



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**Facultad de Ingeniería
Colegio de Ingeniería Civil**

**“Comparación experimental del
comportamiento estructural de vigas a
flexión con y sin traslape en refuerzo
longitudinal”**

Que para obtener el grado de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

López Díaz Christian Xavier

Director de tesis:

PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui

Codirector de tesis:

M.I. Eduardo García Zenteno

Puebla, Pue.

Septiembre 2025



Oficio No. SAC/1282/2025

C. Christian Xavier López Díaz -201667866-
Pasante de la carrera de ingeniería Civil
Presente.

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS A FLEXIÓN CON Y SIN TRASLAPE EN REFUERZO LONGITUDINAL”.

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como director de tema al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui y como codirector al Mtro. Eduardo García Zenteno.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 20 de agosto de 2025

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director

M'ACGZ/M'VGL/barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Bld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
222 229 55 00 Ext. 7610

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

El que suscribe: Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui, director del tema de tesis:

“COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS A FLEXIÓN CON Y SIN TRASLAPE EN REFUERZO LONGITUDINAL”.

Presentada por el C. Christian Xavier López Díaz -201667866-, pasante del Colegio de Ingeniería Civil, y en atención al Oficio No. SAC/1282/2025 con fecha de emisión 20 de agosto de 2025, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 08 de noviembre de 2025



Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui
Director de tema

M'AEPS/BARV
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

ING. JAVIER LOPEZ ENTZIN

DRA. ADA LUZ DIAZ DOMINGUEZ

Por haber tenido paciencia, apoyo incondicional y moral para concluir una etapa más de mi vida, ya que, gracias a sus consejos, su ejemplo, dedicación y valores logre terminar mis objetivos y poder enfrentar todas las etapas de mi vida.

A MIS HERMANOS:

Dafne Guadalupe, Eileen Aitana por su apoyo moral y darme una razón de seguir adelante en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

ING. Javier López Entzín

DRA. Ada Luz Díaz Domínguez

A MIS HERMANOS:

Dafne Guadalupe y Eileen Aitana, por haber estado siempre conmigo y no abandonarme en esta última etapa de mis estudios.

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE ME APOYARON Y
ACONSEJARON PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.**

A LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA:

Por haberme formado profesional y éticamente.

RESUMEN

Se presenta una evaluación experimental sobre los efectos de traslapar el acero longitudinal a tensión en la zona del mayor momento flexionante de una viga de concreto reforzado, se construyen dos vigas de 15x20 cm de sección transversal y 244 de largo, 4 varillas de acero corrugado de 3/8" corridas y estribos de alambIÓN a cada 15cm, la primera viga con el acero longitudinal corrido (VST) y la segunda con un traslape en el centro del claro en el acero a tensión (VCT) adicionalmente en esta viga en la zona del traslape se cierran los estribos de alambIÓN a cada 5 cm de separación. Dentro de las conclusiones de la evaluación se determina que la ductilidad y momento resistente no se ven afectadas por el traslape, pero si la rigidez aumenta, los desplazamientos se acortan y modo de falla cambia a ser frágil al realizar esta práctica constructiva.

ABSTRAC

In this research, the effect of tension lap splices on concrete reinforced beams is presented. Two beams were constructed with transversal section of 15 x 20 cm and long of 244 cm, reinforce with 4 rebars of 3/8" as rebar and loops of 1/4" every 15 cm as web reinforce, the first beam has no lap splices (VST), the second one beam was constructed with the tensile lap splices in the middle of the span, where the maximum flexural moment is applied and the transversal reinforcement is every 5 cm. From the results of the test we can conclude that the ductility and flexural capacity are not affected but it is the stiffness, displacements and final stated. The stiffness got increment, the displacements were reduced and the final stated turn fragile when this building detail is done.

INTRODUCCIÓN

En esta tesis se investiga como afecta el comportamiento estructural el hecho de traslapar el acero de refuerzo longitudinal en las zonas donde aparece el máximo momento flexionante en vigas simplemente apoyadas, esto con la finalidad de conocer la consecuencia de colocarlo en la posición opuesta a la dictaminada en la norma, y con ello advertir o recomendar al constructor que efectos puede tener el incumplir esta recomendación. Esto se conseguirá a través del ensaye de dos vigas de concreto reforzado a flexión, una de ellas construida con el acero longitudinal corrido sin traslapes y una segunda con un traslape en el centro del claro en la zona de mayor momento flexionantes, en este caso se incorporan todos los requerimientos de acuerdo a la norma vigente.

A lo largo de esta tesis se mostrarán y analizarán diversos aspectos sobre las vigas de concreto reforzado y su detallado con respecto a los traslapes, así, en el primer capítulo analizaremos la historia del concreto y los problemas con los que se encuentra el diseñador y constructor en el traslape del acero longitudinal, como lo son, sustitución por conectores mecánicos o soldaduras, traslapes instalados post-colado de los elementos e influencia del agrietamiento en el traslape.

En el capítulo dos se mencionan las teorías de diseño y revisión a flexión pura de vigas de concreto reforzado, así también se estudian los requerimientos mínimos para realizar el detallado en el habilitado y armado del acero de refuerzo longitudinal en las normativas vigentes y anteriores. Este capítulo culmina con la definición de las propuestas de elementos a ensayar.

El capítulo tres muestra la calidad de los materiales, su clasificación y toda la información necesaria para el diseño de las mezclas de concreto. Se describe también todo el proceso constructivo de las dos vigas, revenimiento del concreto fresco, resistencia de los cilindros y así como el cálculo de la resistencia a flexión teórica.

En el cuarto capítulo se presenta el equipo de laboratorio que se emplea, así como todos los detalles de la ejecución de los ensayos de ambas vigas, la recopilación de datos.

En el quinto capítulo se realiza la comparación y discusión de la información recolectada en los ensayos, posterior a esto se mencionarán las conclusiones y las posibles recomendaciones del trabajo de investigación.

ÍNDICE

OFICIO DE AUTORIZACIÓN	I
OFICIO DE IMPRESIÓN	II
DEDICATORIA.....	A
AGRADECIMIENTOS	B
RESUMEN.....	C
INTRODUCCIÓN	D
ÍNDICE	F
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	1
1.1.- Traslapes en vigas de concreto reforzado.....	1
1.2.- Traslapes, conectores mecánicos y soldaduras.....	4
1.3.- Traslapes post-instalados.....	6
1.4.- Influencia de grietas preexistentes.....	8
1.5.- Orientación de la investigación.....	8
1.5.1.- Justificación.....	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	12
2.1.- Revisión por flexión.....	12
2.2.- Requerimientos de traslapes en acero longitudinal.....	17
2.3.- Refuerzo transversal en traslapes.....	20
2.4.- Propuesta para la evaluación de traslapes acorde a las NTC.....	21
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS	
ESTRUCTURALES.....	23
3.1.- Materiales.....	23
3.2.- Proporcionamiento del concreto.....	30

3.3.- Proceso constructivo de las vigas.....	31
3.3.1.- Proceso constructivo VST.....	37
3.3.2.- Proceso constructivo VCT.....	38
CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN EXPERIMENTAL.....	39
4.1.- Laboratorio de ensayos.....	39
4.1.1.- Aplicación de carga.....	39
4.1.2.- Adquisición de datos.....	40
4.2.- Colocación de vigas dentro el Marco de Carga.....	41
4.3.- Protocolo de ensaye.....	43
4.4.- Resistencia del concreto.....	44
4.5.- Comportamiento Estructural VST.....	46
4.6.- Comportamiento Estructural VCT.....	48
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	I
ANEXO 1.- REPORTE DE LABORATORIO DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	III
ANEXO 2.- REPORTE DE LABORATORIO DEL ENSAYE DE CILINDROS DE CONCRETO.....	VI
ANEXO 3.- REPORTE DE ENSAYE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES....	IX
ANEXO 4.- HOJA DE CÁLCULO EMPLEADA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	XIV

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1.- Traslapes en vigas de concreto reforzado

Un estudio experimental sobre la longitud óptima de empalmes por traslape en barras de refuerzo de acero para concreto, con énfasis en verificar si las longitudes menores a las mínimas establecidas por norma siguen cumpliendo con los requisitos mecánicos es presentado por Muin (Muin & Sholeh, 2018).

El objetivo consiste en evaluar si las longitudes de empalme por traslape menores a las prescritas por la normativa (SNI 2847:2013) pueden cumplir con las propiedades mecánicas requeridas, usando acero de refuerzo tipo BJTS-40 ($f_y = 40 \text{ kg/mm}^2$) y concreto de calidades K-400 y K-450.

Se realizaron ensayos de tracción en dos etapas:

Etapla 1: probetas con longitudes de traslape de 1.2 veces la longitud de desarrollo (l_d) (40 cm) y 1.3 l_d (43 cm) usando concreto K-400.

Etapla 2: probetas con longitudes de 27 cm y 30 cm usando concretos K-400 y K-450 para validar si se puede reducir la longitud del empalme sin comprometer la resistencia.

Se utilizaron barras de 10 mm de diámetro y se ensayaron en una máquina universal (UTM). Se realizaron pruebas de uniformidad del concreto con esclerómetro y ensayos de compresión en cubos estándar.

Se concluye que, la longitud de empalme de 27 cm con concreto de calidad suficiente ($\geq \text{K-400}$) puede cumplir con los requisitos mecánicos del refuerzo, incluso si es menor al mínimo normativo. La relación entre la resistencia de tracción del empalme y la resistencia media del acero fue del 98%, indicando buen desempeño estructural. El empalme clase B con longitud 1.3 longitud de

desarrollo es adecuado, pero incluso longitudes menores como 27 cm pueden ser aceptables si el concreto tiene suficiente resistencia.

Además, este estudio sugiere que, bajo ciertas condiciones controladas (alta calidad de materiales y buen diseño), las longitudes mínimas normativas podrían optimizarse para reducir costos o adaptarse a condiciones de obra (Muin & Sholeh, 2018).

.

Una evaluación de las recomendaciones del ACI fue realizado por Gillani et al (Gillani, Lee, Lee, Lee, & Hong, 2021), analiza el comportamiento del acero de refuerzo en vigas de concreto reforzado. Se construyeron y ensayaron doce vigas a escala real con empalmes por traslape en la zona de tensión, sometidas a carga de cuatro puntos. Se dividieron en dos grupos: uno con longitudes de empalme menores a lo recomendado por el ACI 318-19, que fallaron por pérdida de adherencia antes de que el acero alcanzara su límite elástico; y otro con longitudes mayores, que fallaron por fluencia del acero, mostrando comportamiento dúctil.

Se instalaron galgas extensiométricas a lo largo del empalme para registrar deformaciones locales. Se encontró que la deformación máxima ocurre en el extremo cargado del empalme, disminuyendo hacia el extremo libre, evidenciando una discontinuidad en el flujo de esfuerzo que provoca concentraciones de tensión y agrietamientos en los extremos del empalme.

Los resultados indican que una longitud de empalme insuficiente genera fallas frágiles, mientras que una longitud adecuada permite una redistribución de tensiones y mayor capacidad de disipación de energía. Además, se compararon las resistencias de adherencia obtenidas experimentalmente con tres modelos existentes (Orangun, Darwin, Esfahani y Kianoush), siendo el modelo de

Orangun el que mejor predijo los resultados. Finalmente, se concluye que garantizar una longitud de empalme adecuada es clave para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras, incrementando tanto la ductilidad como la capacidad de disipación de energía (Gillani, Lee, Lee, Lee, & Hong, 2021).

Otra investigación importante en el tema de los traslapes es la realizada por Mabrouk et al (Mabrouk & Mounir, 2017). El estudio investiga el comportamiento de vigas de concreto reforzado (RC) con empalmes por traslape en la zona de tensión, confinados con refuerzo transversal y elaboradas con diferentes tipos de concreto: concreto de resistencia normal (NC), concreto autocompactable (SC) y concreto de alta resistencia (HC). Se ensayaron dieciséis vigas bajo flexión pura, variando parámetros como el número, distribución, forma y diámetro de los estribos en la zona del traslape.

Los resultados mostraron que, sin refuerzo transversal en la zona del empalme, las vigas fallaron de manera frágil. En contraste, el uso de estribos confinando la zona del traslape mejoró notablemente la capacidad de carga, la ductilidad y cambió el modo de falla a uno más dúctil por flexión. El número y la distribución uniforme de los estribos resultaron ser factores clave para mejorar el desempeño estructural, siendo los estribos rectangulares los más eficientes.

Además, se realizaron simulaciones numéricas mediante el software ABAQUS, usando un modelo plástico dañado para el concreto. Los resultados analíticos coincidieron razonablemente con los experimentales, validando el modelo empleado.

El estudio concluye que la inclusión de refuerzo transversal en los empalmes mejora significativamente el comportamiento de las vigas, especialmente en concreto autocompactable, que mostró un mejor desempeño que el concreto vibrado normal para la misma resistencia. También sugiere que los códigos de diseño deben considerar explícitamente el efecto del confinamiento en zonas de traslape.

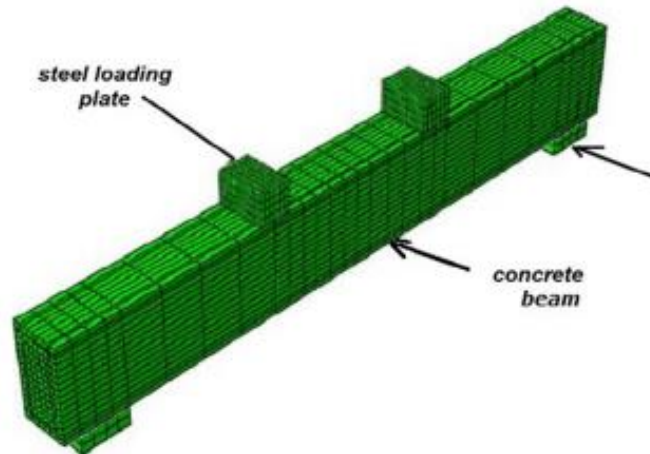


Figura 1-1 Modelos numéricos realizados por (Mabrouk & Mounir, 2017) .

