

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Trabajo Especial de Grado

**EVALUACIÓN COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE COLUMNAS DE CONCRETO
REPARADAS MEDIANTE ENCAMISADO CON MORTEROS REFORZADOS. PARTE**

1.

Presentado ante la

Universidad Católica Andrés Bello

Como parte de los requisitos para optar al título de INGENIERO CIVIL

Realizado por: William David Freite Vergara
Osmar Alexander Rosales Chacón

Profesor guía: Ing. Yelitza Sirit

Caracas, octubre de 2022.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
COLUMNAS DE CONCRETO REPARADAS MEDIANTE
ENCAMISADO CON MORTEROS REFORZADOS. PARTE 1.**

**Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha
evaluado su contenido con el resultado: VEINTE (20) PTOS**

JURADO EXAMINADOR



Firma:



Firma:



Firma:

Nombre: Javier Rodríguez

Nombre: Wilson González

Nombre: Yelitza Sirit

REALIZADO POR

William David Freite Vergara

Osmar Alexander Rosales Chacón

PROFESOR GUÍA

ING. Yelitza Sirit

FECHA:

Caracas, Octubre de 2022

SINOPSIS

El presente trabajo de investigación plantea el estudio del comportamiento mecánico de columnas cortas reparadas con morteros reforzados sometidos a carga axial con una variación en la superficie de aplicación.

Se analizaron 10 probetas con las siguientes características:

- Tres (3) probetas en su condición inicial sin encamisado sometidas a cargas axiales distribuidas uniformemente en toda su sección (LC0).
- Tres (3) probetas con encamisado de mortero reforzado sometidas a cargas axiales en el núcleo y apoyadas en la base solamente en la zona del encamisado (LC1).
- Cuatro (4) probetas con encamisado de mortero reforzado sometidas a cargas axiales distribuidas uniformemente en la superficie del tope y apoyadas en la base solamente en la zona del encamisado (LC2).

Este estudio demostró el aporte generado por el puente adherente y la sección del encamisado y como la variación en la distribución de carga sobre las columnas influye en el comportamiento mecánico de las mismas, dándose en el caso LC1 una falla por adherencia mientras que en el caso LC2 una falla de adherencia y compresión en simultaneo.

Los análisis para determinar el comportamiento mecánico de cada probeta fueron realizados mediante a los gráficos de tensión – deformación y variación volumétrica, obtenidos por medio de los ensayos realizados en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Católica Andrés Bello.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material diseñado principalmente para soportar esfuerzos por compresión, conocer las propiedades mecánicas del mismo y como responden frente a sollicitaciones de carga axial es de suma importancia en el ámbito de la construcción, debido a esto, se propone el estudio del comportamiento mecánico de columnas cortas reparadas con un encamisado de concreto reforzado sometidas a variaciones en la aplicación de carga axial sobre estas.

En los últimos años, se han diseñado varios tipos de refuerzos para columnas utilizando diferentes materiales, dentro del que destaca la fibra de carbono. Estudios anteriores han demostrado como este tipo de fibra incrementa considerablemente las propiedades mecánicas de los miembros estructurales reforzados. Este tipo de solución para reparar columnas suele ser costoso y evaluando la situación económica del país, se considera el método de encamisados con morteros reforzados como una mejor solución para la reparación de columnas.

Se evaluaron 10 probetas de las cuales tres (3) fueron utilizadas para tener un punto de referencia en cuanto a sus propiedades mecánicas, estas no contaban con el encamisado de mortero reforzado y fueron sometidas a cargas axiales aplicadas de manera uniforme en toda su sección. Por otra parte, las seis (6) columnas restantes si fueron reforzadas con el encamisado de mortero estructural, con variaciones en la aplicación de carga sobre su superficie.

Conociendo las gráficas tensión – deformación, así como las gráficas de variación volumétrica de las columnas cortas, se puede determinar parámetros como la resistencia, la deformación unitaria, la tenacidad y el módulo de elasticidad, valores que son determinantes para estudiar el comportamiento mecánico. Con estas graficas se puede comparar las propiedades mencionadas anteriormente y conocer el efecto que tiene sobre estas columnas la variación de la distribución de carga en la superficie de aplicación.

ÍNDICE

CAPITULO I	10
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Antecedentes	11
1.3 Objetivos de la investigación	12
1.3.1 Objetivo General.	12
1.3.2 Objetivos Específicos.	12
1.3.3 Alcances y limitaciones	12
CAPITULO II	13
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Fundamentos teóricos.....	13
2.1.1 Encamisado de concreto.....	13
2.1.2 Relación tensión-deformación.	13
2.1.3 Tenacidad.	14
2.1.4 Relación de Poisson.....	15
2.1.5 Adhesión.....	15
2.1.6 Adhesivos estructurales	15
CAPITULO III	17
MARCO METODOLOGICO	17
3.1 Naturaleza y tipo de investigación	17
3.2 Población	17
3.3 Muestra.....	17
3.4 Recolección de datos	17
3.5 Equipos utilizados	17
3.6 Accesorios utilizados.....	17
3.7 Herramientas utilizadas.....	18
3.8 Variables estudiadas y unidades de trabajo	18
3.8.1 Variables dependientes.....	18
3.8.2 Variables independientes.	18
3.8.3 Factores constantes.	18
3.8.4 Parámetros constantes.	18
3.9 Materiales utilizados, propiedades y características	18

3.9.1	Concreto.	19
3.9.2	Resina epóxica.....	19
3.9.3	Diseño experimental.....	19
3.10	Fase de ejecución	20
3.10.1	Documentación.	20
3.10.2	Ensayos iniciales.....	21
3.10.3	Revisión de muestras.....	21
3.10.4	Ejecución de ensayos.	21
CAPITULO IV		24
ANALISIS DE RESULTADOS		24
4.1	Comportamiento Tensión – Deformación Axial.....	24
4.1.1	Columnas en condición inicial caso de carga LC0.....	24
4.1.2	Columnas reforzadas con encamisado bajo patrón de carga LC1.....	25
4.1.3	Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.	29
4.2	Deformación Transversal	34
4.2.1	Columnas en condición inicial bajo patrón de carga LC0.....	34
4.2.2	Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC1	34
4.2.3	Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.	36
4.3	Relación Tensión/Tensión máx. – Variación Volumétrica.	37
4.3.1	Columnas en condición inicial bajo patrón de carga LC0.....	37
4.3.2	Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC1.	38
4.3.3	Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.	39
CAPITULO V		41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		41
5.1	Conclusiones.....	41
5.2	Recomendaciones.....	42
REFERENCIAS.....		43
ANEXOS		45
ANEXO 1.....		45
REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PROBETAS POSTERIOR AL ENSAYO DE ROTURA.		45
ANEXO 2.....		49
REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ESTRUCTURA METÁLICA.		49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Curvas esfuerzo-deformación para cilindros de concreto cargados en compresión uniaxial.	14
Figura 2.	Fig.2-20 (b) módulo de tenacidad U_t .	15
Figura 3.	Casos de cargas a evaluar.	20
Figura 4.	Esquema de la fase de ejecución.	20
Figura 5.	Preparación de probetas para su ensayo primera parte.	22
Figura 6.	Preparación de probetas para su ensayo segunda parte.	23
Figura 7.	Configuración de carga caso LC0.	24
Figura 8.	Gráfico tensión – deformación axial promedio caso de carga LC0.	25
Figura 9.	Configuración de carga caso LC1.	25
Figura 10.	Gráfico tensión-deformación axial promedio caso de carga LC1.	26
Figura 11.	Gráfica comparativa de tensión cortante en columnas de caso de carga LC1.	27
Figura 12.	Ensayo de núcleos reparados con caso de carga LC1.	27
Figura 13.	Grafica tensión-deformación comparativa entre las columnas no reparadas con condición de carga LC0 y las columnas reparadas con condición de carga LC1.	28
Figura 14.	Configuración de carga caso LC2.	29
Figura 15.	Gráfica tensión – deformación axial promedio caso de carga LC2.	30
Figura 16.	Gráfica comparativa de tensión cortante en columnas de caso de carga LC2.	31
Figura 17.	Grafica tensión-deformación comparativa entre las columnas con condición original LC0 y las columnas encamisadas con condición de carga LC2.	32
Figura 18.	Ensayo de núcleos reparados con caso de carga LC2.	33
Figura 19.	Grafica tensión-deformación transversal promedio para caso de carga LC0.	34
Figura 20.	Gráfica tensión – deformación transversal promedio para caso de carga LC1.	35
Figura 21.	Gráfica comparativa tensión – deformación transversal de los promedios de los casos LC0 y LC1.	35
Figura 22.	Gráfica tensión – deformación transversal promedio para caso de carga LC2.	36

Figura 23.	Gráfica comparativa tensión – deformación transversal de los promedios de los casos LC0 y LC2.	37
Figura 24.	Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de las columnas LC0.	38
Figura 25.	Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de los casos de carga LC0 y LC1.	39
Figura 26.	Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de los casos de carga LC0 y LC2.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades de los concretos evaluados.....	19
Tabla 2.	Características de la resina epóxica.	19
Tabla 3.	Resumen del comportamiento mecánico de las columnas en condición inicial LC0 y las columnas reparadas con encamisado LC1.	29
Tabla 4.	Resumen del comportamiento mecánico entre las columnas no reparadas LC0 y las columnas reparadas LC2.	33

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En el contexto país que se presenta hoy en día, existen muy poco seguimiento en cuanto al ámbito de la construcción, lo cual puede representar un gran problema cuando se refiere a estructuras de concreto, debido a que el desempeño de dichas estructuras está estrechamente ligado a los elementos que componen la mezcla de concreto y sus propiedades intrínsecas. En el presente, a causa de las deficiencias en los procesos que involucran la creación de miembros estructurales de concreto, se presenta una variabilidad apreciable en las resistencias obtenidas que dado el caso puede resultar en un déficit.

Hablando sobre este escenario se han desarrollado diferentes investigaciones y metodologías que permiten resolver las deficiencias de estos miembros, por medio del uso de materiales con propiedades particulares. Uno de los materiales más conocidos es la fibra de carbono, que, si bien es muy eficiente, su costo elevado hace difícil su implementación como material de refuerzo, para casos específicos.

