



Conciencia Tecnológica
ISSN: 1405-5597
contec@mail.ita.mx
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Diseño de Dispositivo para Ensayos de Corte Directo en Concreto

Marquez-Gonzalez, Eder Raymundo; Meza-de-Luna, Alejandro
Diseño de Dispositivo para Ensayos de Corte Directo en Concreto
Conciencia Tecnológica, núm. 59, 2020
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94463783006>



Diseño de Dispositivo para Ensayos de Corte Directo en Concreto

Design of direct shear device for tests in concrete

Eder Raymundo Marquez-Gonzalez ¹
Tecnológico Nacional de México, México
eder_csotn@hotmail.com

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94463783006>

Alejandro Meza-de-Luna ²
Tecnológico Nacional de México, México
alejandromeza@mail.ita.mx

Recepción: 13 Diciembre 2019

Aprobación: 30 Mayo 2020

RESUMEN:

En el Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA), se intenta realizar ensayos de corte a muestras de concreto reforzadas con material reciclado, con el objetivo de conocer su comportamiento mecánico. Sin embargo, no se ha conseguido, ya que se requiere de un dispositivo de sujeción especializado. En este artículo, se diseñó un dispositivo para ensayos de corte directo en muestras de concreto, adaptado a las necesidades y recursos disponibles en el laboratorio del ITA. Primeramente, se seleccionó el tipo de muestra a analizar, para lo cual se realizó un cálculo de fuerza basado en el diámetro de los moldes cilíndricos normalizados disponibles en el taller y en la resistencia última al corte del concreto. Posteriormente, en base a un estudio del estado del arte, aproximaciones teóricas, simulaciones de elemento finito y comprobación de resultados mediante un ensayo de una muestra de concreto cilíndrica de 100 mm no reforzada. Se comprobó que el dispositivo diseñado puede realizar ensayos de corte directo sobre muestras de concreto sin comprometer su resistencia.

PALABRAS CLAVE: diseño, dispositivo de sujeción, ensayo de corte directo, aproximación teórica.

ABSTRACT:

In the Technological Institute of Aguascalientes (ITA), attempts are made to perform direct shear tests on concrete samples reinforced with recycled material, with the objective of knowing their mechanical properties. However, this is not possible because a specialized fixture is required. In this article, a fixture for direct shear test was designed for concrete samples, adapted to the needs and resources available in the ITA laboratory. First, the type of sample to be analyzed was selected by a force calculation based on the diameter of the standard cylindrical molds available in the workshop and the ultimate shear strength of concrete. Subsequently, based on a study of state of the art, theoretical approximations, finite element simulations and testing an unreinforced 100 mm cylindrical concrete sample. Demonstrate that the designed fixture can support direct shear tests on concrete samples without compromising its resistance.

KEYWORDS: Design, fixture, direct shear test, theoretical approximation.

NOTAS DE AUTOR

- 1 Eder Raymundo Marquez-Gonzalez
Tecnológico Nacional de México/IT de Aguascalientes, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica
- 2 Docente e Investigador del Departamento de Ingeniería Mecánica

Av. Adolfo López Mateos No. 1801 Ote. Fracc, Bona Gens, Aguascalientes, Ags., México. C.P. 20256. Tel: 01(449) 9105002, Fax: 01 (449) 9700423, eder_csotn@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material sumamente usado en la construcción de viviendas, obras públicas, edificios, entre otras cosas. Dicho material se compone principalmente por una mezcla homogénea de cemento, arena, grava y agua, pero en ocasiones se le añaden otros agregados a la mezcla para que algunas propiedades como su límite elástico a compresión, esfuerzo último de ruptura y último esfuerzo de corte se incrementen. Diferentes investigaciones han realizado ensayos en muestras de concreto normalizadas con el objetivo de analizar y demostrar su comportamiento mecánico como Ragalwar K. (2020), Lakavath C. (2019) y Meza A. (2014) [1, 2, 3]. Algunos trabajos se han enfocado en caracterizar la capacidad del concreto reforzado con fibras metálicas como se observó en los trabajos de Lantsoght E.O.L. (2019), Lee D.H. (2017) y Marar K. (2017) [4, 5, 6] han estudiado el concreto reforzado con fibras metálicas y con polipropileno tal como Li Z.X. (2017) [7] presentó en su investigación. Recientemente se ha buscado alternativas para reforzar el concreto con fibras recicladas o con materiales que puedan reducir su costo como Meza A. y Siddique S. (2019), Jalil A. (2019), Khalid F.S. (2018) señalan [8, 9, 10].

El Dr. Meza A., docente e investigador del ITA, encabeza una investigación que tiene como objetivo analizar y demostrar el comportamiento mecánico de muestras de concreto reforzadas con fibras de material reciclado, como, PET, alambre, tiras de llanta, entre otros. Para lo cual, realiza ensayos destructivos en la máquina de ensayos universales del instituto y valida sus resultados con simulaciones de elemento finito. Sin embargo, los intentos del Dr. Meza A. por obtener información de primera mano de resistencia al cortante de sus muestras de concreto se han visto detenidas, debido a que en el ITA no se cuenta con un dispositivo para este tipo de aplicación. Además de que conseguir un dispositivo de sujeción comercial que cumpla con los requerimientos de diseño es sumamente difícil, ya que las piezas y accesorios originales de la máquina de ensayos del ITA actualmente se encuentran en desuso.