1.2.- Traslapes, conectores mecánicos y soldaduras

El estudio realizado por González (González & Florián, 2018) compara la eficiencia estructural, económica y funcionalidad de los empalmes hechos por traslape contra a los empalmes mecánicos y los empalmes soldados. El objetivo general fue analizar y comparar la factibilidad económica, la resistencia y la funcionalidad de los empalmes por traslape y empalmes mecánicos en elementos de concreto armado.

La metodología utilizada incluye pruebas de laboratorio como ensayos de tensión sobre barras de acero de 1" y 3/4" con empalmes mecánicos en el laboratorio Atteco. Una comparación de costos unitarios en pesos dominicanos de ambos empalmes.

Los tipos de empalmes analizados presentados son:

- Empalmes traslapados: Los cuales transfieren esfuerzos de tensión a través del concreto por medio de los esfuerzos adherencia.
- Empalmes mecánicos: Conectores metálicos que unen las barras directamente, generalmente roscados.
- Empalmes soldados: se realizan mediante calor y presión entre las barras, los cuales son menos comunes y requieren también equipo especializado en campo para realizarse.

En los resultados de la resistencia a tensión muestran que los empalmes mecánicos mostraron alta resistencia, alcanzando rotura en las propias barras antes que en el conector, cumpliendo los requisitos del ACI ($\geq 125\%$ de f_y). Los empalmes por traslape son funcionales pero limitados ante exigencias sísmicas o alta concentración de acero. Para el caso de conectores soldados, en el Laboratorio de Estructuras de la FI-BUAP se han realizado únicamente pruebas de dobles marcados por las ONNCCE donde los resultados fueron totalmente satisfactorios.



Figura 1-2 Ensayes en conectores realizados por (González & Florián, 2018).

Los resultados presentados en el análisis económico muestran que los empalmes por traslape son más económicos (menor costo unitario). Los conectores mecánicos son los de mayor costo, pero ahorran espacio y tiempo en obra, donde la diferencia de costo se justifica cuando se requiere alta resistencia o hay limitaciones geométricas. El costo presentado para los conectores por soldadura es un tercio del costo de los conectores mecánicos.

Con respecto a la funcionalidad se encuentra que el traslape de barras es fácil de implementar, adecuado para cargas bajas y moderadas. Los empalmes mecánicos son adecuados para zonas de alta carga, mejor comportamiento sísmico, los cuales permiten continuidad de carga. Los empalmes soldados requieren control riguroso y no se recomiendan en zonas sísmicas si no se realiza con alta calidad (González & Florián, 2018).

1.3.- Traslapes post-instalados

Los traslapes post-instalados (PI) se aplican en conexiones entre elementos de concreto ya existentes y concretos nuevos, un estudio realizado por Croppi et al (Croppi, Ahrens, Palmeri, Piccinin, & Mark, 2024) tuvo el objetivo de evaluar el desempeño de empalmes por traslape con barras PI utilizando diferentes morteros de inyección, comparándolos con barras embebidas originalmente (cast-in, CI), tanto a nivel local (ensayos de adherencia) como estructural (ensayos de flexión en losas).

Se realizaron tres series de ensayos: Pull-out (extracción): barras individuales con distintos morteros. Tensión directa: empalmes PI y CI bajo carga axial. Flexión en losas: losas unidas mediante empalmes PI y CI sometidas a flexión a cuatro puntos. De igual forma se ensayaron tres tipos de morteros, el primero es

epóxico de alta adherencia y los otros dos son híbridos (orgánicos y cementosos). Los ensayos incluyeron mediciones de desplazamiento y deformación mediante sensores ópticos de fibra (FOS) y correlación digital de imágenes (DIC).

Dentro de los resultados tenemos que en los ensayos pull-out, las barras PI muestran una resistencia de adherencia significativamente mayor que las CI (hasta 2.4 veces más). El mortero epóxico mostró la mayor rigidez y fuerza de adherencia; en los ensayos de tensión directa, el aumento de capacidad con respecto a las barras CI fue menor que 14% para mortero epoxico, 10% para mortero híbrido orgánico y 4% para motero híbrido cementoso. La distribución de esfuerzos de adherencia presenta más uniformidad en los morteros menos rígidos; el mortero A concentró esfuerzos en el primer tercio del traslape; y para los ensayos en losa, la losa con PI y mortero A alcanzó el 88% de la carga máxima del refuerzo continuo (referencia), frente al 67% del CI. Con longitudes de traslape mayores (400 mm), los empalmes PI y CI alcanzaron fallas dúctiles por cedencia de acero. Las losas PI mostraron menores anchos de fisura en la unión del concreto que las CI, mejorando el comportamiento a servicio.

Se concluye que las barras PI con mortero de alta rigidez pueden superar la adherencia de las barras CI, incluso bajo condiciones de fallo por separación del concreto. La rigidez del mortero afecta tanto la distribución de esfuerzos como el tipo de fisuración. Con longitudes adecuadas, los empalmes PI logran desempeños estructurales comparables a los empalmes CI o al refuerzo continuo, con beneficios adicionales en términos de fisuración (Croppi, Ahrens, Palmeri, Piccinin, & Mark, 2024).

1.4.- Influencia de grietas preexistentes

Un estudio realizado por Yuan et al (Yuan, O'Reilly, Matamoros, & Darwin, 2016) muestra cómo afectan las grietas preexistentes, especialmente aquellas ubicadas en el plano de las barras de refuerzo, a la resistencia de empalmes por traslape. Se ensayaron 10 vigas a escala real con longitudes de empalme de 33,79 y 120 pulgadas, algunas con juntas frías simulando grietas preexistentes.

Para esto se dividieron las vigas en dos grupos con diferentes configuraciones de refuerzo, algunas de estas se construyeron con juntas frías, se usaron diferentes longitudes de empalme y refuerzos transversales y se aplicaron cargas en cuatro puntos hasta la falla para evaluar el comportamiento.

Cuando no hay refuerzo cruzado la grieta, la resistencia de empalme se redujo hasta un 50%, en cambio sí hay refuerzo transversal adecuado, las grietas no tuvieron un efecto significativo. Para los empalmes largos (120"), incluso con grietas se alcanzó el rendimiento del acero antes de la falla del empalme.

En conclusión, las grietas preexistentes pueden comprometer severamente la resistencia del empalme si no se mitigan adecuadamente, el esfuerzo transversal es eficaz para reducir los efectos negativos, y los diseñadores deben considerar las presencias de grietas y la configuración del refuerzo al evaluar la seguridad estructural (Yuan, O'Reilly, Matamoros, & Darwin, 2016).

1.5.- Orientación de la investigación

Los traslapes de las varillas longitudinales son en muchas veces mal colocados en obra. Debido a que en México la autoconstrucción es muy común, la calidad del habilitado y armado del acero de refuerzo está a menester del constructor,

sean estos albañiles que aprendieron por experiencia o profesionistas sin la capacitación o ética que permita asegurar la colocación adecuada del acero de refuerzo, sean por ejemplo, el dobles final de los estribos, la separación de estribos, la separación correcta entre barras longitudinales, y, entre otros más, la ubicación y largo de los traslapes del acero.

La mala ubicación de los traslapes en los elementos estructurales y secundarios es un problema que es subestimado. Pero el problema no radica en la ejecución de obra, es el diseñador o planificador de la obra o estructura quien debe determinar la ubicación de los traslapes, sin embargo, estos solo son indicados en frases o textos que generalmente son ignorados en los planos al momento de construir.

Los requisitos de los traslapes son sencillos pero difíciles de ejecutar. La norma más confiable a nivel nacional para la ejecución de obras son las Normas Técnicas Complementarias para la construcción, las cuales apoyan a los diseñadores para cumplir con los requisitos mínimos de calidad y seguridad de las obras, en este sentido, las recomendaciones habían sido muy sencillas hasta la última versión, en la cual se incorpora mayor detalle de acuerdo al uso que lleva el elemento estructural, esto es una nejería, sin embargo, la práctica no ha incorporado plenamente estas recomendaciones, dando lugar a que se sigan requerimientos anteriores y sencillos, los cuales pasan muchas veces sin ser percatados.

La colocación de los traslapes puede afectar el comportamiento estructural de las edificaciones. Las actuales recomendaciones de traslapes clasifican el uso de los traslapes de acuerdo al tipo de trabajo mecánico que van a realizar en el elemento, son diferentes las recomendaciones para acero longitudinal que trabaja a compresión que aquel que trabaja a tensión, y por otra parte, la mayoría de las recomendaciones básicas han sido no traslapar en un mismo punto de la

obra o no traslapar en la zona de los mayores momentos flexionantes, por lo que realizar estas prácticas de construcción pueden afectar el comportamiento o estabilidad de las obras.

Es por esto que en esta investigación pretende conocer el comportamiento de un punto significativo en el comportamiento estructural de las vigas a flexión que tienen un traslape, esto es comparar dos vigas de CR simplemente apoyadas ensayadas con las mismas condiciones para dos casos, el primero con el acero longitudinal a tensión sin traslape, tratándose únicamente de varillas corridas, y el segundo caso realizando el traslape en la sección del lecho inferior donde se presentará el momento flexionante más crítico. Con esto se pretende conocer cuál sería la consecuencia en el comportamiento estructural cuando los traslapes se realizan en las zonas de mayor momento, contrario a la indicación de la norma.

1.5.1.- Justificación

Las malas prácticas en la construcción de cualquier obra civil pueden provocar problemas graves en las estructuras. Muchas de las fallas que se presentan en las estructuras tienen su origen en el proceso constructivo de las mismas, la autocostrucción genera que muchas veces las reglamentaciones mínimas sean ignoradas y así como las teorías básicas, un ejemplo muy claro de esto es la incorporación excesiva de agua a las mezclas o el concreto fabricado en obra, el cual disminuye la resistencia de los elementos estructurales, provocando fallas frágiles y bajas resistencias, la cantidad de patologías que se generan por este hecho son innumerables, otro ejemplo es el mal habilitado y colocación de estribos.

Dentro de los vicios en la constructivos se encuentra la ubicación de los traslapes de las varillas longitudinales en trabes y columnas, tema que es muy poco

renombrado en los diseños estructurales y generalmente ignorado durante la construcción, la ubicación y forma son generalmente realizados por los albañiles, los cuales pueden ignorar por completo la forma correcta de hacerlo; por lo tanto, la probabilidad de que los traslapes estén mal ubicados en el armado es alta, resulta de vital importancia conocer las consecuencias de colocar los traslapes en la peor situación posible en los elementos estructurales, para poder dar recomendaciones y/o reportes en lo que se requiere.

Esta investigación sirve además de una forma de evaluación a los lineamientos de traslapes emitidos por las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción con Concreto 2023, se buscará de esta forma comprobar o desmentir su seguridad en elementos con y sin lineamientos adecuados del tema.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se llevó a cabo la exposición de la teoría que se emplea para determinar la resistencia a flexión y cortante con la que se realizarán las comparaciones teórico experimentales de los siguientes capítulos.

2.1.- Revisión por flexión

Según el tipo de armado de refuerzo propuesto se diseñan las trabes para presentar un tipo de falla dúctil por tensión en el lecho inferior. La falla a tensión se presenta solo si la cuantía de acero longitudinal en la sección transversal de la viga es un valor cercano al mínimo estipulado por las normativas, el acero de refuerzo a tensión alcanzará su esfuerzo fluencia f_y antes de que el esfuerzo del concreto alcance su capacidad a compresión. La resistencia a la flexión o momento último flexionante de la sección transversal se alcanza cuando la deformación unitaria de la fibra más alejada del eje neutro (c) a compresión es $\mu_c = 0.003$. Cuando esta deformación se incrementa, el momento resistente último (MR) se reduce y la viga comienza a fracturarse en la región del concreto comprimido, si la cuantía de acero sea muy pequeña el acero se rompe.

El modelo estructural para el análisis estructural de elementos mecánicos se presenta en la **Figura 2-1**, la figura mencionada describe una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales a cada tercios del total del claro.

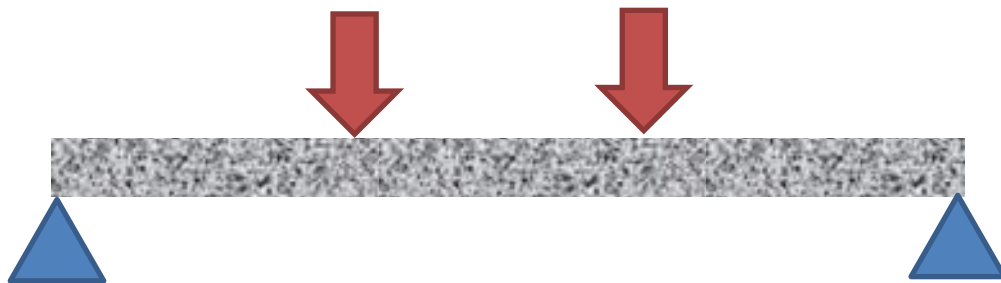


Figura 2-1 Modelo estructural para análisis de elementos mecánicos.