Como alternativa a esta opción se plantea el uso de encamisado con morteros reforzados, dada las circunstancias económicas del país, puede ser una solución a la dificultad para encontrar o producir fibra de carbono, además de reducir los costos del reforzamiento estructural. Este estudio partirá desde las bases teóricas y prácticas desarrolladas por una tesis de postgrado que plantea el diseño del encamisado con mortero reforzado.

Este estudio además de tratar una problemática que aqueja el país debido a su metodología, plantea la oportunidad de utilizar y calibrar equipos del Laboratorio de Materiales de la Universidad Católica Andrés Bello que en condiciones normales de operatividad del laboratorio son poco utilizados, permitiendo que durante la investigación se enseñe a realizar ensayos con dichos equipos.

1.2 Antecedentes

Dentro de la investigación presente, se tomaron como referencia los siguientes estudios:

- **Matheus F., Luisana y Medina D., Shirley N. (2019).**

Título: Análisis de la incidencia de exo-refuerzo en manto PET sobre el comportamiento de probetas normalizadas de concreto sometidas a tensiones de compresión.

Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla

La investigación está basada en analizar la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET sobre probetas normalizadas variando el número de capas y la altura de confinamiento. Al estar las probetas normalizadas sometidas a tensiones de compresión, se logró definir cómo afecta la incidencia de la configuración de confinamiento en manto PET, sobre el comportamiento mecánico de estas. Concluyendo que, en cuanto a la capacidad resistente, si se aumenta el número de capas o la altura confinada el incremento es mínimo en comparación a los aportes arrojados en términos de rigidez, ya que al aumentar el número de capas o la confinada el incremento se vuelve considerable.

- **Minuart T., Luis M y Tovar G., Vanessa J.**

Título: Análisis de la influencia de la longitud de adherencia de manto en fibra de carbono, sobre la capacidad de miembros en concreto estructural sometidos a carga monotónica creciente.

Tutor: Ing. MSc. Guillermo Bonilla

El trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento de la longitud de adherencia de refuerzos con base a fibra de carbono en manto colocadas en la viga, al ser sometidos a carga monotónica creciente. Los autores concluyen que la longitud de adherencia en la viga evaluada no aportó capacidad a los miembros reforzados, así como, los miembros que poseían longitud de adherencia presentaron falla de desprendimiento de concreto en la cara traccionada de la viga con igual longitud de desarrollo para todos los casos. Otra conclusión fue, la obtención de una relación directamente proporcional entre la longitud de adherencia y la rigidez en la zona elástica ya que la fibra tiene como restricción el desplazamiento lateral de la columna.

- **Duran Q., Carlos I. (2008)**

Título: Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado. Estudio exploratorio.

Tutor: Dr. Roberto Meli Piralla

El desenlace del estudio (CFRP) aplicando ciclos de cargas, obteniendo así, resultados donde se evidencia un incremento del 20% en desplazamiento horizontal y un leve aumento en la capacidad de carga de la columna corta.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar el efecto de concentración de cargas axiales, en el comportamiento mecánico de columnas de concreto reparadas.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Estudiar el efecto de cargas axiales, sobre el comportamiento mecánico de columnas no reparadas.
- Analizar el efecto de cargas aplicadas en núcleo del tope y sección encamisada del fondo, sobre el comportamiento mecánico de columnas reparadas.
- Determinar el efecto de cargas axiales aplicadas en tope completo y sección encamisada del fondo, sobre el comportamiento mecánico de columnas reparadas.

1.3.3 Alcances y limitaciones

Secciones cortas de concreto reforzado sometido a cargas axiales con diferentes formas de apoyo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Encamisado de concreto.

El encamisado de concreto es una técnica frecuente para reforzar las columnas de concreto armado. Con este método la resistencia a la fuerza axial, la resistencia a la flexión y la rigidez de la columna original aumentan. El procedimiento correcto de esta técnica requiere de aumentar la rugosidad de la superficie de contacto y aplicar un agente adhesivo, normalmente una resina epóxica. En algunos casos es necesario el uso de conectores de corte.

Esta técnica de refuerzo es una buena opción por su bajo costo frente a otras opciones de refuerzo, así como también por su aplicación en obra, ofreciendo rapidez en la ejecución de la misma sin contribuir en un impacto negativo en la obra. (Júlio, Branco, & Silva 2005).

2.1.2 Relación tensión-deformación.

Para la determinación de la relación real entre tensión y deformación se aplican ensayos en laboratorio sobre probetas cilíndricas o prismáticas normalizadas, los ensayos más simples de realizar son los de tracción o de compresión pura. Los ensayos se realizan aplicando una carga P en los extremos de la probeta en dirección del eje de la misma. El ensayo se realiza aumentando progresivamente la fuerza P aplicada de forma lenta y gradual y midiendo los alargamientos axiales ΔL y los acortamientos o ensanchamientos transversales Δd . Con los valores obtenidos se calculan los correspondientes conjuntos de valores de tensión y deformación nominales (σ , ϵ , ϵ_t). Los pares (σ , ϵ) se representan en una curva denominada curva tensión-deformación del material.

El comportamiento del concreto a tensión de compresión se describe en una curva la cual comienza con un tramo proporcional en donde se cumple la ley de Hooke, es decir la relación entre tensión y deformación es lineal para tensiones inferiores a σ_p que se llama límite de proporcionalidad, la pendiente del tramo determina el valor del módulo de elasticidad (E) del material. El concreto entra en la categoría de los materiales llamados frágiles, los cuales no presentan una zona de fluencia plástica bien definida. En estos materiales la tensión de fluencia

(σ_f), corresponde a la deformación permanente de 0,2%, estos materiales rompen con poca deformación de forma brusca, lo cual es una circunstancia peligrosa para la seguridad de las estructuras. La resistencia a compresión del concreto es mucho mayor que a tracción, del orden de 10 veces mayor. (Cervera & Blanco 2015).

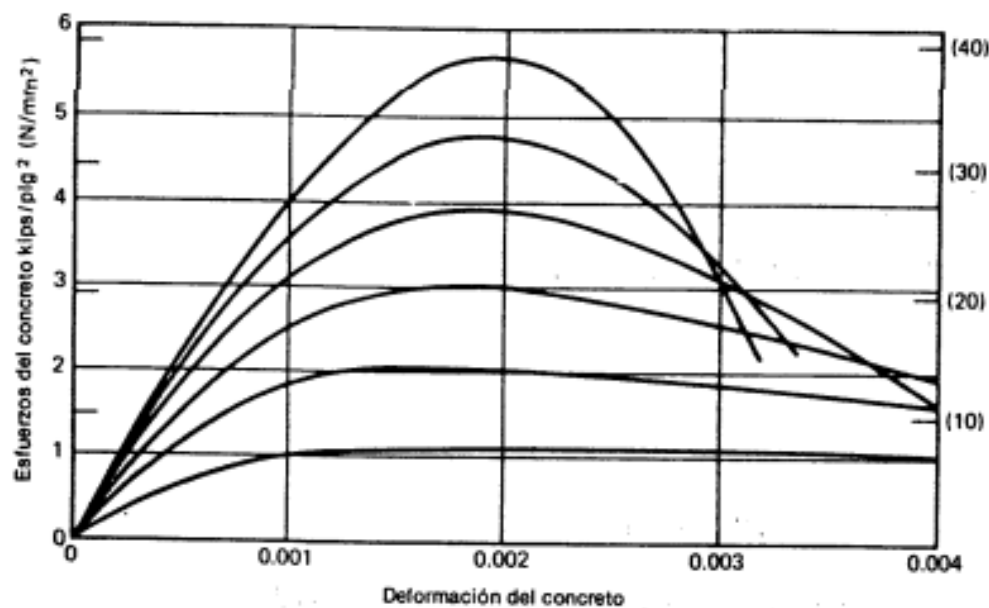


Figura 1. Curvas esfuerzo-deformación para cilindros de concreto cargados en compresión uniaxial.

Fuente: Parkt & Paulay 1983. Estructuras de concreto reforzado.

2.1.3 Tenacidad.

“La tenacidad define la capacidad del material para absorber energía antes de fracturarse. Puede demostrarse que es el área bajo el diagrama esfuerzo-deformación unitaria representa la densidad de energía de deformación unitaria absorbida por el material antes de fracturarse”. (Popov, 1983, pág. 74)

Como se puede observar en la figura 2. Aunque un material frágil alcance valores altos de resistencia última, estos materiales suelen absorber menor cantidad de energía que los materiales dúctiles.

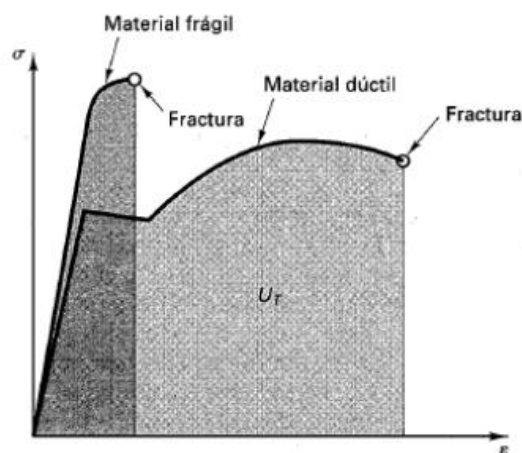


Fig. 2-20 (b) módulo de tenacidad U_T .

Figura 2. Fig.2-20 (b) módulo de tenacidad U_t .

Fuente: Mecánica de Sólidos. Popov. Página 75

2.1.4 Relación de Poisson.

La relación entre la deformación transversal y la deformación en la dirección de la carga aplicada, se conoce como la relación de Poisson, la cual oscila entre 0.15 a 0.20 para el concreto. Las deformaciones transversales aumentan debido a los esfuerzos elevados por la carga de compresión, lo que conlleva a un aumento en el volumen de la muestra indicando el agotamiento de la resistencia de estas. (Parkt & Paulay, 1983).

2.1.5 Adhesión

Es la fuerza interfacial que mantiene unido a dos materiales de igual o diferente naturaleza de forma física o química. La adhesión física o también denominada adhesión mecánica, es la que se obtiene por medio de los efectos geométricos y estructurales de los sustratos unidos, que según la magnitud de las irregularidades que se crean en la superficie de contacto se pueden lograr a nivel macroscópico o microscópico. (Pallas, 2013). Por su parte, la adhesión química o también llamada adhesión específica, se obtiene por medio de la unión de las moléculas de los sustratos unificados, mediante enlaces covalentes, iónicos, fuerzas polares, entre otros. (Pallas, 2013).

