



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
HIDALGO

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**Diseño y puesta a punto de Celda Brasileña  
para ensayo de tensión indirecta en concreto**

**T E S I S**

Para obtener el título de

**Ingeniera civil**

**PRESENTA**

Guadalupe Camila Sosa Tamayo

**Bajo la dirección de:**

Dr. Luis Daimir López León



**Co-dirección de:**

Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Mineral de la Reforma, Hidalgo, junio 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
*School of Engineering and Basic Sciences*

Mineral de la Reforma, Hgo., a 4 de agosto de 2022

Número de control: ICBI-D/1005/2022  
Asunto: Autorización de impresión.

**MTRO. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Pasante de la Licenciatura en Ingeniería Civil **Guadalupe Camila Sosa Tamayo**, quien presenta el trabajo de titulación "**Diseño y puesta a punto de Celda Brasileña para ensayo de tensión indirecta en concreto**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Secretario: Dr. Francisco Javier Olguín Coca

Vocal: Dr. Luis Daimir López León

Suplente: Mtro. Alejandro González de la Fuente

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

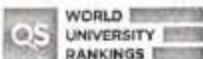
Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval  
Director de ICBI



OAAS/YCC

Ciudad del Conocimiento  
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia  
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,  
México. C.P. 42184  
Teléfono: 771 71 720 00 ext. 2231 Fax 2109  
direccion\_icbi@uah.edu.mx



[www.uah.edu.mx](http://www.uah.edu.mx)

# Índice

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Generalidades .....	3
1.1.1. Ensayos a tensión directa .....	4
1.1.1.1. Ensayo de Disco Compacto a Tensión (DC(T)).....	4
1.1.1.2. Ensayo Dog-Bone Direct Tension (DBDT) .....	5
1.1.2. Ensayos a tensión indirecta .....	5
1.1.2.1. Ensayo de doble punzonamiento.....	5
1.1.2.2. Ensayo de la cuña (Wedge Splitting Test) .....	6
1.1.2.3. Ensayo brasileño .....	6
1.2. Planteamiento del problema .....	7
1.3. Justificación.....	7
1.4. Hipótesis.....	8
1.5. Objetivo general del proyecto .....	9
1.5.1. Objetivos particulares del proyecto.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Pruebas de control de calidad en concreto .....	10
2.1.1. Pruebas en concreto fresco.....	10
2.1.2. Prueba de revenimiento.....	10
2.2. Peso volumétrico .....	12
2.3. Curado del concreto .....	12
2.3.1. Curado del concreto por el método del agua hirviendo.....	14
2.4. Pruebas en concreto endurecido.....	14
2.5. Prueba de resistencia a la compresión.....	15
2.6. Prueba de resistencia a la flexión .....	17
2.7. Prueba de resistencia a la tensión (método indirecto) .....	19
3. METODOLOGÍA .....	21
3.1. Diseño del dispositivo .....	22
3.2. Manufactura del dispositivo.....	28
3.3. Puesta a punto del dispositivo .....	28
3.4. Diseño de mezcla de concreto y construcción de especímenes.....	29
3.4.1. Peso volumétrico (peso unitario).....	29
3.4.2. Peso específico del agregado fino .....	31
3.4.3. Peso específico del agregado grueso.....	32
3.4.4. Contenido de humedad.....	34

3.4.5. Módulo de finura.....	35
3.4.6. Construcción de especímenes.....	37
3.5. Ensaye de tensión indirecta.....	38
4. Resultados.....	40
4.1. Pruebas mecánicas.....	40
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	50

## Índice de figuras

Figura 1. Ensayo brasileño (Villar,2006b).....	19
Figura 2. Cuerpo principal de la celda (pieza 1).....	23
Figura 3. Base de la celda (pieza 2).....	24
Figura 4. Puerta de la celda (pieza 3).....	25
Figura 5. Accesorios de la celda (pieza 4, 5 y 6).....	26
Figura 6. Ensamble final de la celda.....	27
Figura 7.Obtención del peso volumétrico.....	30
Figura 8.Obtención del peso específico del agregado fino.....	31
Figura 9. Procedimiento para obtener el peso específico del agregado grueso.....	33
Figura 10. Proceso de tamizado por medios mecánicos para la obtención del módulo de finura.....	35
Figura 11. Prueba de resistencia a la compresión.....	40
Figura 12. Prueba de tensión indirecta.....	40
Figura 13. Comparativa ensayo de compresión y tracción.....	42
Figura 14. Espécimen después de la prueba de tensión indirecta.....	42

## Índice de Tablas

Tabla 1. Norma NTP 339.213.....	13
Tabla 2. Materiales de manufactura de la celda.....	28
Tabla 3. Características de los recipientes empleados para el peso volumétrico de los materiales.....	29
Tabla 4. Peso volumétrico de los agregados.....	30
Tabla 5. Pesos conseguidos durante el proceso para la obtención del peso específico del agregado fino. 32	
Tabla 6.Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.....	32
Tabla 7. Pesos obtenidos durante el proceso de obtención del peso específico del agregado grueso.33	

Tabla 8. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino. ....	34
Tabla 9. Contenido de humedad de los agregados pétreos.....	34
Tabla 10. Módulo de finura.....	35
Tabla 11. Valores utilizados para el diseño de la mezcla de concreto. ....	36
Tabla 12. Dosificación de materiales para la elaboración de la mezcla de concreto. ....	37
Tabla 13. Parámetros de resistencia compresión vs tracción. ....	41

## RESUMEN

El concreto es uno de los materiales de construcción más usados mundialmente, su manejabilidad y resistencia a cargas lo hacen una opción práctica, duradera y económica. Realizar pruebas de calidad al concreto permite constatar que la mezcla cumpla con las especificaciones del proyecto y de la legislación aplicable.

Este proyecto busca construir una celda brasileña que permita realizar pruebas de resistencia a la tensión indirecta en los laboratorios de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El diseño está basado en celdas brasileñas de ensayo a tensión indirecta disponibles en el mercado con una adecuación para ser utilizada en la prensa marca Controls C-43C04.

La elaboración de este dispositivo beneficiará a estudiantes y docentes de la licenciatura en Ingeniería Civil, haciendo posible la ejecución de la prueba a tensión indirecta por el método brasileño con el equipo, herramientas y materiales ya disponibles en la universidad. La realización de este ensayo incrementará los conocimientos teóricos y prácticos sobre control de calidad del concreto de los alumnos.

El dispositivo nació de un primer boceto a mano alzada que se perfeccionó con base en las especificaciones de la prensa a la que se adaptará. Posteriormente, el diseño final fue pasado a modelo 3D con el software SolidWorks 2017. La manufactura se llevó a cabo con métodos convencionales de soldadura, utilizando acero como material. Se utilizó una mezcla de concreto comercial de  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ .

La resistencia a la compresión de mezclas de concreto se consigue al diseñar sistemas que cumplan con propiedades mecánicas y de durabilidad establecidas por normas nacionales e internacionales. En este trabajo se propone un elemento actuador de carga personalizado, tanto en la parte superior e inferior de la celda para tener mejor distribución de carga en el espécimen y ejercer un apoyo uniforme en la sección de contacto para el ensayo de tracción indirecta. En este proyecto se diseñó y manufacturó un dispositivo que podrá servir como instrumentación de la prensa marca Controls modC-43C04 para dar servicio a probetas, en las cuales el concreto es sometido a esfuerzos de tensión con mayor intensidad, donde se espera que el acero de refuerzo sea el que actúe al absorber estos esfuerzos. A través de las pruebas mecánicas se estableció que

la celda cumple con un diseño funcional y con las necesidades de la prensa para la que fue adaptada.

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, se pudo observar que la celda propuesta para realizar la prueba de tensión indirecta cumple con los parámetros reportados en literatura para especímenes diseñados con un  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ , ya que el valor de los datos de la resistencia a la tracción representa el 7 al 15% de su resistencia a la compresión para cada uno de los especímenes estudiados.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades

La ingeniería civil toma como base primordial el concreto para la realización de diferentes proyectos de carácter público y privado. Desde la calle por la que transitas hasta la casa en que vives, el concreto rodea nuestro día a día, de ahí la importancia de utilizar concreto que cumpla con las especificaciones técnicas y normativas correspondientes. Esta calidad se puede alcanzar y comprobar mediante diferentes pruebas de laboratorio. Estudios preliminares al diseño y construcción de elementos estructurales y el uso de pruebas y procedimientos de ensaye para control de procesos establecidos de construcción son hechos significativos para el desarrollo técnico (Fuentes-Espinoza, 1982).

Algunas características destacables de este material es su maleabilidad, propiedad que le permite adaptarse a diferentes formas y diseños arquitectónicos; igualmente es resistente a fuerzas de comprensión, flexión y tensión, convirtiéndolo en una opción segura y duradera para edificaciones. El uso adecuado del concreto en proyectos de ingeniería depende directamente de la calidad del material, lo cual involucra un método de pruebas y ensayos (Fuentes-Espinoza, 1982).

En términos generales es difícil obtener la resistencia a tensión del concreto en forma directa, por lo que se determina por métodos indirectos, como son las pruebas de tensión por compresión y de tensión por flexión (Moreno, 2016).

La resistencia a la flexión podría considerarse una medida indirecta de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada (Masías, 2018). Los especímenes deben ser rectangulares, su longitud debe ser la distancia entre apoyos más 50 mm como mínimo. La distancia entre apoyos será tres veces el peralte de la viga y estas distancias deben estar marcadas. Las caras laterales de la muestra deben tener un ángulo recto ( $90^\circ$ ) y estar lisas y libres de imperfecciones (W, 2001).

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de

libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) (NRMCA, Concrete In Practice, 2020). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia  $f'_c$ , especificados en el proyecto a realizar. Además, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, permitiendo programar las operaciones de construcción (CEMEX, 2019).

La resistencia a compresión axial es la mayor de las fortalezas del concreto y su propiedad mecánica más apreciada, a pesar de que la resistencia a tensión en muchas ocasiones es tan baja que se desprecia para propósitos estructurales. Sin embargo, es importante ya que se solicita para pronosticar agrietamientos en este material (Moreno, 2006).

### **1.1.1. Ensayos a tensión directa**

Los ensayos a tensión directa consisten en la rotura a tensión de una probeta de concreto cuando se la somete a cargas de tensión. En comparación con los métodos indirectos, el método de prueba de tensión directa da resultados más cercanos a la verdadera resistencia a la tracción en condiciones de tensión pura (W, 2001).

Las pruebas de tensión directa más utilizadas son el ensayo de Barcelona de Tensión Directa (BTD), ensayo de Disco Compacto a Tensión (DC(T) y ensayo Dog-Bone Direct Tension (DBDT). A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno.

#### **1.1.1.1. Ensayo de Disco Compacto a Tensión (DC(T))**

El ensayo de disco compacto a tensión (DC(T)) se desarrolla para determinar el potencial de utilizar la geometría cilíndrica para obtener la energía de fractura de las mezclas. Se recomienda que la dimensión más pequeña de la probeta sea por lo menos cuatro veces mayor que el tamaño máximo del conjunto (Villar, 2006a).