De esta forma, y acorde a la **Figura 2-2** las reacciones en los apoyos serán:

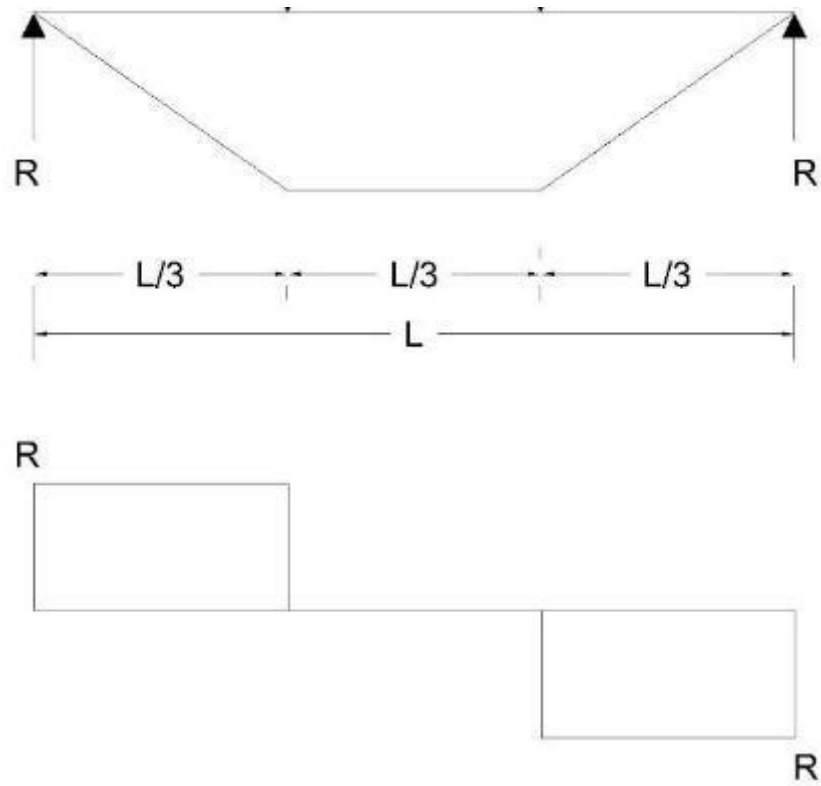


Figura 2-2 Elementos mecánicos.

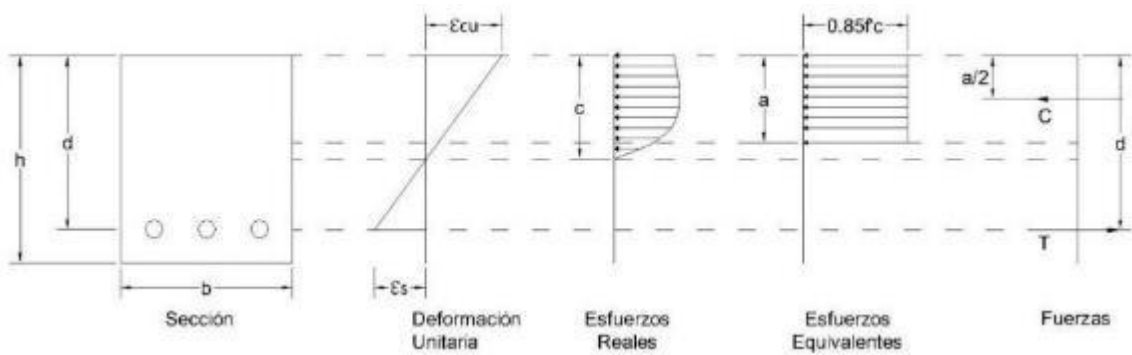


Figura 2-3 Análisis de la sección transversal.

En la **Figura 2-3** se presenta el diagrama de deformaciones unitarias, el cual se genera a partir de la hipótesis de que las deformaciones sobre la trabe, para esto

se supone que las deformaciones son directamente proporcionales a su distancia al eje neutro (c), es decir, la deformación unitaria en la varilla de refuerzo (ε_s) será igual a la deformación unitaria del concreto (ε_{cu}) en el mismo punto, y el valor máximo de este último será $\varepsilon_{cu} = 0.003$.

En el diagrama de esfuerzos reales que se muestra en la figura, se establece que la viga tendrá una distribución uniforme de esfuerzos a compresión de intensidad $0.85f'_c$ que ejerce sobre un área rectangular que termina en los bordes de la sección transversal y una recta paralela al eje neutro. Para simplificar el análisis de los esfuerzos reales se sustituye el volumen que forman los esfuerzos reales por una distribución rectangular de esfuerzo la cual se llama diagrama de esfuerzos equivalente y que tiene como características:

- Que el volumen propuesto tiene que ser igual al volumen resultante por los esfuerzos reales de la sección.
- Que el volumen estará delimitado por los bordes de la sección, la intensidad con valor $0.85f'_c$ y una profundidad de valor igual a a

A partir de las hipótesis anteriormente mencionadas se puede definir entonces una ecuación para poder estimar la fuerza a compresión resultante, la cual es igual al volumen resultante del diagrama de esfuerzos equivalentes como:

$$C = 0.85f'_c * a * b$$

Donde:

C = La fuerza de compresión total.

f'_c = la resistencia a compresión del concreto.

a = la profundidad del bloque de esfuerzos equivalentes.

b = el ancho del bloque de esfuerzos equivalentes.

Así mismo, podemos establecer una ecuación para estimar la fuerza resultante a tensión de la siguiente manera:

$$T = A_s * f_y$$

Donde:

A_s = Es el área de acero.

f_y = Es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Conjuntamente, como se estableció en la ecuación pasada, y ya que el valor de los esfuerzos son equivalentes entre si, podemos concluir que las fuerzas de compresión y tensión serán iguales, es decir:

$$C = T$$

Finalmente podemos establecer como el momento último resistente, en función al par de fuerzas que lo ejercen, la siguiente expresión:

$$M_u = T * j_d = C * j_d \therefore j_d = \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde

M_u = Es el momento último resistente de la sección transversal

d = Es la distancia entre el acero de refuerzo y la fibra de máxima deformación a compresión.

j_d = Es la distancia entre el par de fuerza de tensión y compresión.

Para el correcto análisis de este momento resistente es necesario conocer la profundidad “a” del bloque equivalente de refuerzo a compresión, esto se consigue a partir de la equivalencia antes establecida:

$$C = T$$

Sustituyendo el valor de cada fuerza se obtiene:

$$0.85 f'_c * a * b = A_s * f_y$$

Al despejar a obtenemos:

$$a = \frac{As * fy}{0.85f'c * b * d}$$

Considerando la ecuación de momento último:

$$M_u = T * j_d$$

Se sustituyen los valores de T y j

$$Mu = As * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Posteriormente se sustituye el valor de a y se simplifica algebraicamente:

$$Mu = As * fy * \left(d - \frac{As * fy}{2(0.85) * b * f'c}\right)$$

Teniendo en cuenta la ecuación para calcular el porcentaje de acero de refuerzo se despeja As , se sustituye y nuevamente se simplifica algebraicamente:

$$\rho = \frac{As}{b * d} \therefore As = \rho * b * d$$

$$Mu = \rho * b * d^2 * fy \left(1 - \frac{1}{2(0.85)} \rho \frac{fy}{f'c}\right)$$

$$Mu = b * d^2 * f'c * w \left(1 - \frac{w}{2(0.85)}\right)$$

Donde

$$:w = \rho \frac{fy}{f'c}$$

2.2.- Requerimientos de traslapes en acero longitudinal

Un traslape dentro de un elemento de concreto reforzado es la superposición de dos barras sobre una misma línea de refuerzo longitudinal, la cual permitir la continuidad al elemento, cuando una sola barra producida desde las fabricas no es suficientemente larga para cubrir las necesidades de la geometría del edificio. Los traslapes se utilizan en cualquier elemento estructural de concreto armado en un edificio tales como trabes, columnas, losas, cimentaciones y otros.

En la **Figura 2-4** se presenta un ejemplo de como se traslapa una varilla de acero longitudinal, este es uno de los muestrarios que se encuentran en el laboratorio de estructuras de la FI-BUAP.



Figura 2-4 Traslape de acero longitudinal.

Para realizar esta unión de traslapes se necesita tomar en cuenta una longitud de desarrollo, la cual podemos ver marcada en la **Figura 2-4** , a la cual podemos definir como “*longitud embebida del refuerzo en el concreto que se requiere para poder desarrollar la resistencia de diseño del refuerzo en una sección crítica*”, como se indica en las NTC 2023.

Con respecto a esta normativa, se nos señala que la longitud de un traslape no será menor que 1.33 veces la longitud de desarrollo de acuerdo al diámetro de la varilla, calculada de la siguiente manera:

$$L_{db} = \frac{a_s * f_y}{3(c + K_{tr}) * \sqrt{f'_c}} \geq 0.11 \left(\frac{d_b * f_y}{\sqrt{f'_c}} \right)$$

Donde;

a_s = Es el área transversal de la barra; (mm)

d_b = Es el diámetro nominal de la barra; (mm)

c = Es el recubrimiento en el elemento; (mm)

K_{tr}

= Es el índice de refuerzo transversal; se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} * f_{yv}}{100 * s * n}$$

Donde:

A_{tr} = Es el área total de las secciones rectas de todo el refuerzo transversal
; (mm)

f_{yv} = Es el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo transversal;
(kg/cm²)

s = Es la separación máxima centro a centro del refuerzo transversal;
(mm)

n = Es el número de barras longitudinales en el plano
potencial de agrietamiento

Por sencillez se puede considerar los siguientes aspectos:

En la ecuación se puede tomar un valor de K_{tr} igual a cero de forma conservadora, aunque exista acero de refuerzo transversal.

Por otra parte, L_d deberá ser siempre mayor que 30 cm.

La longitud de desarrollo tendrá que ser siempre mayor que el valor de la siguiente ecuación:

$$L_d \geq (0.01(f_y) - 6) * d_b; \text{ en } kg/cm^2$$

Cuando se realiza un traslape de más de la mitad de las barras de acero longitudinal dentro de un largo de 40 veces el diámetro, o cuando las uniones se hacen en secciones de esfuerzos máximos deben tomarse precauciones muy especiales y acordes con la seguridad estructural, por mencionar un ejemplo claro, en aumentar la longitud de traslape o en utilizar hélices de paso constante o estribos muy próximos en el tramo donde se efectúa el traslape.

Adicionalmente las normativas NTC 2023 especifican detalles adicionales sobre el traslape de varillas:

a) En cuanto a la cuantía de acero longitudinal que trabaja a tensión, p , no deberá exceder del 75 % del área balanceada calculada de acuerdo con las mismas normas.

b) El momento resistente positivo de la sección transversal en la unión viga-columna deberá ser mayor que un tercio del momento resistente negativo que se suministre en la sección transversal a lo largo del miembro, En ninguna sección transversal todos los momentos resistentes serán mayores que la cuarta parte del máximo momento resistente que tenga el elemento es sus extremos.

c) No se permitirán traslapar acero longitudinal en los casos siguientes:

- Dentro del nudo de las uniones viga-columna.

- En una distancia de dos veces el peralte total del elemento, medida desde el paño del nudo.
- En las zonas donde se espera que se puedan formar articulaciones plásticas producto de los desplazamientos laterales del sistema.

d) Pueden formarse paquetes de varillas con el refuerzo longitudinal de dos barras cada uno.

e) Las uniones soldadas y de dispositivos mecánicos deben cumplir los requisitos que marca la normativa NTC 2023, que indica que se unan barras alternadas y que las uniones de barras adyacentes estén separadas más de 60 cm en la dirección longitudinal del elemento.

Y más importante, la norma permite traslapes del refuerzo longitudinal sólo si en la longitud que abraza el traslape se coloca refuerzo transversal de confinamiento como hélices de paso constante o estribos cerrados adecuadamente. El paso o la separación de este refuerzo deberá ser menor que 0.25 diámetros o 100 mm.

2.3.- Refuerzo transversal en traslapes

Como se mencionó en la sección anterior se debe proporcionar un refuerzo transversal adicional a las vigas de concreto reforzado que tienen el traslape, esto se realiza en base a las recomendaciones del NTC 2023.

Se debe colocar el refuerzo transversal mínimo que se calcule en base a la demanda a cortante de acuerdo a las NTC. En y a ambos lados de cualquier sección donde pueda fluir el acero longitudinal por flexión por desplazamientos laterales en el rango inelástico de comportamiento.

La longitud del refuerzo transversal en la sección será la mayor de:

- La mayor dimensión transversal del elemento.
- Un sexto de su altura libre del elemento.
- 60 cm.

2.4.- Propuesta para la evaluación de traslapes acorde a las NTC

Una vez recopilado el estado del arte en cuanto al tema de traslapes a partir de artículos de reciente emisión, se prepara en este subtema la propuesta a evaluar experimentalmente en el laboratorio de Estructuras de la FI-BUAP.

El estudio comprenderá de dos vigas de concreto reforzado, la diferencia entre ellas es exclusivamente el traslape de varillas de refuerzo longitudinal en el acero a tensión. Ambas tienen una longitud total de 244 cm y sección transversal de 15 cm por 20cm de base y peralte respectivamente. La propuesta de armado será de 4 varillas longitudinales, dos por cada lecho, de diámetro de 3/8 de pulgada, y estribos de alambIÓN, cuya separación estará determinada por las NTC de Concreto 2017. En la **Figura 2-5** y **Figura 2-6** se presentan las propuestas de armado antes mencionadas. Se denomina VST a la viga de concreto reforzado Sin Traslape y VCT a la viga de concreto de reforzado construida con el traslape. La resistencia del concreto fue solicitada en 250 kgf/cm².

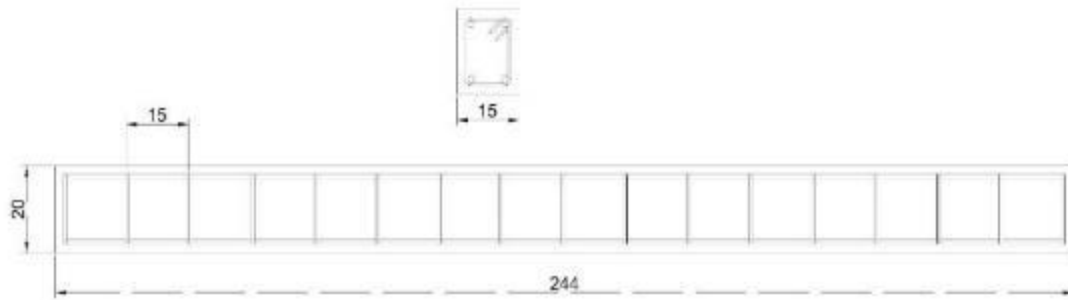


Figura 2-5 Armado de la viga convencional sin traslape.