2.1.6 Adhesivos estructurales

Según Madrid Los adhesivos estructurales se clasifican con respecto a su módulo de elasticidad:

- Adhesivos rígidos los cuales están destinados a soportar grandes cargas estáticas y de cortadura o con ciclos cortos, estos no tienen una óptima resistencia ante cargas dinámicas y de impacto.
- Adhesivos tenaces estos resisten cargas inferiores, teniendo buena resistencia a cargas estáticas y soportan diferentes tipos de esfuerzos dinámicos a pesar de ser muy rígidos.
- Adhesivos flexibles este tipo no tiene una óptima resistencia a esfuerzos normales o de cortante, aunque tienen una excelente resistencia ante esfuerzos dinámicos, estos tienen que aplicarse en superficies amplias.

El adhesivo mayormente usado en la construcción es el adhesivo epóxico, el cual funciona como un puente de adherencia entre sustratos de concretos para evitar separaciones que perjudiquen el sistema estructural. Según Rudawska (2019): “Pertenecen al grupo de adhesivos que se pueden usar para unir la mayoría de los materiales de construcción disponibles en el mercado, por ejemplo, metales, polímeros, vidrio y concreto”.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Naturaleza y tipo de investigación

La investigación fue de carácter experimental, exploratorio y descriptivo, en la cual fueron ensayadas columnas cortas de concreto reparadas mediante encamisados con morteros reforzados, con la finalidad de evaluar el comportamiento mecánico de estos miembros sometidos a carga axial.

3.2 Población

La población estuvo conformada por siete (7) probetas de dimensiones constantes, 30 cm de largo x 30 cm de ancho x 50 cm de altura y tres (3) probetas de dimensiones, 15 cm de largo x 15 cm de ancho x 50 cm de altura.

3.3 Muestra

La muestra estuvo definida por 10 probetas señaladas en la población, de las cuales tres (3) probetas fueron utilizadas para tener un punto de referencia en cuanto a sus propiedades mecánicas.

3.4 Recolección de datos

Por medio de la utilización de potenciómetros digitales, máquina de ensayo de materiales VEB Leipzig, equipos de medición como el Dewesoft (DAQ) y cámaras, se pudieron obtener los datos experimentales de manera audiovisual y electrónica, para posteriormente ser vaciados y analizados en el programa de Excel.

3.5 Equipos utilizados

- Máquina de ensayo de materiales VEB Leipzig del laboratorio de tecnología del concreto de la universidad Católica Andrés bello (UCAB).
- UMA Dewesoft.

3.6 Accesorios utilizados

- Potenciómetro de hilo.
- Potenciómetro lineal.

- Sujetadores sargentos.

3.7 Herramientas utilizadas

- Vernier.
- Reglas y escuadras.
- Martillo.
- Niveles de burbuja.
- Correas de seguridad.
- Planchas metálicas diseñadas por el Ing. Ebert Guzmán.
- Soporte de madera balsa

3.8 Variables estudiadas y unidades de trabajo

3.8.1 Variables dependientes.

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| • Carga ultima: | kgf |
| • Deformación axial | adimensional |
| • Deformación transversal | adimensional |
| • Tenacidad | Mega Joules/m ³ |

3.8.2 Variables independientes.

- | | |
|---|---------------------|
| • Resistencia a compresión del concreto | kgf/cm ² |
|---|---------------------|

3.8.3 Factores constantes.

- | | |
|---------------------|-------|
| • Altura de columna | 50 cm |
|---------------------|-------|

3.8.4 Parámetros constantes.

- | | |
|------------------------------------|---------|
| • Periodo de curado del concreto | 28 días |
| • Velocidad de aplicación de carga | kgf/s |

3.9 Materiales utilizados, propiedades y características

Todas las probetas fueron diseñadas por el Ing. Ebert Guzmán y poseen las siguientes características

3.9.1 Concreto.

Tabla 1. *Propiedades de los concretos evaluados.*

Concreto	Tipo de concreto	Resistencia $f'c$ (kgf/cm ²)
Núcleos	Premezclado	250
Encamisado	Premezclado	280
Five star	Reparación	563

Fuente: elaboración propia.

3.9.2 Resina epóxica.

Tabla 2. *Características de la resina epóxica.*

Marca	TECNOCONCRET
Tipo	EPOCRET IR
Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	550
Resistencia a la tensión (kgf/cm ²)	100
Adherencia a los 14 días (kgf/cm ²)	169

Fuente: elaboración propia.

3.9.3 Diseño experimental.

Para estudiar el comportamiento mecánico de las columnas cortas de concreto reparadas mediante encamisados con morteros reforzados y no reparadas de acuerdo a su condición de apoyo, se utilizó el diseño y configuración de soporte propuesto por el Ing. Ebert Guzmán y se graficaron sus correspondientes curvas de tensión vs deformación para su posterior análisis.

Los prismas fueron clasificados según la configuración de apoyo en 3 grupos:

- Grupo LC0: 3 prismas (2,3 y 18) de 15 cm de largo x 15 cm de ancho x 50 cm de altura sin encamisado.
- Grupo LC1: 3 prismas (4,5 y 6) de 30 cm de largo x 30 cm de ancho x 50 cm de altura con encamisado.
- Grupo LC2: 4 prismas (7,8,9 y 10) 30 cm de largo x 30 cm de ancho x 50 cm de altura con encamisado.

A continuación, se presentan las figuras donde se aprecia la configuración de apoyo de cada grupo ensayado.

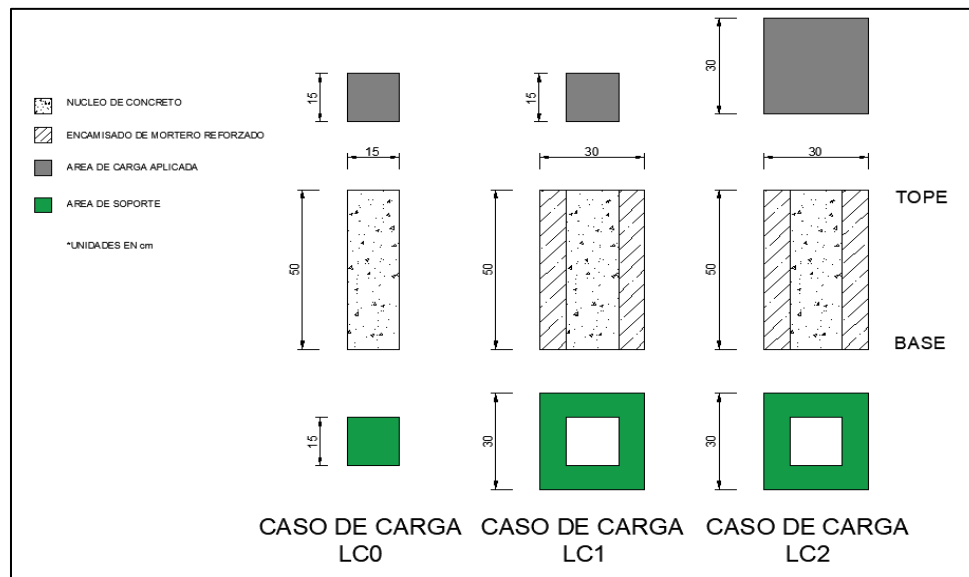


Figura 3. Casos de cargas a evaluar.

Fuente: Elaboración propia.

3.10 Fase de ejecución

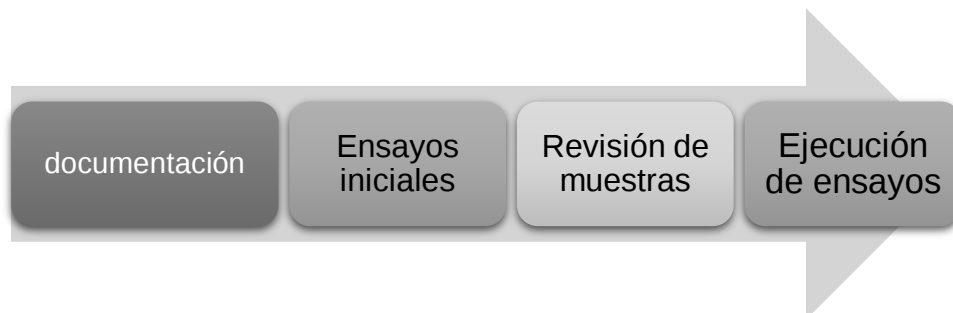


Figura 4. Esquema de la fase de ejecución.

Fuente: Elaboración propia.

3.10.1 Documentación.

Para esta fase se hicieron los estudios correspondientes a investigaciones anteriores referentes a refuerzos estructurales de miembros cortos utilizando mantos de fibra de carbono y mantos PET, analizando las propiedades mecánicas obtenidas, con el fin de conocer los alcances y limitaciones, así como profundizar en las bases teóricas del presente estudio. Por otra parte, también se realizaron las investigaciones correspondientes a las variables estudiadas con el fin

de dar respuesta al comportamiento mecánico de las columnas cortas con encamisados de morteros reforzado.

3.10.2 Ensayos iniciales.

Si bien es cierto las probetas fueron diseñadas por el Ing. Ebert Guzmán, siempre se mantuvo al tanto de cómo fueron construidas y de los tipos de ensayos iniciales que les fueron aplicados a las probetas como la precarga del 20% para generar daños artificiales.

3.10.3 Revisión de muestras.

Antes del proceso de ensayo se revisaron cuidadosamente las probetas, para corroborar que estuvieran en óptimas condiciones para su prueba, teniendo especial cuidado que no tuvieran fisuras, acero expuesto por corrosión o algún otro tipo de daño mayor.

3.10.4 Ejecución de ensayos.

Para la ejecución de los ensayos se contó con la ayuda del personal técnico del laboratorio de tecnología del concreto de la universidad católica Andrés bello (UCAB).

Con la ayuda de un martillo se colocó un clavo en la cara lateral de la muestra con la finalidad que sirviera como soporte para el potenciómetro de hilo.

Se ubicaron las placas diseñadas por el Ing. Ebert Guzmán sobre la Máquina de ensayo de materiales VEB Leipzig.

Se colocaron correas de seguridad alrededor de la muestra para que fueran levantadas por medio de la grúa hidráulica, transportadas a la Máquina de ensayo de materiales VEB Leipzig y ubicadas sobre la placa metálica.