La norma INV E-154-07 presenta la información técnica necesaria para realizar ensayos de corte directo sobre muestras de suelo, mediante un dispositivo conocido como “caja de corte” que contiene a la muestra entre dos mitades. Para realizar el ensayo, se requiere de una maquina especial que comprime y estira al mismo tiempo la muestra hasta producir su ruptura.

Se han diseñado y construido nuevos dispositivos derivados del INV E-154-07 para ensayar diferentes materiales y muestras, entre los cuales, se encuentra el dispositivo creado por la compañía Jinan Testing Technology [16], el cual se caracteriza por fijarse a la máquina de ensayos con tornillos, y mediante una base giratoria se apunta la muestra con respecto al punzón (especialmente diseñado para el propósito). Este dispositivo al contar con 2 orificios alineados permite la colocación y extracción rápida de muestras cilíndricas, las cuales suelen ser barras o alambres de acero.

Otro dispositivo de sujeción usado para ensayos de corte es el que Aulet A. (junio de 2016) [15] presentó en su investigación para determinar la resistencia de la mezcla que une a las losas de mármol. En este dispositivo el diseñador siguió una corriente más conservadora a la norma INV E-154-07, en el que, a través de dos placas paralelas unidas por un conjunto de espárragos y tuercas, aplican presión a las lozas para evitar su deslizamiento, mientras que, con el punzón original de la máquina, aplica una carga de compresión a la loza central hasta producir la ruptura.

Una tercera variante de este dispositivo fue mostrada en la investigación elaborada por Zhong-Xian Li [12] (4 de octubre de 2017) dentro de su investigación, enfocada al estudio de muestras de concreto reforzadas con diferentes materiales. Este diseño es el que más relación tiene con el objeto de estudio, en el cual se ensaya con una muestra de concreto de sección transversal cuadrada de 15x15cm. El dispositivo presentado se compone de dos bloques de acero sólido, uno de los bloques realiza la función de punzón, mientras que el otro actúa como matriz. La matriz es de montaje superficial, esto significa que no utiliza tornillos para fijarlo a la máquina, lo cual permite un fácil y rápido montaje/desmontaje del dispositivo, y una sencilla colocación de las muestras.

El bosquejo del dispositivo se planteó como una adecuación de los anteriores modelos, ya que el dispositivo ensayaría muestras cilíndricas de concreto sobre una plataforma de montaje superficial que permita la alineación de las muestras y que se adaptara a los punzones disponibles en el laboratorio.

El bosquejo se fue perfeccionando y adaptando a las necesidades funcionales. Para lo cual, se aplicó herramientas de diseño e ingeniería asistida por computadora (CAD-CAE) hasta conseguir una propuesta de diseño viable.

Una vez que se alcanzó un grado óptimo del concepto, se procedió a definir el espesor y el material de los diferentes elementos del dispositivo. La selección del material y del grosor que debían de tener las partes fue una parte crucial del proyecto, por lo que inicialmente se propuso que el material fuera de acero 1045 rolado en frío. Posteriormente, se realizó una aproximación teórica y se verificó el resultado con una simulación por elemento finito (FEM) en los que señalaban que los parámetros seleccionados soportarían el esfuerzo aplicado. Sin embargo, al llevarlo a la construcción fue necesario adaptar el diseño a las capacidades tecnológicas y logísticas de la empresa, definiendo el material de construcción como acero A36, por lo que se aplicaron simulaciones FEM para validar los cambios en el diseño. Completada la construcción del dispositivo, se elaboró 1 muestra de concreto que se ensayó sobre el dispositivo elaborado, para lo cual se utilizó la máquina de ensayos universales del ITA, ubicada en el laboratorio de ingeniería mecánica. Los resultados de la prueba demostraron la funcionalidad del dispositivo para realizar ensayos de corte en probetas de concreto.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Dispositivos de ensayo

Generalmente, la resistencia del concreto se determina mediante ensayos de compresión. Este material, se considera como frágil, ya que al aplicarle un esfuerzo de tensión puede fracturarse casi al instante. Autores como Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston [11] mencionan que el concreto presenta una resistencia a la tensión muy cercana a cero, por lo que, al graficar el esfuerzo (σ) y deformación (ϵ), no es posible distinguir una diferencia entre su zona elástica y plástica. En ensayos de compactación no sucede igual, ya que la diferencia entre zonas es muy notoria (Figura 1).

En diversos libros y tablas de resistencias de materiales, por lo general solamente se incluye el módulo de elasticidad y la resistencia última a compresión del concreto, por lo que otras propiedades, como el punto de cedencia y la resistencia última al cortante, no están incluidos, ya que se suele suponer en función de otros ensayos.