Algunas de sus ventajas son que se encuentra mayor área de fractura y se tiene facilidad para compactar las probetas mediante el compactador giratorio. Además, este ensayo de fractura se encuentra normalizado (ASTM D7313- 07). Sin embargo, hay gran complejidad en la elaboración de probetas, ya que crear los agujeros de carga en la probeta es un proceso complicado (López-Montero, 2018). Además, la probeta no se encuentra sometida a un ensayo de tensión simple puro, lo que provoca la aparición de compresiones en el extremo opuesto al

punto de aplicación de la carga, complicando el cálculo de los parámetros mecánicos (Pérez-Jiménez et al., 2007).

#### **1.1.1.2. Ensayo Dog-Bone Direct Tension (DBDT)**

El ensayo Dog-Bone Direct Tension (DBDT) consiste en una probeta de sección transversal reducida en la zona central. Las muestras de prueba se unen a los cabezales de carga utilizando barras de alineación simples para obtener una alineación adecuada (Koh et al., 2009). Es un ensayo en el que se registra la deformación de la probeta durante su realización, para lo cual se colocan dos sensores de desplazamiento inductivos (LVDT) situados en la sección transversal reducida. Si el fallo sucede con la propagación de una única macro fisura, el control del ensayo es inestable. En ese caso se emplean ensayos más complejos (Aire et al., 2013).

La principal ventaja de este método es que los límites de falla se pueden determinar con mayor precisión a partir de mediciones directamente en el plano de falla con menos propensión a fallar debido a los efectos finales de excentricidad (Koh et al., 2009). Sin embargo, los equipos requeridos son costosos y existe gran dificultad para la fabricación de probetas (López-Montero, 2018).

#### **1.1.2. Ensayos a tensión indirecta**

En los ensayos a tensión indirecta, la rotura de la probeta de concreto se produce debido a la aplicación de una carga de compresión o flexo-tracción. Los ensayos más comunes a tensión directa son el ensayo de doble punzonamiento, ensayo de la cuña y el ensayo brasileño.

##### **1.1.2.1. Ensayo de doble punzonamiento**

El ensayo de doble punzonamiento, propuesto por Chen (1970), consiste en someter a compresión uniaxial un cilindro mediante dos placas de carga cilíndricas de acero de diámetro menor, dispuestas concéntricamente por encima y por debajo de la probeta (Carmona-Malatesta et al., 2009). La relación entre los diámetros de los punzones y la probeta es de un cuarto ( $d' = 37.5 \text{ mm}$ ); la probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro y 150 mm de altura se somete a un ensayo de doble punzonamiento mediante una carga que se transmite a través de dos punzones y según

el eje central de simetría. Estudios realizados en probetas más pequeñas con idénticas proporciones geométricas muestran que los resultados de tensión determinados por este método son poco sensibles al tamaño de la muestra (Aire et al., 2013). El control del ensayo se puede realizar por posición del plato de carga, o utilizando la apertura circunferencial de la probeta medida mediante una cadena que se coloca en la parte central de la probeta a media altura (Aire et al., 2013).

La principal ventaja con respecto a otros ensayos reside en la poca dispersión de los resultados (se reduce al 10%) y a las dimensiones de las probetas lo que mejora en gran medida su manipulación a la hora de realizar el ensayo. Además, el procedimiento de ejecución es sencillo y requiere de una magnitud de carga reducida para llegar a la rotura de la muestra. Esto lo convierte en un método muy fácil de llevar a la práctica (Martín, 2016).

#### **1.1.2.2. Ensayo de la cuña (Wedge Splitting Test)**

El ensayo de la cuña consiste en una cuña cargando progresivamente un cubo de concreto, previamente entallado. El descenso de la cuña produce en el cubo un desplazamiento de apertura lateral de la entalla originando la aparición y propagación estable de la fisura (Aire-Untiveros et al., 2013).

Algunas ventajas que presenta este ensayo son que no requiere de un equipo de ensayo sofisticado, puede ser realizado en máquinas habituales de ensayos mecánicos. Gracias al tipo de configuración del ensayo el desplazamiento coincide con la apertura de fisura. El ensayo se puede realizar con muestras prismáticas o cilíndricas, permitiendo la posible extracción de muestras provenientes de estructuras existentes para su posterior control de calidad. A pesar de que este ensayo ha sido exitoso para determinar las propiedades de fractura de concretos convencionales, no hay mucha información disponible para el caso de los concretos reforzados con fibra (CRF) (Carmona-Malatesta et al., 2009).

#### **1.1.2.3. Ensayo brasileño**

El ensayo de tensión indirecta, “ensayo brasileño” o ensayo de compresión diametral es uno de los más sencillos, simples y representativos de realizar para determinar el máximo esfuerzo de tensión que puede soportar un material antes de romperse. Fue propuesto por el ingeniero brasileño Fernando Luiz Lobo Barboza Carneiro (Paiva, 2013). El ensayo brasileño surge, al

igual que los ensayos de plasticidad de Casagrande, por la construcción de aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial en el 1944. El problema de Carneiro era la dificultad de estudiar los pavimentos de concreto en Brasil (Montalar, 2011). Este ensayo consiste en someter una probeta de concreto de forma cilíndrica a una carga de compresión aprovechada en una banda delgada en toda la longitud de la probeta, provocando un esfuerzo de tensión relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical. El resultado de la fuerza de tensión ortogonal resultante origina que la probeta falle a tensión (British Standard International, 1983). Esta prueba es capaz de brindar datos que faciliten un correcto diseño de mezclas de concreto en situaciones donde este material trabaje a tensión pura y también para evitar agrietamientos en condiciones comunes.

### **1.2.Planteamiento del problema**

Las pruebas y ensayos del concreto permiten corroborar la calidad de este, previniendo daños futuros. Durante su realización, es necesario seguir criterios técnicos y teóricos, evitando en medida de lo posible afectaciones ambientales, haciendo uso de herramientas, material y equipos especializados, todo bajo el mando de personal capacitado.

En la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicada en Mineral de la Reforma, Hidalgo, se desarrollan distintas pruebas mecánicas al concreto con fines didácticos, de investigación y/o servicio; sin embargo, la carencia de equipos e instrumentación especializada puede afectar dichas pruebas.

En este proyecto se propone el diseño y manufactura de una celda brasileña para ensayo a tensión indirecta que servirá como aditamento a la prensa marca Controls, modelo C-43C04, ya existente en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Este instrumento se pondrá a prueba para constatar si cumple con los requerimientos técnicos de la norma M-MMP-2-02-059/04 NIT-SCT.

### **1.3.Justificación**

Dadas las características del concreto, su uso es variado y extenso, sometiéndose en ocasiones a situaciones donde es expuesto a esfuerzos de tensión con mayor intensidad como lo es en depósitos de agua, albercas, cajones de cimentación, etc., en las cuales se espera que el acero de refuerzo sea quien actúe al absorber estos esfuerzos. La capacidad de resistencia a la tensión que

el concreto posee es la que ayuda a disminuir o prevenir agrietamientos que pueden surgir por sismos, disminución extrema de temperatura, restricciones estructurales, ausencia de juntas o cambios volumétricos (Villar, 2006b). Obtener la tensión o flexo-tracción en el concreto no es posible de manera directa, sino que es necesario utilizar métodos indirectos como lo es el método brasileño de tensión indirecta.

Algunas ventajas que presenta el ensayo por método brasileño es que es relativamente sencillo, presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall, el tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos; la rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta, ya que se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones y el coeficiente de variación de los resultados del ensayo es relativamente bajo comparado con otros métodos (Villar, 2006b).

El diseño y manufactura de una celda para ensayo brasileño a tensión indirecta en concreto permitirá realizar la prueba a tensión indirecta en los laboratorios de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, pudiendo ser ensamblada a la prensa marca Controls modelo C-43C04, haciendo a esta prensa capaz de realizar la prueba mencionada.

Esta celda podrá ser empleada en investigaciones por alumnos y docentes de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, con la finalidad de encontrar posibles soluciones a servicios o proyectos que se cultiven en el programa educativo de la Licenciatura en Ingeniería Civil.

#### **1.4.Hipótesis**

Es posible que el dispositivo “Celda para ensayo brasileño de tensión indirecta” cumpla con las exigencias de la norma M-MMP-2-02-059/04 NIT-SCT. La celda se adaptará para la prensa marca Controls modelo C-43C04, permitiendo realizar el ensayo de tensión indirecta por el método brasileño en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

### **1.5.Objetivo general del proyecto**

Diseñar y manufacturar el dispositivo “Celda para ensayo brasileño de tensión indirecta” adaptable a la prensa marca Controls modelo C-43C04 para realizar el ensayo de tensión indirecta por el método brasileño que cumpla con la norma M MMP-2-02-059/04 NIT-SCT.

#### **1.5.1. Objetivos particulares del proyecto**

- Diseñar y manufacturar una celda brasileña para ensaye de tensión indirecta en base a los parámetros requeridos por la norma M-MMP-2-02-059/04 NIT-SCT.
- Realizar el diseño de mezcla de concreto para un  $f' = 150 \text{ kg/cm}^2$
- Elaborar 10 especímenes de concreto para realizar la prueba de tensión indirecta con el dispositivo.
- Analizar y comparar los resultados del ensaye con otras pruebas reportadas en la literatura.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Pruebas de control de calidad en concreto**

Las mezclas de concreto pueden ser diseñadas de tal manera que cumplan con diferentes requerimientos, propiedades y características de acuerdo con el uso que se le dará. El concreto en obra resulta un material sujeto a la influencia de numerosas variables, como pueden ser: las características y variabilidad de cada uno de sus componentes (cemento, agregados, agua, adiciones minerales y aditivos químicos); las tecnologías de dosificación, mezclado, transporte, vertido y curado, y, por último, las variaciones inherentes a la elaboración y manipulación de los especímenes y los métodos de ensayo (Vidaud & Vidaud, 2014).

Comprobar que el concreto cumpla con las especificaciones indicadas es el objetivo de las pruebas de calidad, realizadas previamente al empleo de la mezcla de concreto en obra. Entre las pruebas más comunes se encuentran aquellas en que se mide su resistencia a la compresión o flexo-tracción.

#### **2.1.1. Pruebas en concreto fresco**

Se considera concreto en estado fresco desde el momento en que los componentes del concreto son combinados con agua; en este instante la mezcla comienza a presentar cambios físicos y químicos en su composición. Durante su mezclado, transporte y colocación, se debe procurar que el concreto no presente cambios significativos que puedan alterar las propiedades para las que fue diseñado. Las propiedades más importantes del concreto fresco son la trabajabilidad y la cohesión (IMCYC, 2004).

El muestreo consiste en obtener una porción representativa de una mezcla de concreto fresco tal y como es entregado en la obra (SCT, 2006). Las muestras de concreto en ningún caso deben permanecer a pleno sol para garantizar que conserve sus propiedades de manejabilidad y resistencia.