Se preparó la estructura metálica, que sirviera como soporte de los accesorios de medición de deformaciones, colocando grasa en sus tuberías para disminuir los efectos generados por la fuerza de roce en sus guías.



Figura 5. Preparación de probetas para su ensayo primera parte.

Fuente: Elaboración propia.

Con la muestra ubicada sobre la máquina de ensayos, se procedió a colocar la estructura metálica sobre la misma, cuidando de que la estructura estuviera centrada y abarcara mínimo 2/3 de la altura de la muestra, para esto se usó reglas y escuadras.

Con la ayuda de los niveles de burbuja, el vernier y la escuadra se aseguró que la estructura se encontrara paralela a las caras de la muestra y perpendicular a la base de la máquina de ensayos, con la finalidad de no alterar la medición de los potenciómetros.

Utilizando los sargentos y la madera de balsa se preparó la superficie que sirvió como soporte para los potenciómetros lineales, manteniendo siempre la perpendicularidad entre las caras de la columna y los mismos para su correcta medición. Se colocó en la parte lateral derecha el potenciómetro de hilo manteniendo la perpendicularidad de este respecto al clavo añadido anteriormente, esto con la finalidad de obtener resultados de mayor confiabilidad.



Figura 6. Preparación de probetas para su ensayo segunda parte.

Fuente: Elaboración propia.

Se colocó la placa correspondiente en la parte superior (tope) de la muestra según el grupo ensayado.

Por último, utilizando la máquina de ensayos, se procedió a aplicar carga de compresión axial pura monotónica creciente a velocidad constante con la finalidad de no alterar la curva tensión – deformación.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Comportamiento Tensión – Deformación Axial

4.1.1 Columnas en condición inicial caso de carga LC0.

Estas columnas son las muestras 2, 3 y 18, las cuales representan la condición no reparada o condición inicial como a partir de ahora se referirá a este grupo de columnas. Estas columnas tienen refuerzo longitudinal ($4\phi 1/2"$) con refuerzo transversal de alambrión estriado de 6 mm. La condición de carga a las que fueron sometidos los prismas es la siguiente:

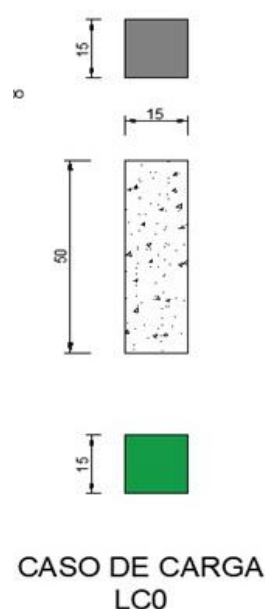


Figura 7. Configuración de carga caso LC0.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se aprecia un comportamiento típico de un prisma el cual fue sometida a tensiones de compresión, en donde se puede observar un incremento en la deformación axial a medida que aumenta la carga aplicada, la tendencia de la curva es casi lineal, donde el módulo de elasticidad viene siendo la recta tangente a la curva. El punto de tensión máxima que logra soportar corresponde a una deformación del 1,6 ‰, el cual es el punto donde comienza la aparición de grietas. La resistencia promedio de las probetas se determinó en 390 kg/cm^2 y el valor promedio de los módulos de elasticidad E resultó en 271.912 kg/cm^2 .

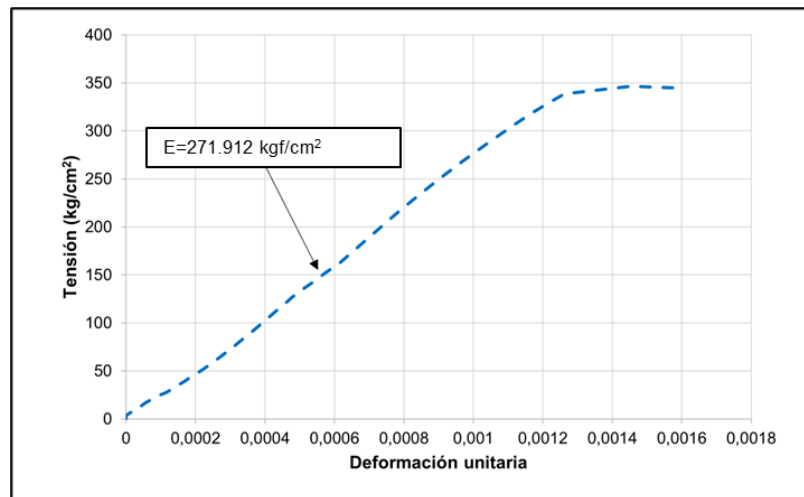


Figura 8. Gráfico tensión – deformación axial promedio caso de carga LC0.

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de energía absorbida por las probetas en promedio correspondió a 0,043 Mega Joules/m³, la cual se calculó a partir de la curva tensión – deformación, donde la capacidad de absorción de energía o tenacidad es el área bajo la curva.

4.1.2 Columnas reforzadas con encamisado bajo patrón de carga LC1.

El caso LC1 representa a los prismas 4, 5 y 6, a los cuales se les aplicó una carga distribuida sobre toda el área del núcleo, como se indica en la siguiente figura:

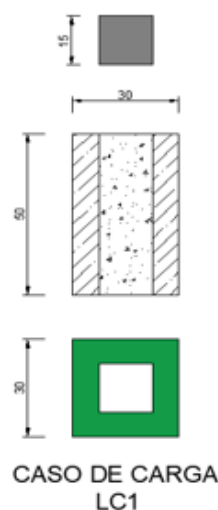


Figura 9. Configuración de carga caso LC1.

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de patrón de carga responde a las probetas 4, 5 y 6, los cuales inicialmente si presentaron daños controlados en sus respectivos núcleos. Todas las probetas fueron precargadas hasta un 20% de su carga de rotura y se colocó trozos de hielo para simular un mal vaciado en las probetas 4 y 5. Aquellos núcleos que presentaron daños fueron reparados con concreto de reparación de alta resistencia (FIVE STAR) así como también se usó para la columna N° 4 tanto espigas de acero como adhesivo epóxico en pasta EPOCRET IR, con la finalidad de generar una mayor adherencia entre el concreto interno (núcleo) y el concreto externo (encamisado).

A continuación, se presenta una gráfica correspondiente al promedio de los resultados obtenidos para los prismas mencionadas anteriormente:

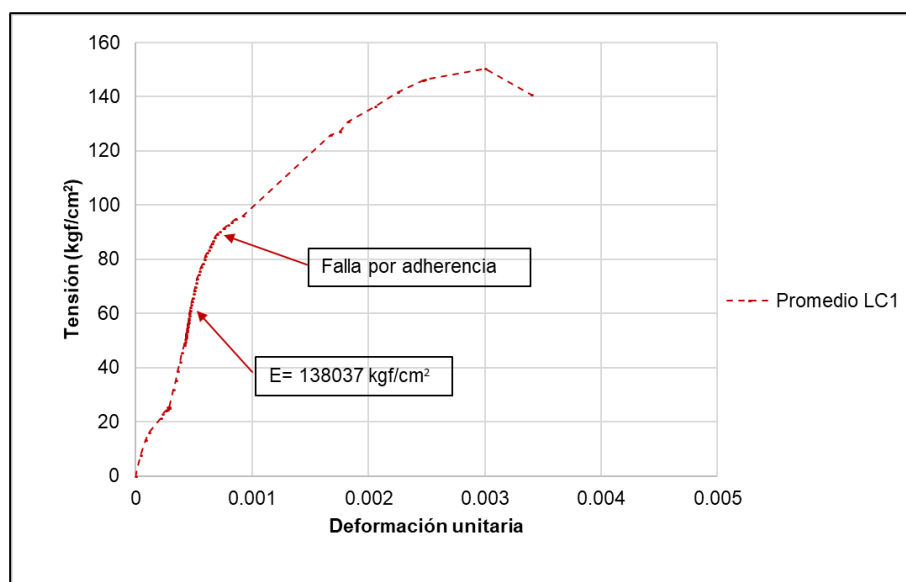


Figura 10. Gráfico tensión-deformación axial promedio caso de carga LC1.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el promedio de esta grafica se obtiene una resistencia máxima de 150 kgf/cm² donde se hicieron notar las primeras grietas sobre la superficie de la columna, con una deformación aproximada del 3°/oo. El módulo de elasticidad del concreto reportó un resultado de 138.037 kgf/cm². La energía absorbida por el miembro dejó un registro de 0,038 Mega Joules/m³. Debido al patrón de carga LC1 se generaron tensiones cortantes entre la superficie del núcleo y el encamisado, causando una falla inicial por adherencia y posteriormente la falla por compresión del encamisado al seguir cargando la probeta hasta la rotura. La falla por adherencia ocurrió

aproximadamente en el cambio de pendiente señalado en la figura 10 a una tensión por compresión promedio de 93 kgf/cm^2 , a partir de este punto se empezó a desplazar el núcleo con respecto al encamisado. Las tensiones por corte máximas dieron como resultado 29 kgf/cm^2 .

Comparando las tensiones por corte de las tres columnas ensayadas queda en evidencia el aporte de la resina epóxica a las tensiones cortantes, ya que, el prisma que se le agrego EPOCRET IR fue el número 4 el cual soportó mayores tensiones.

