	18205.20	25.333	
9		MCT29-2	15.20	30.00	19431.60	27.128	
10		MCT29-3	15.25	30.00	17296.20	24.068	

FUENTE: Elaboración propia



Tabla 2.5: Resultados de ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral 28 días

N°	TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCION	DIAMETRO "d" (cm)	ALTURA "L" (cm)	CARGA "P" (kg)	fsp (kg-f/cm2)	fsp.prom. (kg-f/cm2)
1	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	MECA27-1	15.35	30.00	19039.24	26.321	25.278
2		MECA27-2	15.10	30.00	19240.52	27.040	
3		MECA27-3	15.30	30.00	18485.72	25.639	
4		MECA27-4	15.00	30.00	15704.76	22.218	
5		MECA27-5	15.05	30.00	18536.04	26.136	
6		MECA27-6	15.15	30.00	18737.32	26.245	
7		MECA27-7	15.05	30.00	17425.00	24.569	
8		MECA27-8	15.10	30.00	17730.92	24.918	
9		MECA27-9	15.00	30.00	18737.32	26.508	
10		MECA28-1	15.05	30.00	16443.72	23.186	
1	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	MESA27-1	15.00	30.00	13050.10	18.462	17.767
2		MESA27-2	15.00	30.00	12750.00	18.038	
3		MESA27-3	15.05	30.00	10488.20	14.788	
4		MESA28-1	15.00	30.00	14781.06	20.911	
5		MESA28-2	15.15	30.00	13112.00	18.366	
6		MESA28-3	15.15	30.00	12802.50	17.933	
7		MESA28-4	15.15	30.00	9551.00	13.378	
8		MESA28-5	15.15	30.00	14164.30	19.840	
9		MESA28-6	15.15	30.00	12750.00	17.859	
10		MESA28-7	15.30	30.00	13050.10	18.100	
1	Probetas monolíticas	MCT21-1	15.15	30.00	21713.00	30.413	29.866
2		MCT21-2	15.20	30.00	21624.00	30.189	
3		MCT21-3	15.15	30.00	17982.52	25.188	
4		MCT21-4	15.00	30.00	21989.80	31.109	
5		MCT21-5	15.00	30.00	23317.00	32.987	
6		MCT21-6	15.00	30.00	24381.00	34.492	
7		MCT28-1	15.00	30.00	21649.00	30.627	
8		MCT28-2	15.00	30.00	19945.20	28.217	
9		MCT28-3	15.00	30.00	19441.80	27.505	
10		MCT28-4	15.00	30.00	19743.72	27.932	

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 2.6: Resultados de ensayos de resistencia a compresión del concreto**

N°	EDAD	DESCRIPCION	DIAMETRO "d" (cm)	ALTURA "L" (cm)	CARGA "P" (kg)	f <sub>c</sub> (kg- f/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> prom. (kg-f/cm <sup>2</sup> )
1	7 DIAS	MCC20-1	15.00	30.00	29590.0	167.445	170.603
2		MCC20-2	15.00	30.00	30100.0	170.331	
3		MCC22-1	15.00	30.00	30754.0	174.032	
1	14 DIAS	MCC21-1	15.00	30.00	41305.0	233.739	232.143
2		MCC21-2	15.00	30.00	40841.0	231.113	
3		MCC21-3	15.00	30.00	40923.0	231.575	
1	28 DIAS	MCC28-1	15.00	30.00	44880.0	253.970	255.102
2		MCC28-2	15.00	30.00	44970.0	254.478	
3		MCC28-3	15.00	30.00	45390.0	256.857	

FUENTE: Elaboración propia

De los resultados obtenidos en la tabla 2.4 y tabla 2.5 se calcularon la media ( $\bar{x}$ ), varianza ( $\sigma^2$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ), de la resistencia a la tracción por compresión diametral en la unión tratada con adhesivo epóxico, unión tratada sin adhesivo epóxico y probetas monolíticas a los 7 y 28 días, como se muestran en la tabla 2.7 y tabla 2.8 respectivamente.

**Tabla 2.7: Media aritmética, varianza y desviación estándar de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días**

	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$\sigma$	Coef. Var.
TIPO DE MUESTRA	kgf/cm <sup>2</sup>	(kgf/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	22.64	8.68	2.95	13.01%
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	17.41	3.45	1.86	10.68%
Probetas monolíticas	24.84	13.46	3.67	14.77%

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que el coeficiente de variación es regular en los tres tipos de muestras, lo que representa un dato importante para consideraciones futuras.





Tabla 2.8: Media aritmética, varianza y desviación estándar de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días

	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$\sigma$	Coef. Var.
TIPO DE MUESTRA	$kgf/cm^2$	$(kgf/cm^2)^2$	$kgf/cm^2$	%
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	25.28	2.43	1.56	6.17%
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	17.77	4.82	2.20	12.36%
Probetas monolíticas	29.87	7.51	2.74	9.18%

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico es la que presenta menor coeficiente de variación, seguido de las probetas monolíticas, lo que significa un dato importante para consideraciones futuras.

#### 2.4.1. ANALISIS VISUAL

En este análisis se aplicara lo mencionado anteriormente en el ítem 1.9.9 y 1.9.10, que las probetas de concreto deben ser inspeccionadas visualmente después de cada ensayo. El rechazo de la prueba se basa en la aparición de fallas observables de compresión, cortante o una falla por defecto superficial; además se verificara que las mitades de concreto nuevo y endurecido tengan las mismas medidas, que las probetas no presenten cangrejeras, ya que esto nos generaría datos equivocados.

Hay dos tipos de falla que indican una prueba válida, falla de tracción normal y falla de triple hendimiento; y el tercer tipo de falla, de compresión y cortante, invalida el resultado de la prueba en evaluación.

#### 2.4.1.1. Análisis visual de datos a los 7 días

##### a. Análisis visual en la probetas de unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico:

La falla de estas probetas, se produce a lo largo del plano de contacto (plano de falla) de la unión de concreto nuevo y endurecido y se presenta un despegue entre el adhesivo epóxico y concreto, la falla es relativamente limpio y parejo, permaneciendo ambas mitades bastante íntegras. Todas las probetas siguen la falla de tracción normal y falla de triple hendimiento, sin embargo, existen dos probetas a analizar por su forma y tamaño. MECA28-1: Esta probeta tiene sus mitades de concreto nuevo y endurecido desiguales en dimensiones, como se muestra en la figura 2.37, en consecuencia, esto generaría que el ensayo realizado nos brinde resultados erróneos, por lo mismo este dato es no válido.



Figura 2.37 –Probeta MECA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días

FUENTE: Elaboración propia

MECA28-4: Esta probeta presenta desigualdad de dimensiones en sus mitades de concreto nuevo y endurecido, además de tener cangrejeras en la parte superior del plano de contacto como se muestra en la siguiente figura; lo que haría que este dato es no válido.



Figura 2.38 – Probeta MECA28-4 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días  
FUENTE: Elaboración propia

De las ocho probetas restantes tienes mitades de dimensiones iguales y siguen las formas de falla calificadas como ensayos validos de tracción indirecta.

**b. Análisis visual en la probetas de unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico:**

La falla de estas probetas, se produce a lo largo del plano de falla de la unión de concreto nuevo y endurecido y se presenta un despegue más rápido de las dos mitades de concreto, la falla es completamente limpio y parejo, permaneciendo ambas mitades íntegras.

Todas las probetas siguen la falla de tracción normal y falla de triple hendimiento, a excepción de una probeta MESA28-1 que presenta desigualdad de dimensiones en sus mitades de concreto nuevo y endurecido como se muestra en la figura 2.39, en consecuencia, esto generaría que el ensayo realizado nos brinde resultados erróneos, por lo mismo, este dato es no válido. Quedando así nueve datos válidos.



Figura 2.39 – Probeta MESA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días

FUENTE: Elaboración propia

### c. Análisis visual en la probetas monolíticas

Al observar el tipo de falla en las probetas resultantes del ensayo, se aprecia que todas las probetas ensayadas siguen las formas de falla calificadas como ensayos validos de tracción indirecta, es decir presentan falla normal y falla de triple hendimiento. Como ejemplo de una falla adecuada se muestra en la figura 2.40 la probeta MCT22-7, que cumple con todos los requisitos de un ensayo correctamente realizado y una falla correcta que se genera en el tercio central de la probeta tal como debe suceder en un ensayo de tracción indirecta.



Figura 2.40 – Probeta MCT22-7 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 7 días

FUENTE: Elaboración propia



#### 2.4.1.2. Análisis visual de datos a los 28 días

##### a. Análisis visual en la probetas de unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico:

La falla de estas probetas, se produce a lo largo del plano de contacto (plano de falla) de la unión de concreto nuevo y endurecido y se presenta un despegue entre el adhesivo epóxico y concreto, la falla es relativamente limpio y parejo, permaneciendo ambas mitades bastante íntegras. Todas las probetas siguen la falla de tracción normal y falla de triple hendimiento. Como ejemplo de una falla adecuada se muestra en la siguiente figura la probeta MECA27-6



Figura 2.41 – Probeta MECA27-6 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días  
FUENTE: Elaboración propia

##### b. Análisis visual en la probetas de unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico:

La falla de estas probetas, se produce a lo largo del plano de falla de la unión de concreto nuevo y endurecido y se presenta un despegue más rápido de las dos mitades de concreto, la falla es relativamente limpio y parejo, permaneciendo ambas bastante mitades íntegras. Todas las probetas siguen la falla de tracción normal y falla de triple hendimiento, sin embargo, existen cuatro probetas a analizar por su forma y tamaño (MESA27-3, MESA28-1, MESA28-4 Y MESA28-5). Estas probetas tienen

sus mitades de concreto nuevo y endurecido desiguales en dimensiones, como se muestra en la figura 2.42, 2.43, 2.44 y 2.45; en consecuencia, esto generaría que el ensayo realizado nos brinde resultados erróneos, por lo mismo que estos datos son no válidos. De las seis probetas restantes tienen mitades de dimensiones iguales y siguen las formas de falla calificadas como ensayos validos de tracción indirecta.



Figura 2.42 – Probeta MESA27-3 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días

FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.43 – Probeta MESA28-1 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días

FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.44 – Probeta MESA28-4 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días  
FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.45 – Probeta MESA28-5 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días  
FUENTE: Elaboración propia

### c. Análisis visual en la probetas monolíticas

Al observar el tipo de falla en las probetas resultantes del ensayo, se aprecia que todas las probetas falladas siguen las formas de falla calificadas como ensayos validos de tracción indirecta, es decir falla normal y falla de triple hendimiento. A excepción de dos probetas: MCT21-5: Esta tuvo una falla por cortante como se muestra en la figura 2.46, entonces este dato es no válido; MCT21-6: Esta probeta tuvo una falla de triple hendimiento, sin embargo como se muestra en la figura 2.47 se tuvo una mala colocación de la probeta al momento de ser ensayada, por lo que este dato es no válido.





Figura 2.46 – Probeta MCT21-5 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días  
 FUENTE: Elaboración propia



Figura 2.47 – Probeta MCT21-6 ensayada a resistencia de tracción por compresión diametral a 28 días  
 FUENTE: Elaboración propia

Tabla 2.9: Numero de repeticiones restantes a los 7 y 28 días

TIPO DE MUESTRA	Número de repeticiones restantes	
	7 días	28 días
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	8	10
Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	9	6
Probetas monolíticas	10	8

FUENTE: Elaboración propia





## 2.4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Posteriormente al análisis visual de las muestras ensayadas, es importante verificar la presencia de datos atípicos en el grupo de datos a estudiar, un dato o valor atípico, es una observación con un valor que no parece corresponderse con el resto de los valores en el grupo de datos.

Para el procesamiento de datos se procederá con la identificación de datos atípicos, para lo cual hay dos herramientas básicas: la representación gráfica (grafico de puntos) y la prueba estadística: las utilizadas son: prueba de Dixon y prueba de Grubbs. (Murphy & Lau, 2008).

(ASTM.E178, 2008), esta norma menciona como manejar observaciones de valores atípicos, contiene muchos procedimientos estadísticos para realizar pruebas de valores atípicos. Además indica que estas pruebas estadísticas se utilizan para identificar valores atípicos, no para retirarlos del grupo de datos. Una vez identificados los datos atípicos se realizara un análisis de datos con y sin los datos atípicos, así se verificara si las conclusiones son diferentes a causa de estos datos atípicos.

### A. PROCESAMIENTO DE DATOS CONSIDERANDO LOS DATOS ATIPICOS

Primeramente se analizara todos los datos incluyendo los datos atípicos; por lo cual es importante conocer que (Kuehl, 2001), en su libro menciona a (Fisher, 1926), quien señalo que la sola aleatorización proporciona estimaciones válidas de la varianza del error para los métodos de inferencia estadística justificados para la estimación y pruebas de hipótesis en el experimento. La aleatorización es la asignación aleatoria de tratamientos a las unidades experimentales.

Para desarrollar el análisis de datos con el ANOVA es necesario tener un diseño balanceado, es decir, tener el mismo número de repeticiones por cada tratamiento. Por lo tanto se realizara la asignación de números aleatorios a todas las muestras, así obtener 6 repeticiones por cada tratamiento, ya que es el menor valor de repeticiones que se tiene de resistencia a la tracción indirecta en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo



epóxico a los 28 días (ver tabla 2.9). Para este cálculo se siguen los siguientes pasos:

- Enumerar los datos restantes del análisis visual,
- Usando el programa Microsoft Excel se genera los números aleatorios y estos se ordenan en forma ascendente.
- Buscar e identificar las resistencias a la tracción indirecta de acuerdo los números aleatorios.

Como ejemplo se tiene el cálculo de números aleatorios para los datos de resistencia a la tracción indirecta de la unión tratada sin adhesivo epóxico a los 7 días y datos de resistencia a la tracción indirecta de probetas monolíticas a los 28 días.