#### **2.1.2. Prueba de revenimiento**

El revenimiento es la primera prueba que se le practica a un concreto en estado fresco (SCT, Normas IMT, 2004). El revenimiento es una propiedad que

aumenta con mayor presencia de agua en la mezcla de concreto (Huerta-García, 2009). Con esta prueba se puede comprobar la trabajabilidad del concreto para su aplicación y prever la calidad que tendrá al endurecer.

La prueba puede ser realizada en campo o en laboratorio. Esta prueba permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco, con tamaño nominal de agregado de hasta 37.5 mm (1.5 in) (SCT, Normas IMT, 2006). El equipo para la realización de la prueba debe estar limpio, calibrado y en buenas condiciones en todas sus partes. El tiempo es un factor determinante para la correcta aplicación de la prueba; ésta debe iniciarse en los 5 minutos siguientes en que se realiza la mezcla y concluir en un intervalo de 2 ½ posterior a su inicio (Huerta-García, 2009).

Para la realización de la prueba se utiliza un cono Abrams, con la forma de un cono truncado de 20 cm de diámetro en la base inferior, 10 cm de diámetro en la base superior y 30 cm de altura, con una tolerancia de  $\pm 3$  mm en cada una de estas dimensiones; provisto además de dos estribos para apoyar los pies del operador y de dos asas para levantarlo (SCT, Normas IMT, 2006). La parte interior del cono debe ser lisa y sin abolladuras.

Para la varilla de compactación se usará una barra de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm ( $\frac{5}{8}$ "") de diámetro y 60 cm de longitud, con uno de los extremos de forma semi esférica del mismo diámetro de la varilla (SCT, Normas IMT, 2006). La placa metálica para utilizar debe ser, preferentemente, de acero inoxidable y de una dimensión óptima para abarcar el cono de Abrams y ser sujeta por los pies del operador.

La prueba debe realizarse sin interrupciones desde su inicio hasta su fin. El primer paso es humedecer el interior del molde y placa metálica, colocar el cono sobre la placa y mediante los estribos del primero, el operador mantendrá firme la posición de ambos. Posteriormente se llena el cono 1/3 del volumen, se golpea uniformemente 25 veces su interior con el lado redondeado de la barra de acero. Se vierte más mezcla hasta llegar a 2/3 del cono y nuevamente se compacta con la barra 25 veces de manera que penetre hasta 2 cm en la capa anterior. Para la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del cono, se compacta por última vez y se enrasa el concreto rodando la varilla por la parte superior del molde. Se retira el cono en un movimiento seguro y sin torsiones en un intervalo de 2 a 5 segundos. Si al retirar el molde alguna porción del concreto se desliza y cae hacia un lado, se repite la prueba con una nueva porción de la misma muestra. Si dos pruebas consecutivas hechas de la misma muestra

presentan fallas al caer parte del material a un lado, probablemente sea debido a que el concreto carece de cohesión y de la plasticidad necesaria; en este caso, no es aplicable la prueba de revenimiento. Para confirmar esta situación se requiere obtener una nueva muestra de la misma entrega (SCT, Normas IMT, 2006).

A continuación, a un lado de la muestra debemos colocar el molde, colocando la varilla sobre este y procurando que pase por encima del concreto. Con ayuda de una cinta métrica se mide la distancia entre la parte inferior de la barra y la parte superior de la muestra.

## **2.2.Peso volumétrico**

La masa volumétrica seca a temperatura ambiente (al aire) es la masa por unidad de volumen de un espécimen de concreto ligero, curado en cámara durante siete días sin pérdida o ganancia de humedad (IMCYC, 2013).

Esta prueba se realiza para obtener el peso por metro cúbico de la muestra de concreto de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-162-ONNCCE. Consiste en dividir el peso neto de la muestra fresca entre el volumen del recipiente (López et al., 2006). El peso volumétrico depende de los agregados del concreto.

## **2.3.Curado del concreto**

Curar significa cubrir el concreto de modo que permanezca húmedo. Al mantener húmedo el concreto se hace más fuerte la adherencia entre la pasta y los agregados. El concreto no se endurece apropiadamente si se le deja secar (CEMEX, 2016). El curado tiene como objetivo que la mezcla mantenga una humedad y temperatura adecuadas para garantizar que ésta alcance las propiedades esperadas. El periodo de curación empieza al instante de la colocación y acabado del concreto. El curado adecuado hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo y a descongelantes (CEMEX, 2016). Existen varios métodos para el curado, los más comunes son: contribución de agua a la superficie del concreto y colocación de hoja de plástico.

- La contribución de agua a la superficie del concreto es el método más simple, pues solo consiste en poner un rociador de agua continuo, fino y neblinoso sobre el concreto. Sin

embargo, el rociado debe ser una niebla muy fina, pues de otro modo puede dañar la superficie de concreto (IMCYC, 2005).

- La colocación de hoja de plástico es un método fácil y económico, sin embargo, las hojas pueden causar que el concreto sea más oscuro en algunas zonas; para evitar esto es necesario verificar que el concreto esté uniformemente húmedo en todo momento. En caso de sentirse seco, se debe rociar con agua y volver a colocar cuidadosamente las hojas de plástico (IMCYC, 2005).

A pesar de que existen diversos métodos de curado, cuando no existe el tiempo necesario para esperar 28 días existen 4 métodos de curado acelerado mostrados en la Tabla 1, los cuales se rigen por las normas ASTM C 684-99 y NTP 339.213. Están clasificados en A (método de agua caliente), B (método del agua hirviendo), C (método autógeno) y D (método de calor y presión).

**Tabla 1. Norma NTP 339.213.**

<b>Proceso</b>	<b>Moldes</b>	<b>Fuentes de aceleración</b>	<b>Temperatura de curado acelerado °C</b>	<b>Edad de inicio de curado</b>	<b>Duración de curado</b>	<b>Edad de ensayo</b>
A	Reusable o uso simple	Calor de hidratación	35	Inmediatamente después de la colocación	23.5 h ± 30 min	24 h ± 15 min
B	Reusable o uso simple	Agua hirviendo	Hirviendo	23 h ± 30 min después de la colocación	3.5 h ± 5 min	28.5 h ± 15 min
C	Simple uso	Calor de hidratación	T inicial + calor de hidratación	Inmediatamente después de la colocación	48 h ± 15 min	49 h ± 15 min
D	Simple uso	Calor externo y presión	150	Inmediatamente después de la colocación	5 h ± 5 min	5.25 ± 5 min*

\*Agregar 30 min si se utiliza capa compuesta de azufre

Para fines de las pruebas realizadas en este proyecto, se utilizará el método B de aceleramiento de resistencia de las normas NTP 339.213 y ASTM C684-99, el cual utiliza agua hirviendo y permite realizar una proyección de resistencias a 28 días con curado estándar, mediante el uso de valores de resistencia aceleradas a 28.5 horas  $\pm$  5 minutos (Ruiz, 2018).

### **2.3.1. Curado del concreto por el método del agua hirviendo.**

Las probetas de concreto se exponen a condiciones de curado acelerado que permiten que las probetas desarrollen una parte significativa de su resistencia última en un período de tiempo que varía de 5 a 49 h, según el procedimiento que se utilice. El procedimiento B utiliza el almacenamiento de muestras en agua caliente a temperaturas de curado elevadas sin pérdida de humedad. El nivel de temperatura empleado en el procedimiento de agua hirviendo proporciona aceleración térmica (ASTM C684-99, 2005).

Se sabe que la temperatura a la que hierve el agua varía según la altitud sobre el nivel del mar, pero la diferencia de la temperatura alcanzada no es significativa para hacer variar los resultados. Sin embargo, es recomendable experimentar en cada caso, efectuando las correlaciones apropiadas (Ruiz, 2018). Tomando en cuenta que, en promedio, la elevación de la ciudad de Mineral de la Reforma es de 2432 m sobre el nivel del mar, al ser menor la presión atmosférica respecto al nivel del mar el agua alcanzó la temperatura de 93.5 °C antes de la ebullición, por lo tanto, esta fue la temperatura usada en el curado de los especímenes.

### **2.4. Pruebas en concreto endurecido.**

El concreto endurecido, también conocido como concreto seco, es el estado físico final que la mezcla de concreto alcanzará. Con el fraguado, el concreto comienza su cambio de estado fresco (una masa blanda) al estado endurecido (sólido).

Las características del concreto cambian a la par que va pasando por sus diferentes estados físicos. Las propiedades que presenta el concreto en estado seco son: impermeabilidad, durabilidad, resistencia térmica, y, las más importantes para fines de este proyecto, resistencia a la compresión y a la flexión.

Realizar pruebas de calidad al concreto endurecido nos permite conocer sus características físicas y mecánicas, así como las patologías que podría presentar. Los ensayos de concreto endurecido

se realizan siguiendo estándares para determinar si el concreto colocado tiene el potencial para desarrollar las propiedades definidas por el profesional diseñador (NRMCA, CIP-41, 2020).

Las pruebas en concreto endurecido pueden clasificarse en pruebas no destructivas y pruebas destructivas. Los ensayos no destructivos son métodos que no causan daño en la estructura a evaluar. Su función principal es para determinar las condiciones y estimar la resistencia del concreto endurecido de una forma confiable (ICCG, 2018). Dentro de las pruebas no destructivas más comunes encontramos: prueba del martillo de rebote (esclerómetro), prueba de resistencia a la penetración (pistola de Windsor), prueba de pulso ultrasónico, ensayo de madurez y ensayo de líquidos penetrantes (Pacheco, 2017). Las pruebas destructivas causan daño al elemento estructural o espécimen de tal forma que no puede volver a ser utilizado. Los ensayos más comunes son: ensayo de comprensión, de resistencia a la tensión y de resistencia a la flexión (Alva, 2019).

### **2.5. Prueba de resistencia a la compresión.**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo (Arrieta, 2011). Esta prueba es una de las más comunes al momento de diseñar y constatar la calidad de las mezclas de concreto.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en megapascales (MPa) en unidades SI (Adil, 2020). Existen factores que pueden alterar los resultados de esta prueba como los son: variación en el tamaño de los especímenes, tipo de máquina de ensaye, velocidad de aplicación de la carga, etc.

Los resultados de las pruebas de resistencia, a partir de cilindros moldeados, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras (CEMEX, 2018). La forma común de realizar esta prueba es con muestras de concreto cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura; los especímenes son hechos en

un molde de acero o en algunas situaciones de fierro colado. Las especificaciones de los moldes son indicadas por la norma ASTM C 470-94.

Hay ciertos criterios a considerar para que la mezcla de concreto pueda ser aceptada. 1. El promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a la resistencia especificada a la compresión ( $f'c$ ) y 2. Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que la resistencia especificada  $f'c$  por más de 3.5 MPa (500 lb/pulg<sup>2</sup>) cuando  $f'c$  es 35 MPa (5000 lb/pulg<sup>2</sup>) o menor; o por más de 0.10  $f'c$  cuando  $f'c$  es mayor de 35 MPa (5000 lb/pulg<sup>2</sup>) (ICCG, 2018) .