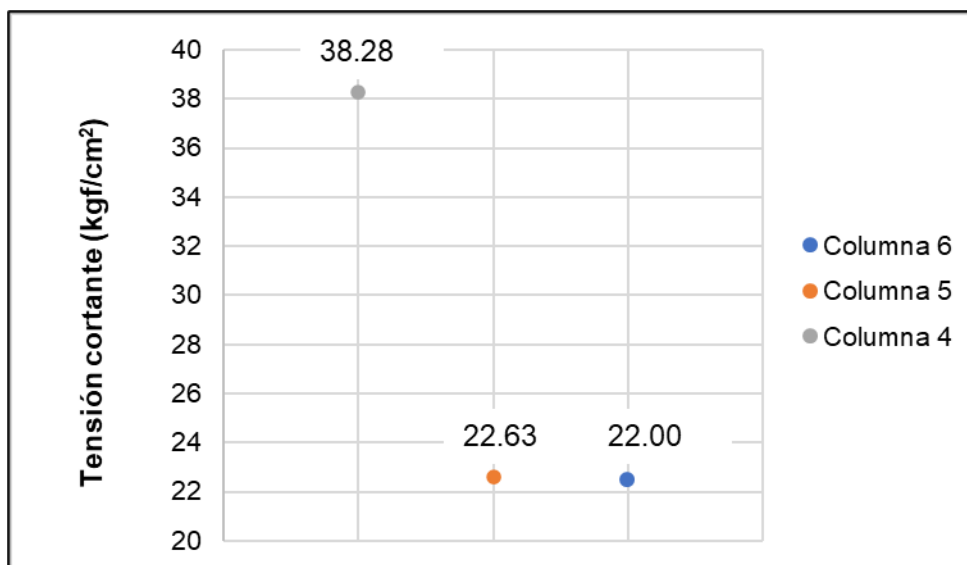


Figura 11. Gráfica comparativa de tensión cortante en columnas de caso de carga LC1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Ensayo de núcleos reparados con caso de carga LC1.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta en la figura 13 la gráfica de tensión-deformación entre las columnas no reparadas con un patrón de carga LC0 y las columnas que fueron reparadas con encamisado bajo un patrón de carga LC1.

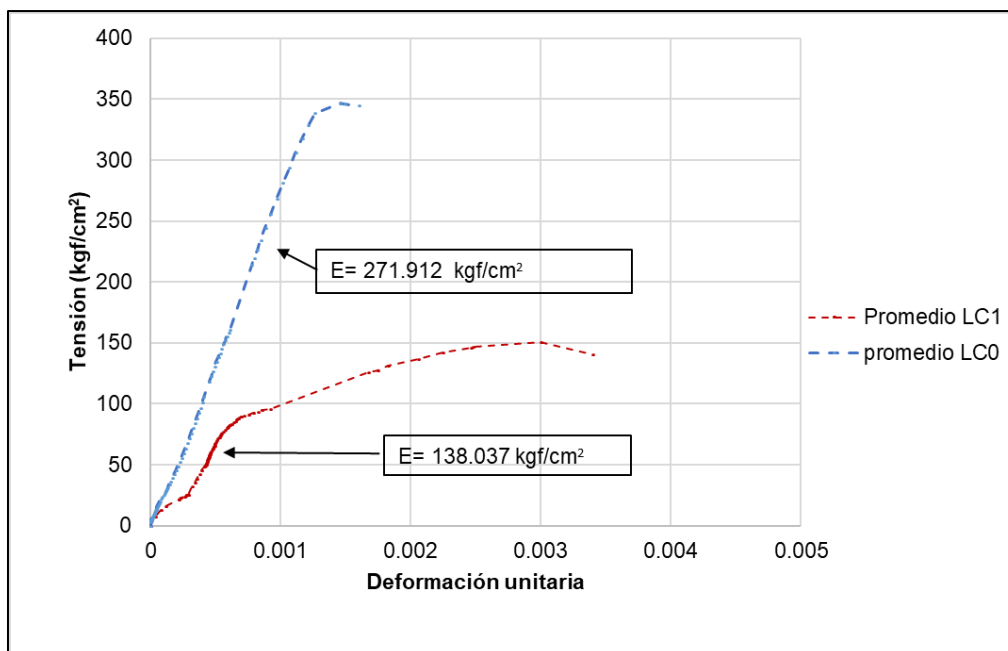


Figura 13. Grafica tensión-deformación comparativa entre las columnas no reparadas con condición de carga LC0 y las columnas reparadas con condición de carga LC1.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien es cierto se presentó un aumento porcentual de la deformación, no fue suficiente para absorber la energía que mostraron las columnas LC0, esto es debido a que en la condición de apoyo LC1 el núcleo no aportó suficiente resistencia, dejando toda la responsabilidad de tensiones al encamisado, y, por consiguiente, generó una disminución de la rigidez en el miembro. Caso contrario a las columnas LC0, donde la misma trabajó a sección completa, generando altas resistencias, lo suficiente para absorber más energía que las columnas LC1.

Se puede observar la variación entre las columnas en condición inicial y aquellas que fueron recubiertas con el encamisado. Cabe destacar, que los resultados obtenidos fueron el aporte que genera el encamisado, ya que, debido al patrón de carga LC1 solo trabajó el encamisado y el puente adherente que soporto las tensiones cortantes. Se presentó un aporte a la resistencia a compresión de 150 kgf/cm^2 por parte de las columnas con patrón de carga LC1, estas tensiones no pueden ser comparadas con las obtenidas en el caso LC0 debido a que realmente el núcleo no trabajó a compresión durante el ensayo de las probetas reforzadas con el encamisado.

El siguiente cuadro indica las variaciones que sufrieron las propiedades mecánicas de las columnas LC1 respecto a las columnas LC0.

Tabla 3. Resumen del comportamiento mecánico de las columnas en condición inicial LC0 y las columnas reparadas con encamisado LC1.

Comportamiento mecánico	Condición de apoyo		Variación porcentual
	LC0	LC1	
Tensiones por compresión (kgf/cm ²)	390	150	-
Deformación máxima (mm/mm)	0.002	0.00297	103%
Módulo de elasticidad (kgf/cm ²)	271911	138037	46%
Tenacidad (Mega Joules/m ³)	0.043	0.038	12%

Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.

El caso LC2 representa a los prismas 7, 8, 9 y 10, a los cuales se les aplicó una carga distribuida sobre toda el área del tope, como se indica en la siguiente figura:

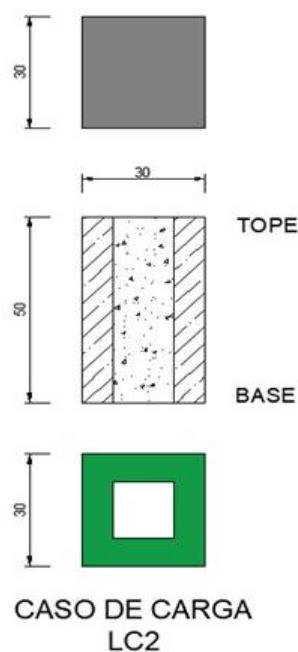


Figura 14. Configuración de carga caso LC2.

Fuente: Elaboración propia.

Estas columnas corresponden a las probetas 7, 8, 9 y 10, cuyos núcleos recibieron en su superficie una generación artificial de oquedades usando trozos de hielo durante el vaciado, además en los núcleos les fue aplicada una carga previa a estos ensayos (precarga externa) para simular daños permanentes sobre dichos elementos. Los daños visibles fueron reparados con concreto de reparación de alta resistencia (FIVE STAR Concreto Estructural), y adicionalmente se les colocaron espigas a las columnas 7, 9 y 10, ancladas con adhesivo epóxico Epocret IR en pasta en perforaciones hechas, esto con la finalidad de disipar los esfuerzos cortantes entre las superficies de adherencia del concreto viejo y el concreto nuevo del encamisado. Además, las probetas fueron cubiertas con el adhesivo Epocret IR en pasta para garantizar la completa adherencia entre el concreto viejo con el nuevo. El encamisado fue realizado con un mortero con una resistencia de 280 kg/cm^2 , y un acero de refuerzo longitudinal con sus respectivos estribos, garantizando un recubrimiento de 4 cm a lo largo de cada núcleo encamisado.

A continuación, el resultado promedio obtenido de los ensayos para las columnas reforzadas por el encamisado con condición de carga LC2:

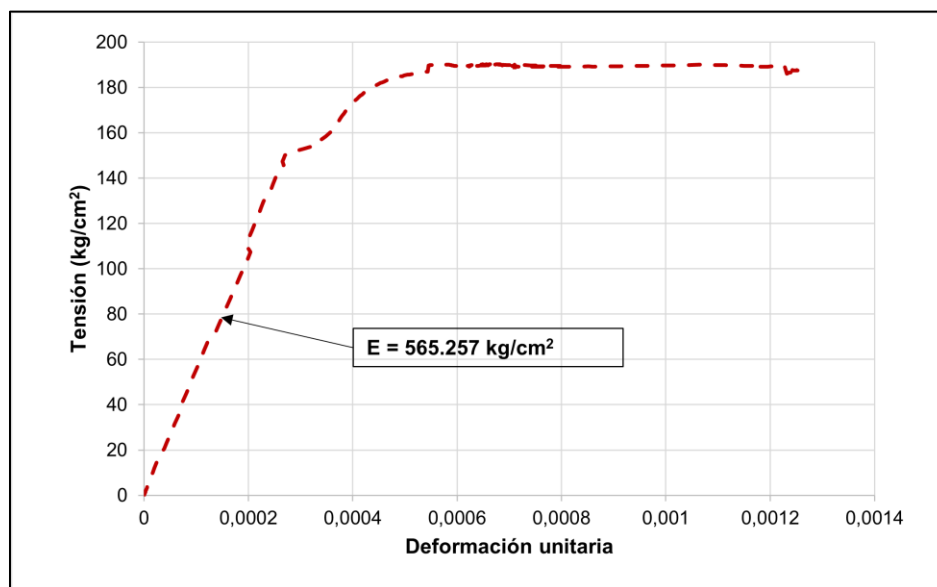


Figura 15. Gráfica tensión – deformación axial promedio caso de carga LC2.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 15 se puede observar la curva promedio de tensión-deformación de las probetas 7, 8, 9 y 10, se debe tomar en consideración que el tipo de apoyo al que se sometió las

columnas durante el ensayo no permitió que el núcleo trabajara a compresión, por lo que la resistencia que se obtuvo de 190 kg/cm^2 corresponde al aporte que genera el encamisado junto al puente adherente. El módulo de elasticidad promedio obtenido es de 565257 kg/cm^2 , lo cual indica un aumento en la rigidez de la columna generando una restricción en las deformaciones axiales debido al aumento de sección con respecto a la columna original. El tipo de falla que se generó en la columna fue falla por compresión del encamisado y falla por adherencia, las cuales comenzaron a ocurrir simultáneamente, en la gráfica puede observarse el punto en donde empezó a comenzar la falla por adherencia, esta ocurre a una tensión aproximada de 150 kg/cm^2 donde hay un cambio de pendiente, lo que indica una pérdida de rigidez apareciendo en la columna las primeras grietas.