**Tabla 2.10: Datos de resistencia a la tracción en unión tratada sin adhesivo epóxico a los 7 días usando números aleatorios**

PASO 1		PASO 2		PASO 3	
Datos restantes de analisis visual:		Generamos los numeros aleatorios		Datos a utilizar	
1	22.148	1	2	1	22.148
2	23.996	1	6	2	23.996
3	24.207	3	4	3	24.207
4	22.725	6	3	4	22.725
5	24.520	6	1	5	24.520
6	22.725	5	5	6	22.725
7	17.719	1			
8	25.331	7			

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 2.11: Datos de resistencia a la tracción en probetas monolíticas a los 28 días usando números aleatorios**

PASO 1		PASO 2		PASO 3	
Datos restantes de analisis visual:		Generamos los numeros aleatorios		Datos a utilizar	
1	30.413	3	4	2	30.189
2	30.189	7	7	4	31.109
3	25.188	7	5	5	30.627
4	31.109	6	8	6	28.217
5	30.627	5	2	7	27.505
6	28.217	3	6	8	27.932
7	27.505	4			
8	27.932	3			

FUENTE: Elaboración propia



Este procedimiento se hicieron para los datos de resistencia a la tracción indirecta (***f<sub>sp</sub>***) de probetas control (monolíticas) y experimentales de 7 y 28 días de edad de concreto. De las 60 mediciones que tenía inicialmente solo quedaron 36 mediciones. Como se muestra a continuación:

Tabla 2.12: Resultados finales de resistencia a tracción indirecta a 7 días de curado

UNION CON ADHESIVO	UNION SIN ADHESIVO	PROBETAS MONOLITICAS
22.148	17.411	28.740
23.996	16.798	27.251
24.207	19.016	29.094
22.725	17.172	23.069
24.520	17.964	27.128
22.725	20.277	24.068

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 2.13: Resultados finales de resistencia a tracción indirecta a 28 días

UNION CON ADHESIVO	UNION SIN ADHESIVO	PROBETAS MONOLITICAS
26.321	18.462	30.189
27.040	18.038	31.109
26.136	18.366	30.627
24.569	17.933	28.217
24.918	17.859	27.505
26.508	18.100	27.932

FUENTE: Elaboración propia

Seguidamente se analizara todos los datos sin considerar datos atípicos; para esto se utilizara el diagrama de puntos, que nos brinda una descripción grafica de la variabilidad de los datos, así poder identificar los posibles datos atípicos. (Montgomery, 2006); Luego realizar el análisis sin consideran estos datos identificados. Por lo tanto se realizó el tratamiento de datos atípicos, el análisis de datos con el ANOVA, discusión de resultados para los 7 y 28 días que se muestran en el Anexo N° VII.



## 2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

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 se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa-efecto. El diseño usado fue el diseño experimental de un solo factor o diseño completamente al azar.

### 2.5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL CON UN SOLO FACTOR

Este diseño se utiliza para comparar dos o más tratamientos, dado que sólo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Además el diseño experimental de un solo factor para esta investigación se explica a continuación:

Para la resistencia a la tracción (variable dependiente), considerando su factor a la unión de concreto nuevo y endurecido tratada (variable independiente), que consta de dos tratamientos experimentales: con adhesivo epóxico y sin adhesivo epóxico; y un tratamiento control: probeta monolítica. En el análisis de experimentos, la técnica estadística central es el llamado análisis de varianza ANOVA.

#### 2.5.1.1. ANOVA (Análisis De Varianza)

El objetivo del análisis de varianza en el diseño experimental con un solo factor es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable dependiente. Del cual se definen la hipótesis nula  $H_0$  y alterna  $H_A$ :

$H_0$ : La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con o sin adhesivo es igual, con respecto a la probeta monolítica

$H_A$ : La resistencia a la tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo es diferente a la tratada sin adhesivo, con respecto a la probeta monolítica

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_C$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_C$$

Donde:

$\mu_C$  = Media de probetas monolíticas

$\mu_1$  = Media de probetas de unión tratada con adhesivo epóxico

$\mu_2$  = Media de probetas de unión tratada sin adhesivo epóxico

Así, para un nivel de significancia  $\alpha$  prefijado, se rechaza  $H_0$  si:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$$

Donde:  $F_{\alpha, k-1, N-k}$  = percentil  $(1 - \alpha) \times 100$  de la distribución  $F$ .

También se rechaza  $H_0$  si:

$$\text{Valor} - p < \alpha ,$$

Donde: *valor-p* es el área bajo la distribución  $F_{k-1, N-k}$  a la derecha del estadístico  $F_0$ , es decir, el  $\text{valor} - p = P(F > F_0)$ .

Por lo mismo toda la información necesaria para calcular el estadístico  $F_0$  hasta llegar al *valor-p* se escribe en la tabla de análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la siguiente figura:

Tabla 2.14: Tabla para el ANOVA

FV	SC	GL	CM	$F_0$	Valor-p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

FUENTE: Análisis y diseño de experimentos. Humberto Gutiérrez- Tabla 3.4

Donde:

$Y_{ij}$  =  $j$ -ésima observación que se hizo en el tratamiento  $i$ .

$Y_{i.}$  = Suma de las observaciones del tratamiento  $i$ .

$\bar{Y}_{i.}$  = Media de las observaciones del tratamiento  $i$ .

$Y_{..}$  = Suma total de las  $N = n_1 + n_2 + n_k$  mediciones.

$\bar{Y}_{..}$  = Media global o promedio de todas las observaciones.





$n_i$  = Número de repeticiones o replicas observadas en el tratamiento  $i$ .

$k$  = Número de tratamientos

$N$  = Número total de muestras u observaciones

$SC_T$  = Suma total de cuadrados

$SC_E$  = Suma de cuadrados de error

$SC_{TRAT}$  = Suma de cuadrados de tratamientos

$CM_{TRAT}$  = Cuadrado medio de tratamientos

$CM_E$  = Cuadrado medio de error

$F_O$  = Estadístico de prueba.

Luego se tienen el modelo estadístico lineal por:  $Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$  Dónde:

$Y_{ij}$  Es la  $j$ -ésima observación que se hizo en el tratamiento  $i$ ,  $\mu_i$  es la media del nivel del factor  $i$ -ésimo, y  $\varepsilon_{ij}$  es el Error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

### 2.5.1.2. Verificación de los supuestos del Análisis de varianza:

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda sujeta a que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos son: normalidad, varianza constante (igual varianza de los tratamientos) e independencia. Esto es, la respuesta ( $Y$ ) se debe distribuir de manera normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes.

Es una práctica común utilizar la muestra de residuos para comprobar los supuestos del modelo, ya que si los supuestos se cumplen, los residuos o residuales se pueden ver como una muestra aleatoria de una distribución normal con media cero y varianza constante. Los residuos  $e_{ij}$ , se definen como la diferencia entre la respuesta observada ( $Y_{ij}$ ) y la respuesta predicha por el modelo ( $\bar{Y}_{ij}$ ), lo cual permite hacer un diagnóstico más directo de la calidad del modelo.

Los supuestos del modelo, en términos de los residuos, son:

1. Los  $e_{ij}$  siguen una distribución normal.
2. Los  $e_{ij}$  son independientes entre sí.



3. Los residuos de cada tratamiento tienen la misma varianza  $\sigma^2$ .

#### **Normalidad:**

El cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos consiste en graficar los residuos en la gráfica de probabilidad en papel ordinario o normal. Este supuesto se cumple si los residuos siguen una distribución normal, al graficarlos tienden a quedar alineados en una línea recta (que no es una línea de regresión), por lo tanto, si claramente no se alinean se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto. Cabe enfatizar el hecho de que el ajuste de los puntos a una recta no tiene que ser perfecto, dado que el análisis de varianza resiste pequeñas y moderadas desviaciones al supuesto de normalidad. Los cálculos necesarios para la gráfica de probabilidad en papel ordinario se hacen para dibujar los pares  $(e_{ij}, Z_i)$ .

#### **Varianza constante:**

Una forma de verificar el supuesto de varianza constante es graficando los predichos contra los residuos  $(\bar{Y}_{ij} \text{ vs } e_{ij})$ , por lo general  $\bar{Y}_{ij}$  va en el eje horizontal y los residuos en el eje vertical. Si los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal (sin ningún patrón claro y contundente), entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

#### **Independencia:**

La suposición de independencia se puede verificarse si se grafica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente. De esta manera, si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidencia de que existe una correlación entre los errores, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple. Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo.



### 2.5.1.3. Método de Dunnett (Comparación de tratamientos con un control)

Una vez que se rechaza  $H_0$  con el ANOVA, en ocasiones uno de los  $k$  tratamientos a comparar es el llamado tratamiento control y el interés fundamental es comparar los  $k-1$  tratamientos restantes con dicho control. Por facilidad, denotemos como tratamiento control al  $k$ -ésimo tratamiento. Hacer comparaciones con respecto al control implica probar las  $k-1$  hipótesis dadas por:

$$H_0: \mu_1 = \mu_C; H_A: \mu_1 \neq \mu_C$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_C; H_A: \mu_2 \neq \mu_C$$

Para cada hipótesis se calculan las diferencias observadas en las medias muestrales:  $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_k|$ ;  $i = 1, 2; k = c$

Además, cada diferencia de medias muestrales en valor absoluto que sea mayor que el estadístico de prueba de Dunnett se declara significativa y a la vez se rechaza la hipótesis nula como se indica:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_k| > D_\alpha(k-1, l) \sqrt{\frac{2CM_E}{n}}$$

Donde:

$D_\alpha(k-1, l)$  Se encuentra en la tabla 2 del Anexo 5;  $l$  son los grados de libertad del cuadrado medio del error.

### 2.5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

El análisis de los datos para el diseño experimental con un solo factor se realizó a todos los resultados que se obtuvieron de los ensayos a la edad de 7 y 28 días.

#### 2.5.2.1. Análisis de datos para 7 días de edad de concreto:

##### A. Definición de hipótesis nula y alterna:

Del ítem 2.5.1.1. Se tiene:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_C \quad (\text{Hipótesis nula})$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_C \quad (\text{Hipótesis alterna})$$

## B. Cálculos para el ANOVA:

Tabla 2.15: Cálculos para el ANOVA con 7 días de curado

CALCULO PARA EL ANOVA				
OBSERVACIONES	Con adhesivo	Sin adhesivo	Control	$K = 3$  $\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij}^2 = 9524.55$
	22.148	17.411	28.740	
	23.996	16.798	27.251	
	24.207	19.016	29.094	
	22.725	17.172	23.069	
	24.520	17.964	27.128	
$Y_i =$	140.321	108.639	159.350	$Y_{..} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij} = 408.310$  $N = \sum_{i=1}^6 n_i = 18$
$n_i =$	6	6	6	
$\bar{Y}_i =$	23.387	18.106	26.558	

FUENTE: Elaboración propia

### B1. Cálculo de Suma de Cuadrados (SC):

$$SC_T = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} = 262.493$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^4 \frac{Y_i^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{N} = 218.751$$

$$SC_E = SC_{TRAT} - SC_T = 43.742$$

Luego se calcula los grados de libertad (GL), los cuadrados medios (CM) el estadístico de prueba de acuerdo a la Tabla 2.12.

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1} = 109.376$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - k} = 2.916$$

$$F_O = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} = 37.507$$

## B2. Cálculo del valor - p:

El valor-p o valor de la significancia observada es el área bajo la curva de la distribución:  $F_{k-1, N-k} = F_{2,15}$  a la derecha de  $F_o = 37.507$ ; usando en el programa Microsoft Excel, se obtuvo:

Tabla 2.16: Cálculos del valor-p para 7 días de curado

Fo	GL- N = k - 1	GL-D = N - k
37.507	2	15
valor-p = P(F>Fo) =		0.000001456663

FUENTE: Elaboración propia

$$\text{Valor} - p = P(F > F_o) = 0.000001456663 = 1.457E - 06$$

Y gráficamente se puede observar:

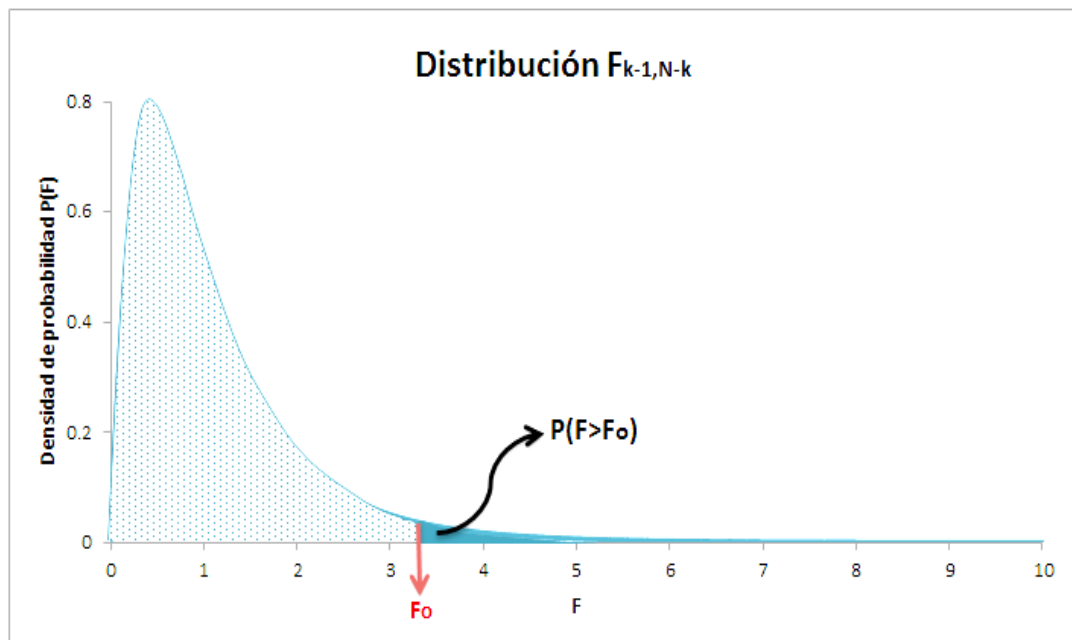


Figura 2.48 – Distribución  $F_{k-1, N-k}$  para 7 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

## B3. Cálculo del valor crítico F:

Para este cálculo se usa las tablas de la distribución F, en el apéndice la tabla 2, del que se lee el valor crítico F para  $\alpha = 0.05$  es  $F_{0.05,2,15} = 3.68$





#### B4. Construcción final de tabla para el ANOVA:

Entonces se tiene:

Tabla 2.17: Análisis de Varianza (ANOVA) para 7 días de curado

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p	Valor crit. F
Tratamientos	218.751	2	109.376	37.507	1.457E-06	3.682
Error	43.742	15	2.916			
TOTAL	262.493	17				

FUENTE: Elaboración propia

Luego:  $F_o = 37.507 > F = 3.682$  y  $valor - p = 1.457E - 06 < \alpha = 0.05$

Entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_A$  con lo cual se concluye que si hay diferencia o efecto de la unión tratada en cuanto a la resistencia a la tracción del concreto.

#### C. Verificación de supuestos:

##### C1. Verificación del supuesto de normalidad:

- ✚ Para verificar analíticamente el supuesto de normalidad se realizó la prueba de Shapiro-Wilks, mediante las siguientes hipótesis:

$H_0$ : Los datos proceden de una distribución normal.

$H_A$ : Los datos no proceden de una distribución normal.