Cada resultado de resistencia debe ser el promedio de al menos dos cilindros de 150 mm x 300 mm (6 x 12 pulg), o de tres si son de 100 mm x 200 mm (4 x 8 in) (ICCG, 2018).

Para el inicio de la prueba, se verificará que la base de los especímenes o caras de aplicación de carga, no tengan una desviación con respecto a la perpendicular de su eje vertical mayor de 0.5°, aproximadamente 3 mm en 300 mm, y que dichas superficies no presenten irregularidades respecto de un plano horizontal mayores de 0.05 mm (SCT, 2006). De acuerdo con los Métodos de muestreo y prueba de materiales de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, el procedimiento de la prueba de resistencia a compresión es el siguiente:

1. Se limpian las superficies de las placas superior e inferior de la prensa y los extremos de los especímenes de prueba; se coloca el espécimen por ensayar sobre la placa inferior, alineando su eje cuidadosamente respecto del centro de la placa de carga con asiento esférico, mientras la placa superior se baja hacia el espécimen hasta lograr un contacto suave y uniforme.
2. Se aplica la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto ni pérdida de carga. La velocidad deberá estar dentro del intervalo de 137 a 343 kPa/s (84.a 210.kg/cm<sup>2</sup>/min aproximadamente). Se permitirá una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada, siempre y cuando durante la segunda mitad, mantenga la velocidad especificada.

3. Se aplican las cargas hasta alcanzar la máxima permisible, haciendo los registros correspondientes. Cuando sea necesario, se podrá llevar hasta la ruptura a fin de observar el tipo de falla y apariencia del concreto.
4. La resistencia de los especímenes de concreto se determina a la edad de 14 días en el caso de concreto de resistencia rápida y 28 días cuando se use concreto de resistencia normal.

## **2.6. Prueba de resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión es una medida de resistencia a la falla. Se realiza en vigas prismáticas de 150 x 150 mm por un claro mínimo de 3 veces el espesor. El resultado se expresa como MR (módulo de ruptura). El módulo de ruptura es el valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a la tensión del concreto por el ensaye a la flexión de una viga (ONNCE, 2008).

El módulo de ruptura puede representar de un 10% a un 30% de la resistencia a la compresión, esto dependerá de las características de los agregados entre otros factores (National Ready Mixed Concrete Association, 2006).

De acuerdo con la norma NMX-C-191-ONNCE-2008 es importante considerar los siguientes aspectos para la correcta ejecución de la prueba:

- a) Se debe utilizar un dispositivo que sea capaz de aplicar cargas en los tercios del claro de prueba de tal modo que las fuerzas sean perpendiculares a las caras horizontales de la viga y se distribuyan y apliquen uniformemente en todo lo ancho. Este dispositivo debe ser capaz de mantener fija la distancia entre los puntos de carga y los puntos de apoyo del espécimen con una tolerancia de  $\pm 2$  mm, además las reacciones deben ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas durante el tiempo que dure la prueba.
- b) La distancia entre apoyos debe ser de tres veces el peralte de la viga con una tolerancia de  $\pm 2$  por ciento.
- c) Las caras laterales del espécimen deben estar en ángulo recto con las caras horizontales. Todas las superficies deben ser lisas y libres de bordes, hendiduras, agujeros o identificaciones grabadas.

- d) La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme tal, que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 0.98 MPa /min (10 kgf/cm<sup>2</sup> por minuto), permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.

Para el inicio de la prueba se colocará el espécimen de lado respecto al moldeado y se centra en los bloques de apoyo del dispositivo, verificando que estén a dos tercios del claro del modelo y en contacto con este. Se procede a aplicar la carga.

Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro, la norma NMX-C-191-ONNCE-2008 nos sugiere el siguiente procedimiento para el cálculo del módulo de ruptura (ecuación 2.1):

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{(Ec. 2.1)}$$

Donde:

R: Módulo de ruptura, en kPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

P: Carga máxima aplicada, en N (kgf)

L: Distancia entre apoyos (cm)

b: Ancho promedio del espécimen (cm)

d: Peralte promedio del espécimen (cm)

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, se calcula el módulo de ruptura como sigue:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

Donde:

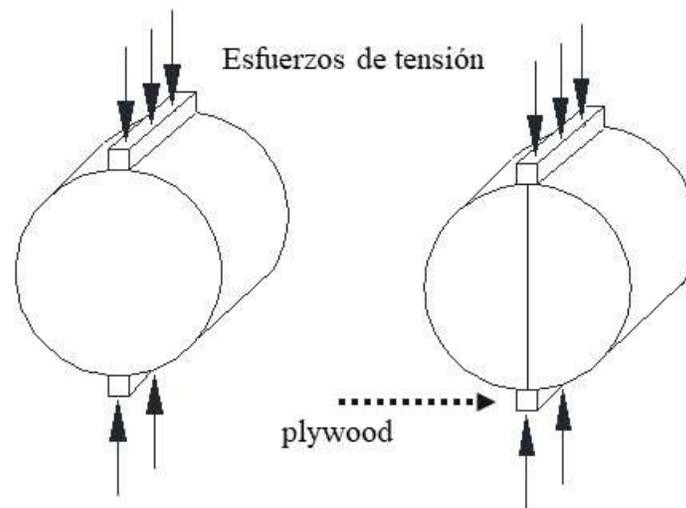
a: Es la distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga, en mm. Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro en más del 5%, se desecha el resultado de la prueba.

También podemos encontrar el método para su realización en la norma ASTM C 78 para pruebas de aplicación en 4 puntos y en la norma ASTM C 293 para pruebas de aplicación de 3 puntos.

## 2.7. Prueba de resistencia a la tensión (método indirecto).

La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de esta (Harmsen, 2005). Debido a la dificultad para determinar esta resistencia de forma directa, existen métodos indirectos para su cálculo como es la prueba brasileña. La norma ASTM-C-496-96 especifica el procedimiento para la prueba de resistencia a la tensión.

El ensayo consiste en someter el espécimen cilíndrico a compresión diametral a lo largo de dos barras opuestas hasta alcanzar la falla por ruptura (ver ilustración 1). Esta disposición permite someter la probeta a un esfuerzo de tensión relativamente uniforme a lo largo del diámetro del plano de carga vertical lo cual ocasiona la ruptura de la probeta (Villar, 2006b).



*Figura 1. Ensayo brasileño (Villar,2006b)*

Según la norma ASTM-C-496-96, el procedimiento para llevar a cabo la prueba de tensión indirecta es la siguiente:

1. Dibuje dos líneas diametrales en cada extremo del espécimen usando un dispositivo adecuado que asegure que ellas están en el mismo plano axial.
2. Determine el diámetro del espécimen de ensayo con aproximación de 0.01 in. (0.25 mm) promediando tres diámetros medidos cerca de los extremos a la mitad espécimen.

Determine la longitud del espécimen con aproximación de 0.1 in (2.5 mm) mediante el promedio de al menos dos longitudes medidas en el plano conteniendo las líneas marcadas en los dos extremos.

3. Centre una de las franjas de plywood a lo largo del centro del bloque de carga inferior (ver ilustración 1). Coloque el espécimen en la franja de plywood y alinear para que las líneas marcadas en los extremos del espécimen sean verticales y centradas sobre esta. Coloque una segunda franja de plywood en la longitud del cilindro, centrado en las líneas marcadas en los extremos del cilindro. Posicione el ensamble para asegurar la siguiente condición: las dos líneas marcadas en los extremos del espécimen interceptan al centro de la placa superior; la barra actuadora incide en el centro de carga del espécimen.
4. Posicione las franjas de carga, los cilindros de ensayo, y la barra suplementaria por medio del alineador
5. Aplique la carga continuamente y sin choque, a una velocidad constante dentro del rango 100 a 200 psi/min (689 a 1380 Kpa/min) del esfuerzo de tensión por partidura hasta la falla del espécimen.

Para obtener el esfuerzo de tensión se usará la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi l d} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

T: esfuerzo de tensión por partidura, psi (Kpa)

P= máxima carga aplicada, indicada por la máquina de ensayo, ibf, (KN)

l: longitud, (m)

d: diámetro, (m)

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe con detalle el procedimiento a seguir para la construcción y puesta a punto del dispositivo, así como la caracterización del concreto, construcción de especímenes y su proceso de curado, al igual que la ejecución de las pruebas de compresión y tensión indirecta a estos.

En primera instancia, podemos encontrar el diseño final del dispositivo, mostrando el modelo 3D e isométricos del mismo (ver figura 6). Posteriormente, se explica la manufactura de éste para continuar con el diseño y elaboración de la mezcla de concreto utilizada en los 4 cilindros de ensayo y su proceso de construcción también explicado en este capítulo.

Por último, se realizaron las pruebas de compresión y de tensión indirecta en los especímenes, obteniendo los resultados expuestos al final del capítulo y que permitieron concluir la viabilidad y eficiencia del dispositivo.

También, se describe con detalle el procedimiento a seguir para la construcción y puesta a punto del dispositivo, así como la caracterización del concreto, construcción de especímenes y proceso de curado, cumpliendo así con los objetivos planteados.

Primero, se realizó un boceto a mano y posteriormente se realizó en el programa SolidWorks 2017; este consiste en 6 piezas y se rectificó que el diseño cumpliera con la norma ASTM C-496. En el apartado 3.2 se explica la manufactura de este, la cual consistió en soldar las piezas de acero las cuales son: placa de acero de ½”, solera 1018, cuadrado 1”, redondo ½” y llave Allen M8. A pesar de que se realizó cuidando que no quedara exceso de soldadura o que las piezas no se dañaran, esto no fue posible cumplirlo al 100%, por lo cual se puso a punto el dispositivo, es decir, se mejoró la presentación de este, por lo cual primero se pulió para posteriormente pintarlo.

En el apartado 3.3 se explica todo el proceso que se llevó a cabo para la elaboración de los especímenes, desde el diseño de mezcla el cual se hizo para un concreto de  $f'c = 150$ , esto se explica en el apartado 3.3.1. El diseño de mezcla se elaboró mediante el procedimiento descrito por el *American Concrete Institute* (ACI 211.1-91, 2002). En el apartado 3.3.2 se explica el proceso para la elaboración de los especímenes los cuales son 6 con dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura y la preparación de los especímenes se realizó de acuerdo con lo

establecido en el manual (M-MMP-0-02-058, 2004). Por otro lado, en el apartado 3.3.3 se explica el proceso de curado, ya que se empleó el curado acelerado mediante agua hirviendo el cual se rige bajo las normas ASTM C 684-99 y NTP 339.213, el cual a grandes rasgos consiste en desmoldar los especímenes 23 horas después de haber sido elaborados y meterlos en agua hirviendo por aproximadamente 3.5 horas.