La tensión cortante que se generó en la superficie de adherencia causada por la carga de compresión fue de 67 kg/cm^2 . El puente adherente no tuvo la capacidad de disipar esta tensión ocurriendo la falla por adherencia lo que conllevó a un desplazamiento del núcleo de la columna con respecto al encamisado, el desplazamiento final reportado fue la totalidad de la placa base de 12 mm .

Se debe acotar que la columna con menor resistencia a la compresión fue el prisma 8, dando como resultado una tensión máxima de 166 kg/cm^2 y la tensión cortante que se generó en las superficies de contacto es de 54 kg/cm^2 . Esta probeta falló por adherencia con una menor carga aplicada porque esta no presentaba espigas en su configuración.

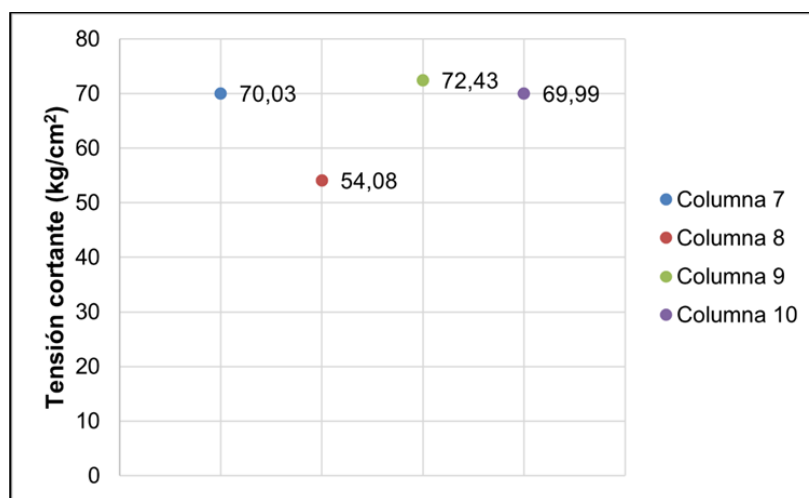


Figura 16. Gráfica comparativa de tensión cortante en columnas de caso de carga LC2.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 se puede comparar la tensión cortante que se generó en la superficie de adherencia durante la falla debido a la compresión aplicada a las distintas probetas, donde las columnas 7, 9 y 10 tuvieron tensiones cortantes parecidas porque el diseño por adherencia era el mismo el cual consistía en espigas y un recubrimiento de epocret IR en pasta.

A continuación, se presenta en la figura 17 la gráfica comparativa de tensión-deformación entre las columnas con caso de carga LC0 y las columnas encamisadas con el caso de carga LC2:

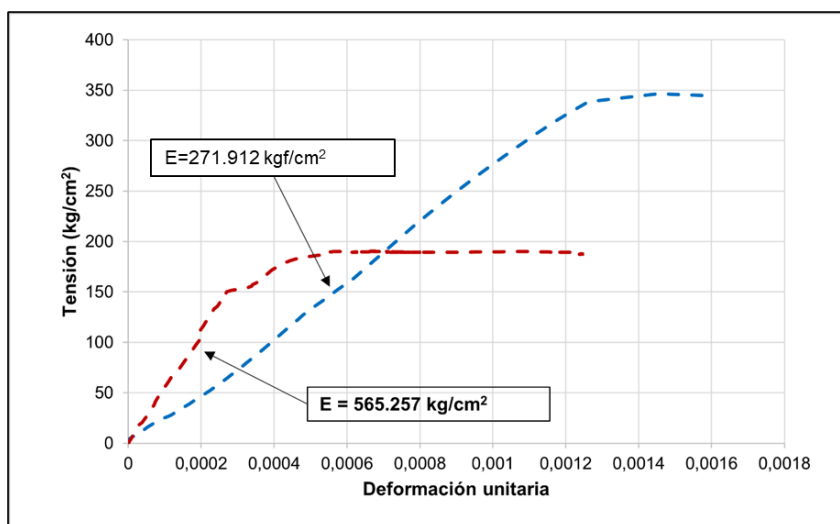


Figura 17. Gráfica tensión-deformación comparativa entre las columnas con condición original LC0 y las columnas encamisadas con condición de carga LC2.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que las columnas en su condición original alcanzan su tensión máxima a una deformación de 0,002, en cambio la columna con el refuerzo por encamisado alcanza su tensión máxima a una deformación de 0,0012, lo que indica que el encamisado aporta rigidez al miembro lo que se hace evidente al contemplar el aumento de pendiente en las etapas iniciales del ensayo con respecto a las columnas de caso LC0, el encamisado aporta un aumento del 108% en el módulo de elasticidad del miembro. La resistencia a la tensión de compresión que se determinó en el caso LC2 refiere al aporte que genera el refuerzo por encamisado junto al puente adherente, no se puede realizar una comparación directa con el caso LC0 ya que el núcleo en la condición de carga LC2 no trabajó a compresión en conjunto al encamisado por el tipo de apoyo definido previamente. Lo que podría indicar un posible aumento considerable en la resistencia del miembro si este trabajara a sección plena.

Determinando la tenacidad promedio de las probetas, se observa un incremento de 81% con respecto a las columnas en su condición original, esto se debe a la capacidad de disipación de energía que genera el refuerzo de encamisado de mortero reforzado.

Tabla 4. Resumen del comportamiento mecánico entre las columnas no reparadas LC0 y las columnas reparadas LC2.

Comportamiento mecánico	Condición de Carga		Variación porcentual
	LC0	LC2	
Resistencia (kgf/cm^2)	390	190	-
Deformación máxima (mm/mm)	0.002	0.00163	19%
Módulo de elasticidad (kgf/cm^2)	271911	565257	108%
Tenacidad (MJ/m^3)	0.043	0.078	81%

Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Ensayo de núcleos reparados con caso de carga LC2.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Deformación Transversal

En la representación Tensión – Deformación Transversal se consideró el ensanchamiento de la probeta como deformación negativa, ya que esto es producto de tensiones de tracción, lo que es contrario al acortamiento que se produce por la compresión en el eje axial.

4.2.1 Columnas en condición inicial bajo patrón de carga LC0.

Como se puede observar en la figura 19, a medida que la aplicación de carga va aumentando paulatinamente también lo hace la deformación transversal, esto es generado por el acortamiento de la probeta debido a la tensión de compresión. Estas deformaciones llegaron a un valor promedio máximo de 8 ‰ cuando las probetas llegaron a su falla.

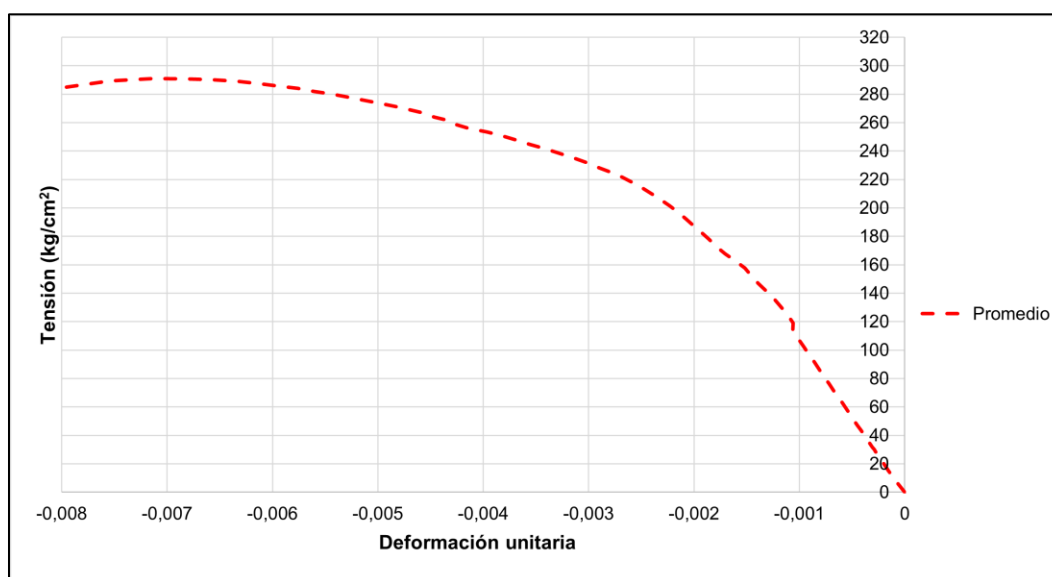


Figura 19. Grafica tensión-deformación transversal promedio para caso de carga LC0.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC1

En la figura 20 se presenta el comportamiento de las columnas LC1 respecto a su deformación transversal al ser sometidas a cargas axiales monotónicas crecientes. Estas deformaciones ocurren debido a los esfuerzos por tracción, que, a su vez, se producen por el acortamiento del miembro ensayado. Ahora bien, estas curvas presentan un comportamiento esperado ya que, inicialmente se puede observar cómo ocurren grandes incrementos de tensiones con bajas deformaciones, este comportamiento es producido por el confinamiento que brinda el encamisado al núcleo evitando el aumento de la deformación al inicio. Cabe destacar

que, cuando se llega a las tensiones máximas (punto donde se empiezan a generar las grietas) las deformaciones aumentan en gran medida, así como las grietas debido al desprendimiento del mortero con el agregado grueso del concreto.

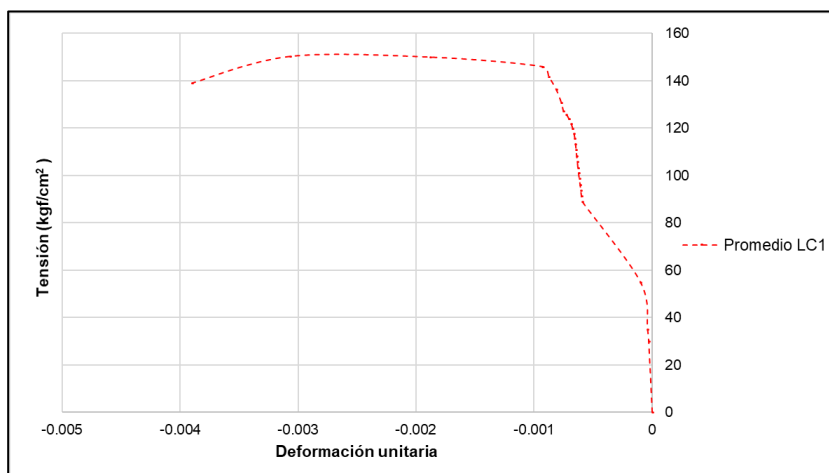


Figura 20. Gráfica tensión – deformación transversal promedio para caso de carga LC1.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, comparando el comportamiento de las columnas LC0 con las columnas LC1 en la figura 21, se observa el aporte que genera el encamisado durante las etapas iniciales del ensayo, donde al ser más gruesa la sección, mayor deberá ser necesaria la fuerza para deformar transversalmente, ocurriendo menores deformaciones a las reportadas en el caso de carga LC0.