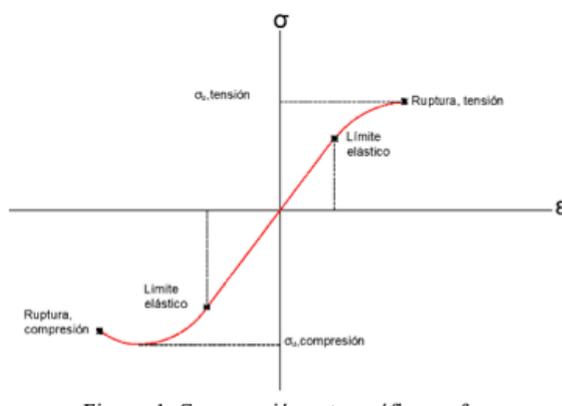


FIGURA. 1.

Comparación entre gráficos esfuerzo- deformación en muestras de concreto que fueron sometidas a ensayos de tensión (1er cuadrante) y compresión (3er cuadrante).

Beer & Johnston [11] (p. 54).

Sin embargo, en un estudio realizado por un equipo de investigadores encabezado por el investigador Zhong-Xian Li para el Instituto de Construcción Urbana de Tianjin, el cual lleva por nombre “*Experimental investigation on mechanical properties of hybrid fibre reinforced concrete*” [12] indica que la última resistencia al cortante en muestras de concreto es el doble que su resistencia a la tensión. En consecuencia, es importante verificar el comportamiento del concreto, a través de ensayos experimentales en muestras de concreto simple, y con mayor énfasis en aquellas que estén dosificadas con materiales de reciclaje (tiras de llantas, alambres, tiras de pet, etc.).

Las propiedades que se pueden obtener de un ensayo de corte son el esfuerzo de corte último, y esfuerzo de cedencia al cortante. Estos valores son utilizados para el análisis de elementos estructurales sujetos a cargas de flexión o pandeo. Un ejemplo de su aplicación es en las vigas estructurales, las cuales soportan una carga normal que produce una carga de flexión equivalente y un esfuerzo cortante que variara a lo largo de la viga. Estos esfuerzos de corte, si llegan a superar el esfuerzo último de corte, pueden producir la falla del elemento estructural ya que, la viga está hecha de un material heterogéneo (como el concreto) que no permite deslizarse, lo cual provocara esfuerzos en planos longitudinales y transversales, tal y como exponen diversos autores de libros de mecánica de materiales, como Beer & Johnston, Robert W. Fitzgerald [13], entre otros.

El ensayo de corte directo es el método más comúnmente usado para determinar las propiedades de un material de construcción bajo un efecto de cargas combinadas. La norma INV E-154-07 [14] divide los ensayos de corte directo en dos categorías, de acuerdo con las secciones transversales paralelas a la fuerza de corte. Una sola sección transversal se considera “sencillo”, y dos secciones se considera como “doble”.

Existen varios dispositivos cuyas adaptaciones permiten realizar ensayos de corte directo en diferentes materiales. Tal es el caso del dispositivo usado por Aulet A. (junio de 2016) [15] et al. en la investigación publicada como “*Evaluación y control de estructuras del patrimonio arquitectónico nacional en mampostería aplicando técnicas no destructivas*”. Este dispositivo (Figura 2) se utilizó para el estudio del material usado para unir losas de mampostería en edificios históricos de Uruguay.

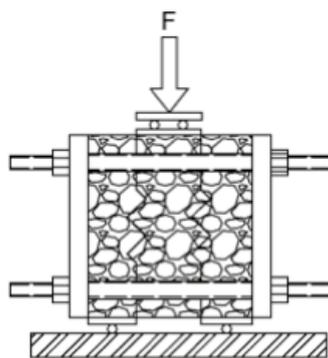


FIGURA 2.
Dispositivo para ensayo de corte directo en mármol.
Aulet A [15].

Otro ejemplo de un dispositivo de sujeción para realizar ensayos de corte en materiales de construcción es el usado por Zhong-Xian Li [12] (4 de octubre de 2017), en la que se estudiaron las propiedades mecánicas de diferentes muestras de concreto a las que se les añadieron diversos agregados como alambres de acero, fibras de polipropileno y otros materiales. El dispositivo presentado se utilizó para efectuar ensayos de corte en vigas cuadradas de concreto reforzado (Figura 3).

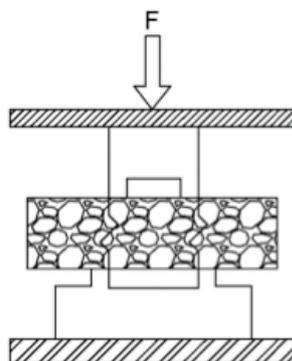


FIGURA 3.
Dispositivo para ensayo de corte directo en concreto reforzado.
Xilan Li [12].