Los pasos para la prueba de Shapiro-Wilks son:

1. Se calculan los residuos  $e_{ij}$ , luego se ordenan de menor a mayor. Denotemos los datos ordenados por  $X_1, X_2, \dots, X_I$

Tabla 2.18: Residuos para los 7 días de curado

	Observado ( $Y_{ij}$ )	Predicho ( $\bar{Y}_i$ )	Residuo ( $e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$ )
Unión tratada con adhesivo	22.148	23.387	-1.238
	23.996	23.387	0.609
	24.207	23.387	0.820
	22.725	23.387	-0.662
	24.520	23.387	1.133
	22.725	23.387	-0.662
Unión tratada sin adhesivo	17.411	18.106	-0.696
	16.798	18.106	-1.308
	19.016	18.106	0.910
	17.172	18.106	-0.934
	17.964	18.106	-0.142
	20.277	18.106	2.171
Probeta monolítica	28.740	26.558	2.182
	27.251	26.558	0.692
	29.094	26.558	2.536
	23.069	26.558	-3.490
	27.128	26.558	0.570
	24.068	26.558	-2.490

FUENTE: Elaboración propia

- De la tabla 4 dada en el Anexo VI para este procedimiento se obtienen los coeficientes  $a_1, a_2, \dots, a_k$ , donde  $k$  es aproximadamente  $n/2 = 18/2 = 9$ .
- Se calcula el estadístico  $W$  definido como:

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

Donde  $S^2$  es la varianza muestral. Lo anterior se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.19: Cálculo para el estadístico  $W$  de datos a 7 días

$i$	$a_i$	$[X_{(n-i+1)} - X_{(i)}]$	$a_i [X_{(n-i+1)} - X_{(i)}]$
1.00	0.49	6.03	2.94
2.00	0.33	4.67	1.52
3.00	0.26	3.48	0.89
4.00	0.20	2.37	0.48
5.00	0.16	1.84	0.29
6.00	0.12	1.52	0.18
7.00	0.08	1.35	0.11
8.00	0.05	1.27	0.06
9.00	0.02	0.71	0.01

FUENTE: Elaboración propia

De los datos anteriores y la varianza es  $S^2 = 2.57$  reemplazando en la formula se obtiene:  $W = 0.964$ . Con el tamaño de muestra  $n = 18$ , en la tabla 5 de valores críticos dada en el Anexo VI se lee que el cuantil 95 es  $W_{1-0.05} = 0.982$ .

4. Por último, el valor del estadístico es menor que su valor crítico al nivel  $\alpha$  seleccionado en la tabla del apéndice:  $W < W_{1-\alpha}$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula, y se cumple el supuesto de la normalidad de los datos.

Para verificar gráficamente el supuesto de normalidad se realizó la gráfica de probabilidad, con los pasos que se indican a continuación:

1. Se calcularon los residuos de 18 mediciones,  $e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$ . Los que se muestran en la tabla 2.18.
2. Ordenar los N valores del menor al mayor y asignarles los rangos de 1 a N. Sean  $r_i, i = 1, 2, \dots, N$ , los datos en orden creciente.
3. Calcular una posición de gráfica para cada dato en función de su rango  $i$  y del total de observaciones como  $(i - 0.5)/N, i = 1, 2, \dots, N$ .
4. Se obtiene el valor normal estandarizado Z; luego se dibuja los pares  $(e_{ij}, Z_i)$ . Para generar la gráfica además en que esta gráfica

Tabla 2.20: Cálculos para gráfica de supuesto de normalidad a los 7 días de curado

Residuo $e_{ij}$	Rango $i$	$(i-0.5)/N$	$Z_i = \Phi^{-1}((j - 0.5)/N)$
-3.490	1	0.028	-1.915
-2.490	2	0.083	-1.383
-1.308	3	0.139	-1.085
-1.238	4	0.194	-0.862
-0.934	5	0.250	-0.674
-0.696	6	0.306	-0.508
-0.662	7	0.361	-0.355
-0.662	8	0.417	-0.210
-0.142	9	0.472	-0.070
0.570	10	0.528	0.070
0.609	11	0.583	0.210
0.692	12	0.639	0.355
0.820	13	0.694	0.508
0.910	14	0.750	0.674
1.133	15	0.806	0.862
2.171	16	0.861	1.085
2.182	17	0.917	1.383
2.536	18	0.972	1.915

FUENTE: Elaboración propia

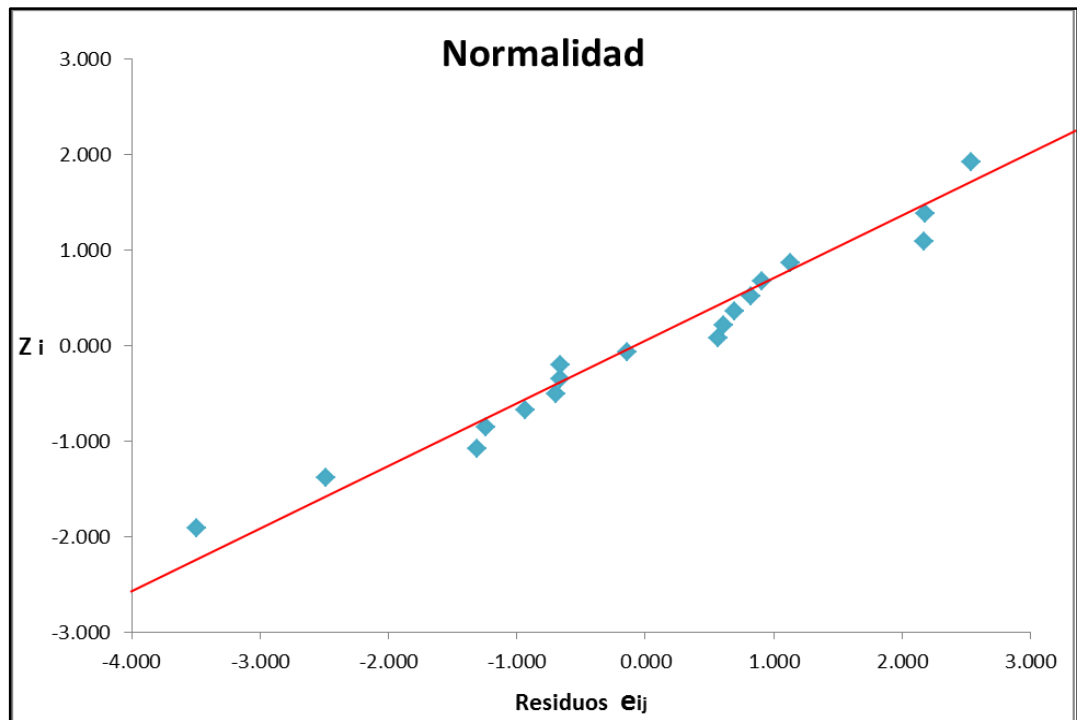


Figura 2.49 – Gráfica de probabilidad a 7 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el supuesto de normalidad se cumple, concordando con lo analizado en la prueba de Shapiro-Wilks

## C2. Verificación del supuesto de varianza constante:

Para verificar analíticamente el supuesto de homogeneidad de varianzas o varianza constante, se realizó la prueba de Bartlett, mediante las siguientes hipótesis:

$$H_o: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_A: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algun } i \neq j$$

Los pasos para la prueba de Bartlett son:

1. Se tienen los k=3 tratamientos, de los que se calcularon los residuos  $e_{ij}$ , como se muestra en la tabla 2.18
2. Se calcula el estadístico  $X_o^2$  definido como:

$$X_o^2 = \frac{\left[ \ln \left( \frac{\sum S^2(n-1)}{\sum(n-1)} \right) * \sum(n-1) \right] - \sum \ln[S^2(n-1)]}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

Donde  $S^2$  es la varianza muestral,  $n = 6$ , Luego se hacen los cálculos necesarios que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.21: Calculo para el estadístico de Bartlett de los datos a 7 días

Grupos	n	n-1	$S^2$	$S^2(n - 1)$	$\ln(S^2)$	$\ln(S^2(n - 1))$
CA	6	5	0.948	4.739	-0.054	-0.268
SA	6	5	1.725	8.627	0.546	2.728
CONTROL	6	5	6.075	30.375	1.804	9.021
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>15</b>		<b>43.742</b>		<b>11.480</b>

FUENTE: Elaboración propia

De los datos anteriores reemplazando en la formula se obtiene:  $X_0^2 = 4.38$ . Con el tamaño de tratamientos  $k = 3$ , en la tabla 6 de valores críticos dada en el Anexo VI se lee que el cuantil 95 es  $X_{(\alpha, k-1)}^2 = X_{(0.05, 2)}^2 = 5.99$ .

- Por último, el valor del estadístico es menor que su valor crítico al nivel  $\alpha$  seleccionado:  $X_0^2 < X_{(\alpha, k-1)}^2$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula, y se cumple el supuesto de varianza constante de los datos.

Para verificar gráficamente el supuesto de varianza constante se realizó la gráfica de predichos residuos contra  $(\hat{Y}_{ij} vs e_i)$ , que se muestra a continuación:

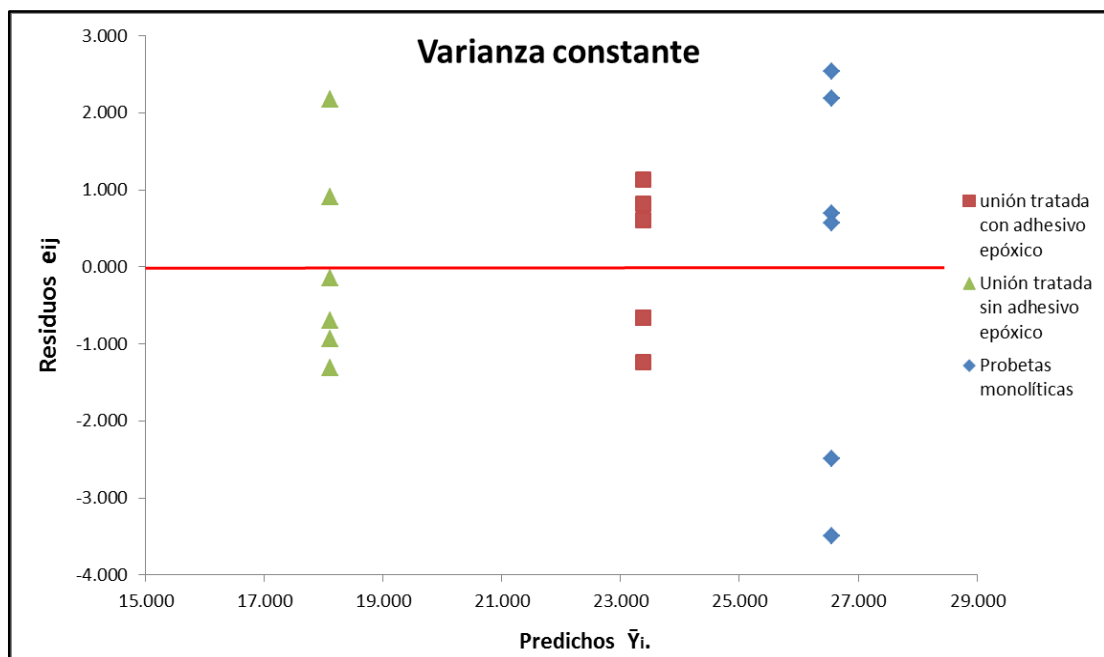


Figura 2.50 – Grafica de Residuos vs Predichos a 7 días de curado

FUENTE: Elaboración propia



De la gráfica anterior se observa que el supuesto de varianza constante se cumple, concordando con lo analizado en la prueba de Bartlett.

### C3. Verificación del supuesto de independencia:

Con los 18 residuos se procede a realizar la gráfica de orden de corrida contra residuos que se muestran a continuación:

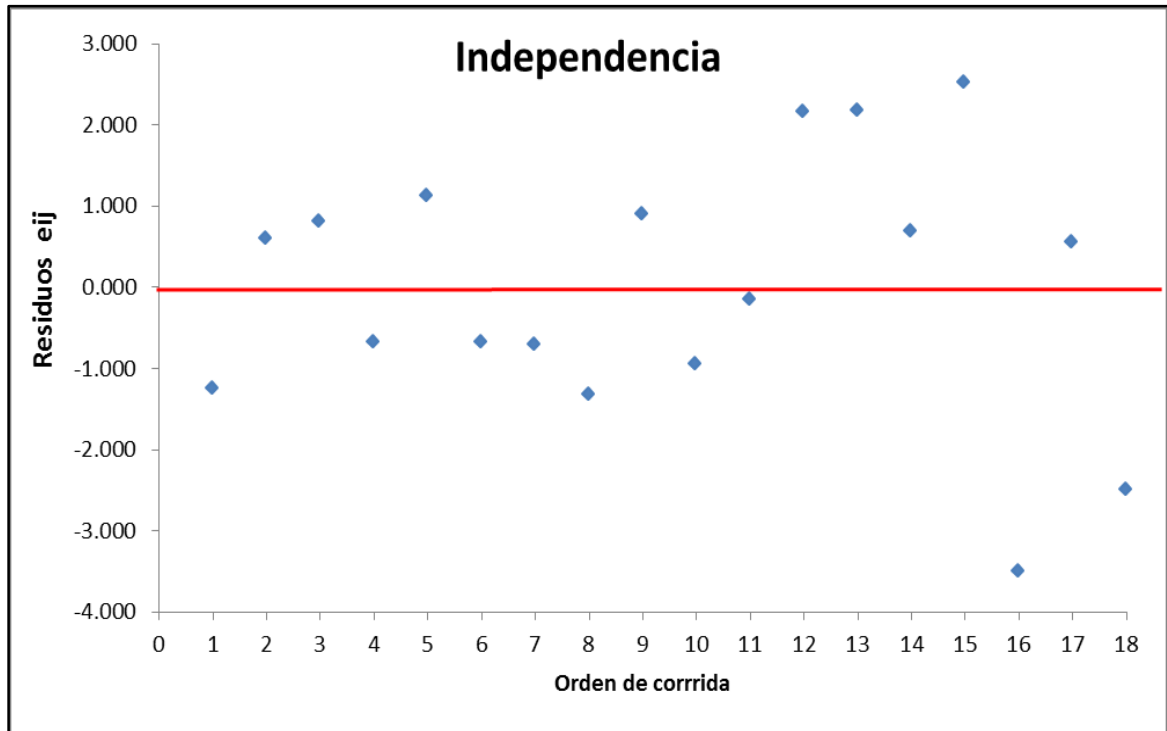


Figura 2.51 – Gráfica de Residuos vs Orden de corrida a 7 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el supuesto de independencia se cumple ya que los datos tienen una tendencia aleatoria.