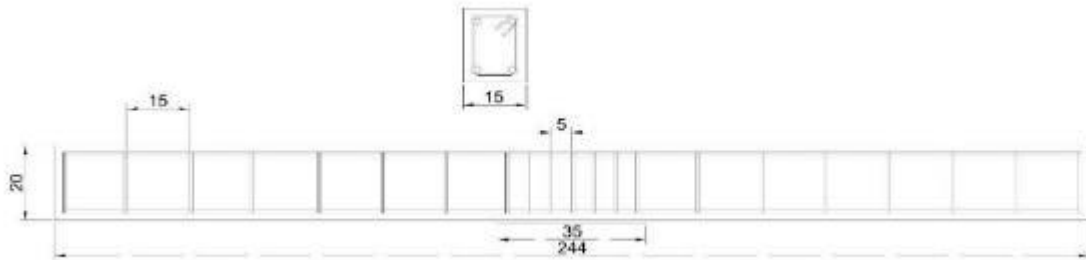


Figura 2-6 Armado de la viga con traslape en el acero longitudinal a tensión.

En los capítulos subsecuentes se mostrará la teoría a emplear para determinar su resistencia, proceso constructivo, pruebas de laboratorio preliminares y la prueba a flexión pura para evaluar la influencia del traslape del acero de refuerzo longitudinal sometido a tensión.

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.1.- Materiales

Los materiales empleados para construir las vigas de concreto reforzado en esta tesis fueron: arenas y grava de ½" trituradas, acero de refuerzo grado 42, cemento y agua, los cuales fueron procesados en los laboratorios de estructuras y materiales la Facultad de Ingeniería, a continuación se presentan las características principales de cada uno de ellos, los resultados de todas las pruebas se presentan en los anexos.

Arena

La arena empleada en la construcción de los elementos estructurales fue extraída de un banco desconocido, ingresada al laboratorio el día 16 de abril del 2019, se le realizaron las siguientes pruebas:

- Densidad del material, esta prueba está basada en la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014, consiste en conocer la masa por unidad de volumen, es decir, conocer cuanta masa tendría un metro cúbico de arena.
- Absorción total, esta prueba se encarga de determinar cuanta cantidad de agua puede acumular las arenas en un estado saturado de humedad, esté ensaye está basado en la NMX-C-170-ONNCCE.
- Granulometría por tamizado, basado en la NMX-C-496-ONNCCE-2014 para agregados, este ensaye permite conocer el tamaño y cantidad de las partículas que conforman a la arena.

- Peso volumétrico seco suelto PVSS y Peso volumétrico seco compacto PVSC, donde se conocerá el peso por cada metro cúbico de arena.
- Módulo de finura, este ensaye está basado en la norma NMX-C-111-ONNCCE, la cual define al módulo de finura como un índice que describe el grosor de la arena, dicho índice define la finura de la arena, la cual debe estar entre los valores de 2.3 y 3.1.

Los resultados de las pruebas anteriores se presentan en la **Tabla 3-1** y la granulometría de la arena se presenta en la **Figura 3-1**, dichos valores, aunque no se encuentren dentro de las normas, serán empleados para el diseño de la mezcla para concreto.

La justificación para ocupar este material en los ensayos, aunque no cumplan con la calidad deseable recomendada es que no se tuvieron recursos económicos por parte de ningún patrocinador si no que fueron cubiertos por el personal del laboratorio, por lo que no fue viable conseguir otro material, y, desde el punto de vista técnico, los valores de resistencia que se encuentren después de los ensayos serán parametrizados conforme a la resistencia que el concreto resulte.

Tabla 3-1 Propiedades mecánicas de la arena

Propiedades físicas		
Característica	Valor	Unidad
Densidad	2.22	
Absorción	152.53	%
PVSS	0.00	kg/m ³
PVSC	1685.27	kg/m ³
Módulo de finura	2.10	%

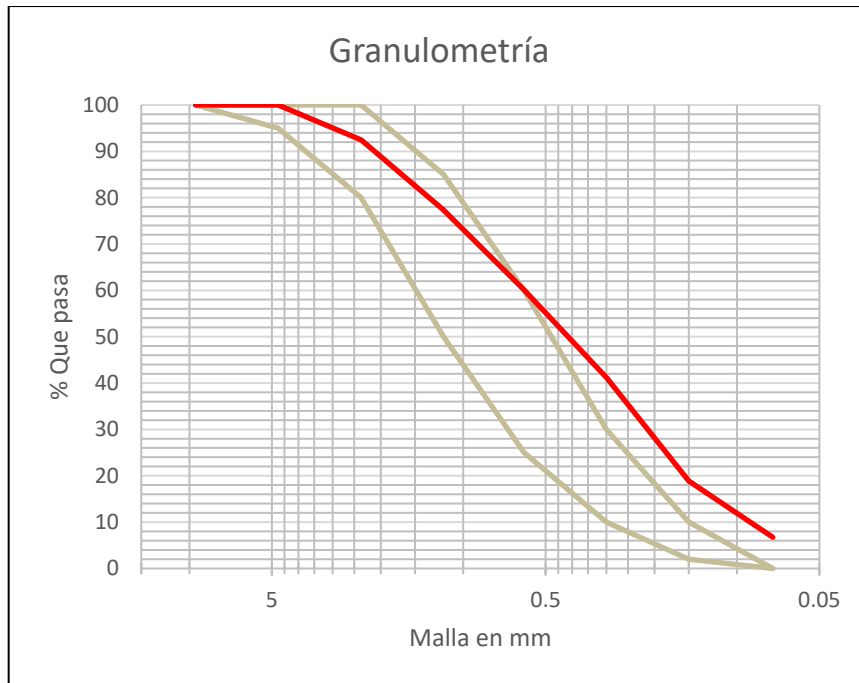


Figura 3-1 Granulometría de la arena



Figura 3-2 Ensayes a la arena

Grava

La grava triturada que fue empleada en la construcción de los elementos estructurales de esta tesis fue extraída de un banco desconocido, ingresada al laboratorio el día 16 de abril del 2019, se le realizaron las siguientes pruebas:

- Densidad del material, esta prueba está basada en la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014, consiste en conocer la masa por unidad de volumen de la grava, es decir, conocer cuanta masa tendría un metro cúbico de grava.
- Absorción total, esta prueba se encarga de determinar cuanta cantidad de agua puede acumular las gravas en un estado saturado de humedad, este ensaye está basado en la NMX-C-170-ONNCCE.
- Granulometría por tamizado, basado en la NMX-C-496-ONNCCE-2014 para agregados, este ensaye permite conocer el tamaño y cantidad de las partículas que conforman a la grava.
- Peso volumétrico seco compacto PVSC, donde se conocerá el peso por cada metro cúbico de grava.
- Módulo de finura, este ensaye está basado en la norma NMX-C-111-ONNCCE, la cual define al módulo de finura como un índice que describe el grosor de la grava, dicho índice define la finura de la grava, la cual debe estar entre los valores de 3.5 y 4.5.

Los resultados de las pruebas anteriores se presentan en la **Tabla 3-2** y la granulometría de la arena se presenta en la **Figura 3-3**, dichos valores serán empleados para el diseño de la mezcla para fabricar el concreto.

La justificación para ocupar este material en la construcción de los elementos se mencionó anteriormente, aunque no cumplan con la calidad deseable recomendada resultó complejo durante los trabajos experimentales cubrirlos con otros materiales diferentes.

Tabla 3-2 Propiedades mecánicas de la grava

Propiedades físicas		
Característica	Valor	Unidad
Densidad	1.67	
Absorción	6.76	%
PVSS	0.00	kg/m ³
PVSC	1644.67	kg/m ³
Módulo de finura	1.18	%

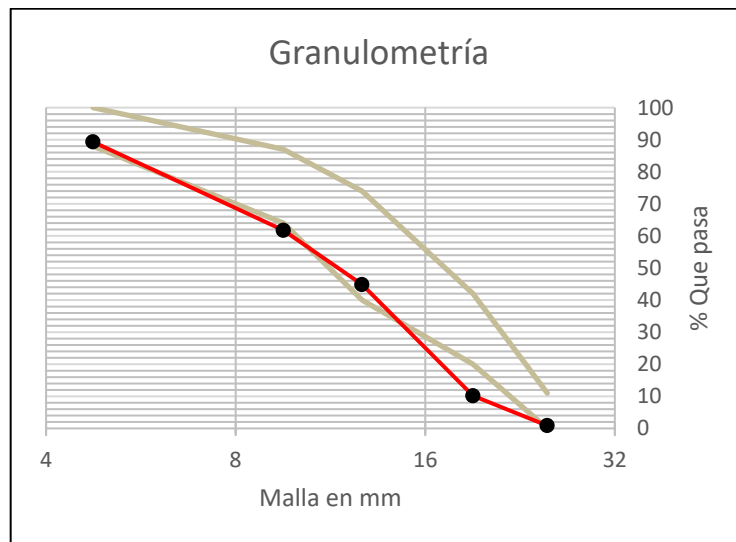


Figura 3-3 Granulometría de la grava



Figura 3-4 Ensayes a la grava

Cemento

Existen diversas pruebas que se pueden realizar al cemento, tales como: resistencia a la compresión, determinación de la sanidad, determinación de análisis químicos de los cementantes, determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis de cementantes, finura, calor de hidratación, etc., en este trabajo de investigación no se realizan pruebas al cemento, confiando en la calidad del productor.

El cemento empleado fue una donación de la empresa que lo producen, el cemento empleado fue Cemento Portland Compuesto Clase Resistente 30 (CPC 30) “Holcim Apasco ECOPlanet”. Como se verá más adelante la resistencia del concreto en uno de los elementos estructurales no pudo alcanzar la resistencia de diseño, dicho problema no es un obstáculo para la presente investigación, sin embargo, no se abundó en conocer cual fue el posible origen del problema, si la calidad del cemento fue uno de los problemas está se pasa por alto.



Figura 3-5 Cemento empleado

Agua

El agua que se emplee para la fabricación del concreto debe ser limpia y fresca, libre de aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas, sales, limo o cualquier otra sustancia perjudicial.

La normativa NMX-C-122-ONNCCE-2019 es quien determina todos los métodos de ensaye y límites aceptables que deberá cumplir el agua para la fabricación del concreto.

En esta investigación no se llevaron a cabo ninguna de estas pruebas y se confió nuevamente en el material empleado, el cual se extrajo de los depósitos de agua del laboratorio Integral de la Facultad de Ingeniería, **Figura 3-6**. Si el agua fue uno de las causas por las cuales no se pudo alcanzar la resistencia de diseño en el concreto se pasa por el alto debido a que los resultados de las pruebas serán parametrizados a la unidad evitando la influencia de este valor tan bajo.



Figura 3-6 Agua empleada en la fabricación del concreto

3.2.- Proporcionamiento del concreto

El proporcionamiento de la mezcla de concreto para esta investigación se realizó con el método ACI (American Concrete Institute), un ejemplo del proporcionamiento y hoja de cálculo se encuentra en el ANEXO 4 de esta tesis.

El método de diseño de mezclas por el ACI es un método cuyo objetivo es obtener proporciones correctas de cemento, grava, arena, agua y aditivos para concretos que cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Entre los pasos más importantes de este método podemos enlistar los siguientes:

1. Seleccionar resistencia deseada
2. Introducir tamaño máximo de agregados
3. Determinar el contenido de agua y aire
4. Determinar la relación agua/cemento
5. Determinar cantidad de cemento
6. Determinar cantidad de grava
7. Determinar cantidad de arena
8. Ajustar por contenidos de humedad.

De acuerdo al método ACI, las cantidades de materiales empleadas para la fabricación de las vigas se muestran en la **Tabla 3-3** para la viga sin traslape y en la **Tabla 3-4** para la viga que contiene el traslape. De ellas, aunque variaron las cantidades minimamente, se puede determinar que contienen la misma cantidad de material. La resistencia de diseño fue determinada en 250 kgf/cm^2 , las diferencias observadas en los materiales son debida a la exactitud del método, ya que se le solicitó a dos equipos diferentes de estudiantes el diseño de la mezcla.

Tabla 3-3 Proporcionamiento para VST

Material	Kg
Agua	20
Arena	44
Cemento	36
Grava	77

Tabla 3-4 Proporcionamiento para VCT

Material	Kg
Agua	22.12
Arena	47.17
Cemento	36.92
Grava	81.85

3.3.- Proceso constructivo de las vigas

Dentro de los ensayos del laboratorio se siguen los mismos pasos del proceso constructivo para las vigas de concreto reforzado:

Cuantificación de materiales

Dentro de los primeros pasos se encuentra el cálculo de material que se van a utilizar: se obtuvo el volumen de concreto, metros lineales de varillas de 3/8" y la cantidad de alambIÓN a utilizar como estribos en la fabricación de las vigas de concreto reforzado, tanto para ambas vigas.

Habilitado del acero de refuerzo

Seguido de eso se debe habilitar el acero de refuerzo: se tomaron medidas de las varillas para realizar tanto el corte como el dobléz que requiere el diseño para el armado de sus elementos, incluido los estribos de alambIÓN. Véase **Figura 3-7**.



Figura 3-7 Habilitado del acero de refuerzo

Habilitado de cimbra

Se habilita la cimbra universal que se encuentra en el laboratorio de tal forma que el elemento a colar cumpla las medidas del diseño éstas son, sección transversal de 15 cm x 25 cm y largo estándar de la cimbra de 244 cm. Véase **Figura 3-8**.