En la industria de los metales también se realizan ensayos de corte para diferentes muestras de aceros. Para ello existe una gran variedad de dispositivos para realizar los ensayos, pero por lo general estos son mucho más robustos que los usados para materiales de construcción, y están diseñados para ensayar muestras pequeñas de material. Un ejemplo de estos dispositivos es el elaborado por la compañía Jinan Liangong Testing Technology (Figura 4) [16]. Dicho dispositivo consiste en un tipo articulación que va fijada a la maquina con tornillos, el dispositivo cuenta con un orificio pasado por él que se introduce el cable o barra a ensayar. Algunas variantes de este mismo diseño cuentan con un balero en la parte inferior del soporte para poder apuntar el dispositivo con respecto al punzón de corte.

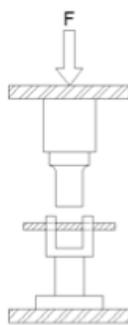


FIGURA 4.
Dispositivo de sujeción tipo articulación,
Liangong [16].

Bosquejo de la solución propuesta

Basado en los modelos anteriores, se plantearon como criterios de diseño, que el dispositivo fuera de montaje superficial, con capacidad de alineación, que solamente ensaye muestras cilíndricas y que además usara la mayor cantidad de elementos comerciales posibles (ej., tornillería). Una característica importante para seleccionar el tamaño de las muestras es que el cilindro deberá fallar por arriba de las 3 toneladas de carga (3000 kgf), debido a que este es valor mínimo observable que ofrece la máquina de ensayos universales del instituto.

La propuesta inicial consistía en un par de barras paralelas soldadas a una plancha de acero. Dichas placas contaban con un corte circular sobre la que se colocaría la muestra a ensayar (Figura 5), además de estar separadas por una ranura en la plancha de acero.

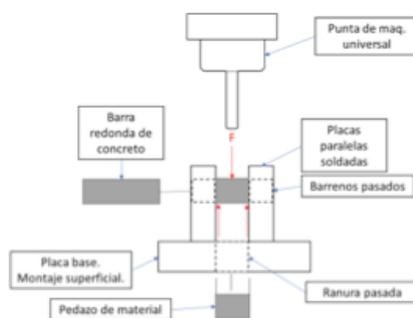


FIGURA 5.
Bosquejo inicial del dispositivo.

El diseño conceptual permitía el montaje superficial y el uso de muestras cilíndricas, sin embargo, no cumplía con los demás criterios de diseño, por lo que fue necesario realizar varios ajustes sobre la propuesta. En la tabla 1, puede observarse como evolucionó el concepto de diseño hasta su última versión.

TABLA 1.
Evolución del concepto de diseño.

Versión	Característica	Modelo
0	Soportes fijos	
1	Soportes ajustables por ranura U. Tapa removible. Placa base ranurada.	
2	Ranura pasada en placa base. Cartabones. Tornillería. Grosor de soportes aumentado.	
3	Soportes en "V". Tapas removibles eliminadas.	

Después de repetidas iteraciones, se obtuvo una propuesta de diseño que cumplía con los requerimientos anteriormente planteados (Figura 6).

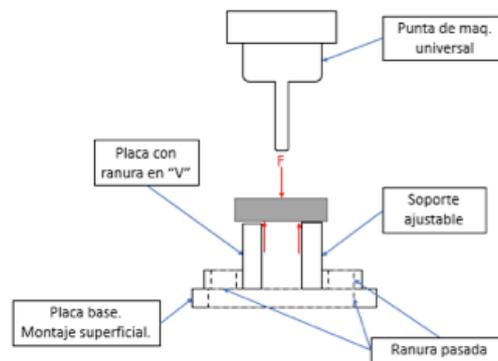


FIGURA 6.
Bosquejo del dispositivo.

Posteriormente se realizó una aproximación teórica para definir el tamaño de las muestras que el dispositivo sería capaz de analizar, así como la magnitud de la fuerza que soportaría cada uno de los soportes, para lo cual, se utilizaron los datos de esfuerzo promedio último de corte para muestras tipo C2 de la investigación de Xilan Li [12], el cual tiene un valor de 11.9 Mpa (Aprox. 12 Mpa). Para el cálculo se utilizó la ecuación 1 de esfuerzo de corte [13] y se consideró que en el taller se tienen moldes normalizados de 10 y 15 cm de diámetro, por lo que se obtuvo que con muestras de D=10 cm la fuerza de corte total sería de 19.2 e. Kgf y 9.6 e. Kgf, como se expresa en la ecuación 2.

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Donde:

T = Esfuerzo cortante (Pa)

F = Fuerza de corte (N)

A = Sección transversal (m²)

Despejando F .

$$\begin{aligned}
 F &= \tau A \\
 F &= (12 \text{ MPa})(7.85e^{-3} \text{ m}^2) = 94.24 \text{ KN} \\
 &= 9.6 e^3 \text{ Kgf} \\
 F_{\text{sencillo}} &= 9.6 e^3 \text{ Kgf} \text{ y } F_{\text{doble}} = 19.2 e^3 \text{ Kgf}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Al analizar los resultados se observa que, a mayor sección transversal de la muestra a ensayar, más fuerza se necesitara para romperla. Por lo que se escogió utilizar muestras de 100 mm, ya que es el tamaño más pequeño de moldes normalizados disponibles, además de que las fuerzas de corte superan las 3 toneladas de carga requeridas.