Por último, en el apartado 3.4 se explica el proceso para ensaye de tensión indirecta bajo la norma ASTM C-496 y el ensaye a compresión, el cual se llevó a cabo tomando en cuenta el manual M-MMP-0-02-059, 2004 pero para llevar a cabo este ensayo lo primero que se realizó fue la calibración de la prensa para posteriormente acomodar el espécimen dentro del dispositivo y el dispositivo dentro de la prensa, para así aplicarle una carga monotónica creciente hasta la falla del espécimen.

### **3.1.Diseño del dispositivo**

El diseño del dispositivo se realizó basado en celdas para ensaye brasileño comerciales, tomando en cuenta las normas ASTM C-496/C496M, siguiendo un patrón de disposición de elementos y proponiendo un elemento actuador de carga personalizado en la generatriz (barra rectangular de 25.4 mm de anchura), tanto en la parte superior e inferior de la celda para tener una mejor distribución de carga en el espécimen de concreto y ejercer un apoyo uniforme en la sección de contacto para el ensayo de tracción indirecta (pieza 4 y 5 de la figura 6. Ensamble final de la celda). A diferencia de otros dispositivos en el mercado que utilizan una barra generatriz superior y una barra de sección rectangular mínima de 50 mm de anchura en la parte inferior de la celda.

Como resultado, se obtuvo un despiece del dispositivo contando con las características de cada elemento, así como su disposición y posición (figura 2, 3, 4 y 5). El diseño se realizó en un software para diseño industrial (SolidWorks 2017). Se muestra el diseño final modelo en 3 dimensiones del dispositivo (figura 6) donde se observa la propuesta de actuador en la generatriz de la celda personalizada para la prensa Marca Controls modelo C-43C04.

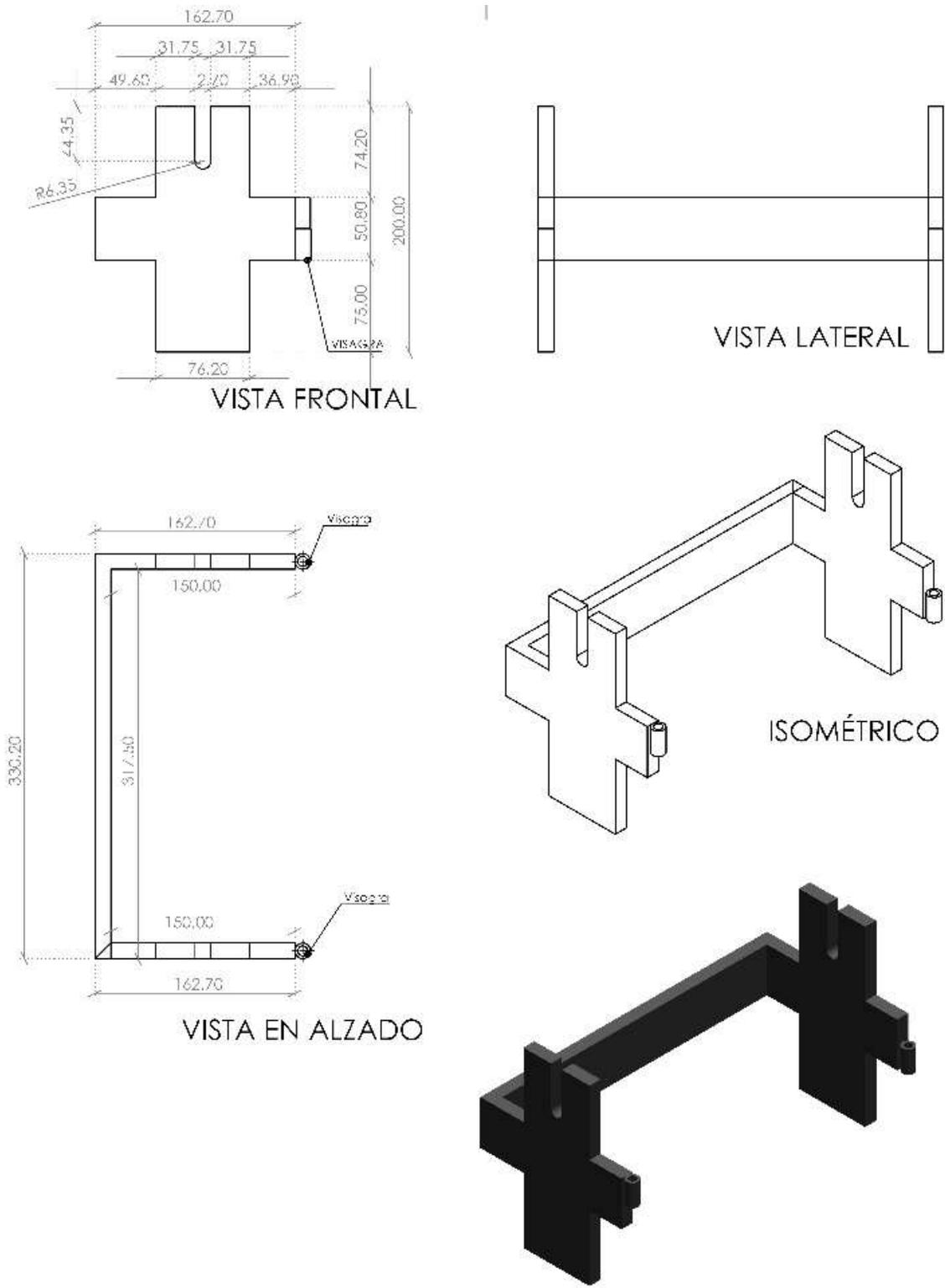
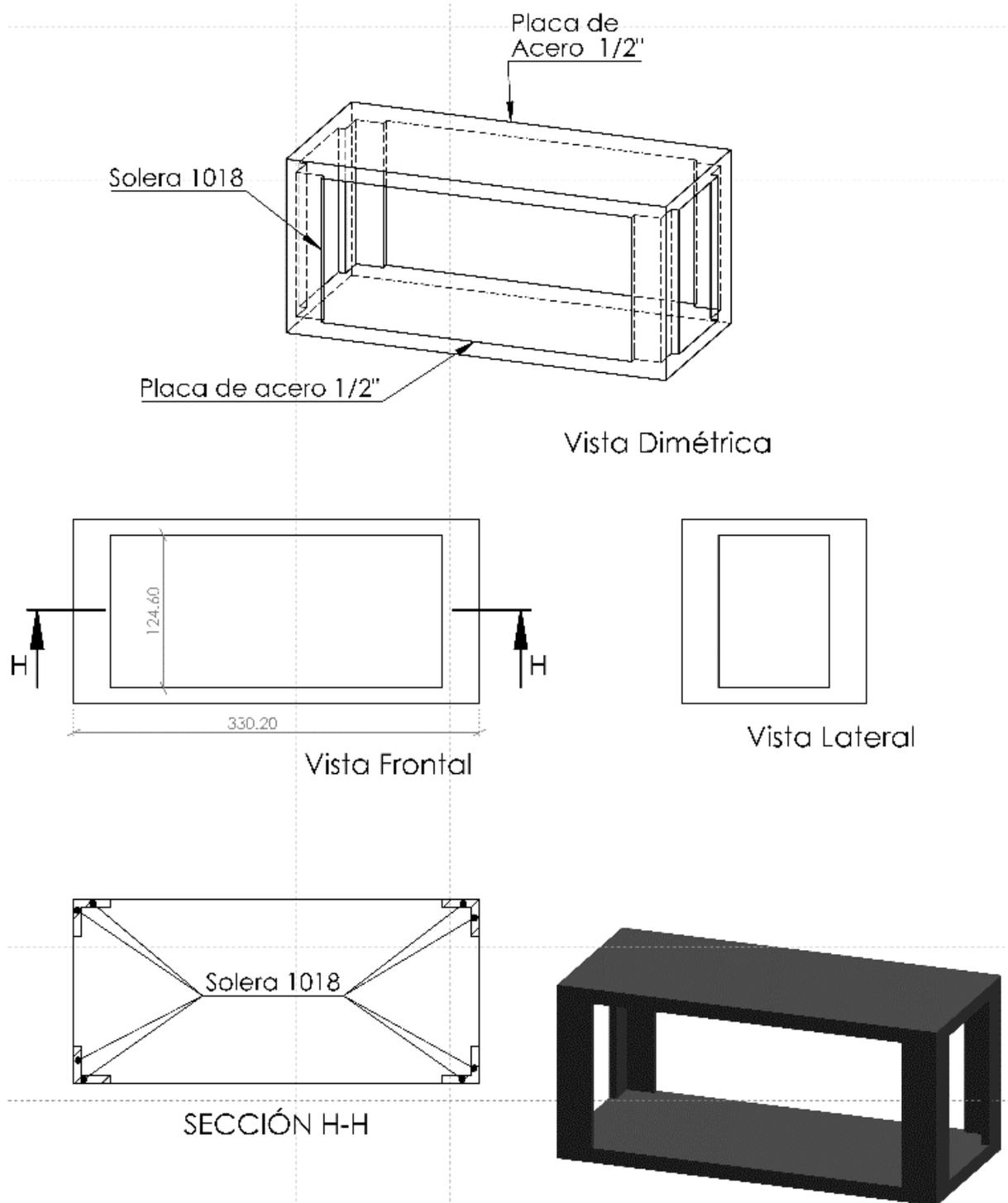


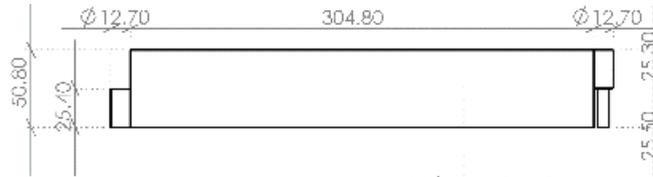
Figura 2. Cuerpo principal de la celda (pieza 1)



*Figura 3. Base de la celda (pieza 2)*



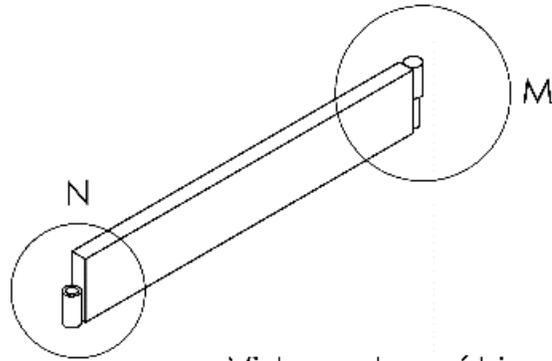
Vista Frontal



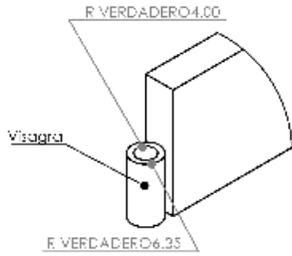
Vista Lateral



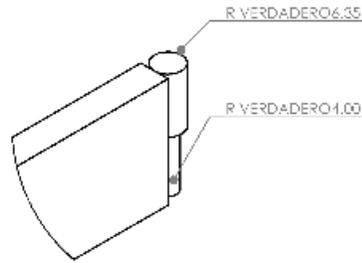
Vista en alzado



Vista en Isométrico



DETALLE N  
ESCALA 2 : 5



DETALLE M  
ESCALA 2 : 5

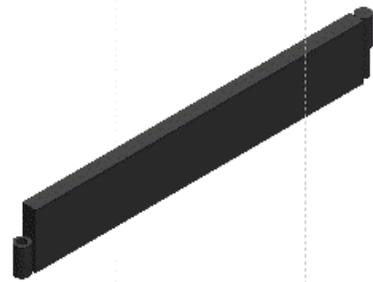


Figura 4. Puerta de la celda (pieza 3)