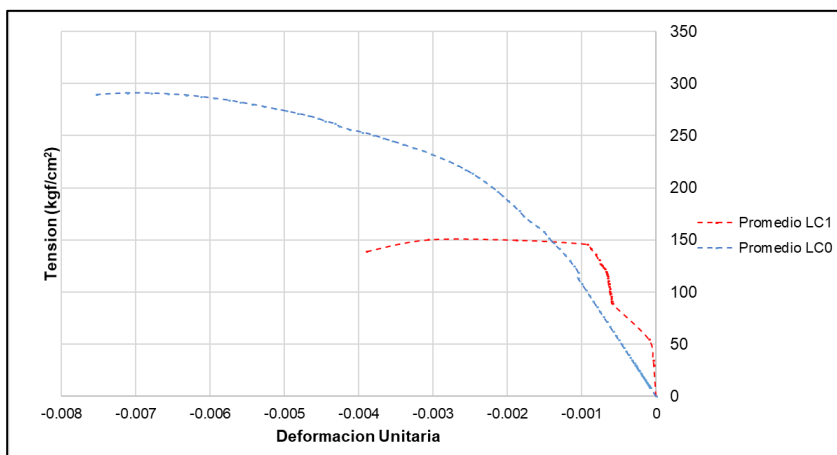


Figura 21. Gráfica comparativa tensión – deformación transversal de los promedios de los casos LC0 y LC1.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.

En la figura 22 se observa el comportamiento de las columnas con respecto a las deformaciones transversales al aplicarse la carga axial, estas deformaciones son debido a las tensiones por tracción que se generan al acortarse el miembro durante el ensayo. En las etapas iniciales de la prueba se observa una tendencia lineal a medida que las tensiones aumentan y la deformación trasversal es muy pequeña, esto es debido a la rigidez que aporta el encamisado, esta tendencia ocurre hasta la aparición de las primeras grietas, en donde a partir de ese punto, empezó a ceder el recubrimiento del refuerzo aumentando las deformaciones hasta que las probetas llegan a su falla.

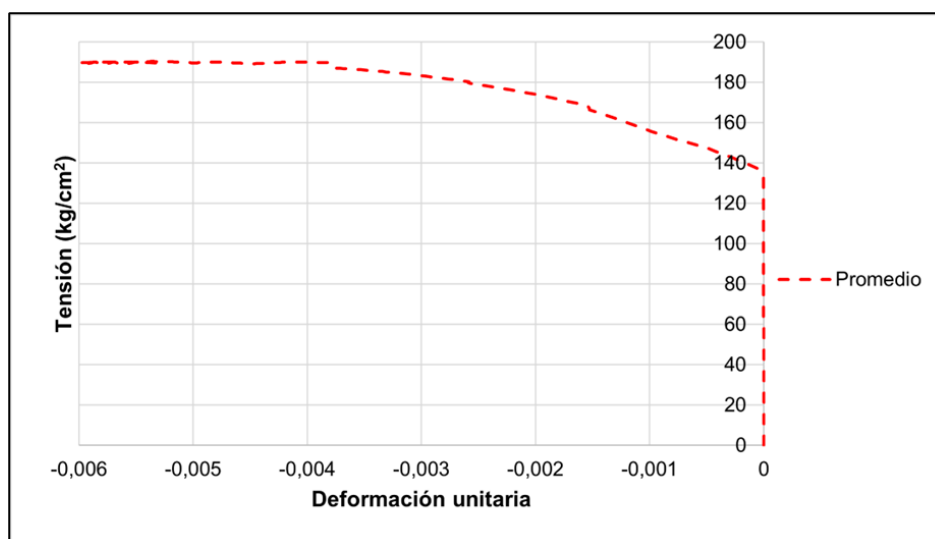


Figura 22. Gráfica tensión – deformación transversal promedio para caso de carga LC2.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la figura 23, se puede comparar las deformaciones transversales de las columnas patrón con las columnas del caso LC2 donde se hace evidente una disminución considerable de las deformaciones en las etapas iniciales del ensayo, donde las probetas alcanzaron una deformación transversal del 5 ‰ una diferencia de 38% con respecto a las columnas patrón.

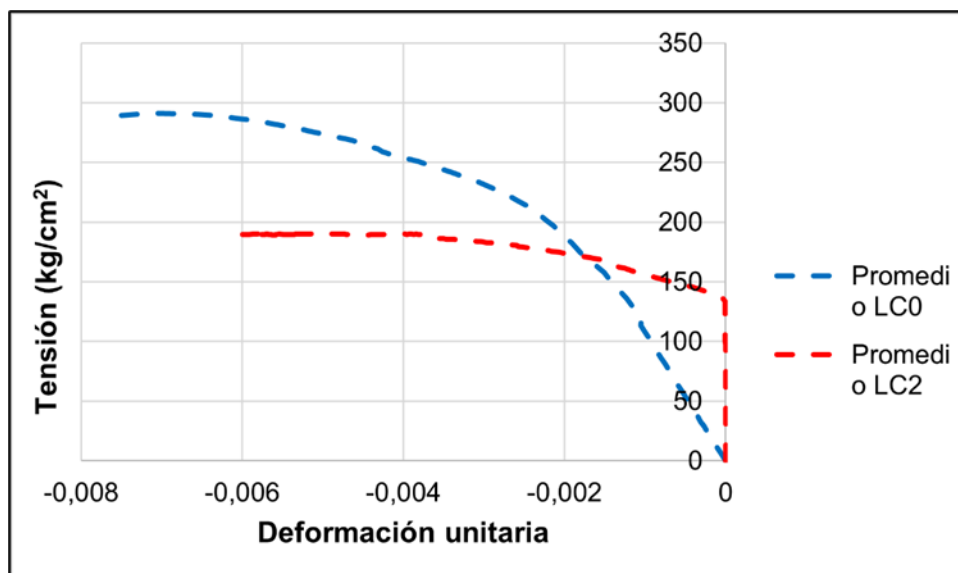


Figura 23. Gráfica comparativa tensión – deformación transversal de los promedios de los casos LC0 y LC2.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Relación Tensión/Tensión máx. – Variación Volumétrica.

4.3.1 Columnas en condición inicial bajo patrón de carga LC0.

La variación volumétrica guarda relación con las deformaciones axiales y las transversales, a partir de la figura 24, se pudo observar como las deformaciones transversales eran mayores que las axiales, esto se debió a la condición de ser una columna corta la cual falla por aplastamiento, generando así mayores deformaciones transversales en comparación con las axiales, por ende, la curva mantuvo una tendencia hacia la zona izquierda de la gráfica donde se encontraban las deformaciones transversales.

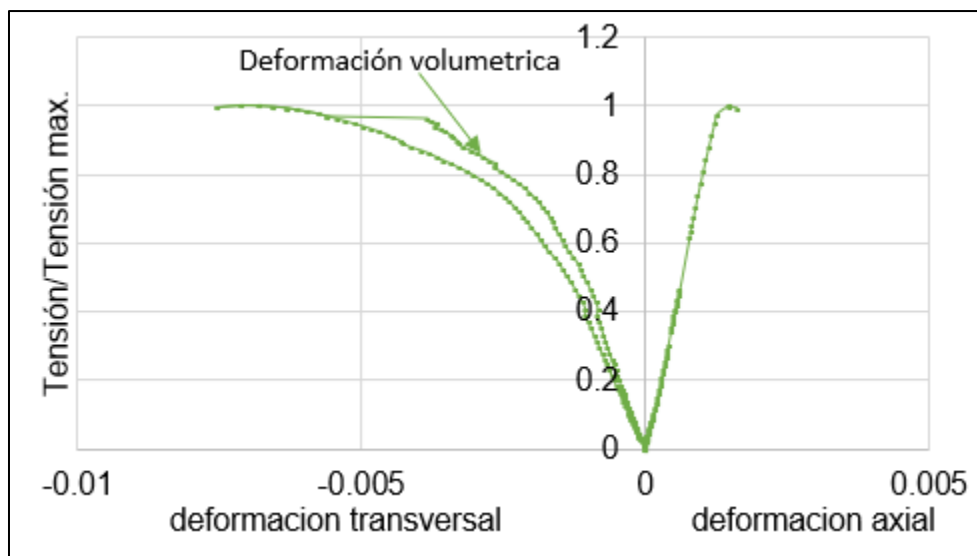


Figura 24. Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de las columnas LC0.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC1.