A partir de los datos obtenidos se comenzó con el proceso de diseño de detalle.

Principios de diseño mecánico

En la mecánica de materiales la ecuación representativa para un material elástico lineal se conoce como ley de Hooke. De acuerdo con Fitzgerald [13], establece que el “esfuerzo es directamente proporcional a la deformación unitaria”. Esto significa, que si a una barra de cualquier metal se le aplica una carga de tensión σ , el elemento se alargará una cierta cantidad ϵ , y para conocer cuantitativamente el alargamiento se utiliza una constante de proporcionalidad como módulo de elasticidad E . La ecuación 3 relaciona estas tres variables y se conoce como Ley de Hooke [13].

$$\sigma = E\epsilon \tag{3}$$

La teoría de Von Mises o teoría de la energía de distorsión es un método de análisis aplicado a la predicción de fallas por fluencia. De acuerdo con Budynas y Nisbett [17] la teoría de energía de distorsión predice:

“la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total alcanza o excede la energía de deformación correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material.”

Significa que un material dúctil comienza a ceder en algún punto cuando la ecuación 4, tensión de Von Mises σ_{vm} , alcanza a la ecuación 5, límite de tensión S_y [17]. Este método es muy usado por una gran gama de softwares de ingeniería asistida por computadora (CAE), como por ejemplo SolidWorks.

$$\sigma_{vm} = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

$$\sigma_{vm} \geq S_y \tag{5}$$

Donde:

$$\sigma_{1,2,3} = \text{Esfuerzos principales (Pa(N/m}^2\text{))}$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Se comenzó a modelar el bosquejo del dispositivo con ayuda de las dimensiones de la meza sobre la que se montaría el dispositivo (Figuras 7 y 8) y SolidWorks (Figura 8), con el cual se consiguió realizar simulaciones y optimizar el diseño.

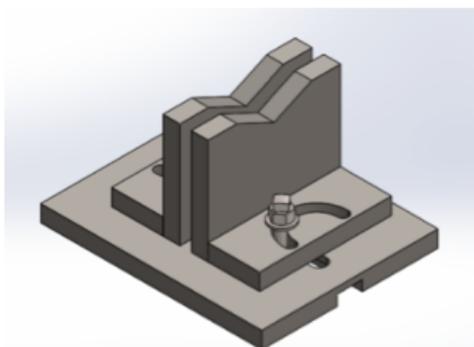


FIGURA 7.
Dispositivo modelado.

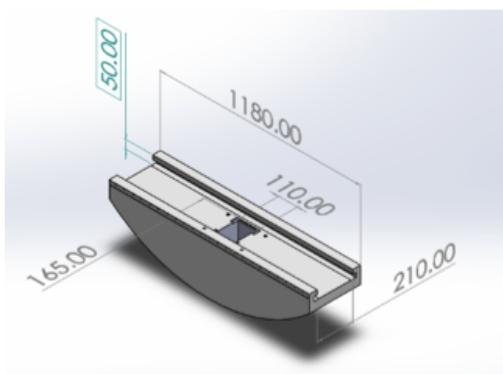


FIGURA 8.
Dimensiones del carro superior de la máquina de ensayos.

Al analizar el diseño, se observó que las placas paralelas serían muy propensas al pandeo, por lo que se optó por agregar unos cartabones (nervios) para reforzar la estructura (Figuras 9 y 10).

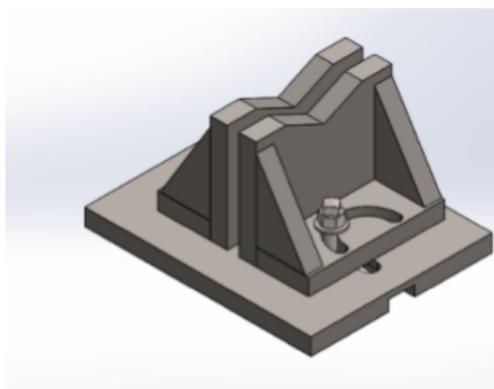


FIGURA 9
Dispositivo modelado V2.

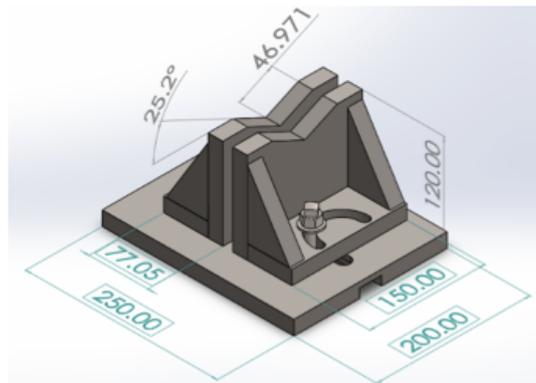


FIGURA 10
Dimensiones del dispositivo final (Acotación: mm).