Luego se requiere comparar las resistencias de las uniones tratadas con y sin adhesivo con respecto a la probeta monolítica, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

### D. Comparación de tratamientos con un control (Método de Dunnett):

Del ítem 2.5.1.2. Se tiene:  $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_k| > D_\alpha(k - 1, l) \sqrt{\frac{2CM_E}{n}}$

- ❖ Numero de réplicas:  $n = 6$
- ❖ Tratamientos:  $k = 3$ ;  $N = n * k = 18$
- ❖ Grados de libertad del error:  $l = N - k = 15$
- ❖ Constante para la prueba de Dunnett:

De tabla de valores críticos en la tabla 3 del Anexo VI:  $D_{\alpha}(2,15) = 2.44$

- ❖ Valor estadístico de prueba:  $D_a(k - 1, l) \sqrt{\frac{2CM_E}{n}} = 2.41$
- ❖ Media de los tratamientos:

Tabla 2.22: Media de los tratamientos para prueba de Dunnett de 7 días de curado

Media	Descripción	Diferencias
$\bar{Y}_1 = 23.387$	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_c = -3.17$
$\bar{Y}_2 = 18.106$	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	$\bar{Y}_2 - \bar{Y}_c = -8.45$
$\bar{Y}_c = 26.558$	Probetas monolíticas	

FUENTE: Elaboración propia

- ❖ Con los valores anteriores se obtiene:

Tabla 2.23: Prueba de Dunnett para 7 días de curado

Prueba de Dunnett	Decisión	Interpretación
$ \bar{Y}_1 - \bar{Y}_c  = 3.17 > 2.41$	Muy significativa	Con el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas
$ \bar{Y}_2 - \bar{Y}_c  = 8.45 > 2.41$	Significativa	Sin el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias lejanas a las probetas monolíticas

FUENTE: Elaboración propia

### E. Gráfica de medias de los tratamientos y un control:

Esta grafica permite hacer una comparación visual y estadística de las medias de los tratamientos. De manera específica, los intervalos en la gráfica de medias, se obtienen con:

$$\left[ \bar{Y}_i - t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{CM_E}{n}}; \bar{Y}_i + t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \right]$$

De esta forma, si dos intervalos se traslapan no habrá diferencias entre las medias de los tratamientos correspondientes. Note que  $\sqrt{CM_E/n}$  se está considerando como el error estándar o desviación estándar de la correspondiente media muestral. Por lo que se obtiene lo siguiente:

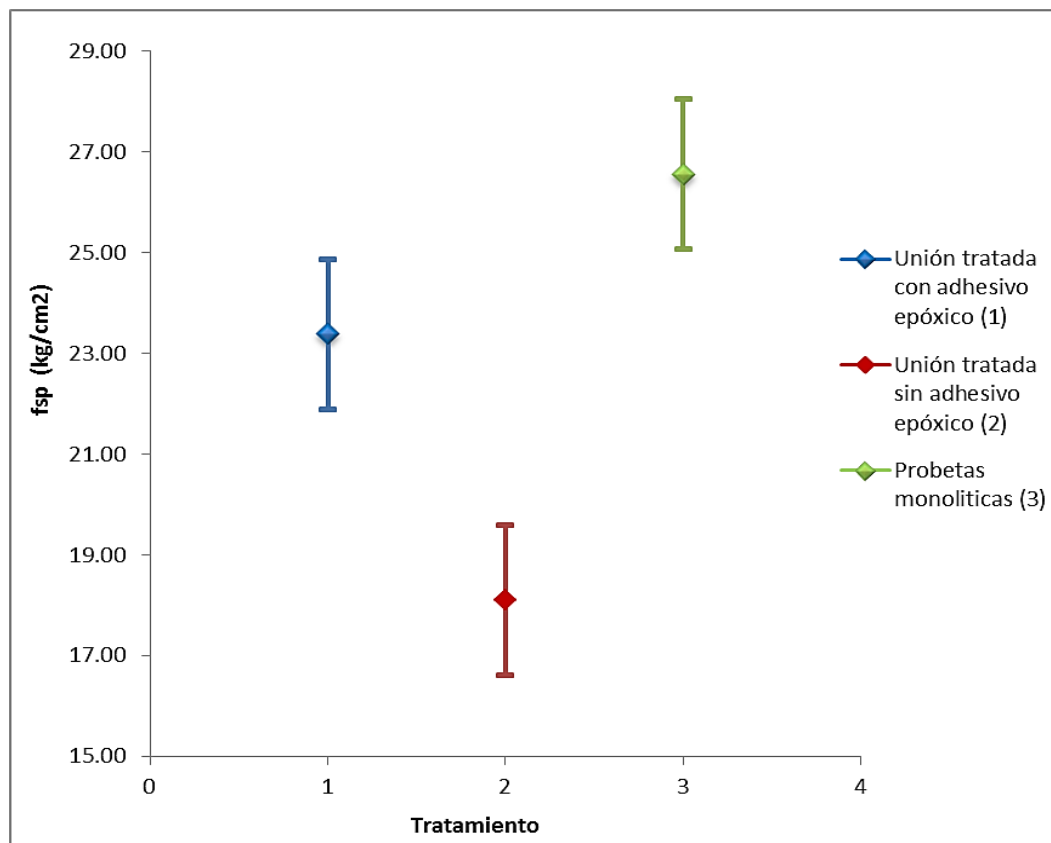


Figura 2.52 – Gráfica de medias de 7 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

### 2.5.2.2. Análisis de datos para 28 días de edad de concreto:

#### A. Definición de hipótesis nula y alterna:

Del ítem 2.5.1.1. Se tiene:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_C$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_C$$

#### B. Cálculos para el ANOVA:

Tabla 2.24: Cálculos para el ANOVA con 28 días de curado

CALCULO PARA EL ANOVA				
OBSERVACIONES	Con adhesivo	Sin adhesivo	Control	K = 3  $\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij}^2 = 11155.93$
	26.321	18.462	30.189	
	27.040	18.038	31.109	
	26.136	18.366	30.627	
	24.569	17.933	28.217	
	24.918	17.859	27.505	
26.508	18.100	27.932		
Yi. =	155.492	108.757	175.578	$Y_{..} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij} = 439.827$
ni =	6	6	6	$N = \sum_{i=1}^6 n_i = 18$
Ȳi. =	25.915	18.126	29.263	

FUENTE: Elaboración propia

#### B1. Cálculo de Suma de Cuadrados (SC):

$$SC_T = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} = 408.821$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^4 \frac{Y_{i.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{N} = 391.813$$

$$SC_E = SC_{TRAT} - SC_T = 17.008$$

Luego se calcula los grados de libertad (GL), los cuadrados medios (CM) el estadístico de prueba de acuerdo a la Tabla 2.24.

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1} = 195.906$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - k} = 1.134$$

$$F_o = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} = 172.773$$

## B2. Cálculo del valor - p:

El valor-p o valor de la significancia observada es el área bajo la curva de la distribución:  $F_{k-1, N-k} = F_{2,15}$  a la derecha de  $F_o = 172.773$ ; usando en el programa Microsoft Excel, se obtuvo:

Tabla 2.25: Cálculos del valor-p para 28 días de curado

Fo	GL- N = k - 1	GL-D = N - k
172.773	2	15
valor-p = P(F>Fo) =		0.000000000044003

FUENTE: Elaboración propia

$$\text{Valor} - p = P(F > F_o) = 0.000000000044003 = 4.400E - 11$$

Y gráficamente se puede observar:

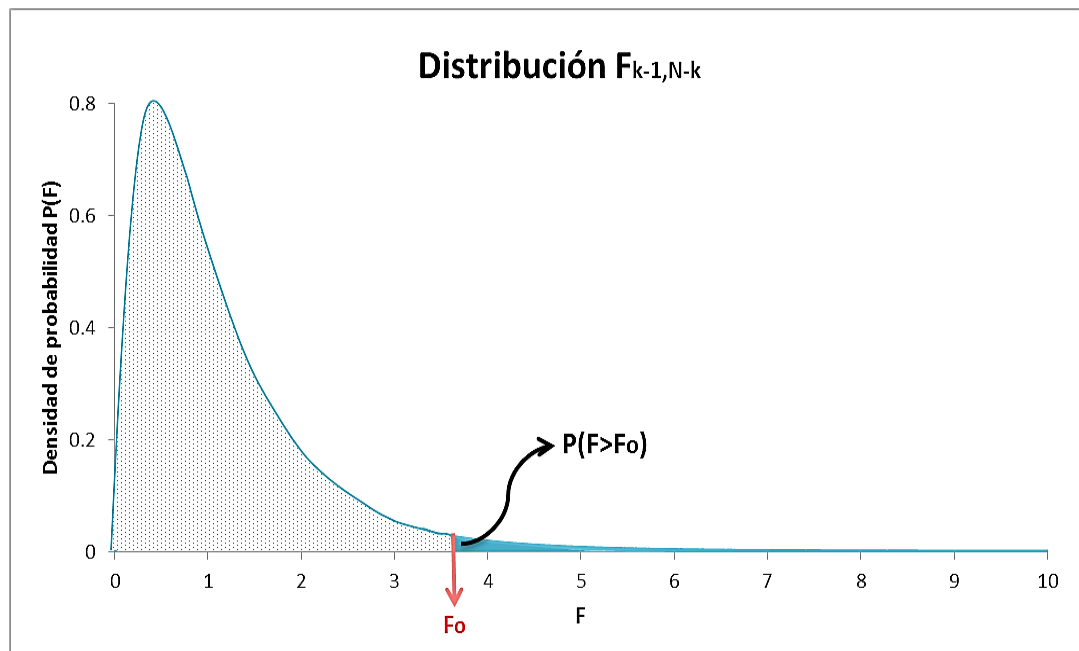


Figura 2.53 – Distribución F k - 1, N - k para 28 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia





### B3. Cálculo del valor crítico F:

Para este cálculo se usa las tablas de la distribución F, en el apéndice la tabla 2, del que se lee el valor crítico F para  $\alpha = 0.05$  es  $F_{0.05,2,15} = 3.68$

### B4. Construcción final de tabla para el ANOVA:

Entonces se tiene:

Tabla 2.26: Análisis de Varianza (ANOVA) para 28 días de curado

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p	Valor crit. F
Tratamientos	391.813	2	195.906	172.773	4.400E-11	3.682
Error	17.008	15	1.134			
TOTAL	408.821	17				

FUENTE: Elaboración propia

Luego:  $F_o = 172.773 > F = 3.682$  y  $valor - p = 4.400E - 11 < \alpha = 0.05$

Entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_A$  con lo cual se concluye que si hay diferencia o efecto de la unión tratada en cuanto a la resistencia a la tracción del concreto.

Por lo mismo se requiere comparar las resistencias de las uniones tratadas con y sin adhesivo con respecto a la probeta monolítica, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

### C. Verificación de supuestos:

#### C1. Verificación del supuesto de normalidad:

- ✚ Para verificar analíticamente el supuesto de normalidad se realizó la prueba de Shapiro-Wilks, mediante las siguientes hipótesis:

$H_o$ : Los datos proceden de una distribución normal.

$H_A$ : Los datos no proceden de una distribución normal.

Los pasos para la prueba de Shapiro-Wilks son:



1. Se calculan los residuos  $e_{ij}$ , luego se ordenan de menor a mayor. Denotemos los datos ordenados por  $X_1, X_2, \dots, X_I$

Tabla 2.27: Residuos para los 28 días de curado

	Observado $Y_{ij}$	Predicho $\bar{Y}_i$	Residuo $e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$
Unión tratada con adhesivo	26.321	25.915	0.406
	27.040	25.915	1.124
	26.136	25.915	0.221
	24.569	25.915	-1.346
	24.918	25.915	-0.997
	26.508	25.915	0.593
Unión tratada sin adhesivo	18.462	18.126	0.336
	18.038	18.126	-0.089
	18.366	18.126	0.240
	17.933	18.126	-0.194
	17.859	18.126	-0.267
	18.100	18.126	-0.026
Probeta monolítica	30.189	29.263	0.926
	31.109	29.263	1.846
	30.627	29.263	1.364
	28.217	29.263	-1.046
	27.505	29.263	-1.759
	27.932	29.263	-1.331

FUENTE: Elaboración propia

2. De la tabla 4 dada en el Anexo VI para este procedimiento se obtienen los coeficientes  $a_1, a_2, \dots, a_k$ , donde  $k$  es aproximadamente  $n/2 = 18/2 = 9$ .
3. Se calcula el estadístico  $W$  definido como:

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

Donde  $S^2$  es la varianza muestral. Lo anterior se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.28: Cálculo para el estadístico W de datos a 28 días

$i$	$a_i$	$[X_{(n-i+1)} - X_{(i)}]$	$a_i [X_{(n-i+1)} - X_{(i)}]$
1	0.49	3.60	1.76
2	0.33	2.71	0.88
3	0.26	2.46	0.63
4	0.20	1.97	0.40
5	0.16	1.59	0.25
6	0.12	0.67	0.08
7	0.08	0.53	0.04
8	0.05	0.33	0.02
9	0.02	0.25	0.00

FUENTE: Elaboración propia

De los datos anteriores y la varianza es  $S^2 = 1.00$  reemplazando en la fórmula se obtiene:  $W = 0.972$ . Con el tamaño de muestra  $n = 18$ , en la tabla 5 de valores críticos dada en el Anexo VI se lee que el cuantil 95 es  $W_{1-0.05} = 0.982$ .

- Por último, el valor del estadístico es menor que su valor crítico al nivel  $\alpha$  seleccionado en la tabla del apéndice:  $W < W_{1-\alpha}$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula, y se cumple el supuesto de la normalidad de los datos.