Figura 3-8 Ejemplo de habilitado de cimbra universal del laboratorio

La dosificación de materiales

Se obtuvieron la cantidad de material pétreo y cemento en litros a través del método ACI, para la mezcla no se empleó la revolvedora, sino que el concreto fue fabricado a mano por los colaboradores del laboratorio. (Véase **Figura 3-9**)



Figura 3-9 Materiales cuantificados para la fabricación de concreto

Revenimiento del concreto

Este paso se realiza antes del colado del elemento y después de la fabricación de este, se asegura que se cuente con la fluidés de diseño necesaria para la manejabilidad del concreto. Véase **Figura 3-10**

Fabricación y colado del elemento

Una vez habilitado la cimbra y colocado el armado de nuestro elemento a colar dentro se procede a vaciar la mezcla de concreto dentro de ella. Si la mezcla era muy seca y no trabajable se procedió a la adición de agua y cemento en la proporción de diseño, esto con la finalidad de no reducir la resistencia de diseño. Véase **Figura 3-11** y **Figura 3-12**.



Figura 3-10 Toma del revenimiento del concreto



Figura 3-11 Preparación del concreto



Figura 3-12 Colado del concreto

Muestro del concreto

Una vez que el elemento se coló, se procedió a la toma de muestra de concreto, que consistirá en el vaciado de una parte de la mezcla en 3 moldes cilíndricos con medidas conocidas y previamente engrasados, y se preparará muestra del acero de refuerzo. Esto se realizó acorde a las especificaciones de (161-ONNCCE, 2016) y la (083-ONNCCE, 2014). Véase **Figura 3-13**.



Figura 3-13 Muestreo del concreto en cilindros

Proceso de descimbrado

Los elementos colados serán extraídos a las 24 horas posteriores del colado, esto es: la viga de la cimbra universal y los cilindros de los moldes.

Proceso de curado

Al cumplirse las 24 horas de colado, se procede a realizar el curado de cada uno ellos con revisiones semanales hasta el día del ensaye. En el caso de las vigas estés fueron curadas por riego cubiertas con material impermeable durante los 28 días anteriores a su ensayo, y para el caso de los cilindros el proceso de curado se cumplió en el cuarto húmedo en el laboratorio de materiales y/o saturación dentro de las instalaciones del laboratorio de Estructuras. Véase **Figura 3-14**.



Figura 3-14 Curado de vigas en el laboratorio de estructuras

Resistencia del concreto

Al cumplirse 7, 14 y 28 días desde el colado de los cilindros de concreto se realiza al ensaye a compresión de los cilindros para determinar si el concreto cumple con la resistencia de diseño. El cabeceo se realiza con cabezales de neopreno cumpliendo con las especificaciones de norma. Véase **Figura 3-15**.



Figura 3-15 Ensayo de cilindros de concreto

Resistencia a tensión de las varillas

Para el Acero de refuerzo no se realizó ningún ensaye y se emplearon valores nominales del fabricante para el cálculo de la resistencia teórica.

Los pasos posteriores al proceso constructivo como lo son: colocación en el marco, cálculo de la resistencia última y ensaye monotónico creciente se describen en el siguiente capítulo.

3.3.1.- Proceso constructivo VST

El proceso constructivo de las vigas sin traslape es un ejemplo de viga que se ha construido en repetidas ocasiones en el laboratorio de Estructuras de La FIBUAP, los procesos constructivos han sido los mismos, aunque no ha si el diseño de la mezcla que ha cambiado dados los orígenes de los materiales, para la presente investigación la construcción de la viga se llevó a cabo entre el 8 de agosto al 30 de septiembre del 2019.

3.3.2.- Proceso constructivo VCT

Para el caso de la viga de concreto reforzado con traslape también se ha construido en varias ocasiones para demostraciones y prácticas de laboratorio en la FIBUAP, teniendo muy pocas variaciones en el proceso constructivo, para el caso de esta investigación la construcción de la viga con traslape se llevó a cabo entre el 8 de agosto y el 3 de octubre, fecha en la que fue ensayada.

En el siguiente capítulo se presentará el ensaye de las vigas una vez que alcanzaron la resistencia de diseño en el concreto, es decir, 28 días después de ser coladas.

CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN EXPERIMENTAL

4.1.- Laboratorio de ensayos

4.1.1.- Aplicación de carga

La aplicación de la fuerza en las vigas es realizada a través del Marco de Reacción y su equipo de bombas y gatos hidráulicos. El marco de reacción se encuentra en el Laboratorio de Estructuras de la FIBUAP está diseñado para efectuar pruebas a diversos elementos estructurales con diferentes dimensiones, en el caso de vigas de concreto el estándar de longitud que se ha realizado es de 2 m de claro libre, el proceso de prueba es mediante la aplicación de la Fuerza (o carga) efectuada por medio de la bomba hacia un gato hidráulico (de máxima fuerza de 100 toneladas) accionados por una válvula direccional. Dicho marco es presentado en la **Figura 4-1**.



Figura 4-1 Marco de Reacción

4.1.2.- Adquisición de datos

Durante la experimentación resulta de gran importancia recabar la información sobre la deformación que todos los elementos ensayados presenten cuando se les aplica una carga, es por esto que se requiere de un equipo de adquisición de datos, útil para conocer de manera precisa los desplazamientos que presenten las vigas.

El laboratorio de estructuras cuenta con dos sistemas de adquisición de datos, uno de fabricación nacional, Metronic, y otro de fabricación japonesa, Tokkyo Sokky Kenkyuyo, ambos cuentan con varios transductores de desplazamiento, celdas de carga y datalogger con caja de sw incluida. Para este caso se emplea el equipo de producción nacional, que cuenta con una precisión de 1/100 milímetros. En la **Figura 4-2** se presentan de izquierda a derecha, celda de carga de 100 toneladas, transductor de desplazamiento de 100 mm y datalogger de 16 canales.



Figura 4-2 Equipo de Adquisición de datos Metronic

Para el ensaye de las vigas VST y VCT se instrumentó con un solo transductor en el centro del claro y una celda de carga por debajo del pistón del gato hidráulico que proporciona la fuerza, con un intervalo de muestreo de un segundo, estos datos nos ayudarán en la comparativa del comportamiento estructural de ambas vigas.

4.2.- Colocación de vigas dentro del Marco de Carga

Las vigas de concreto reforzado a ensayar en el laboratorio de estructuras fueron colocadas tal y como se muestra en la **Figura 4-3**, la colocación obedece a dos objetivos importantes, el primero es que el apoyo de las vigas sea un apoyo isostático simple, con la idealización de una articulación y una unión simple respectivamente para cada extremo, y el segundo que el trabajo sea a flexión pura, tal y como se mostró en el diagrama de momentos de la **Figura 2-2**, donde en el tercio medio de la viga existe solo momento flexionante y ninguna fuerza cortante.

Desde la parte superior hacia abajo se colocaron los siguientes aditamentos, por debajo del piso del gato hidráulico se coloca el cabezal esférico para asegurar una carga axial hacia abajo, posteriormente la celda de carga para medir la fuerza actuante, seguido se coloca la viga de distribución de carga para dividir la fuerza en dos fuerzas puntuales, por debajo de ella dos rodillos de 2" de diámetro que asientan las dos fuerzas puntuales a un tercio de claro entre ellas y los apoyos de las vigas, a continuación el elemento a ensayar sobre sus apoyos articulado y simple en cada extremo, estos apoyos asientan sobre elementos de acero rígidos nombrados "muertos". Véase **Figura 4-3**.

En las vigas estudiadas la colocación siguió todo el orden descrito en el párrafo anterior, en la **Figura 4-4** se presenta una imagen de como estuvo colcada la viga VST antes de su ensaye, y en la **Figura 4-5** como quedó colocada la biga VCT.

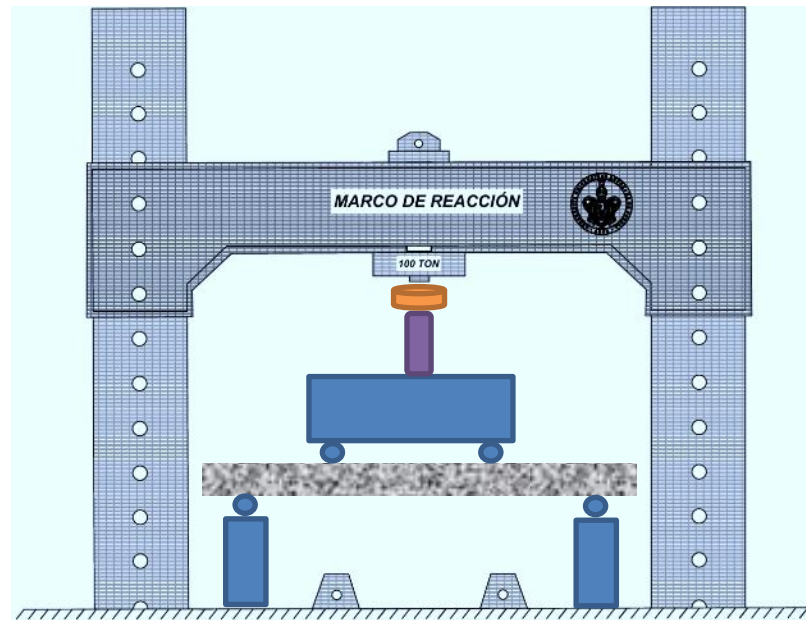


Figura 4-3 Colocación de las vigas en el Marco de Reacción



Figura 4-4 Colocación de VST en el Marco de Reacción



Figura 4-5 Colocación de VCT en el Marco de Reacción

4.3.- Protocolo de ensaye

El protocolo de ensaye son los lineamientos y pasos a seguir durante la ejecución del ensaye de las vigas, para este caso primero se debe calcular de la resistencia última a flexión, es decir, el momento flexionante último, con los datos obtenidos en el ensaye de cilindros de concreto a compresión, y del refuerzo a tensión nominal.

Para este estudio se realizan a las vigas de concreto reforzado un ensaye monotónico creciente, el cual es la parte principal del estudio, aquí se medirán deformaciones, desplazamientos y fuerzas aplicadas, en esta etapa se evidencia, analiza y comprueba el comportamiento de las vigas de concreto armado sometidas a flexión presentando las fallas a tensión.

Ensaye monotónico creciente

Una prueba monotónica creciente en elementos del concreto consiste en aplicar fuerza de manera incremental hasta el colapso del elemento.

Durante la ejecución del ensaye se deberán haber obtenido evidencia de las fallas, fotos, videos y medidas de las deformaciones, desplazamientos y cantidad de fuerza aplicada a los elementos. También guarda evidencia de la carga registrada en el display de la bomba hidráulica para poder escalar en trabajos de gabinete las curvas carga desplazamiento obtenidas.

La prueba se detendrá cuando se considere que el elemento ya no puede recibir más carga o cuando se aprecie inestabilidad en el elemento que se está ensayando y que pueda poner en riesgo la seguridad de los trabajadores.

4.4.- Resistencia del concreto

La resistencia a flexión de las vigas se realizará con el esfuerzo real del concreto. En el laboratorio de materiales de la FIBUAP se realizaron las pruebas de los cilindros a compresión del mismo concreto con las que fueron fabricadas VCT y VST.

En la Figura 4-6 se presenta la resistencia a compresión del concreto empleado en VST, para este caso la resistencia se obtuvo a los 125 días después de haberse colado la viga, se ensayaron únicamente dos cilindros y se obtuvo como promedio 235.4 kgf/cm^2 como esfuerzo a compresión. La viga fue colada y almacenada en el laboratorio hasta su ensaye, en este caso a los 125 días que se mencionan.

En la Figura 4-7 se presenta la resistencia a compresión del concreto empleado para construir VCT, este se realiza a los 7, 14 y 28 días de edad, mostrando así la evolución del crecimiento de la resistencia en función del tiempo. La resistencia final se toma directamente como el valor obtenido a los 28 días, esto es, 100 kgf/cm², como se mencionó anteriormente resulta en un valor muy bajo pero las comparaciones que se hagan entre las vigas se realizarán con valores parametrizados con forme a su resistencia teórica a experimental. Los reportes de laboratorio de ambas pruebas pueden ser consultados en el ANEXO 2.

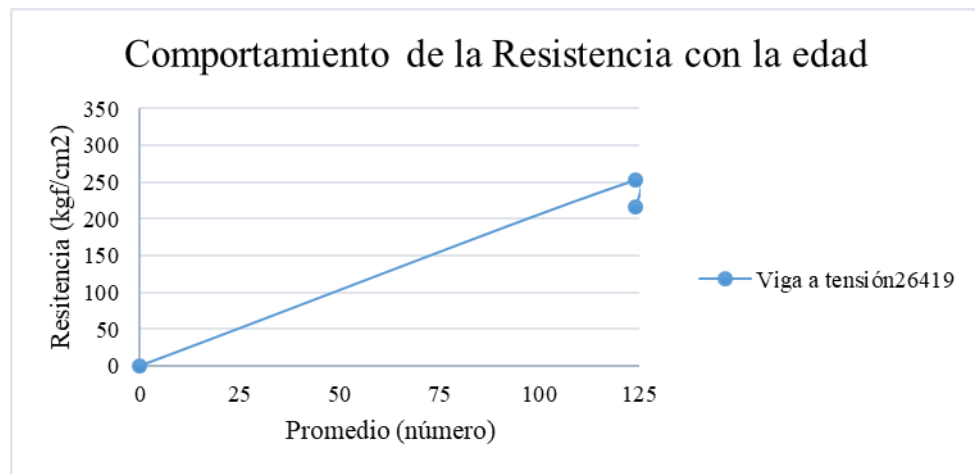


Figura 4-6 Resistencia del concreto empleado en VST



Figura 4-7 Resistencia del concreto empleado en VCT

4.5.- Comportamiento Estructural VST

Una hecha la prueba sobre la viga VST se procede al análisis de la información recolectada por el sistema de adquisición de datos METRONIC; para este caso los datos capturados se escalan a la máxima carga registrada por los sensores de presión de la bomba hidráulica cuyo valor fue de 4730 kgf, el cual se alcanza casi al finalizar el ensaye a 7.98 cm de desplazamiento vertical hacia abajo. La rigidez tiene un valor de 2100 kgf/cm.