Otra pieza que no es posible reemplazar, es la placa base. Pero su análisis se omitió debido a que su relación con los demás componentes es solamente proveer una superficie de apoyo, por lo que el esfuerzo más relevante sería la carga de aplastamiento de los soportes, sin embargo, esta carga no es lo suficientemente fuerte como para producir una deformación significativa al material del que está compuesto la pieza (acero).

Considerando que el esfuerzo de corte se reparte homogéneamente en cada soporte, entonces cada soporte recibirá la mitad de la carga máxima obtenida de la aproximación teórica. Además, se consideró que la carga se aplicaría sobre las ranuras “V” debido a que se diseñó para ensayar solamente cilindros normalizados de 10 cm.

Se propuso que el material para el proyecto fuera acero AISI 1045 estirado en frío, ya que cuenta con un límite elástico muy elevado, además de que es fácil de conseguir en el mercado local. Sin embargo, era necesario determinar el ancho del soporte por lo que se propuso que el ancho inicial fuera de $\frac{1}{2}$ in.

Realizando un cálculo analítico (a mano) con los datos del problema el esfuerzo promedio es de $0.79e. Pa$, el cual fue verificado con un análisis estático 2D en el que se utilizó las propiedades estándar (modulo elástico, densidad, coeficiente de Poisson y límite elástico) del material (AISI 1045) en la librería del software. En los resultados se puede observar que el esfuerzo promedio estimado se encuentra dentro del rango promedio (región verde) de los valores de la simulación ($0.78e. Pa - 1.247e. Pa$) (Figura 11). El resultado de la simulación indica que, con el grosor de placa propuesto, la pieza es capaz de soportar la carga aplicada dentro de su zona elástica, por lo que al retirarse la carga la pieza regresará a su forma inicial.

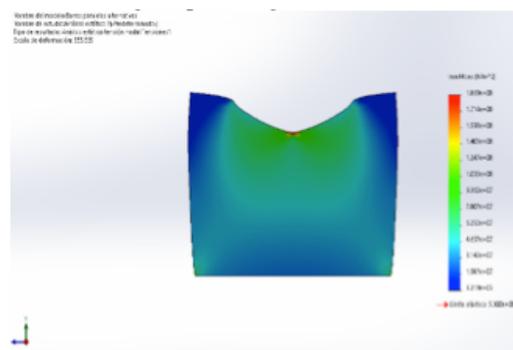


FIGURA 11.
Resultado de simulación inicial.

A partir de los resultados, se optó por que todas las piezas de diseño propio tuvieran el mismo grosor ($\frac{1}{2}$ in), con excepción de la placa base que tendría un espesor de $\frac{3}{4}$ in, esto permitiría generar una mayor robustez a la base soporte, además de permitir maquinarla para generar guías, donde se alojarán tuercas T para el ensamblaje.

Al analizar las piezas de diseño, se observó la estrategia de maquinado, el cual por los tipos de corte y el grosor de las placas metálicas se planteó que todas las piezas fueran fabricadas a partir de un proceso de corte por oxiacetileno asistido por computadora.

En el proceso de manufactura, por disponibilidad de material, la empresa que se subcontrató para el corte con oxiacetileno propuso que el material a utilizar fuera un A36, con un espesor de $\frac{3}{4}$ in. Esto supera el grosor inicial calculado, por lo que se aceptó dicha propuesta considerando que el cambio del material influiría en su desempeño.

A raíz de los cambios de diseño, se realizó un análisis estático 3D para observar cómo afectaría el cambio de material en el funcionamiento del dispositivo (Figura 12).

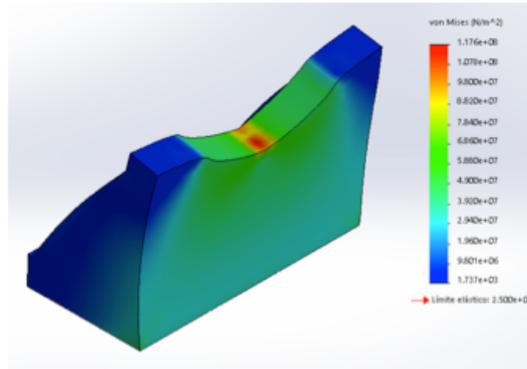


FIGURA 12.
Cambio de material.

Los resultados de la simulación señalan que, al cambiar el grosor y el material del soporte, el anterior valor de esfuerzo promedio se concreta cerca de las áreas en amarillo (Figura 12), esto se debe a que el rediseño distribuye las cargas en una superficie mayor a la primera, reduciendo la carga máxima de 1.869×10^8 Pa (primer estudio) a 1.245×10^8 Pa (segundo estudio) y el esfuerzo promedio de 0.79×10^8 Pa a 0.53×10^8 Pa (región verde, 0.41×10^8 Pa – 0.83×10^8 Pa), cuando el límite elástico del A36 es de 2.5×10^8 Pa, lo cual indica que las cargas permanecen debajo del límite elástico.