✚ Para verificar gráficamente el supuesto de normalidad se realizó la gráfica de probabilidad, con los pasos que se indican a continuación:

- Se calcularon los residuos de 18 mediciones,  $e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$ . Los que se muestran en la tabla 2.18.
- Ordenar los N valores del menor al mayor y asignarles los rangos de 1 a N. Sean  $r_i, i = 1, 2, \dots, N$ , los datos en orden creciente.
- Calcular una posición de gráfica para cada dato en función de su rango  $i$  y del total de observaciones como  $(i - 0.5)/N, i = 1, 2, \dots, N$ .
- Se obtiene el valor normal estandarizado Z; luego se dibuja los pares  $(e_{ij}, Z_i)$ . Para generar la gráfica además en que esta gráfica

Tabla 2.29: Cálculos para gráfica de probabilidad a 28 días de curado

Residuo $e_{ij}$	Rango $i$	$(i-0.5)/N$	$Z_i = \Phi^{-1}((j - 0.5)/N)$
-1.759	1	0.028	-1.915
-1.346	2	0.083	-1.383
-1.331	3	0.139	-1.085
-1.046	4	0.194	-0.862
-0.997	5	0.250	-0.674
-0.267	6	0.306	-0.508
-0.194	7	0.361	-0.355
-0.089	8	0.417	-0.210
-0.026	9	0.472	-0.070
0.221	10	0.528	0.070
0.240	11	0.583	0.210
0.336	12	0.639	0.355
0.406	13	0.694	0.508
0.593	14	0.750	0.674
0.926	15	0.806	0.862
1.124	16	0.861	1.085
1.364	17	0.917	1.383
1.846	18	0.972	1.915

FUENTE: Elaboración propia

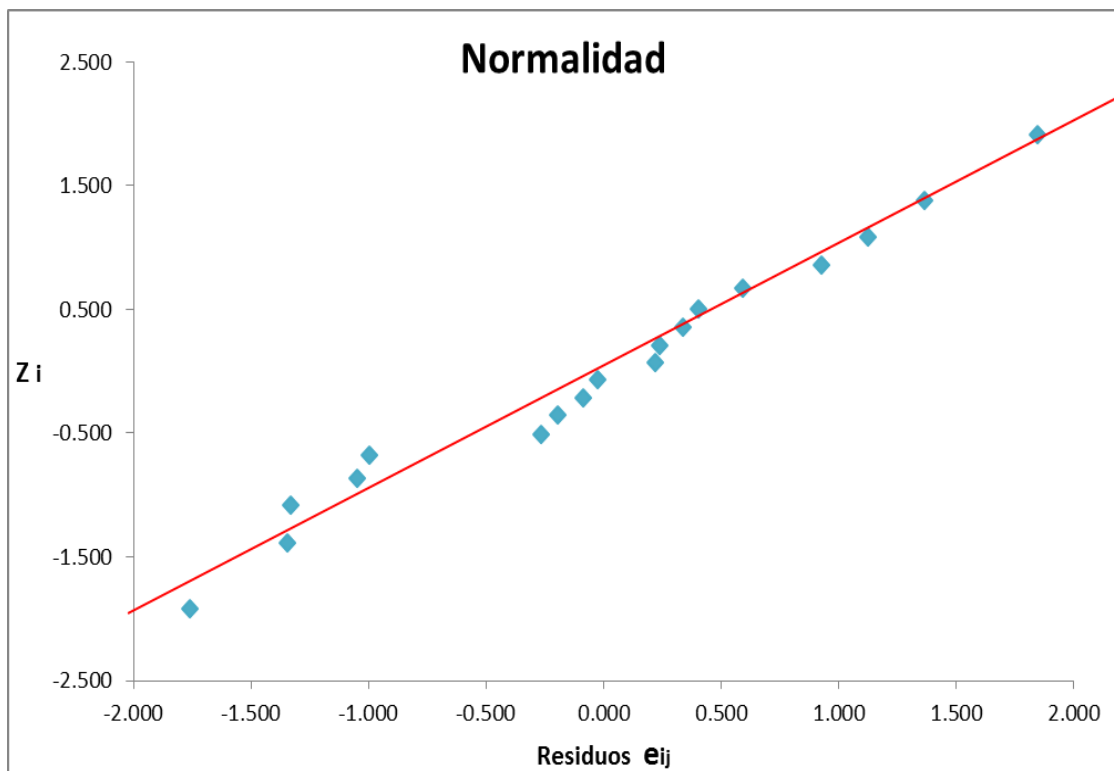


Figura 2.54 – Gráfica de probabilidad a 28 días de curado  
 FUENTE: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el supuesto de normalidad se cumple, concordando con lo analizado en la prueba de Shapiro-Wilks

## C2. Verificación del supuesto de varianzas constante:

Para verificar analíticamente el supuesto de homogeneidad de varianzas o varianzas constante, se realizó la prueba de Bartlett, mediante las siguientes hipótesis:

$$H_o: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_A: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algun } i \neq j$$

Los pasos para la prueba de Bartlett son:

- Se tienen los k=3 tratamientos, de los que se calcularon los residuos  $e_{ij}$ , como se muestra en la tabla 2.27
- Se calcula el estadístico  $X_o^2$  definido como:

$$X_o^2 = \frac{\left[ \ln \left( \frac{\sum S^2(n-1)}{\sum(n-1)} \right) * \sum(n-1) \right] - \sum \ln[S^2(n-1)]}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

Donde  $S^2$  es la varianzas muestral,  $n = 6$ , Luego se hacen los cálculos necesarios que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.30: Calculo para el estadístico de Bartlett de los datos a 7 días

Grupos	n	n-1	$S^2$	$S^2(n-1)$	$\ln(S^2)$	$\ln(S^2(n-1))$
CA	6	5	0.927	4.634	-0.076	-0.380
SA	6	5	0.260	1.300	-1.347	-6.735
CONTROL	6	5	2.417	12.086	0.883	4.413
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>15</b>		<b>18.021</b>		<b>-2.702</b>

FUENTE: Elaboración propia

De los datos anteriores reemplazando en la formula se obtiene:  $X_o^2 = 5.22$ .

Con el tamaño de tratamientos  $k = 3$ , en la tabla 6 de valores críticos dada en el Anexo VI se lee que el cuantil 95 es  $X_{(\alpha,k-1)}^2 = X_{(0.05,2)}^2 = 5.99$ .

6. Por último, el valor del estadístico es menor que su valor crítico al nivel  $\alpha$  seleccionado:  $X_0^2 < X_{(\alpha, k-1)}^2$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula, y se cumple el supuesto de varianza constante de los datos.

Para verificar gráficamente el supuesto de varianza constante se realizó la gráfica de predichos residuos contra  $(\hat{Y}_{ij} vs e_i)$ , que se muestra a continuación:

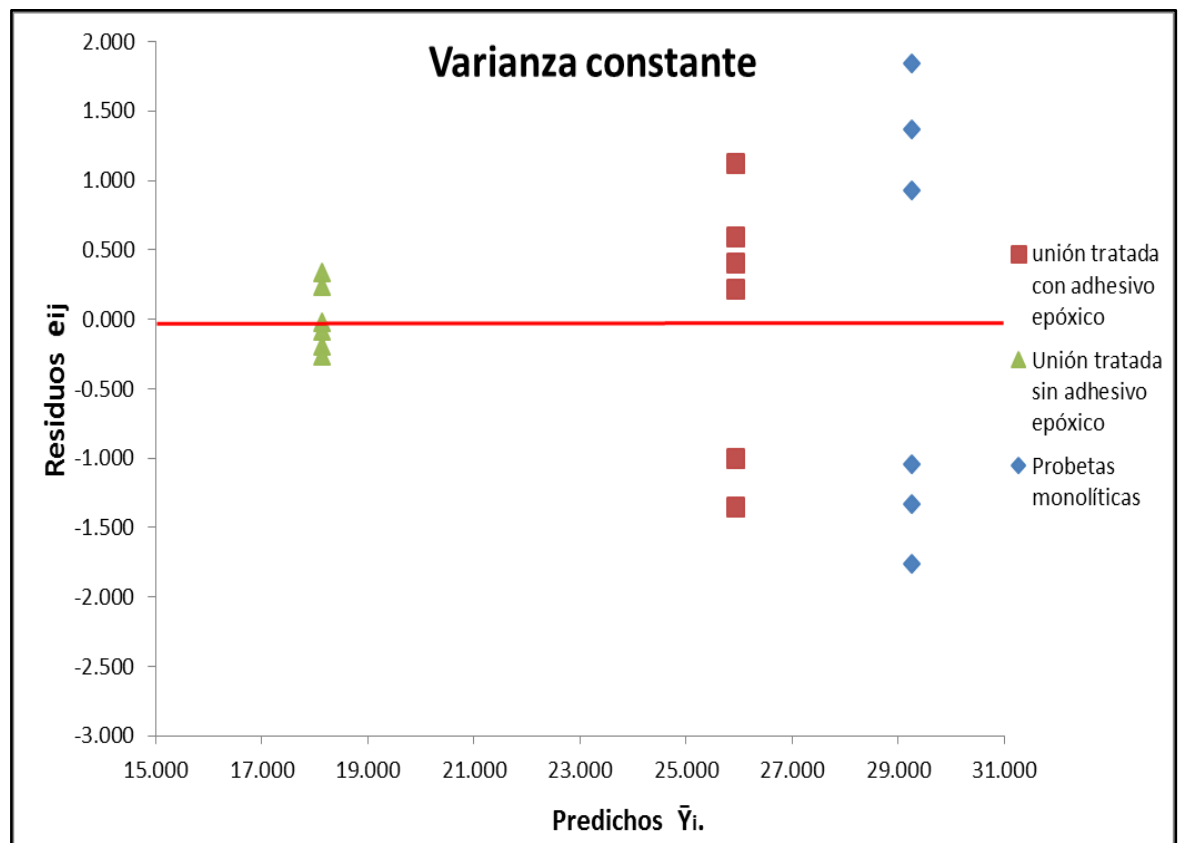


Figura 2.55 – Gráfica de Residuos vs Predichos a 28 días  
FUENTE: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el supuesto de varianza constante se cumple, concordando con lo analizado en la prueba de Bartlett.

### C3. Verificación del supuesto de independenciam:

Con los 18 residuos se procede a realizar la gráfica de orden de corrida contra residuos que se muestran a continuación:



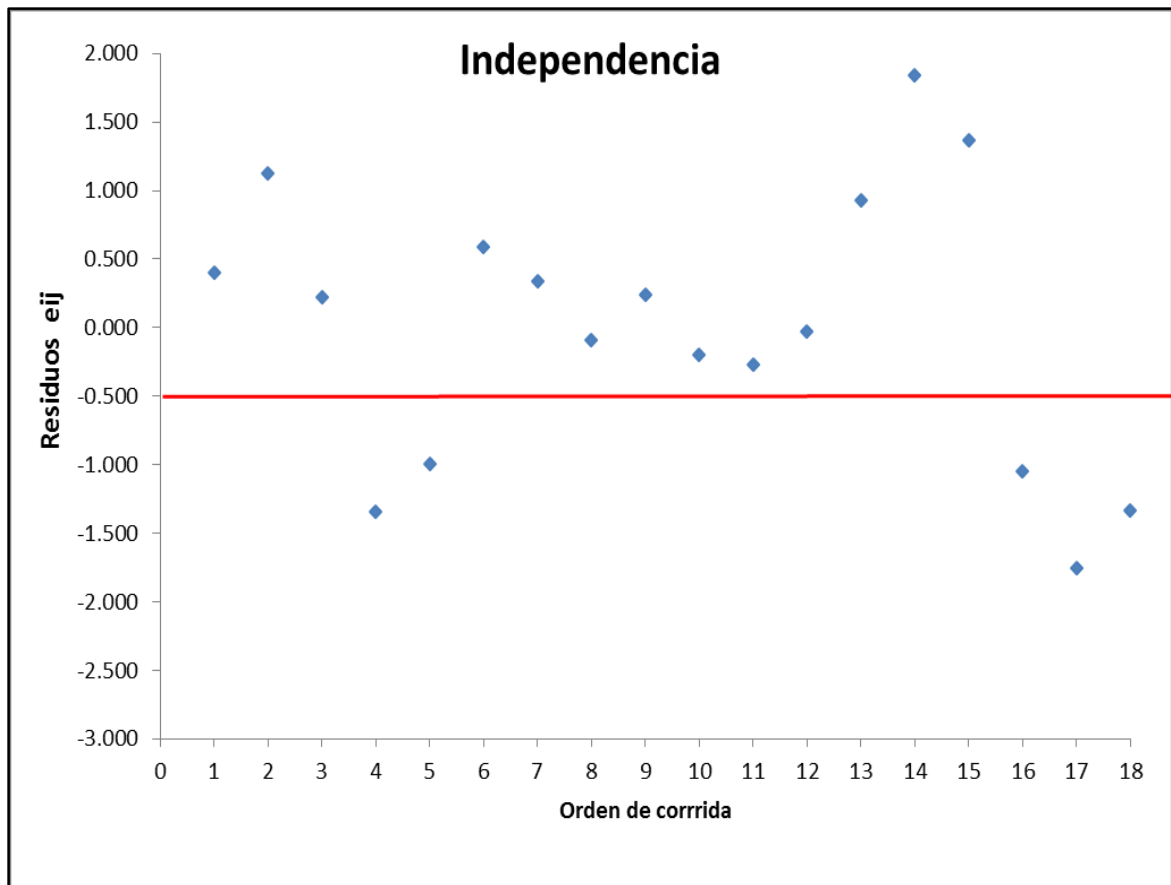


Figura 2.56 – Gráfica de Residuos vs orden de corrida a 28 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el supuesto de independencia se cumple ya que los datos tienen una tendencia aleatoria.