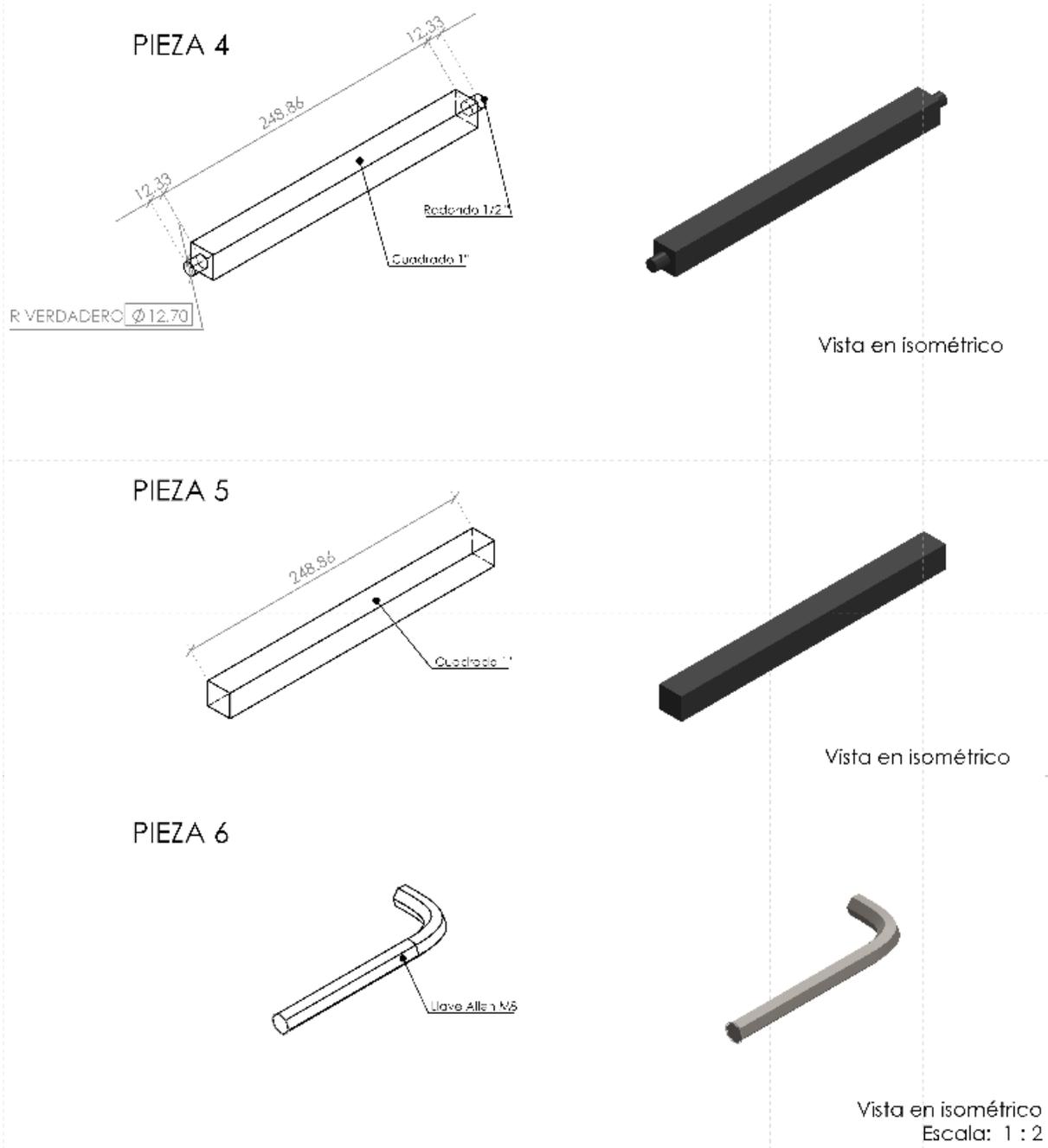
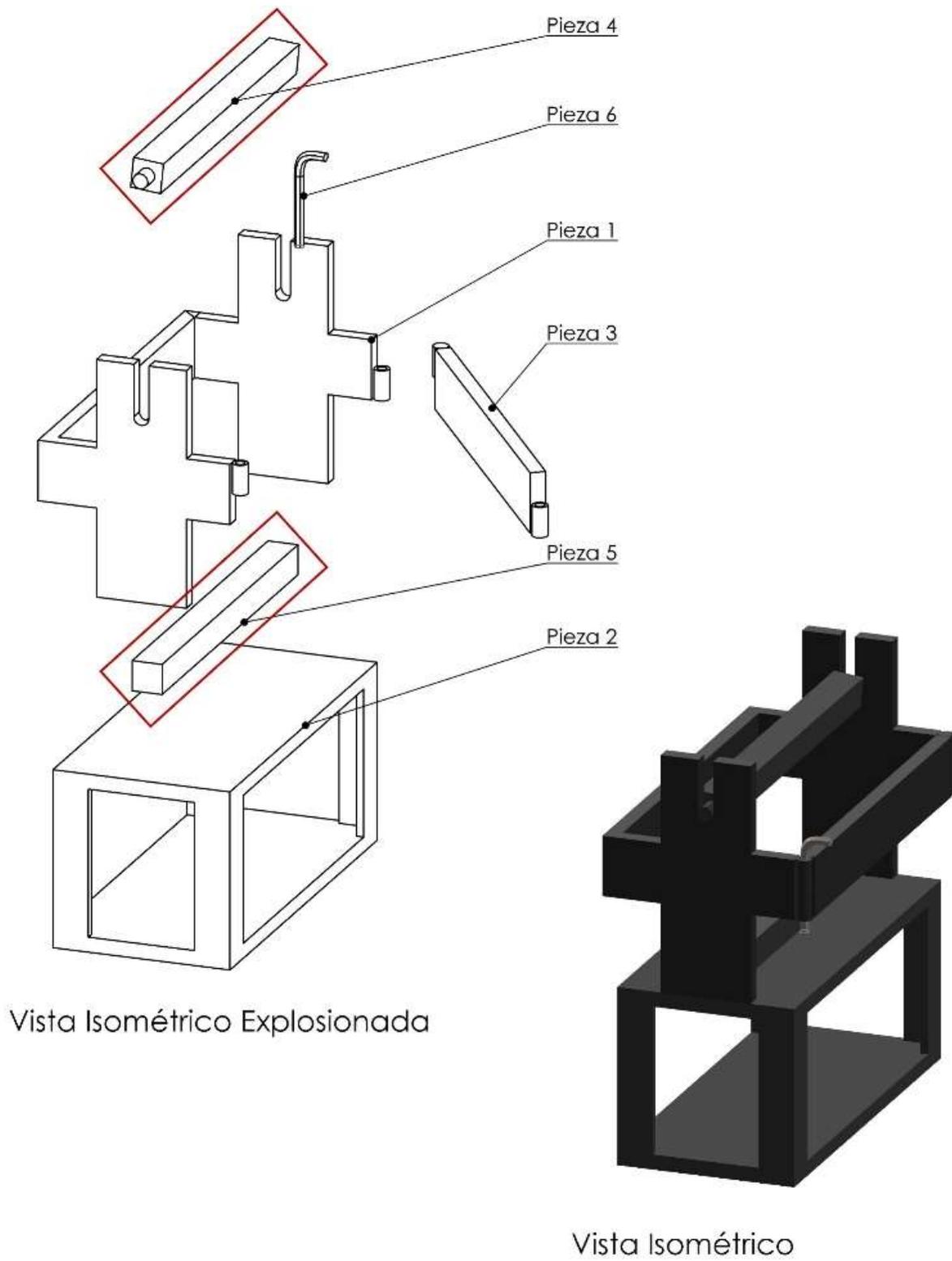


Figura 5. Accesorios de la celda (pieza 4, 5 y 6)



*Figura 6. Ensamble final de la celda*

### 3.2. Manufactura del dispositivo.

Los materiales empleados para la construcción del dispositivo se especifican en la tabla 2. La disposición de los elementos se llevó a cabo de acuerdo con el diseño previamente descrito, tomando en cuenta las dimensiones de la prensa con las medidas de los elementos del dispositivo, considerando que solo servirá para la prensa Marca Controls modelo C-43C04 y para especímenes cilíndricos de concreto de 150 mm de diámetro y 300 mm de alto.

**Tabla 2. Materiales de manufactura de la celda**

Materiales
Placa de acero al carbono AISI 1018 (½")
Perfil angular de acero al carbono AISI 1018 (2")
Perfil de cuadrado de acero al carbono AISI 1018 (1")
Bisagras de acero al carbono AISI 1018 (½")

El corte de la placa de acero se realizó con un arco de segueta y, en la mayoría de los casos, con un disco de corte de acero y desbaste de 4 ½" impulsado por la esmeriladora Bosch 1375 del mismo calibre, obteniendo así las partes que conformarían a la celda. Las dimensiones de estas piezas fueron cuidadosamente recortadas para ser ensamblables en la prensa marca Controls C-43C04. Para la unión de éstas se utilizó soldadura de arco eléctrico con la soldadora de inversor AX Tech. La disposición de los elementos se basó en el diseño final del dispositivo.

### 3.3. Puesta a punto del dispositivo

Debido al método de corte y soldadura empleados durante la manufactura del dispositivo, existió presencia de impurezas y escoria en el mismo, por lo que se pulió y limpió con diluyente y algodón con el fin de eliminar cualquier rastro de polvo y/o grasa que pudiese afectar el proceso de pintura a 3 manos empleado.

### 3.4. Diseño de mezcla de concreto y construcción de especímenes.

El diseño de la mezcla de concreto para los especímenes de prueba se elaboró de acuerdo con el procedimiento descrito por el *American Concrete Institute* en “Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo” (ACI 211.1-91, 2002). Se empleó el método de volúmenes absolutos, cuyo principal objetivo es, con base en las características de los materiales, encontrar las proporciones adecuadas de estos para lograr el resultado esperado del concreto. El diseño se elaboró para un concreto con  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , se eligió este parámetro para comparar resultados reportados en la literatura.

#### 3.4.1. Peso volumétrico (peso unitario).

De acuerdo con la norma ASTM C29-07, se utilizó un recipiente para peso volumétrico de dimensiones conocidas y una balanza analítica para obtener los pesos unitarios de los agregados y del jal. Para cada uno de los materiales se utilizaron recipientes de diferentes medidas. En la Tabla 3 se muestran las características de los tres recipientes que se utilizaron.