En la **Figura 4-8** se puede observar el comportamiento estructural de la VST desde el punto de vista de la relación Carga – Desplazamiento. Al principio de la relación se puede observar que el comportamiento elástico lineal es muy corto y que enseguida el elemento trabaja en un rango no lineal, existe una clara zona de fluencia del acero donde la pendiente cambia se reduce para dar paso a una cedencia del material, el comportamiento a partir de ese punto es el deseable en todos los elementos de concreto reforzado a flexión, el valor de la resistencia va aumentando si dar indicios de pérdida alguna de capacidad, esto hasta grandes desplazamientos, alrededor de 8 cm, lo cual resulta en un comportamiento dúctil de $\mu=4.6$. La prueba tuvo que ser detenida dado que el transductor de desplazamientos ya no podía captar mas información, ya que se agotó la carrera del mismo, sin embargo, el comportamiento en general está bien definido.

El valor de resistencia calculado con la teoría del Capítulo 2 se calcula en 91809 kgf*cm y convirtiendo a valores de fuerza de acuerdo al diagrama de momentos mostrado en **Figura 2-2** se obtiene un valor de fuerza de 2754 kgf. Siendo un valor alto de seguridad dado que el valor máximo alcanzado es de 4730 kgf.

Con respecto al estado de colapso se puede concluir de la **Figura 4-9** que existe una buena redistribución de esfuerzos en la viga VST, esto por la cantidad de fisuras a flexión que aparecen en el estado de colapso, formándose una articulación plástica en el centro del claro. También es apreciable la falla en

compresión del concreto que demarca el estado de resistencia máxima alcanzada.

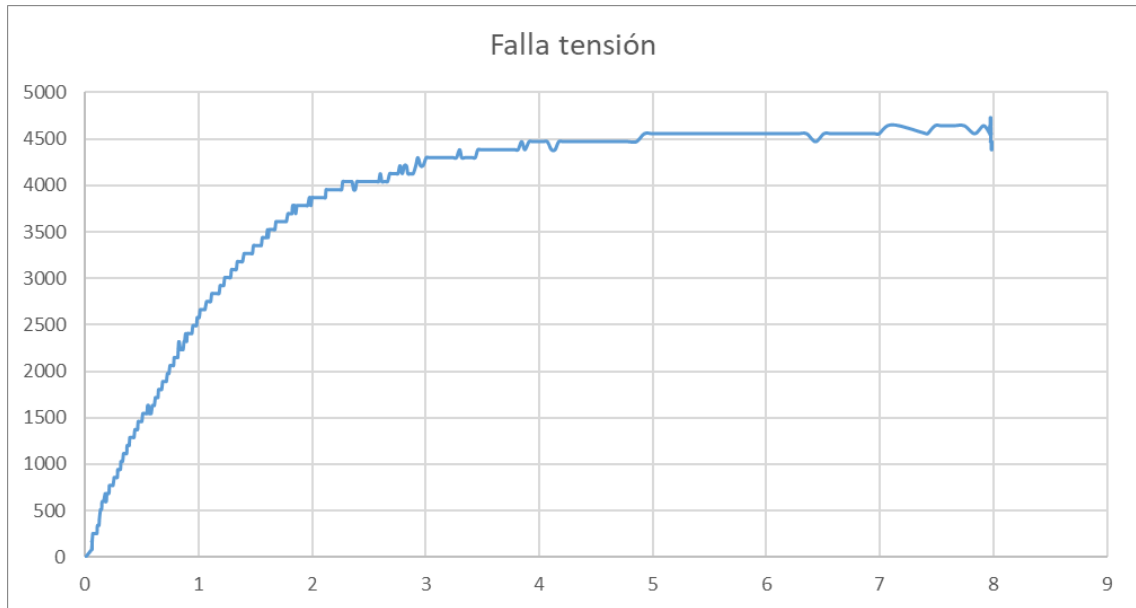


Figura 4-8 Relación Carga – Desplazamiento VST



Figura 4-9 Estado de colapso de VST

4.6.- Comportamiento Estructural VCT

Una vez realizado el experimento sobre la viga VCT se procede al análisis de la información recolectada por el sistema de adquisición de datos; para este caso los datos capturados se escalan a la máxima carga registrada por los sensores de presión de la bomba hidráulica cuyo valor registrado fue de 4309 kgf, el cual se alcanza casi al finalizar el ensaye, a los 3 cm de desplazamiento vertical hacia abajo. La rigidez tiene un valor de 3392 kgf/cm.

En la Figura 4-10 se puede observar el comportamiento estructural de la VCT desde el punto de vista de la relación Carga – Desplazamiento. Al principio de la relación se puede observar que el comportamiento elástico lineal es más largo que en caso anterior, existe una clara zona de fluencia del acero donde la pendiente cambia se reduce para dar paso a una cedencia del material alrededor de 1 cm de desplazamiento vertical, el comportamiento a partir de ese punto es el deseable en todos los elementos de concreto reforzado a flexión por presentar largas deformaciones, el valor de la resistencia se mantiene prácticamente constante sin dar indicios de pérdida alguna de resistencia hasta los 5 cm de desplazamiento vertical aproximadamente, lo cual resulta en un comportamiento dúctil de $\mu = 4.53$.

El valor de resistencia calculado con la teoría del Capítulo 2 es de 85318 kgf*cm y convirtiendo a valores de fuerza de acuerdo al diagrama de momentos mostrado en **Figura 2-2** se obtiene un valor de fuerza de 2559 kgf. Lo cual tiene un valor de seguridad alto dado que el máximo alcanzado es de 4309 kgf.

Con respecto al estado de último se puede concluir de la **Figura 4-11** que el estado de colapso es por una falla frágil, esto por la cantidad de fisuras a flexión que aparecen en el estado de colapso, dos fisuras dominantes, una en cada uno de los límites del traslape de varillas, no hay formación de ninguna articulación plástica.



Figura 4-10 Relación Carga – Desplazamiento VCT



Figura 4-11 Estado de colapso de VCT

4.7.- Comparativa Estructural

En los siguientes párrafos se comenta y discute los efectos que tiene el colocar un traslape en la zona de mayor tensión producto de la flexión y mayor confinamiento producto de la mayor cantidad de estribos para cada tema mencionado.

Rigidez Elástica

La rigidez elástica en VST tiene un valor de 2100 kgf/cm y para la viga con traslape VCT se tiene una rigidez de 3392 kgf/cm, aumentando un 61% con el efecto, esto indica que el efecto del confinamiento de los estribos junto con la doble cantidad de refuerzo longitudinal en la zona del traslape, producen un incremento de la rigidez del elemento a flexión. Véase **Figura 4-12** y **Figura 4-13**.

Ductilidad

La ductilidad estimada a partir de las relaciones carga-desplazamiento resultan ser muy similares (4.6 y 4.53), por lo que se puede concluir que la ductilidad no se ve afectada por el traslape en la zona de tensión. Sin embargo, se debe tener un especial cuidado en los desplazamientos finales de cada espécimen, ya que no son los mismos debido al incremento de la rigidez, la viga VST desarrolla mayores desplazamientos finales con un comportamiento más deseable. Este punto no pudo ser abordado más a fondo dados los limitados alcances de la investigación.

Momento resistente

En este estudio, el momento resistente disminuye para la viga con un traslape en la zona de mayor tensión producto de la flexión. El momento resistente experimental para la viga VST fue 3.12 ton•m mientras que para la viga con traslape fue de 2.84 ton•m, calculados a partir de la fuerza máxima registrada en

el ensaye. Esto significa una pérdida del 10% en su capacidad de carga a flexión. Véase **Figura 4-12**.

Sin embargo, en pasados capítulos se comentó que, dada la gran variación en cuanto a la resistencia del concreto, los valores de resistencia se van a parametrizar conforme al momento y carga última teórica, por lo que en la **Figura 4-13** se presentan los valores de carga parametrizada para VST y VCT, donde se puede apreciar que en valores teóricos el traslape varillas en la zona de mayor tensión no afecta significativamente la resistencia máxima. La relación de momento resistente experimental a teórico produjo factores de seguridad de 1.68 para la viga con traslape y de 1.72 para la viga sin traslape, lo cual puede considerar que no se afecta significativamente el momento resistente.

Estado último de colapso

El estado último de colapso es la mayor diferencia encontrada en la evaluación experimental sobre traslape el acero a tensión. La redistribución de esfuerzos cuando no existe traslape es bastante grande, permitiendo mayor número de grietas y mayores desplazamientos en el elemento, no así para la viga con traslape donde se presentan solo dos grietas dominantes que encaminan la falla a un estado de fragilidad.

La normativa vigente es acertada en no permitir que se traslapen varillas longitudinales en la zona de mayor tensión producto de la flexión, aunque la resistencia y la ductilidad no sean afectadas, los efectos en el comportamiento estructural son negativos.

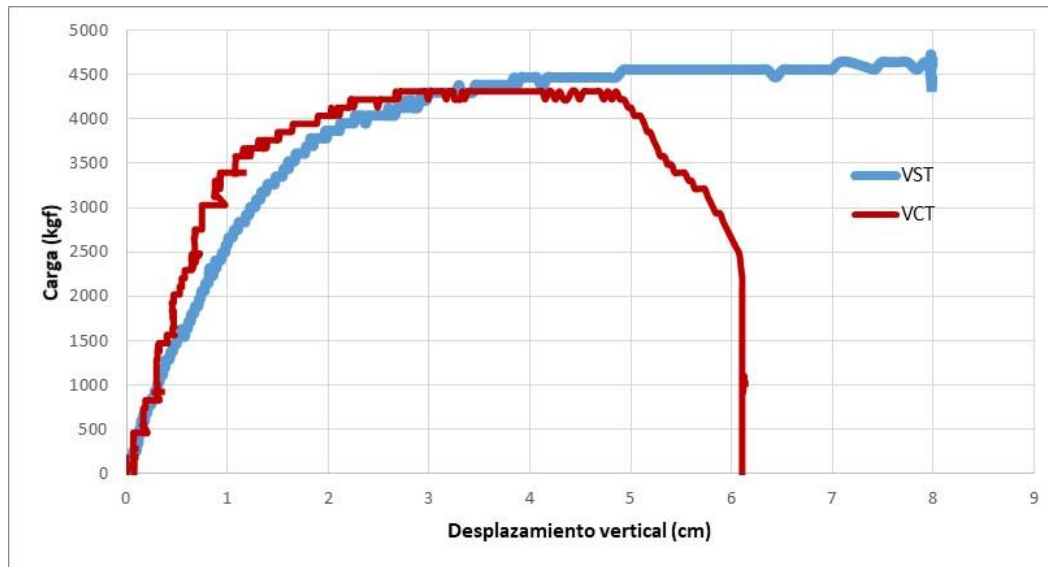


Figura 4-12 Comparativa de la Relación Carga – Desplazamiento

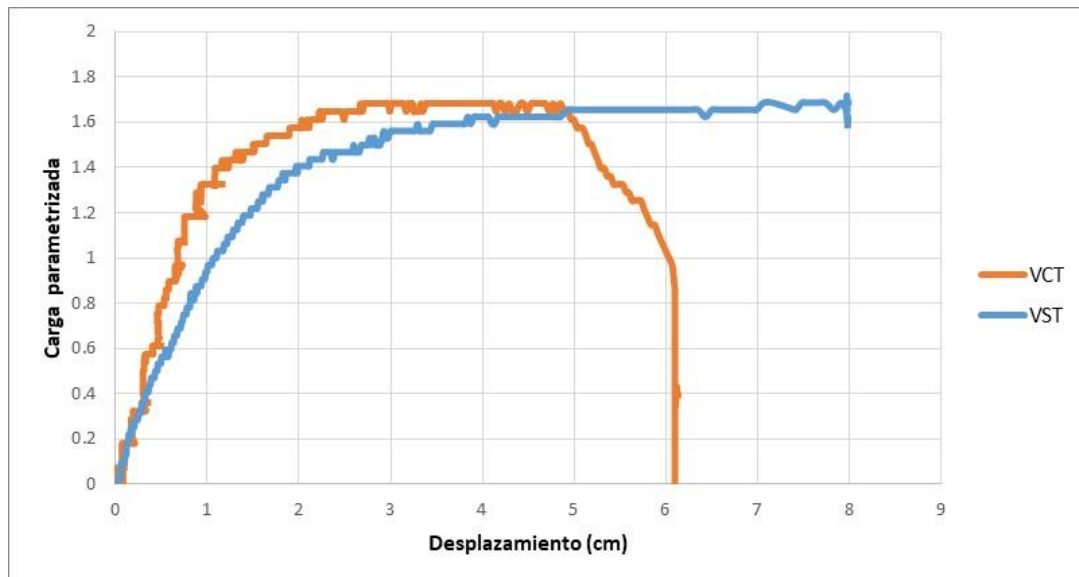


Figura 4-13 Comparativa de Carga parametrizada– Desplazamiento

CONCLUSIONES

En esta investigación se ensayaron dos vigas de concreto reforzado diseñadas a falla por tensión en el acero longitudinal y se evaluó el efecto que tiene el traslapar el acero de refuerzo longitudinal en la zona de mayor tensión producto de la flexión y el subsecuente aumento de confinamiento por el incremento de estribos en la zona del traslape, en esta investigación se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- La viga aumenta su rigidez a flexión, ya que se observa un aumento del 61% en esta.
- La resistencia máxima a flexión considerablemente no se ve afectada su capacidad.
- La ductilidad no tiene afectación considerable, sin embargo, los desplazamientos resultan ser mucho más cortos que en aquella viga sin traslapes.
- El mayor cambio ocurre en que no se puede desarrollar una articulación plástica debido al aumento de refuerzo tanto transversal como longitudinal y tiene un menor desplazamiento total en el estado de colapso.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden emitir a este estudio son las siguientes:

- Realizar una investigación más precisa sobre la ductilidad y desplazamientos finales que se puede desarrollar en ambos casos constructivos.
- Abundar en conocer el comportamiento estructural si no se presenta aumento de refuerzo transversal en la zona de traslapes, es decir, resolver con soldadura o conectores mecánicos ya que podría ser benéfico al comportamiento dúctil.