Luego se requiere comparar las resistencias de las uniones tratadas con y sin adhesivo con respecto a la probeta monolítica, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

#### D. Comparación de tratamientos con un control (Método de Dunnett):

Del ítem 2.5.1.2. Se tiene:  $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_k| > D_\alpha(k - 1, l) \sqrt{\frac{2CM_E}{n}}$

- ❖ Numero de réplicas:  $n = 6$
- ❖ Tratamientos:  $k = 3; N = n * k = 18$
- ❖ Grados de libertad del error:  $l = N - k = 15$
- ❖ Constante para la prueba de Dunnett:

De tabla de valores críticos en el apéndice:  $D_\alpha(2,15) = 2.44$

- ❖ Valor estadístico de prueba:  $D_\alpha(k - 1, l) \sqrt{\frac{2CM_E}{n}} = 1.500$
- ❖ Media de los tratamientos:

Tabla 2.31: Media de los tratamientos para prueba de Dunnett de 28 días de curado

Media	Descripción	Diferencias
$\bar{Y}_1 = 25.915$	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo epóxico	$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_c = -3.35$
$\bar{Y}_2 = 18.126$	Unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo epóxico	$\bar{Y}_2 - \bar{Y}_c = -11.14$
$\bar{Y}_c = 29.263$	Probetas monolíticas	

FUENTE: Elaboración propia

Con los valores anteriores se obtiene:

Tabla 2.32: Prueba de Dunnett para 28 días de curado

Prueba de Dunnett	Decisión	Interpretación
$ \bar{Y}_1 - \bar{Y}_c  = 3.35 > 1.50$	Muy significativa	Con el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas
$ \bar{Y}_2 - \bar{Y}_c  = 11.14 > 1.50$	Significativa	Sin el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias lejanas a las probetas monolíticas

FUENTE: Elaboración propia

### E. Gráfica de medias de los tratamientos y un control:

Esta grafica permite hacer una comparación visual y estadística de las medias de los tratamientos. De manera específica, los intervalos en la gráfica de medias, se obtienen con:

$$\left[ \bar{Y}_i - t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{CM_E}{n}}; \bar{Y}_i + t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \right]$$

De esta forma, si dos intervalos se traslapan no habrá diferencias entre las medias de los tratamientos correspondientes. Note que  $\sqrt{CM_E/n}$  se está considerando como el error estándar o desviación estándar de la correspondiente media muestral. Por lo que se obtiene lo siguiente:

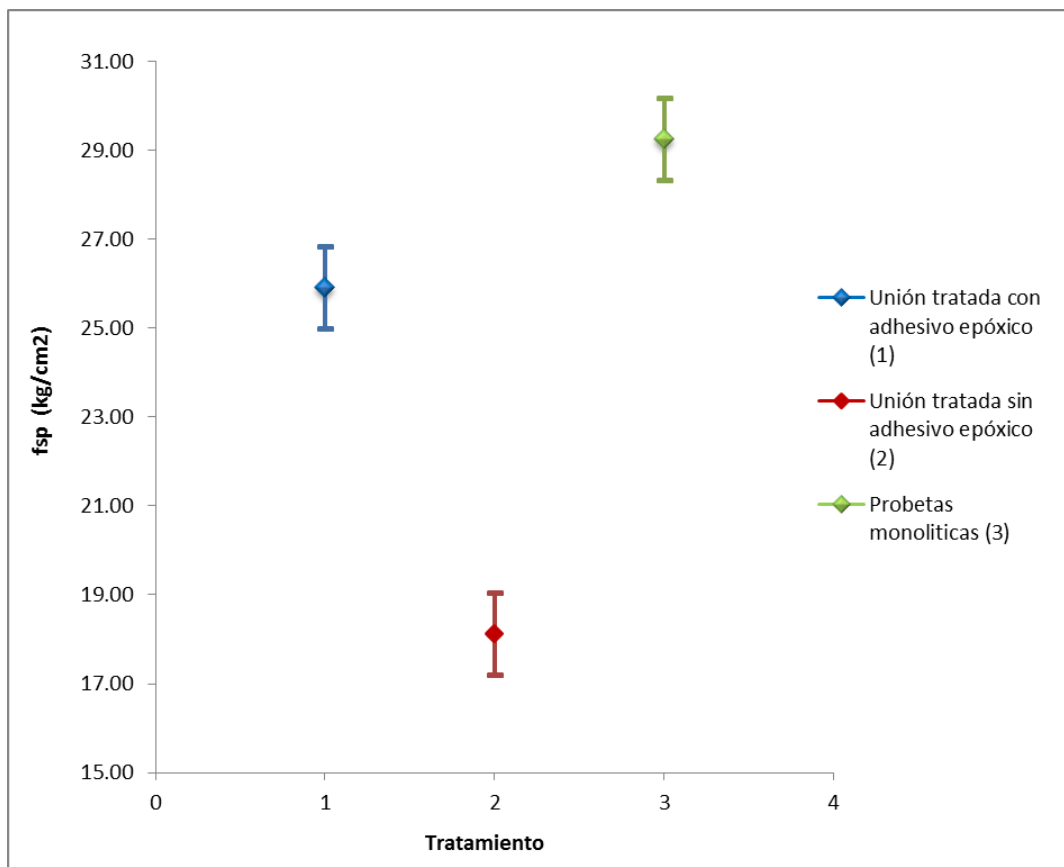


Figura 2.57 – Gráfica de medias de 28 días de curado

FUENTE: Elaboración propia



## CAPÍTULO III

---

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS



### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Se tiene el ANOVA para 7 y 28 días de edad del concreto que se indica en las siguientes tablas:

Tabla 3.1: ANOVA para los 7 días de curado

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p	Valor crit. F
Tratamientos	218.751	2	109.376	37.507	1.457E-06	3.682
Error	43.742	15	2.916			
TOTAL	262.493	17				

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 3.2: ANOVA para los 28 días de curado

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p	Valor crit. F
Tratamientos	391.813	2	195.906	172.773	4.400E-11	3.682
Error	17.008	15	1.134			
TOTAL	408.821	17				

FUENTE: Elaboración propia

De las tablas anteriores se observa en la 1° tabla: que  $F_o=37.507$  es mayor a valor crítico F y el  $\text{valor-p}=1.457E-06$  es menor que 0.05, en la 2° tabla:  $F_o=172.773$  es mucho mayor a valor crítico F y el  $\text{valor-p}=4.400E-11$  es mucho menor que 0.05 por lo que se rechazó la hipótesis nula; además este análisis nos demuestra que existe variabilidad entre los tratamientos experimentales y de control ya que la suma de cuadrados de tratamientos ( $SC_{\text{trat}}$ ) para 7 y 28 días es mucho mayor que la suma de cuadrados del error ( $SC_{\text{error}}$ ) en ambos casos; por lo que se concluye que la resistencia de unión de concreto nuevo y endurecido tratada con adhesivo es mayor a la unión de concreto nuevo y endurecido tratada sin adhesivo; y que estas dos a la vez son menores a la resistencia de la probeta monolítica.

Luego se tiene la prueba de Dunnett calculada en la tabla 3.3 y 3.4 para los para 7 y 28 días de edad del concreto como se muestra:



Tabla 3.3: Prueba de Dunnett para los 7 días de curado

Prueba de Dunnett	Decisión	Interpretación
$ \bar{Y}_1 - \bar{Y}_c  = 3.17 > 2.41$	Muy significativa	Con el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas
$ \bar{Y}_2 - \bar{Y}_c  = 8.45 > 2.41$	Significativa	Sin el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias lejanas a las probetas monolíticas

FUENTE: Elaboración propia

Se observa que la diferencia entre la resistencia en la unión tratada con adhesivo y la probeta monolítica a los 7 días es  $-3.17$ , su valor absoluto es mayor y cercano al  $2.41$ ; y la diferencia entre la resistencia en la unión tratada sin adhesivo y la probeta monolítica es  $-8.45$ , su valor absoluto es un valor mucho mayor y alejado al  $2.41$ ; de lo que se concluye que se tienen mejores resistencias con el uso de adhesivo epóxico en la unión tratada.

Tabla 3.4: Prueba de Dunnett para los 28 días de curado

Prueba de Dunnett	Decisión	Interpretación
$ \bar{Y}_1 - \bar{Y}_c  = 3.35 > 1.50$	Muy significativa	Con el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas
$ \bar{Y}_2 - \bar{Y}_c  = 11.14 > 1.50$	Significativa	Sin el uso de adhesivo epóxico en la unión de concreto nuevo y endurecido se obtiene resistencias lejanas a las probetas monolíticas

FUENTE: Elaboración propia

Se observa que la diferencia entre la resistencia en la unión tratada con adhesivo y la probeta monolítica a los 28 días es  $-3.35$ , su valor absoluto es mayor y cercano al  $1.50$ ; y la diferencia entre la resistencia en la unión tratada sin adhesivo y la probeta monolítica es  $-11.14$ , su valor absoluto es un valor mucho mayor y alejado al  $1.50$ ; de lo que se concluye que se tienen mejores resistencias con el uso de adhesivo epóxico en la unión tratada.



Cabe mencionar que se obtuvieron mayores diferencias en las uniones tratadas a los 28 días ya que las probetas monolíticas aumentan notablemente su resistencia a comparación de los 7 días; Además con prueba de Dunnett también se obtuvo la gráfica de medias como se indica en la figura 2.49 y 2.54; para hacer las comparaciones respectivas se muestra la figura a continuación:

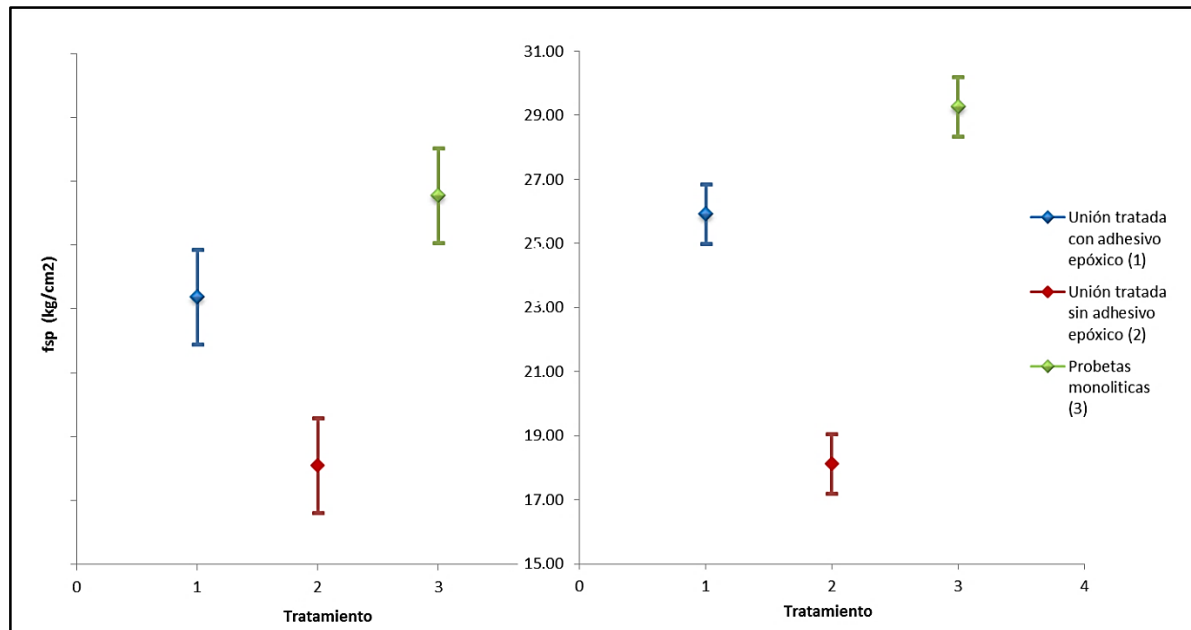


Figura 3.1 – Comparación de grafica de medias a 7 y 28 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

De la figura anterior se tiene: las resistencias en uniones tratadas sin adhesivo a los 7 y 28 días son similares es decir no tienen un incremento considerable en su evolución con el paso de los días, a diferencia de las resistencias en uniones tratadas con adhesivo a los 7 y 28 días tienen un incremento con el paso de los días; también para las probetas monolíticas se observa que su resistencia aumenta considerablemente; además la resistencia a tracción en uniones tratadas con adhesivo a los 7 días es el 88% de la resistencia en las probetas monolíticas y a los 28 días es el 89%.

Los supuestos para el análisis de resultados a los 7 y 28 días de edad de concreto se indican en las Figuras 3.2 y 3.3 para normalidad, Figura 3.4 y 3.5 para varianza constante, Figura 3.6 y 3.7 para independencia; los mismos que se muestran a continuación:

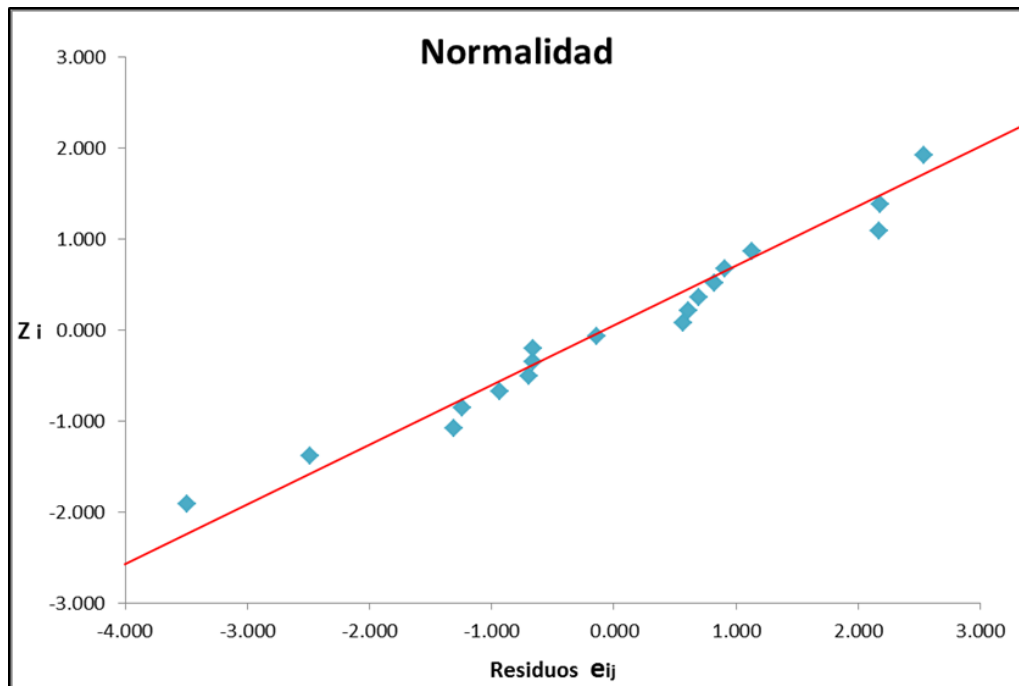


Figura 3.2 – Grafica del supuesto de normalidad de los 7 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia

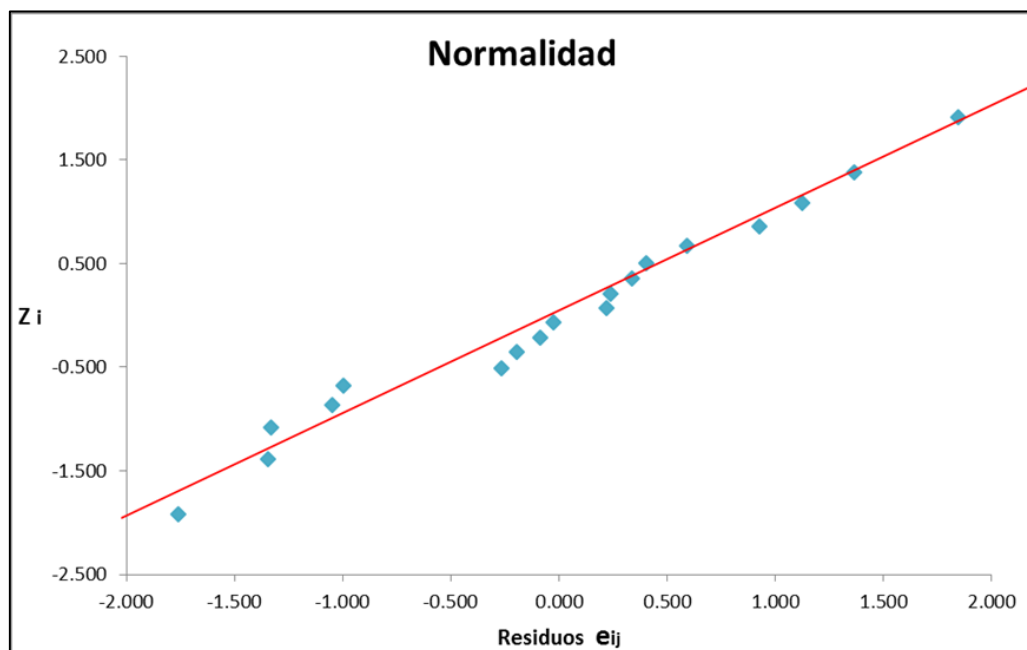


Figura 3.3 – Grafica del supuesto de normalidad de los 28 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia

En los gráficos anteriores para el supuesto de normalidad se observa que todos los puntos se ajustan a la línea recta por lo que este supuesto se cumple.