**Tabla 3. Características de los recipientes empleados para el peso volumétrico de los materiales.**

Material	Diámetro (m)	Altura (m)	Peso (gr)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<i>Grava</i>	0.169	0.22	3263.90	0.0049
<i>Arena</i>	0.190	0.20	3672.20	0.0057

Se llenó cada uno de los recipientes con los materiales correspondientes y se obtuvo el peso del recipiente más el peso del material, como se muestra en la Figura 7.



*Figura 7. Obtención del peso volumétrico.*

Para la obtención del peso volumétrico se utilizó la siguiente ecuación x:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

P.V.S.S.: Peso Volumétrico Seco Suelto,  $\text{kg/m}^3$

$W_m$ : Peso del material (kg)

$V_r$ : volumen del recipiente,  $\text{m}^3$

Para determinar  $W_m$  se usó la siguiente ecuación (Ec. 3.2):

$$W_m = \text{Peso de recipiente con material} - \text{peso de recipiente}$$

En la Tabla 4. se muestran los pesos volumétricos por material.

**Tabla 4. Peso volumétrico de los agregados.**

<b>Material</b>	<b>Peso de material (kg)</b>	<b>Volumen de recipiente (<math>\text{m}^3</math>)</b>	<b>P.V.S.S. (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>
<i>Grava</i>	6.08	0.0049	1240.81
<i>Arena</i>	7.080	0.0057	1242.11

### 3.4.2. Peso específico del agregado fino

De acuerdo con la norma ASTM C128-04a se obtuvo el peso específico de la arena. Se introdujo una cantidad del agregado al horno y se dejó durante  $24 \pm 5$  horas a  $110^\circ \text{C}$ . Posteriormente, se saturó con agua la muestra durante  $24 \pm 5$  horas. Transcurrido este tiempo, se decantó el material para eliminar los finos asentados en el recipiente mientras se retiraba el agua presente. Consecutivamente, se colocó el recipiente con el agregado sobre una parrilla eléctrica a una temperatura de  $23 \pm 3^\circ \text{C}$  hasta obtener el agregado fino saturado superficialmente seco (S.S.S.), corroborando dicho estado con la prueba del cono pisón.

Enseguida, con ayuda de un embudo, se introdujo 200 gr del S.S.S. a un matraz aforado al que se le agregó agua con una temperatura de  $23 \pm 3^\circ \text{C}$  hasta la marca de aforo. De forma manual se agitó el recipiente durante 20 minutos, eliminando el aire atrapado dentro del agregado. Se agregó más agua hasta llegar a la marca de aforo y se volvió a tomar el peso. En la Figura 8, se observa el peso del matraz con agua y el peso del matraz con agua y el material.



*Figura 8. Obtención del peso específico del agregado fino.*

Inmediatamente después de obtener el peso de la muestra, se vació en un recipiente y se introdujo al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 24 horas para obtener el peso de la muestra seca. En la Tabla 5, se muestran los pesos conseguidos durante el proceso de obtención del peso específico de la arena.

**Tabla 5. Pesos conseguidos durante el proceso para la obtención del peso específico del agregado fino.**

<b>Matraz+agua (gr)</b>	<b>Matraz+agua+arena (gr)</b>	<b>Muestra S.S.S. (gr)</b>	<b>Muestra secada al horno (gr)</b>
<i>W<sub>mv</sub></i>	<i>W<sub>mwa</sub></i>	<i>W<sub>msss</sub></i>	<i>W<sub>s</sub></i>
694.10	788.400	200.00	195.30

Las siguientes expresiones matemáticas se utilizaron para obtener los valores del peso específico del agregado fino:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_{msss}}{W_{mw} + W_{msss} - W_{mwa}} \quad (\text{Ec.3.3})$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_{msss} - W_s}{W_s} * 100 \quad (\text{Ec.3.4})$$

En la tabla 6. se muestra el peso específico del agregado fino y el porcentaje de absorción.

**Tabla 6. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.**

<b>Resultado</b>	
<b>Peso específico aparente S.S.S. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.89
<b>Absorción (%)</b>	2.41

### **3.4.3. Peso específico del agregado grueso.**

Esta prueba se realizó bajo la normativa ASTM C127-04 “Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Grueso”.

La prueba se inició con el cuarteo del material, con el fin de obtener una cantidad de agregado heterogéneo, para después depositarlo en un recipiente y agregar agua para saturarlo durante 24

$\pm 5$  horas. Pasado este lapso, se continuó con la depositación del agregado en una tela para eliminar el agua contenida en la superficie del material con el fin de conseguir el peso del agregado saturado superficialmente seco ( $W_{sss}$ ). Posteriormente, se colocó la muestra en una canastilla de peso conocido y se sumergió en un recipiente con agua a  $23\pm 2^\circ\text{C}$ , obteniendo el peso aparentemente sumergido en agua ( $W_{sum}$ ). Después, se introdujo la muestra al horno a una temperatura de  $110\pm 5^\circ\text{C}$  durante  $24\pm 5$  horas para poder conocer el peso seco del agregado fino ( $W_s$ ). En la figura 9. se muestra el proceso de obtención del peso específico del agregado grueso.



*Figura 9. Procedimiento para obtener el peso específico del agregado grueso.*

La Tabla 7 muestra los pesos obtenidos del agregado grueso en las diferentes condiciones en las que se sometió.

**Tabla 7. Pesos obtenidos durante el proceso de obtención del peso específico del agregado grueso.**

<b>Peso de muestra S.S.S. (gr)</b>	<b>Peso aparente sumergido en agua menos canastilla (gr)</b>	<b>Peso de muestra seca al horno (gr)</b>
<i><math>W_{sss}</math></i>	<i><math>W_{sum}</math></i>	<i><math>W_s</math></i>
2006.00	1240.90	1984.67

Las siguientes expresiones matemáticas se utilizaron para obtener los valores del peso específico del agregado grueso

$$\text{Peso específico grava} = \frac{W_s}{W_{SSS} - W_{sum}} \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_{SSS} - W_s}{W_s} * 100 \quad (\text{Ec.3.6})$$

En la tabla 8 se muestra el peso específico del agregado grueso y el porcentaje de absorción.

**Tabla 8. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.**

<b>Resultado</b>	
<b>Peso específico. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.60
<b>Absorción (%)</b>	1.07

#### **3.4.4. Contenido de humedad.**

Para conseguir el contenido de humedad de los agregados pétreos se tomó una muestra de cada material en estado de humedad natural, posteriormente se realizó un cuarteo de los materiales. Una vez obtenida la cantidad deseada se introdujo al horno a 110±5° C durante 4 horas. Se retiró del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente para obtener el peso seco de la muestra (Ws). Con la siguiente expresión matemática se calculó el contenido de humedad de cada agregado pétreo.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{W_{SS} - W_s}{W_s} * 100 \quad (\text{Ec.3.7})$$

En la tabla 9 se muestran los resultados de cada material.

**Tabla 9. Contenido de humedad de los agregados pétreos.**

<b>Agregado</b>	<b>Contenido de humedad (%)</b>
<i>Grueso</i>	2.09
<i>Fino</i>	3.26

### 3.4.5. Módulo de finura.

Seguendo la norma ASTM C-136 se realizó la prueba del módulo de finura, la cual consiste en tamizar 500 gr de agregado fino en estado de humedad natural (Figura 10).



*Figura 10. Proceso de tamizado por medios mecánicos para la obtención del módulo de finura.*

Una vez obtenidos los pesos retenidos en cada tamiz, se realizan el cálculo de los porcentajes de retenido acumulado mediante la siguiente expresión matemática.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100} \quad (\text{Ec.3.8})$$

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en el proceso de tamizado.

**Tabla 10. Módulo de finura.**

<b>Malla No.</b>	<b>Peso retenido</b>	<b>% retenido</b>	<b>% pasa</b>	<b>% retenido acumulado</b>
<i>3/8"</i>	0.00	0.00	100.00	0.00
<i>4</i>	65.50	6.50	93.50	6.50
<i>8</i>	188.90	18.89	74.61	25.39
<i>16</i>	177.00	17.70	56.91	43.09
<i>30</i>	145.90	14.59	42.32	57.68

<i>50</i>	152.40	15.24	27.08	72.42
<i>100</i>	125.40	12.64	14.54	85.46
<i>200</i>	100.30	10.03	4.51	95.49
<i>Charola</i>	45.70	4.57	0.06	100.06
<b><u>Módulo de finura</u></b>				<b>2.91</b>

Una vez obtenidos los parámetros necesarios de los agregados pétreos y considerando una resistencia de  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  con revenimiento máximo de 100 mm, se realizó el diseño de la mezcla. En la Tabla 11 se muestran valores utilizados para el diseño de la mezcla de concreto.

**Tabla 11. Valores utilizados para el diseño de la mezcla de concreto.**

<b>Datos para diseño de la mezcla de concreto</b>	
<i>Revenimiento (mm)</i>	Máximo 100 y mínimo 25
<i>Tamaño máximo del agregado (mm)</i>	19
<i>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	150
<i>Relación agua-cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión</i>	0.79
<i>Peso específico del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	3.15
<i>Peso volumétrico del agregado grueso (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.24
<i>Peso volumétrico del agregado fino (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.24
<i>Peso específico del agregado grueso (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	2.6

<i>Peso específico del agregado fino (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.89
<i>Módulo de finura</i>	2.91
<i>Porcentaje de absorción del agregado grueso (%)</i>	1.07
<i>Porcentaje de absorción del agregado fino (%)</i>	2.41

Con lo anterior, se elaboraron especímenes de concreto con dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Se obtuvo la dosificación indicada en la tabla 12.

**Tabla 12. Dosificación de materiales para la elaboración de la mezcla de concreto.**

<b>Relación agua-cemento</b>	<b>Agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado grueso (kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado fino (kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cemento (kg/ m<sup>3</sup>)</b>
0.79	190.98	727.01	792.59	259.49

#### **3.4.6. Construcción de especímenes.**

Se elaboraron 4 especímenes con propiedades iguales, producto del mismo tipo de molde rígido, no absorbente y que cumple con la norma ASTM C470. Se hizo uso del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo para la fabricación de los cilindros de concreto. El procedimiento se basó en el manual M·MMP·2·02·055/06 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el cual se detalla a continuación.

1. Se colocaron los moldes sobre un lugar nivelado y libre de perturbaciones. Posteriormente se cubrió el interior de desmoldante.
2. Se llenó de mezcla el molde hasta 1/3 de su capacidad; con una varilla se compactó manualmente con 25 golpes. Se vertió más mezcla hasta 2/3 del molde y se volvió a

compactar, se repitió el mismo paso para la última capa quitando el excedente de concreto que pudiese quedar en la cara superior del cilindro.