Las piezas se trasladaron a formato DWG (Figura 13) y se mandaron a cortar.

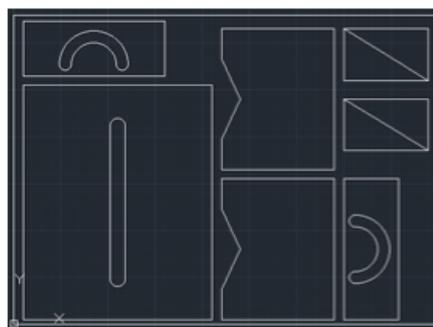


FIGURA 13.
Piezas en formato DWG.

Una vez finalizado el corte de las piezas. Los cartabones se escuadraron (Figura 14), la placa base se ranuró (Figura 15), los tornillos de fijación se rebajaron (Figura 16) 0.7 mm de su diámetro nominal ya que estos se atoraban al moverlos a través de las ranuras en “U”. Al final, se unieron los componentes de los soportes ajustables (Figura 17) con cordones de 4 mm con soldadura 6013.



FIGURA 14.
Cartabones es cuadrados.



FIGURA 15.
Placa base ranurada.



FIGURA 16
Tornillos rebajados.



FIGURA 17.
Soporte soldados.

Posteriormente se elaboró una muestra de concreto (Figura 18) para probar el dispositivo, esta se realizó teniendo en cuenta la dosificación que se encuentra especificada en la tabla 2.



FIGURA 18
Probeta de concreto tipo cilindro D=10 cm.

TABLA 2.
Dosificación de la muestra tipo cilindro D =10 cm.

Material	Dosis (Kg)
Cemento	0.6
Arena	1.1
Grava de río $\frac{3}{4}$ in o 20 mm	1.8
Agua	0.3

La muestra de concreto se dejó curar en agua (Figura 19) por 16 días, debido a que el tiempo para que alcanzaran su punto de curado máximo iba a suscitarse hasta el periodo intersemestral del ITA, por lo que los laboratorios e instalaciones permanecerían cerrados para el alumnado hasta que se reanudaran las clases.

Después se extrajo la muestra para realizar la prueba del dispositivo sobre la máquina de ensayo universal (Figura 20).



FIGURA 19.
Curado.



FIGURA 20.

Muestra y dispositivo montado sobre la máquina de ensayos universal.

Antes de comenzar con la prueba era necesario conocer el contrapeso de la máquina, para lo cual se estimó la fuerza (6) necesaria para cortar la muestra de concreto simple. Para ello se utilizó el esfuerzo promedio ultimo de corte (τ) de muestras tipo A0 de la investigación Xilan Li [12], el cual tiene un valor de 5.5 Mpa.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$F = \tau A$$

$$F = (5.5 \text{ MPa})(7.85e^{-3}m^2) = 43.17 \text{ KN}$$

$$= 4.4 e^3 \text{Kgf}$$

$$F_{sencillo} = 4.4 e^3 \text{Kgf} \text{ y } F_{doble} = 8.8 e^3 \text{Kgf}$$

El resultado señala que para realizar el ensayo se requieren de aproximadamente 9 toneladas, sin embargo, la muestra de concreto solo se curó 2 semanas de las 4 semanas que usualmente se deja, por lo que el contrapeso se ajustó para 6000 Kgf (6 ton) pensando que la muestra pueda romperse a una carga cercana al esfuerzo de corte para una pieza sencilla ($F_{sencillo}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ensayo de la muestra de concreto con el dispositivo construido, la carga fue incrementada linealmente en intervalos de 100 kg. hasta los 2900 kg. donde se produjo la fractura sobre la muestra (Figura 21). Solamente se produjeron dos mitades (Figura 22) de la muestra en lugar de 3 secciones como se esperaba.



FIGURA 21.
Carga de ruptura.



FIGURA 22.
Muestra fracturada.

Los resultados señalan que el esfuerzo de corte resultante en la probeta fue del tipo sencillo, ya que la fractura solo actuó en 1 sección transversal en lugar de dos. La falla a cortante es frágil en el espécimen.

El esfuerzo ultimo de corte de la probeta fue de 3.6 Mpa, el cual es menor al esfuerzo último de corte de 5.5 Mpa obtenido por Xian Li en su investigación. Lo cual, demuestra que el tiempo que permaneció en agua sí afectó al resultado de la prueba, pero se considera aceptable ya que los valores de carga sí se acercaron mucho a la estimación teórica.

Después se retiraron los restos del material ensayado y se desmontó el dispositivo para revisar el estado de la soldadura en búsqueda de alguna anomalía, pero no se encontró ninguna fisura o separación de los cordones (Figura 23).

Para corroborar los resultados se realizó un análisis FEM con la carga de ruptura obtenida del ensayo de corte. Se dividió y se aplicó como carga total sobre el soporte ajustable. Se crearon cordones de soldadura 6013 de 4 mm de garganta.



FIGURA 23.
Comprobación de la soldadura.