BIBLIOGRAFÍA

Gonzales, Mariela y Cuevas, Paola (2018), *Estudio comparativo entre empalmes por traslape y empalmes mecánicos utilizados en elementos de hormigón armado*, Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana.

(s.f.).

083-ONNCCE. (2014). *Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes*. México: ONNCCE.

161-ONNCCE. (2016). *Concreto - Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo*. Mexico: ONNCCE .

318, A. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. USA: ACI.

ANIMAL, P. D. (2011). *MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO Y DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN LAS CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL*. Ciudad de México: UNAM.

Barona Díaz, E. (2007). *Metodología para una investigación- Protocolo*. Puebla: FIBUAP.

Ching, F. D. (2014). *Building construction illustrated*. . John Wiley & Sons.

Contreras, S. (2015). *PROTOCOLO DE TESIS*. BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA, FACULTAD DE INGENIERÍA. Puebla: FIBUAP.

Croppi, J. I., Ahrens, M. A., Palmeri, A., Piccinin, R., & Mark, P. (2024). Experimental Behavior of Post-installed Lap Splices: From Bond Strength to Structural Performance. *Springer Nature Switzerland AG*, 446–454.

Ghalehnovi, M., Karimipour, A., & Brito, J. d. (2019). Influence of steel fibres on the flexural performance of reinforced concrete beams with lap-spliced bars. *Construction and Building Materials*, 1-13.

Gillani, A. S., Lee, S.-G., Lee, S.-H., Lee, H., & Hong, K.-J. (2021). Local Behavior of Lap-Spliced Deformed Rebars in Reinforced Concrete Beams. *Materials*, 1 - 15.

González, M. M., & Florián, P. Y. (2018). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EMPALMES POR TRASLAPE Y EMPALMES MECÁNICOS UTILIZADOS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO*. Santo Domingo, República Dominicana: Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.

- Mabrouk, R. T., & Mounir, A. (2017). Behavior of RC beams with tension lap splices confined with transverse reinforcement using different types of concrete under pure bending. *Alexandria Engineering Journal*, 1 - 14.
- Muin, R. B., & Sholeh, M. (2018). Assessment on Tension Bar Lap Splices of Concrete Reinforcement Steel. *International Conference on Design, Engineering and Computer Sciences*, 1-10.
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes. Mexico.
- Pauly, R. P. (1988). Estructuras de concreto Reforzado. MÉXICO, D.F., MÉXICO: LIMUSA.
- Villegas, Ó. M. (2005). Aspectos fundamentales del concreto reforzado . México, D.F, México: Limusa.
- Yuan, J., O'Reilly, M., Matamoros, A., & Darwin, D. (2016). Effect of Preexisting Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars. *ACI STRUCTURAL JOURNAL*, 801 - 812.

**ANEXO 1.- REPORTE DE LABORATORIO DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS
AGREGADOS**

INFORME DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Fecha de reporte: 16 de abril de 2019

Procedencia: Desconocido

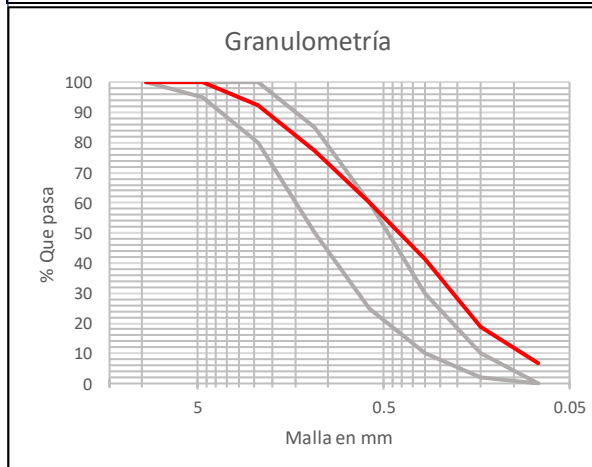
Material: Arena

Densidad					
Densidad=	$\frac{AS}{Vf-(k-F-AS)}$	=	$\frac{200}{450 - (885 - 325 - 200)}$	=	2.22

Absorción					
Absorción=	$\frac{(As-Ps)}{Ps}$	=	$\frac{500 - 198}{198}$	=	153 %

Granulometría					
Malla		Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret. Acum.	Pasa
#	mm	g	%	%	%
3/8	9.5	0	0	0	100
N° 4	4.750	0	0	0	100
N° 8	2.360	11.3	7.53	7.53	92.47
N° 16	1.180	22.7	15.13	22.67	77.33
N° 30	0.600	25.8	17.20	39.87	60.13
N° 50	0.300	28.4	18.93	58.80	41.20
N° 100	0.150	33.5	22.33	81.13	18.87
N° 200	0.074	18.2	12.13	93.27	6.73
Pasa 200		10.1	6.73	100	0
Total		150	100		

Módulo de finura	=	$\frac{\sum (N^{\circ}8 \text{ a } N^{\circ}100)}{100}$	2.10
------------------	---	---	------



Peso Volumétrico Seco Compacto (PVSC)					
$PVSC = \frac{Pm}{Vm} \times 1000$					
Vm= 2850 cm ³					
Pm ₁ =	4759 gr	Pm ₂ =	4849 gr	Pm ₃ =	0 gr
PVSC ₁ =	1669	PVSC ₂ =	1701	PVSC ₃ =	0
PVSC= 1685.27 kg/m ³					

Propiedades físicas		
Característica	Valor	Unidad
Densidad	2.22	
Absorción	152.53	%
PVSS	0.00	kg/m ³
PVSC	1685.27	kg/m ³
Módulo de finura	2.10	%

Observaciones

Definiciones: AS=Peso de arena saturada superficialmente seca (g), Vf= volumen de frasco o peso del agua(g), K= peso del agua más agregado y el frasco (g), F= peso del frasco vacío (g), Ps= peso de la arena seca, Pm= peso del material contenido en el recipiente, Vm= volumen del recipiente.

INFORME DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Fecha de reporte: 16 de abril de 2019

Procedencia: Desconocido

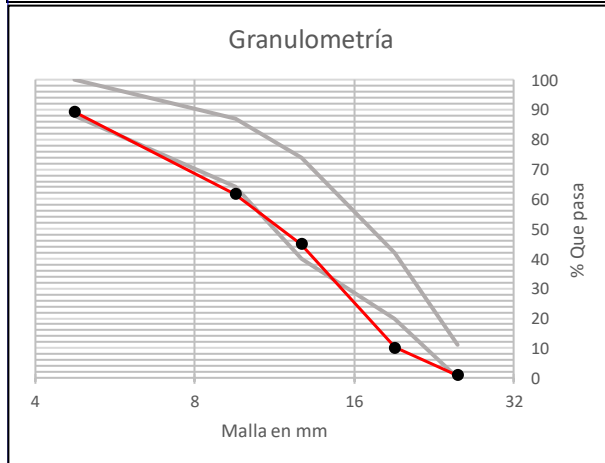
Material: Grava

Densidad			
Densidad=	$\frac{Ps}{(Vd\&o)}$	$= \frac{200}{(120 * 1)}$	= 1.67

Absorción			
Absorción=	$\frac{(Ph-Ps)}{Ps}$	$= \frac{300 - 281}{281}$	= 6.76 %

Granulometría					
Malla		Peso Ret.	Peso Ret.	Peso Ret. Acum.	Pasa
#	mm	g	%	%	%
Nº 3	76.2	0	0	0	100
Nº 2	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	0	100
1.00	25.4	45	0.87	0.87	99.13
3/4	19.05	480	9.32	10.19	89.81
1/2"	12.7	1785	34.66	44.85	55.15
3/8	9.525	870	16.89	61.75	38.25
Nº 4	101.6	1420	27.57	89.32	10.68
Pasa 200		550	10.68	100.00	0.00
Total		5150	100		

Módulo de finura	=	$\frac{\sum (N^{\circ}8 \text{ a } N^{\circ}100)}{100}$	=	1.18
------------------	---	---	---	------



Peso Volumétrico Seco Compacto (PVSC)			
$PVSC = \frac{Pm}{Vm} \times 1000$			
$Pm_1 = 8547$ gr	$Pm_2 = 8787$ gr	$Pm_3 = 0$ gr	
$PVSC_1 = 1622$	$PVSC_2 = 1667$	$PVSC_3 = 0$	
$PVSC = 1644.67 \text{ kg/m}^3$			

Propiedades físicas		
Característica	Valor	Unidad
Densidad	1.67	
Absorción	6.76	%
PVSS	0.00	kg/m ³
PVSC	1644.67	kg/m ³
Módulo de finura	1.18	%

Observaciones

Definiciones: AS=Peso de arena saturada superficialmente seca (g), Vf= volumen de frasco o peso del agua(g), K= peso del agua más agregado y el frasco (g), F= peso del frasco vacío (g), Ps= peso de la arena seca, Pm= peso del material contenido en el recipiente, Vm= volumen del recipiente.

**ANEXO 2.- REPORTE DE LABORATORIO DEL ENSAYE DE CILINDROS DE
CONCRETO**

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Elemento	Día	Mes	Año	Hora	Bachada	Otros
<i>Viga a tensión</i>	26	4	19			
Clave:	Viga a tensión 26419					
Edad:	124 días		124 días		días	
Fecha y hora del ensaye:	25/05/2019 16:09 p. m.		25/06/2019 16:12 p. m.			
Masa:	3.540	kgf	3.555	kgf		kgf
Diámetro 1:	10.12	cm	10.10	cm		cm
Diámetro 2:	10.12	cm	10.10	cm		cm
Diámetro 3:	10.12	cm	10.10	cm		cm
Altura 1:	20.20	cm	20.30	cm		cm
Altura 2:	20.10	cm	20.10	cm		cm
Altura 3:	20.20	cm	20.20	cm		cm
Carga Máxima:	20400	kgf	17400	kgf		kgf
	200.06	kN	170.64	kN		kN
Diámetro Nominal:	10.12	cm	10.10	cm		cm
Altura Nominal:	20.17	cm	20.20	cm		cm
Área:	80.44	cm ²	80.12	cm ²		cm ²
Volumen:	1622.13	cm ³	1618.39	cm ³		cm ³
Peso volumétrico:	2.18	T/m ³	2.20	T/m ³		T/m ³
Rel. Altura/Diámetro:	1.99		2.00			
Factor de corrección por esb.	1.000		1.000			

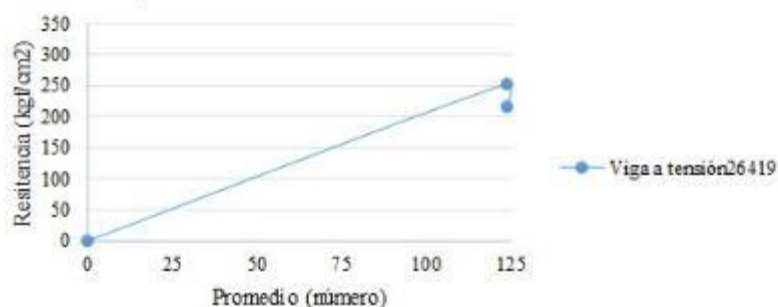
Descripción de falla:



Defectos Observados:

REVENIMIENTO:	100 mm					
Resistencia:	253.6	kgf/cm ²	217.2	kgf/cm ²		kgf/cm ²
	24.87	MPa	21.30	MPa		MPa

Comportamiento de la Resistencia con la edad



Promedio:
235.4 kgf/cm²

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

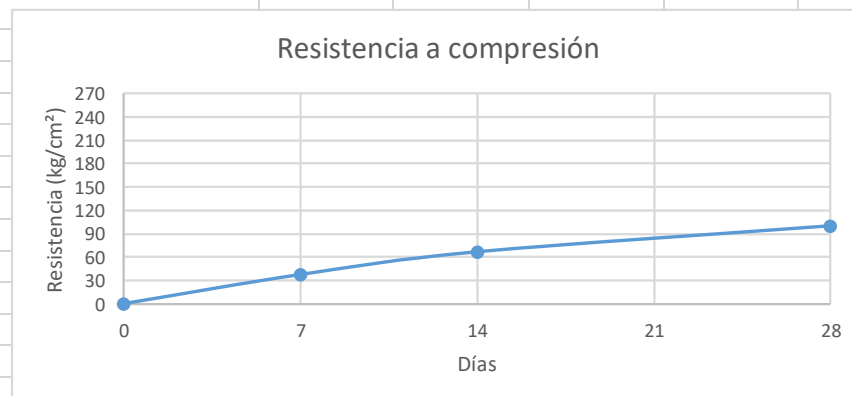
Elemento	Día	Mes	Año	Hora:	Bachada:	Otros
<i>Viga-F</i>	<i>05</i>	<i>09</i>	<i>19</i>	<i>14:10</i>		
Clave:	Viga-F050919					
Edad:	7 días	14 días	28 días			
Fecha y hora del ensaye:	12/09/2019 13:48	19/09/2019 13:48	03/10/2019 13:33			
Masa:	3.550 <i>kgf</i>	3.485 <i>kgf</i>	3.515 <i>kgf</i>			
Diámetro 1:	10.00 <i>cm</i>	10.00 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>			
Diámetro 2:	10.10 <i>cm</i>	9.80 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>			
Diámetro 3:	10.20 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>			
Altura 1:	20.50 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>	20.10 <i>cm</i>			
Altura 2:	20.30 <i>cm</i>	20.02 <i>cm</i>	20.00 <i>cm</i>			
Altura 3:	20.30 <i>cm</i>	20.20 <i>cm</i>	20.20 <i>cm</i>			
Carga Máxima:	3000.00 <i>kgf</i>	5200.00 <i>kgf</i>	8020.00 <i>kgf</i>			
	72.00 kN	88.00 kN	132.00 kN			
Diámetro Nominal:	10.10 <i>cm</i>	9.97 <i>cm</i>	10.10 <i>cm</i>			
Altura Nominal:	20.37 <i>cm</i>	16.77 <i>cm</i>	20.10 <i>cm</i>			
Área:	80.12 <i>cm</i> ²	78.02 <i>cm</i> ²	80.12 <i>cm</i> ²			
Volumen:	1631.75 <i>cm</i> ³	1308.61 <i>cm</i> ³	1610.38 <i>cm</i> ³			
Peso volumétrico:	2.18 T/m ³	2.66 T/m ³	2.18 T/m ³			
Rel. Altura/Diámetro:	2.02	1.68	1.99			
Factor de corrección por esb.	1.000	0.987	1.000			