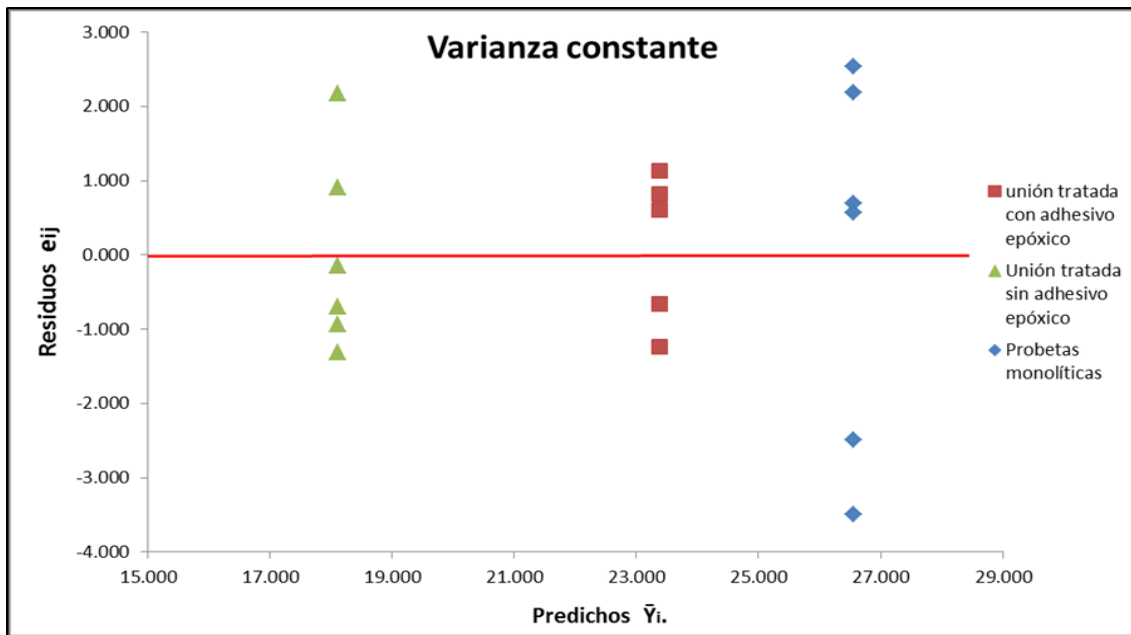


Figura 3.4 – Grafica del supuesto de varianza constante a los 7 días de curado  
 FUENTE: Elaboración propia

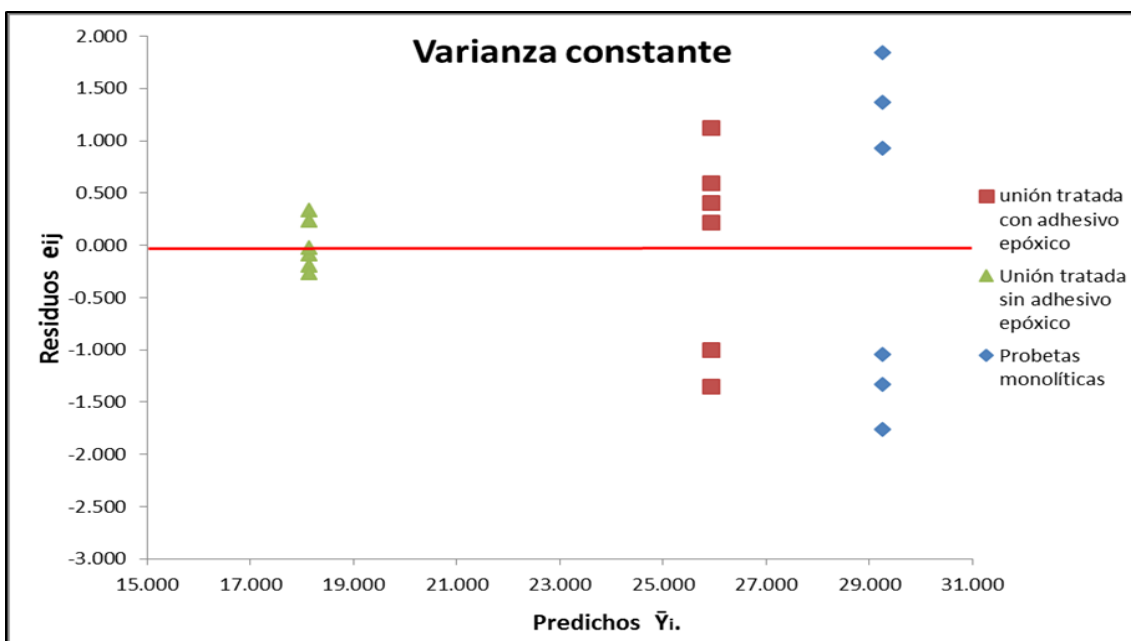


Figura 3.5 – Grafica del supuesto de varianza constante a los 28 días de curado  
 FUENTE: Elaboración propia

De las figuras anteriores, el supuesto de varianza constante se cumple ya que se observa que los puntos en la unión tratada sin adhesivo de 7 y 28 días de edad de concreto tienen menor varianza y además que son cercanas, en los puntos de la unión tratada con adhesivo se observa que tienen varianzas similares, en los puntos de la probeta monolítica se observa que sus varianzas

son similares y que son mayores, además que los predichos indicados en la figura 3.4 y 3.5 se observa que las resistencias más cercanas a las probetas monolíticas se obtienen en la unión tratada con adhesivo epóxico.

Luego se tienen las siguientes figuras para el supuesto de independencia:

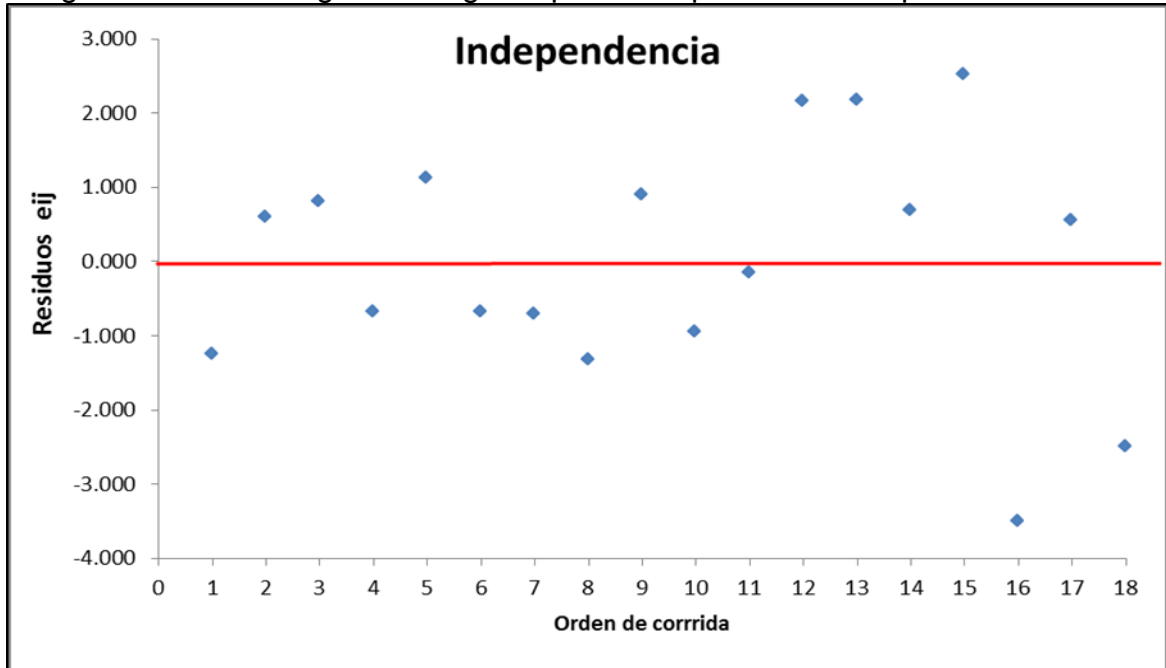


Figura 3.6 – Grafica del supuesto de independencia a los 7 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia

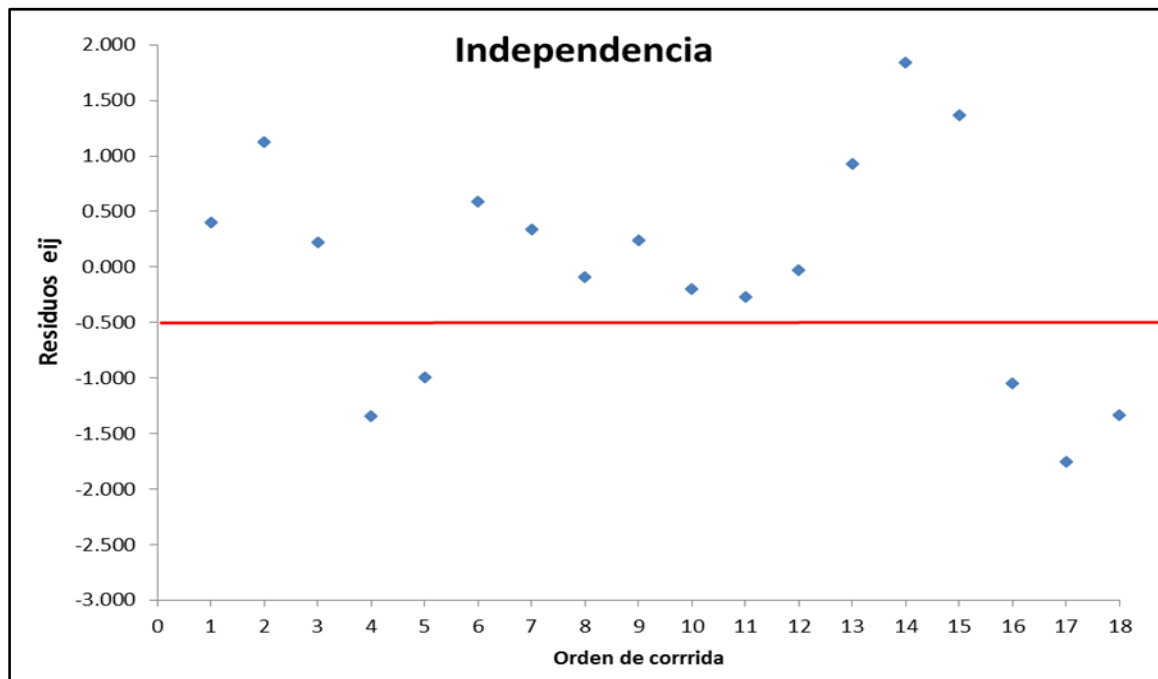


Figura 3.7 – Grafica del supuesto de independencia a los 28 días de curado  
FUENTE: Elaboración propia



En las figuras 3.6 y 3.7 se observa que el supuesto de independencia se cumple para los 7 y 28 días de edad de concreto ya que los puntos ordenados de acuerdo al orden de corrida no se ajustan a ninguna función o patrón no aleatorio; es decir los puntos son independientes.

### 3.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS INVESTIGACIONES:

En los resultados de ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral se tiene:

Tabla 3.5: Resistencia promedio de probetas experimentales, control a 7 y 28 días

	Resistencia a la tracción promedio de unión con adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de unión sin adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de probeta monolítica (kg/cm <sup>2</sup> )
7 Días	23.387	18.106	26.558
28 Días	25.915	18.126	29.263

FUENTE: Elaboración propia

Luego se calcula las resistencias a tracción para los 7 y 28 días de edad del concreto, con las siguientes ecuaciones:

$$f_{sp} = 1.7 * f'_c{}^{1/2} \dots\dots\dots \text{(Ecuación de MacGregor)}$$

$$f_{sp} = 0.726 * f'_c{}^{2/3} \dots\dots\dots \text{(Ecuación según Euro código)}$$

$$f_{sp} = 0.32 * f'_c{}^{0.8} \dots\dots\dots \text{(Ecuación de Brocks-Neville)}$$

Donde:

$f_{sp}$  = Resistencia a la tracción por compresión diametral.