Por medio de la figura 25 se pudo analizar como varió la deformación volumétrica de las columnas LC1 respecto a las LC0. Las columnas LC1 presentaron menores deformaciones transversales inicialmente, esto es debido al encamisado, que limitó estas deformaciones. Sin embargo, la curva cambio de pendiente cuando las tensiones se acercaban al 40% para luego presentar un comportamiento similar a las columnas LC0. Esto es indicativo que las deformaciones transversales superaron las longitudinales por la condición de ser una columna corta y fallar por aplastamiento, aumentando el volumen en todo su ancho. A partir de los valores cercanos al 100% de la tensión máxima, las deformaciones volumétricas incrementaron sustancialmente, debido a la aparición de grietas en el miembro y al reacomodo geométrico que sufrió

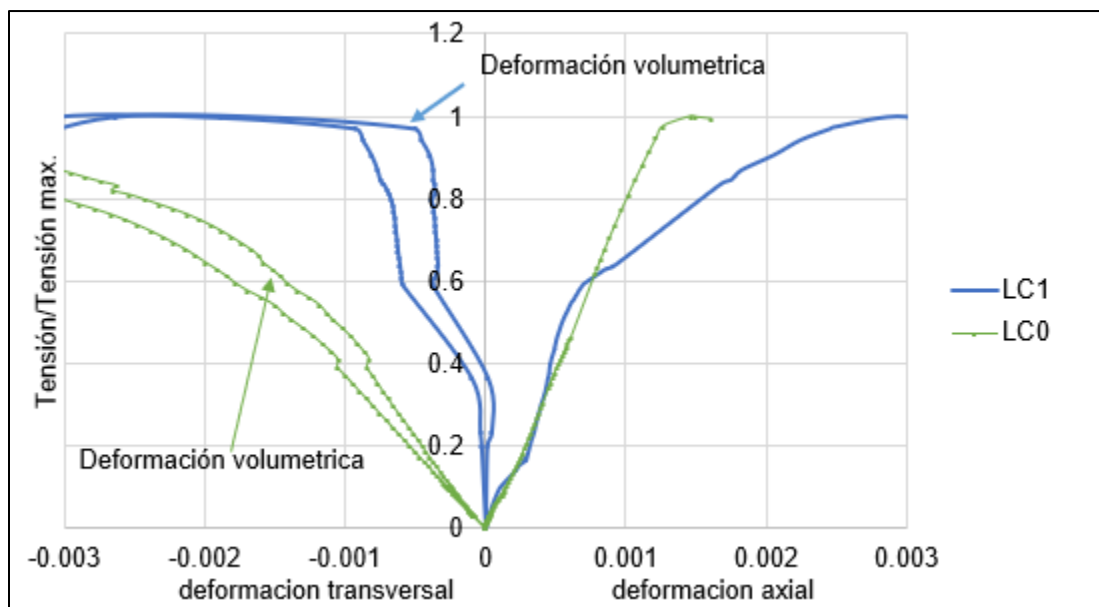


Figura 25. Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de los casos de carga LC0 y LC1.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Columnas reforzadas bajo patrón de carga LC2.

La figura 26, muestra la comparación de la variación volumétrica entre las columnas en su condición inicial y las columnas reparadas con el encamisado de mortero reforzado, donde se observa que las columnas reparadas al llevar el refuerzo les aportaba rigidez obteniendo así menores deformaciones transversales, al aplicarse un aproximado del 76% de la tensión máxima comienza un cambio en la pendiente de la curva, indicando que comenzaron las primeras grietas, a partir de ese punto aumentaron las deformaciones transversales y por consecuencia hubo un aumento en el volumen del miembro y un acomodo geométrico en el mismo. El caso contrario se observa en las columnas en su condición inicial, al tener esta menor rigidez, desde el inicio del ensayo las deformaciones transversales eran valores apreciables, al aplicarse el 60% de la tensión máxima, se observa un cambio en la pendiente indicando las primeras grietas por resultado del aumento del volumen por el acortamiento del miembro.

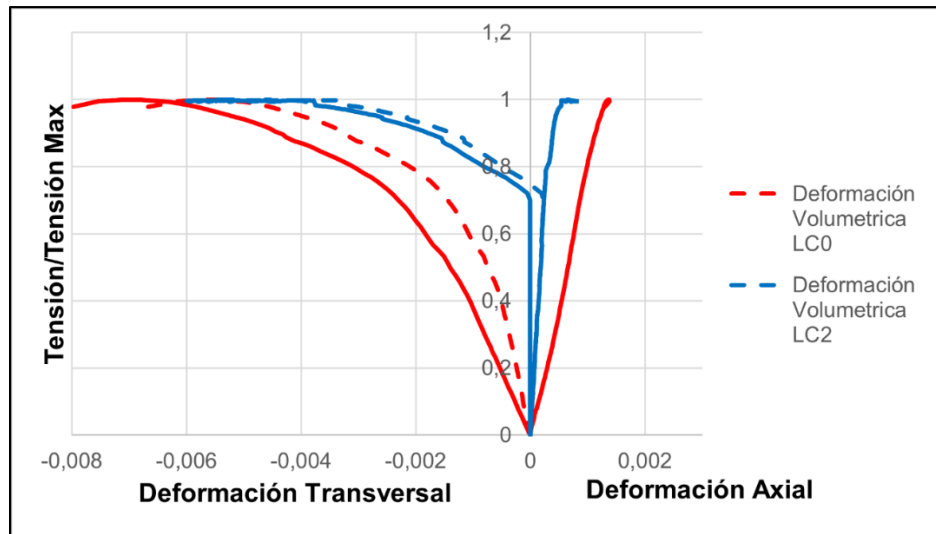


Figura 26. Gráfica tensión – tensión máxima de las probetas promedio de los casos de carga LC0 y LC2.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El estudio realizado permitió evaluar el comportamiento mecánico de columnas en su condición no reparada o condición inicial, estas columnas tuvieron una resistencia a compresión de 390 kg/cm^2 resultado esperado por el aporte de los refuerzos longitudinales y transversales, confinando el concreto aportando mayor ductilidad, la deformación axial máxima se determinó en 2‰ y la deformación transversal tuvo un máximo del 8‰, la deformación transversal supero a las deformaciones axiales por ser una columna corta, esta falló por aplastamiento aumentando el volumen del miembro durante la aplicación de la carga durante el ensayo, la cantidad de energía que fue capaz de absorber durante el ensayo hasta llegar a la falla fue de $0,043 \text{ Mega Joules/m}^3$.

Para las columnas LC1, se conocieron los efectos de las cargas axiales sobre el comportamiento mecánico del encamisado ya que, considerando el patrón de carga, solo trabajo el encamisado y el puente adherente, soportando las tensiones por compresión y corte respectivamente. Este caso de carga permitió conocer el aporte en resistencia que genera el encamisado al núcleo con un valor de 150 kgf/cm^2 . Por otra parte, no hubo un gran aporte con respecto a la rigidez donde el módulo de elasticidad se determinó en 138.087 kgf/cm^2 . El encamisado tuvo mayor ductilidad que el núcleo con un aumento del 103 % en su deformación unitaria Axial. Se determinaron las tensiones máximas por corte que se generaron entre el encamisado y el núcleo reportando valores de 29 kgf/cm^2 punto en el cual se presentó la falla y el posterior deslizamiento del núcleo respecto al encamisado. Evaluando las deformaciones transversales se pudo observar como este patrón de carga genero mayores deformaciones transversales que longitudinales, de allí a que la figura 25 la curva tendiera a irse hacia la izquierda llegado el 40% de las tensiones por compresión.

Al realizar los ensayos de las columnas correspondientes al caso de carga LC2, se pudo determinar el efecto de las cargas axiales sobre dichos prismas, estas columnas tuvieron dos tipos de fallas actuando en simultaneo, una falla por compresión y una falla por adherencia, donde la resistencia a la compresión obtenida es de 190 kg/cm^2 y una tensión cortante en promedio de 67 kg/cm^2 actuando en el área de adherencia en el momento de la falla, como se expuso anteriormente la columna solo era apoyada en el área del encamisado, por lo tanto la resistencia

obtenida durante el ensayo es la capacidad resistente que aporta el encamisado de refuerzo junto al puente adherente. Durante el ensayo se pudo observar el aumento de la rigidez del miembro, efecto obtenido por el aumento de sección dado por el encamisado, obteniendo un módulo de elasticidad (E) 565257 kg/cm^2 lo que equivale en un aumento del 107 % con respecto a las columnas en su condición inicial. El aumento de rigidez se aprecia en la disminución de las deformaciones axiales y transversales. La capacidad de absorción de energía que obtuvo las columnas durante el ensayo hasta la falla fue de $0,078 \text{ Mega Joules/m}^3$ lo que representa en un aumento del 81 % con respecto al caso LC0.

Durante los ensayos de las columnas reparadas se observó un desplazamiento del núcleo con respecto al encamisado debido a las tensiones cortantes que se generaron entre las superficies que el puente adherente no tuvo la capacidad de disipar, este desplazamiento represento el espesor de la placa base de 12 mm.

El número de muestras ensayadas no son lo suficientemente representativas para que los resultados sean conclusivos.

5.2 Recomendaciones

Se debe tomar en cuenta que en ningún caso la columna reparada trabajó a sección plena, por lo que se recomienda hacer un ensayo a compresión aplicando la carga en toda el área del tope y esta ser apoyada sobre toda el área de la base para estudiar la capacidad de resistencia que aporta el miembro reparado, trabajando este como un conjunto y obtener un estudio completo del diseño del refuerzo estructural.

Es recomendable que, para continuar los estudios del diseño del refuerzo de encamisado de mortero reforzado, se evalué el efecto de punzonamiento que se genera en el núcleo de las columnas reparadas

Para continuar con la investigación se debe evaluar el comportamiento de las columnas reforzadas con encamisado bajo el uso de distintos tipos de configuraciones del puente adherente para la obtención de un diseño que presente un mejor rendimiento ante las fuerzas actuantes.

REFERENCIAS

Cervera, M. & Blanco, E. *Resistencia de materiales. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2015.*

Duran, Q. & Carlos, I. (2008). *Refuerzo con bandas de fibra de carbono (CFRP) en columnas cortas de concreto reforzado. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería.*

Madrid, M. *Tecnología de la adhesión. Departamento Técnico de Loctite, España.*

Disponible en:

<https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-anahuac/tribologia/curso-de-adhesivos/9606426>.

Matheus, L.; Medina, D. & Shirley, N. (2019). *Análisis de la incidencia de exo-refuerzo en manto PET sobre el comportamiento de probetas normalizadas de concreto sometidas a tensiones de compresión. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.*

Minuart, L. & Tovar, V. *Análisis de la influencia de la longitud de adherencia de manto en fibra de carbono sobre la capacidad de miembros en concreto estructural sometidos a carga monotónica creciente. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.*

Pallas, R. *La valoración de las fuerzas de adhesión de sistemas adhesivos autograbantes sobre dentina irradiada con láser de Er. Tesis Doctoral. Universidad Internacional de Catalunya, 2013. Disponible en:*https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/110929/Tesi_Rodrig_o_Jose_Pallas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Park, R. & Paulay, T. *Estructuras de Concreto Reforzado. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury. Editorial Limusa. México, 1983.*

Popov, E. *Mecánica de sólidos. Pearson Educación, México, 1983.*

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. & Velazco, G. *Manual del Concreto Estructural. 2da Edición.* Caracas, 2008.

Rudawska, A. (2018, marzo). *The influence of adhesive compounds biomechanical modification on the mechanical properties of adhesive joints.* Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym11050804>.

ANEXOS

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PROBETAS POSTERIOR AL ENSAYO DE ROTURA.







ANEXO 2

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ESTRUCTURA METÁLICA.