Descripción de falla:



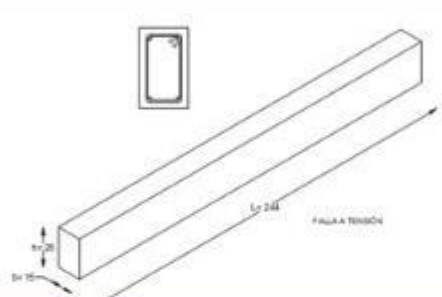
Defectos Observados:

Revenimiento:						
Resistencia:	37.4 <i>kgf/cm</i> ²	66.7 <i>kgf/cm</i> ²	100.1 <i>kgf/cm</i> ²			
	3.67 MPa	6.54 MPa	9.82 MPa			



ANEXO 3.- REPORTE DE ENSAYE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

INFORME DE PRUEBA DE VIGA

Elemento:	#	Día	Mes	Año	Descripción
<i>Viga a Tensión</i>	<i>1</i>	<i>26</i>	<i>4</i>	<i>19</i>	Viga con un armado de 4 varillas longitudinales del #3 con estribos del #2 @ 15 cm
Clave:	<i>Viga a Tensión126419</i>				
Clave de cilindros:	<i>Viga a Tensión26419</i>				
Edad:	<i>62</i>	<i>días</i>			
Fecha y hora del ensaye:	<i>27/06/2019 12:34</i>				
Longitud nominal:	<i>244</i>	<i>cm</i>			
Base 1 nominal:	<i>15</i>	<i>cm</i>			
Altura 1 nominal:	<i>25.00</i>	<i>cm</i>			
f_c :	<i>200</i>	<i>Kg/cm²</i>			
f_y :	<i>4200</i>	<i>Kg/cm²</i>			
Carga Aplicada:	<i>4730</i>	<i>kgf</i>			
	<i>46.35711</i>	<i>t.N</i>			
Momento flexionante	<i>280.00</i>	<i>t-cm</i>			
Velocidad de carga:	<i>20</i>	<i>Kg/s</i>			
Defectos observados					

Se presentó un desplazamiento mayor a 8 cm y grietas en el centro de claro cerca de los estribos.



Fotografías de la prueba
Viga a Tensión126419





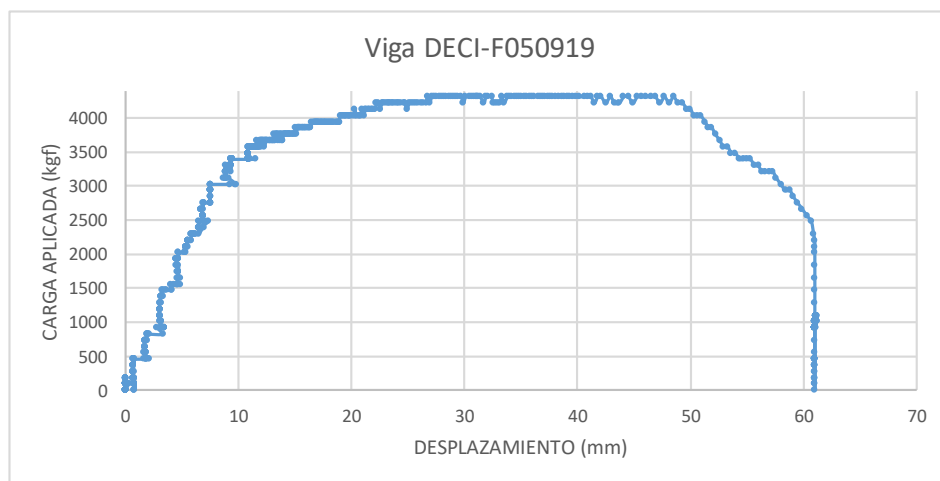
BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

INFORME DE PRUEBA DE VIGA

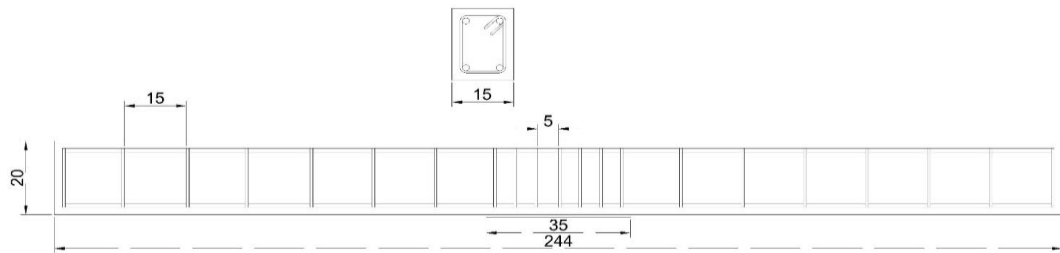
Elemento:	#	Día	Mes	Año	Descripción
<i>Viga DECI-F</i>		05	09	19	Viga a tensión con traslape al centro del claro, 2 varilla #3 en la parte superior, en la parte inferior traslape de 35 cm al centro con varillas #3, estribos del #2 8 a los extremos y 5 en el centro 
Clave:	<i>Viga DECI-F050919</i>				
Clave de cilindros:	<i>Viga-F050919</i>				
Edad:	28	días			
Fecha y hora del ensaye:	03/10/2019 14:52				
Longitud nominal:	244	cm			
Base 1 nominal:	15	cm			
Altura 1 nominal:	20.00	cm			
f _c :	100.10	Kg/cm ²			
f _y :	4200	Kg/cm ²			
Carga Aplicada:	4310	kgf			
	42.27	kN			
Momento flexionante:	143.67	T-m			
Velocidad de carga:	10	Kg/s			

Defectos observados



Fotografías de la prueba

Viga DECI-F050919



**ANEXO 4.- HOJA DE CÁLCULO EMPLEADA PARA EL DISEÑO DE
MEZCLAS**

Resistencia mecánica a compresión			
25	Mpa		
250	Kg/cm2		
0.02	Sin Aire incluido		
Datos de agregados:			
	Cemento	Grava	Arena
PVSS =		1544.67	1695.27
Densidad =	3.1	2.34	2.22
M.F =		2.07	2.1
TMA =		19	
ABS =		5.04%	1.01%
W=		0%	2%
			mm
			%
			%

TABLA 11.5 REVENIMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

Elementos constructivos	Revenimiento [mm]
Fundaciones: Muros y Zapatas con refuerzo.	75
Fundaciones: Muros y Zapatas sin refuerzo.	75
Vigas y Muros reforzados.	100
Columnas de edificios.	100
Pavimentos y Losas.	75
Hormigón en masa.	75
	25

* Se puede incrementar 25 mm para métodos de compactación vibratoria y vibratoria.

** El revenimiento puede aumentarse cuando se utilizan aditivos.

PASO 1: Elección del revenimiento

Revenimiento
r = 100 mm

PASA 2: Tamaño máximo del agregado

T.M.A. = 19 mm

PASO 3: Estimación de la cantidad de agua y contenido de aire.

Aire : 0.02

r = 100

Agua = 205 Kg/m3

TABLA 11.6 REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO Y AIRE INCLUIDO PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

Revenimiento, mm	Agua, Kg/m³						según el tamaño máximo de agregado					
	8.5mm* (1/2")	12.5mm* (1/2")	16mm* (5/8")	19mm* (3/4")	25mm* (1")	37.5mm* (1 1/2")	50mm* (2")	75mm* (3")	100mm* (4")	150mm* (6")	190mm* (8")	250mm* (10")
25 a 50	203	196	190	180	175	165	154	130	113			
75 a 100	202	216	200	193	181	169	148	124				
150 a 175	245	226	216	202	190	178	160					
Contenido recomendado de aire, en hormigón de aire incluido (%)	3	3.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2				
Hormigón con aire incluido												
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107				
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119				
150 a 175	216	206	197	184	174	166	154					
Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición												
Exposición Suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0				

* Se puede incrementar 25 mm para métodos de compactación vibratoria y vibratoria.

** El revenimiento puede aumentarse cuando se utilizan aditivos.

Exposición Moderada	6.0	6.5	6.0	4.5	4.0	3.5 ^{II}	3.0 ^{III}
Expo. Severa ^{IV}	7.5	7.0	6.0	5.5	5.0	4.5 ^{II}	4.0 ^{III}

PASO 4: Relación a/c

$f'_c = 25$ Mpa
 $f'_{cr} = 33.5$ Mpa

Por interpolación:
 35 0.47
 33.5 0.491
 30 0.54

$a/c = 0.491$

PASO 5: Cantidad de Cemento

Cemento = 417.52 Kg/m³

PASO 6: Cantidad de Agregado Grueso (GRAVAS)

Por interpolación:

T.M.A. = 19 mm

2 0.7
 2.1 0.690
 2.2 0.68

Cantidad = 1134.82 kg/m³

TABLA 11.7 RELACIONES ENTRE LA RELACION A/C Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

Resistencia a la compresión a los 28 días, MPa	Relación A/C por paso Hormigón sin aire incluido ^a	Hormigón con aire incluido ^a
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

^a Los valores de admisión para hormigón con un contenido de aire menor al 2%.
^b Los valores se estimaron para hormigón con un contenido de aire mayor al 6%.

Fuente: Normativa 2

Corrección (Sin datos estadísticos)

f'_{cr}
 < de 21 32 Mpa
 21 a 35 33.5 Mpa
 Más de 35 32.5 Mpa

TABLA 11.4 REQUERIDA ESTABLECER

Resistencia a la compresión	Resistencia a la tracción
ACI	
EHE	

Método de Interpolación

x	y
a	c
b	d

$\alpha \rightarrow$

Formula de Interpolación por Lineal:

$\alpha = \text{Argumento}$

Valor Interpolado = $d + (c - d) / (b - a) + \alpha$

$a, b, c, d \in R$

TABLA 11.9 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN

Tamaño máximo de agregado en mm	Volumen variado seco de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena ^a
2.5	2.60
4.75	2.80
7.5	2.95
11.75	3.15
15	3.30
19	3.45
25	3.60
37.5	3.75
47.5	3.90
60	4.05
75	4.20
90	4.35
105	4.50
120	4.65
150	4.80
190	5.00

PASO 7: Cantidad de Agregado Fino (ARENAS)

MÉTODO POR PESO

MATERIAL	kg/m3	Volumen
Agua	205.000	0.205
Cemento	417.515	0.135
Grava	1134.822	0.485
Arena	622.662	0.280
Aire		0.02
Concreto fresco	2380.000	1.125

Tabla 11.16 PRIMERA ESTIMACIÓN DEL PESO DEL HORMIGÓN FRESCO

Tamaño máximo de agregado en mm	Peso estimado del peso del hormigón fresco, en función de la proporción con arena incluido
9.5	2380
12.5	2310
19	2245
25	2280
37.5	2410
50	2445
75	2490
100	2550

MÉTODO POR VOLUMEN

MATERIAL	kg/m3	Volumen
Agua	205.000	0.205
Cemento	417.52	0.135
Grava	1134.82	0.485
Arena	389.28	0.175
Aire		0
Concreto fresco	2146.62	1.000

PASO 8: Ajuste por humedad y absorción

Agua =	205	kg/m3
Agua final=	255.657	kg/m3

	HUMEDAD		ABSORCIÓN	
	W	Corrección	ABS	Corrección
Grava	0%	0.000	5.04%	57.195
Arena	2%	12.827	1.01%	6.289

PASO 9: Corrección de pesos y volúmenes

MATERIAL	kg/m3	Volumen
Agua	255.657	0.256
Cemento	417.515	0.135
Grava	1134.822	0.485
Arena	572.005	0.258
Aire		0.020
fresco	2380	1.153

Botes



MATERIAL	kg/m3	Volumen
Agua	255.657	0.256
Cemento	417.52	0.135
Grava	1134.82	0.485
Arena	389.28	0.175
Aire		0.02
		1.0707



0.075
0.15

PASO 8: Sección del elemento:

Volumen de cilindros = 0.004712 m³
Volumen = 0.08570363 m³



h = 20

a = 15

L = 244

Volumen = 0.0732

PARA DOS VIGAS	
MATERIAL	kg/m ³
Agua	43.82
Cemento	71.57
Grava	194.52
Arena	98.05
Aire	407.95

MATERIAL	kg/m ³	Volumen
Agua	21.91	0.022
Cemento	35.78	0.012
Grava	97.26	0.042
Arena	49.02	0.015
Aire	203.97	0.090