$f'_c$  = Resistencia a la compresión

Luego se calcula la resistencia a compresión para los 7 días de edad de concreto con la fórmula que nos da el comité 209 del ACI:

$$(f'_c)_t = \frac{t}{4+0.85t} (f'_c)_{28} \text{ Donde: } t = \text{tiempo}$$

$$(f'_c)_7 = \frac{7}{4 + 0.85 * 7} * 210 = 148 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 3.6: Resistencia a la tracción de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville a 7 y 28 días.

		f'c a 7 días (148 kg/cm <sup>2</sup> )	f'c a 28 días (210 kg/cm <sup>2</sup> )
Ecuación de MacGregor	$f_{sp} = 1.7 * f'_c{}^{1/2}$	20.663	24.635
Ecuación de Euro código	$f_{sp} = 0.726 * f'_c{}^{2/3}$	20.289	25.650
Ecuación de Brocks-Neville	$f_{sp} = 0.32 * f'_c{}^{0.8}$	17.408	23.064

FUENTE: Elaboración propia

Luego se hace una comparación grafica de la resistencia a tracción obtenidas a los 7 días de edad del concreto con las resistencias a tracción que se obtienen con las ecuaciones de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville. Entonces se obtiene la siguiente figura:

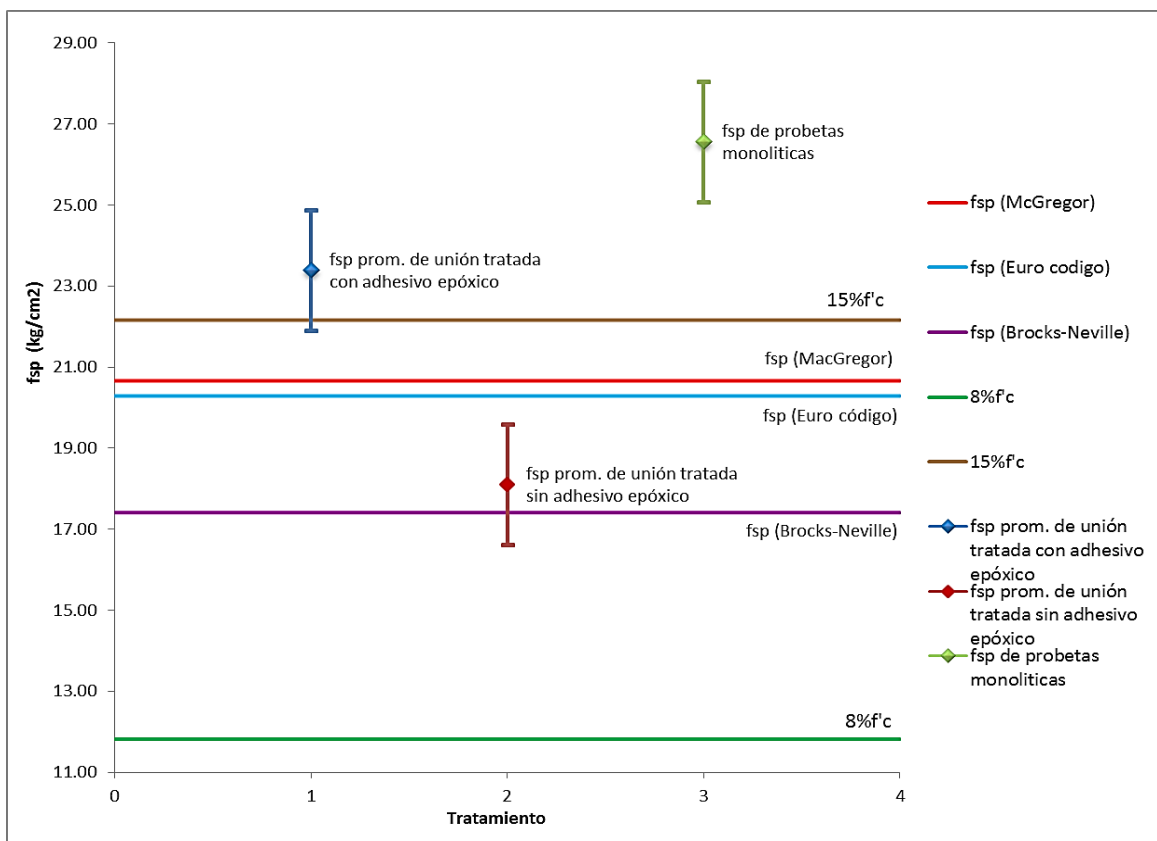


Figura 3.8 – Comparación grafica de resistencias a tracción a 7 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

De la figura anterior se observa que la ecuación de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville cumplen para las resistencias en uniones tratadas con adhesivo epoxico y probetas monolíticas.



La ecuación de Brocks-Neville cumple para las resistencias en uniones tratadas sin adhesivo epóxico, pero las ecuaciones de MacGregor y Euro código no cumplen, ya que esta unión presenta menores resistencias.

Luego se hace una comparación grafica de la resistencia a tracción obtenidas a los 28 días de edad del concreto con las ecuaciones de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville.

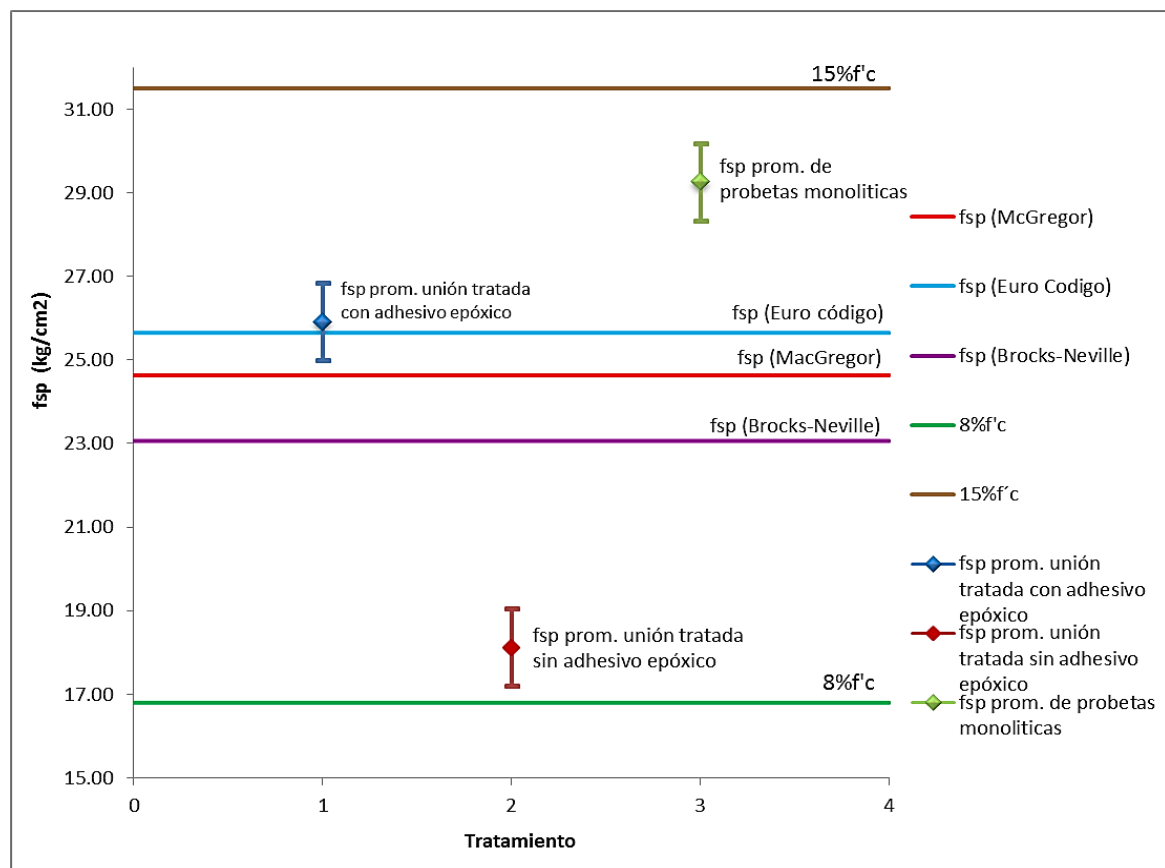


Figura 3.9 – Comparación grafica de resistencias a tracción a 28 días de curado

FUENTE: Elaboración propia

De la figura anterior se observa que la ecuación de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville cumplen para las resistencias en uniones tratadas con adhesivo epóxico y probetas monolíticas, pero no cumplen para las resistencias en uniones tratadas sin adhesivo epóxico.

Concluyendo que la ecuación de Brocks-Neville  $f_{sp} = 0.32 * f'_c^{0.8}$  no se debe usar en el análisis de resistencia tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido.



También se hizo la comparación del procesamiento de datos considerando y sin considerar los datos atípicos, mencionado en el ítem 4 de 2.4.2 y el Anexo VII, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.7: Resistencia promedio de procesamiento de datos considerando datos atípicos**

	Resistencia a la tracción promedio de unión con adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de unión sin adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de probeta monolítica (kg/cm <sup>2</sup> )
7 Días	23.387	18.106	26.558
28 Días	25.915	18.126	29.263

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 3.8: Resistencia promedio de procesamiento de datos sin considerar datos atípicos**

	Resistencia a la tracción promedio de unión con adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de unión sin adhesivo (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción promedio de probeta monolítica (kg/cm <sup>2</sup> )
7 Días	23.387	17.631	25.463
28 Días	25.638	18.126	29.748

FUENTE: Elaboración propia

De los cuadros anteriores podemos observar en cada resistencia a la tracción promedio en las probetas experimentales y monolíticas a los 7 y 28 días, que hay una variabilidad mínima en los resultados, además se obtuvieron las mismas conclusiones en la comparación con las otra investigaciones de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville; por lo que se concluye que los datos atípicos no tienen influencia en los resultados de esta investigación.



## CONCLUSIONES

Es posible el uso del método científico para realizar trabajos de investigación, con la aplicación del diseño experimental con un solo factor en el que se planeó hacer las comparaciones de dos o más tratamientos.

Con el Análisis de varianza (ANOVA) y el Método de Dunnett se analizaron las resistencias a tracción de la unión tratada con adhesivo, sin adhesivo y probetas monolíticas; concluyendo que la unión tratada con adhesivo tiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas, comparada con la unión tratada sin adhesivo; lo que permitió rechazar las hipótesis nulas  $H_0$ .

La resistencia a la compresión obtenida a los 7 días de curado fue  $170\text{kg}/\text{cm}^2$  que es 81% de la resistencia requerida  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ ; a 14 días,  $233.14\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 110% y a los 28 días,  $255.10\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 121%; del que se concluye que se obtuvo un concreto de buena calidad.

De la resistencia a tracción indirecta en las probetas monolíticas a los 7 días de curado, se concluye que todos los resultados obtenidos se encuentran entre el 15% y el 19% de la resistencia a la compresión; y a los 28 días de curado, se concluye que todos los resultados obtenidos se encuentran entre el 13% y el 15% de la resistencia a la compresión.

Las resistencias a la tracción indirecta promedios obtenidas a los 7 días de curado son, en la unión tratada con adhesivo,  $23,387\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 88%, en la unión tratada sin adhesivo,  $18,106\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 68%; de la resistencia a tracción en las probetas monolíticas  $26,558\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 100%.

Las resistencias a la tracción indirecta promedios obtenidas a los 28 días de curado son: en la unión tratada con adhesivo,  $25,915\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 89%, en la unión tratada sin adhesivo,  $18,126\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 62%, de la resistencia a tracción en las probetas monolíticas  $29,263\text{kg}/\text{cm}^2$  que es el 100%



De las comparaciones con las ecuaciones de MacGregor, Euro código y Brocks-Neville, se concluye que las ecuaciones de MacGregor y Euro código son las más adecuadas para el análisis de resistencia tracción en la unión de concreto nuevo y endurecido; la ecuación de Brocks-Neville  $f_{sp} = 0.32 * f'_c{}^{0.8}$  se descarta ya que es confusa, porque a los 7 días de curado admite resistencias menores a tracción en la unión tratada sin adhesivo y a los 28 días los rechaza.

Del procesamiento y análisis de datos considerando y sin considerar datos atípicos, se obtuvo las mismas conclusiones; la unión tratada con adhesivo tiene resistencias más cercanas a las probetas monolíticas, comparada con la unión tratada sin adhesivo; concluyendo que los datos atípicos no tienen influencia en los resultados de esta investigación.



## RECOMENDACIONES

Para obtener resultados válidos y confiables se recomienda usar el método científico con la aplicación del diseño experimental en investigaciones para ingeniería ya que su análisis estadístico es el más eficaz en pruebas experimentales.

Para que en las investigaciones no se vea afectado por variables extrañas se recomienda contar con mano de obra calificada para la elaboración y ensayos de laboratorio.

Para tener un desencofrado sin daños de especímenes se recomienda usar el aire comprimido.

En ejecución de obras se recomienda el uso de adhesivo epóxico para el tratamiento de unión de concreto nuevo y endurecido.



## LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Se recomienda el estudio del efecto del tipo de unión en la superficie de contacto del concreto nuevo y endurecido.
- Se recomienda el estudio del efecto del tipo de cemento en la superficie de contacto del concreto nuevo y endurecido.
- Se recomienda el estudio con las variaciones de ángulos en la unión en la superficie de contacto del concreto nuevo y endurecido.





## BIBLIOGRAFÍA

- Archila, G. A. (2007). *Evaluación sobre adherencia entre concreto antiguo y concreto nuevo con dos tipos de epóxicos*. Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- ASTM.E178. (2008). *Standard Practice for Dealing With Outlying Observations*. ASTM INTERNATIONAL.
- Barbera, E., Balash, S., & Moscardó, J. (1985). *Resistencia a tracción indirecta del hormigón por doble punzonamiento, influencia del tamaño máximo del árido y de la excentricidad*. Informe de Construcción, Concejo Superior de Investigaciones Científicas, Valencia.
- Castillo, G. A. (2008). *Comportamiento de juntas de hormigonado a los esfuerzos de compresión y flexotracción en hormigones H30, H25, H20*. Tesis para optar el título de ingeniero constructor, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- CEB - FIP MODEL CODE. (1990). *Comité Euro - International du Beton*.
- Foncela, C., & Levy, H. (1963). *Juntas de hormigonado*. Memoria de título, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Universidad de Chile.
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Harmsen, T. A. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Fondo Editorial, 3ra Edición.
- Jimenez, P., Garcia, A., & Morán, F. (1991). *Hormigón Armado*. Barcelona: 14ava Edición. Editorial Gustavo Gili.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos "Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación"*. Mexico: Thomson Learning.
- Labbe, L. (2013). *Anteproyecto de norma de ensayos de hormigon a fatiga por hendimiento*. Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Austral de Chile.
- MacGregor, J. G. (1997). *Reinforced Concrete - Mechanics and Design*. 3ra Edición. Prentice Hall.
- Mccormac, J. (2002). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfa Omega.
- Montgomery. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*. Arizona: 2da Edición, Editorial Limusa Wiley .



- Murphy, T., & Lau, A. T. (Diciembre de 2008). *ASTM STANDARDIZATION NEWS*.  
Obtenido de Magazines&Newsletters:  
[http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints\\_spnd08.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.html)
- Norma ASTM C39, 1. (s.f.). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- Norma ASTM C496, 1. (s.f.). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- Ottazzi, G. (2004). *Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento de concreto armado*. Tesis para optar el grado de magister en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ottazzi, G. (2011). *Diseño de concreto armado*. Lima: Editorial PUCP.
- Pereperez, B. (1985). *La resistencia a compresión simple, la resistencia a tracción y el módulo de deformación de hormigones fabricados con cemento pa-350*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia.
- Perez, A. (1981). *Usos de adhesivos en juntas de hormigonado*. Memoria para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- RNE. (2011). *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.060 Concreto Armado*.
- Rodriguez, J. P. (2012). *Estudio comparativo del comportamiento mecánico y permeabilidad de juntas frías de hormigonado materializadas con mallas metálicas*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Sanchez, H. (2006). *Metodología y diseño de la investigación científica*. Huánuco: Visión Universitaria.
- Urrutia, R. (2011). *Determinación de parámetros que afectan la resistencia a fatiga de hormigones*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Austral de Chile.



## ANEXOS