El resultado del análisis señala que todos los cordones de soldadura soportan el esfuerzo aplicado, y que el tamaño de garganta máximo recomendado es de 0.057 mm, por lo que los resultados de la comprobación de soldadura real coinciden con los resultados de la simulación (Figura 24).

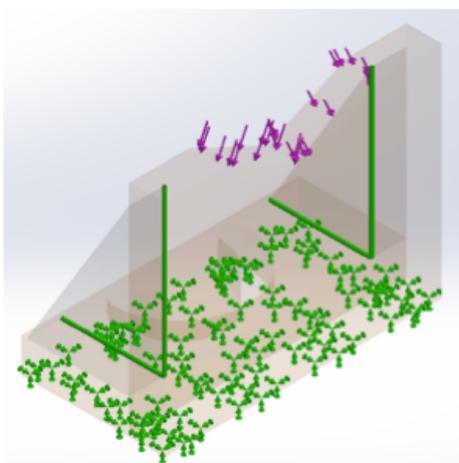


FIGURA 24
Trazado de comprobación de la soldadura.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de un dispositivo para realizar ensayos de corte permitió tener un primer acercamiento a los ensayos de corte y comprender cómo se comportan las muestras de concreto bajo los efectos de una carga de corte, dentro de la cual se pudo observar que la pieza ensayada se comportó como un corte sencillo. Por lo que la aplicación de un conjunto de soportes ajustables permitirá realizar más pruebas de corte dentro de las cuales podrían realizarse algunas variaciones en los ensayos, como por ejemplo darle una mayor separación entre los apoyos, y observar si la muestra falla de la misma forma.

Además, la fabricación del dispositivo en acero A36 y la aplicación de cordones de soldadura de 4 mm, garantizan la confiabilidad del dispositivo, siempre y cuando se trabajen dentro de los parámetros de diseño.

REFERENCIAS

- [1] Ragalwar K., Heard W.F., Williams B.A., Kumar D., Ranade R. (2020). On enhancing the mechanical behavior of ultra-high-performance concrete through multi-scale fiber reinforcement. *Cement and Concrete Composites*, 105, 103422.
- [2] Lakavath C., Joshi S.S., Prakash S.S. (2019). Investigation of the effect of steel fibers on the shear crack-opening and crack-slip behavior of prestressed concrete beams using digital image correlation. *Engineering Structures*, 193, 28–42.
- [3] Meza A., Ortiz J.A., Peralta L., Pacheco J., Soto J.J., Rangel S.H., Padilla R., Alvarado J. (2014). Experimental mechanical characterization of steel and polypropylene fiber reinforced concrete. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 37 (2), 106–115.
- [4] Lantsoght E.O.L. (2019). How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete. *Composites Part B* 175 107079
- [5] Lee D.H., Han S.J., Kim K.S., LaFave J.M. (2017). Shear capacity of steel fiber-reinforced concrete beams. *Structural Concrete*, 1-14.
- [6] Marar K., Eren Ö., Roushani H. (2017) The Influence of Amount and Aspect Ratio of Fibers on Shear Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 1393-1399.
- [7] Li Z.X., Lin C.H., Shi Y.D., Zhou X.J. (2017) Experimental investigation on mechanical properties of Hybrid Fibre Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 157, 930-942.
- [8] Meza, A. y Siddique, S. (2019). Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber. *Construction and Building Materials*, 213, 286-291.
- [9] Jalil A., Khitab A., Ishtiaq H., Bukhari S.H., Arshad M.T., Anwar W. (2019). Evaluation of Steel Industrial Slag as Partial Replacement of Cement in Concrete. *Civil Engineering Journal*, 5(1), 181-190.
- [10] Khalid F.S., Irwan J.M., Wan Ibrahim M.H., Othman N., Shahidan S. (2018) Performance of plastic wastes in fiber-reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 183, 451–464.
- [11] Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2010). *Mecánica de materiales*. Ciudad de México: McGraw Hill. México.
- [12] Li, Z.-X. (2017). Experimental investigation on mechanical properties of hybrid fibre reinforced concrete. Tianjin: *Construction and Building Materials*. 157, 930–942.
- [13] Fitzgerald, R. W. (2007). *Mecánica de materiales*. Ciudad de México: Alfa omega. México.
- [14] Instituto nacional de vías. INVE-154-07. *Determinación de la resistencia al corte método de corte directo*. Bogotá: Instituto nacional de vías. K.
- [15] Aulet, A., Domenech, L., & Centrangolo, G. (Junio de 2016). *Evaluación y control de estructuras del patrimonio arquitectónico nacional en mampostería aplicando técnicas no destructivas*. Obtenido de Research Gate: <https://www.researchgate.net/>
- [16] Jinan Liangong Testing Technology Co., L. (s.f.). *Shear Fixture: Attachment: Product: Igtester*. Obtenido de Liangong group: <http://www.lgtester.com/>
- [17] Budynas R., Nisbert K. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. 8ª edición. Editorial McGraw Hill, México