### **3.5. Ensaye de tensión indirecta.**

Dos especímenes se destinaron para prueba de resistencia a la compresión y dos para prueba de resistencia a tensión indirecta. Para la prueba de resistencia a la compresión se siguió el procedimiento descrito en el manual M-MMP-0-02-058, 2004 de la SCT, y para la prueba de tensión indirecta se tomó como base el manual M-MMP-2-02-059, 2004 de la SCT.

La prueba se realizó en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la UAEH con la prensa Marca Controls modelo C-43C04. La velocidad de aplicación fue de 2.45 kg/cm<sup>2</sup>/s y la aplicación de la carga se programó para llegar a la ruptura.

Para la prueba de resistencia a la compresión se realizó lo siguiente:

1. Se limpiaron las superficies de las placas superiores e inferiores de la prensa y los extremos de los especímenes.
2. Se colocó el espécimen a ensayar sobre la placa inferior, alineándolo respecto al centro de la placa de carga, mientras la placa superior se baja hacia el espécimen.
3. Una vez que el espécimen está correctamente colocado, se aplicó la carga con una velocidad uniforme hasta su ruptura y observar el tipo de ruptura.

Este procedimiento se realizó con ambos especímenes.

Previo a la prueba de resistencia a tensión indirecta se trazaron líneas diametrales en cada extremo de los especímenes a utilizar; se obtuvieron los diámetros de los especímenes con aproximación de 1mm y se determinaron las longitudes de los especímenes con aproximación de 1mm. Una vez trazados todos los diámetros en los especímenes se prosiguió a lo siguiente:

1. Se colocaron los especímenes dentro de la celda y se verificó que el espécimen estuviera alineado vertical y horizontalmente de acuerdo con la norma ASTM C-496.
2. Se aplicó una carga monotónica creciente hasta llegar a la falla del cilindro de ensayo.
3. Se registró la carga máxima aplicada y se analizó qué tipo de ruptura se presentó.



## 4. Resultados

### 4.1. Pruebas mecánicas

Diez especímenes se destinaron para prueba de resistencia a la compresión y los otros diez para prueba de resistencia a tensión indirecta. La prueba de resistencia a la compresión se realizó tomando en cuenta el manual (M-MMP-0-02-058, 2004), Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto y la prueba de tensión indirecta se hizo tomando en cuenta el manual (M-MMP-2-02-059, 2004) (Figura 11) resistencia a la Tensión de Cilindros de Concreto. La prueba se realizó con la prensa Marca Controls modelo C-43C04 (Figura 12) con una velocidad de 2.45 kg/cm<sup>2</sup>/s y la aplicación de la carga axial se programó para llevar a la ruptura del espécimen de concreto como lo indica la normativa (M-MMP-2-02-059, 2004).



*Figura 11. Prueba de resistencia a la compresión.*

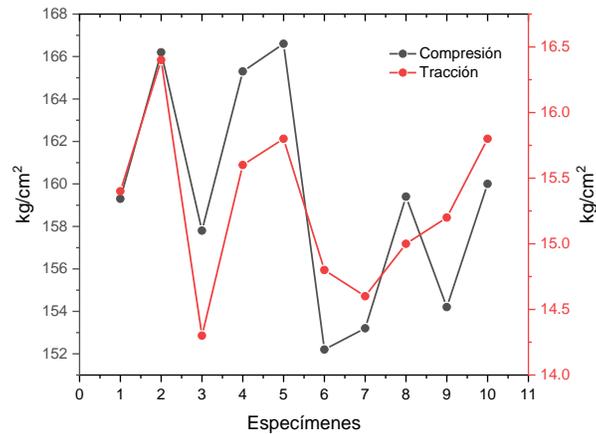


*Figura 12. Prueba de tensión indirecta.*

De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados (tabla 12), se pudo observar que la celda propuesta para realizar la prueba de tensión indirecta cumple con los parámetros reportados en literatura para especímenes diseñados con un  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  (Liao et al, 2020), ya que el valor de los datos de la resistencia a la tracción representa el 7 al 15% de su resistencia a la compresión para cada uno de los especímenes estudiados. Es importante mencionar que después de realizar el ensayo mecánico (figura 14) la fractura del cilindro se hizo de una forma uniforme y simétrica al aplicar la carga axial en la prensa.

**Tabla 13. Parámetros de resistencia compresión vs tracción.**

Espécimen	Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ )	Espécimen	Resistencia a la tracción ( $\text{kg/cm}^2$ )
1	159.3	11	15.4
2	166.2	12	16.4
3	157.8	13	14.3
4	165.3	14	15.6
5	166.6	15	15.8
6	152.2	16	14.8
7	153.2	17	14.6
8	159.4	18	15.0
9	154.2	19	15.2
10	160.0	20	15.8



**Figura 13. Comparativa ensayo de compresión y tracción.**

En la figura 13 se puede observar que no existen cambios significativos en los valores de los ensayos de compresión (150-166 kg/cm<sup>2</sup>) y los valores de ensayos de tensión indirecta con el dispositivo construido (15.0-16.4 kg/cm<sup>2</sup>), lo que indica que la repetibilidad y reproducibilidad de las pruebas que se realizaron, muestran tener una buena confiabilidad comparados con los reportados en la literatura, ya que el valor de los datos de la resistencia a la tracción representa el 7 al 15% de su resistencia a la compresión.



**Figura 14. Especímen después de la prueba de tensión indirecta.**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aportación de la celda para pruebas de tracción indirecta personalizado para la realización de ensayos mecánicos para la maquina controls con un sistema actuador en la parte superior e inferior, muestra la aplicación de una carga uniforme en el espécimen de concreto presenta resultados satisfactorios comparados con los reportados en la literatura, por lo tanto, se concluye que el dispositivo desarrollado será potencialmente apto para ser utilizado en pruebas de tracción indirecta. Para trabajos futuros se propone diseñar el sistema actuador de carga con dimensiones más pequeñas para cilindros de concreto con otras medidas y probar distintos diseños de mezcla para así determinar si estos parámetros influyen directamente en el resultado del ensayo mecánico, ya que esta celda propuesta fue diseñada y probada para una sola dimensión de espécimen de concreto y fue una limitante en este trabajo de investigación.

El diseño y manufactura de la celda para ensayo brasileño permite servir como instrumentación a la prensa marca Controls modelo C-43C04 para realizar el ensayo de tensión indirecta cumpliendo con la normativa mexicana de pruebas mecánicas en materiales.

El concreto se identifica por tener una resistencia a la compresión alta, no obstante, su resistencia a la tensión es casi nula comparada con la resistencia a la compresión, ya que es aproximadamente de 7% al 15% de la segunda, esta celda con el sistema actuador de carga personalizado en la parte superior e inferior cumple con este parámetro y podrá ser utilizada con la finalidad de encontrar posibles soluciones a servicios o proyectos que se soliciten.

## REFERENCIAS

ACI. 2010. Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete, ACI 211. 1-91.

Adil, G., Keven, J. T., & Mann, D. (2020). Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 247, 118453.

Aire, C., Aguado de Cea, A., & Molins i Borrell, C. (2013). *Método de doble punzonamiento de tracción indirecta para concreto reforzado con fibra: Ensayo Barcelona* (1ra ed., Issue October 2014). UNAM. <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/21903>

Aire Untiveros, C., Molins Borrell, C., & Aguado de Cea, A. (2013). Ensayo de doble punzonamiento para concreto reforzado con fibra: efecto del tamaño y origen de la probeta. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 5(1), 17–31.

Alva Reyes, L. A., & Asmat Ruíz, K. L. (2019). Influencia del reemplazo de agregado grueso por concreto reciclado sobre las propiedades de un concreto endurecido  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>.

ASTM. (2002). *Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)* (C 293).

ASTM. (2003). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* (C 94/C 94M).

ASTM. (2003). *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete* (C 138/ 138M).

ASTM. (2004). *Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (C-496/C 496M-04).

ASTM. (2004). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* (N.º C78-02).

ASTM C684-99. (2005). Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens. *Annual Book of ASTM Standard*, 99(Reapproved).

ASTM C 31, C 39, C 617, C 1077, C 1231, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).

British Standard International. (1983). Testing concrete. *Journal of Engineering Studies and Research, BS 1881: P*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jesr.2010.01.001>

Carmona Malatesta, S., Aguado De Cea, A., Molins Borrell, C., & Contreras, M. C. (2009). Control de la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras usando el ensayo de doble punzonamiento (ensayo Barcelona). *Revista Ingenieria de Construccion*, 24(2), 119–140. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732009000200001>

CEMEX. (2013). Manual del constructor. In *Manual del Constructor* (pp. 47–75). [https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/Manual del Constructor - Construcción General.pdf](https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/Manual%20del%20Constructor%20-%20Construcci%C3%B3n%20General.pdf)

CEMEX. (2016). *MANUAL DEL USUARIO DE CONCRETO PROFESIONAL MR* (N.º 1). <https://www.cemex.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-usuario-concreto-profesional.pdf/285de141-23e7-47d6-b531-26815d1857fe>

CEMEX. (2018). *Resistencia, Pruebas y Resultados*. CEMEX para Industriales. Recuperado 2021, de <http://cemexparaindustriales.com/resistencia-pruebas-y-resultados-2/>

CEMEX. (2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? | CEMEX Peru*. Recuperado 2021, de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->

Chen, L. (2021). *Experimental and mesoscopic study of dynamic tensile properties of concrete using direct-tension technique*. ScienceDirect. Recuperado septiembre de 2021, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0734743X21000828>

Cuevas, G. Ó. M. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Limusa, 1232-1245..

Fuentes Espinoza, F. (1982). Ensayos Mecánicos En Metales. *Metals*, 28(3), 391–397. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(2), 80. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.1632>

Harmsen, T. E. H. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado* (4ta ed.). Pontificia Universidad Católica del Perú Fondo Editorial 2005

Huerta García, J. P. (2009). *El laboratorio parte fundamental de la obra* [UNAM]. <http://132.248.9.195/ptd2009/agosto/0647413/Index.html>

ICCG. (2018). *Ensayos no destructivos para evaluación de la resistencia del concreto endurecido* (N.º 06). Boletín Técnico ICCG. <https://www.iccg.org.gt/index.php/52-noticias-y-boletines/boletines-tecnicos/88-boletin-tecnico-06-ensayos-no-destructivos-para-evaluacion-de-la-resistencia-del-concreto-endurecido>

ICCG. (2018). *La resistencia a compresión, uno de los criterios de aceptación del concreto* (N.º 05). Boletín Técnico ICCG. <https://www.iccg.org.gt/index.php/component/phocadownload/category/17-boletines-tecnicos?download=407:boletin-tecnico-05-la-resistencia-a-compresion-del-concreto>

IMCYC. (2004). Pruebas de concreto. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 17(03), 17–21.

IMCYC. (2004). *Transportación y colocación del concreto*. 7(7), 33–36. <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>

IMCYC. (2005). Curado del concreto- IMCYC. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 43(10), 43–46.

IMCYC. (2008). Determinación de la resistencia a la flexión del concreto. *Nmx C-191- Onncce-2004*, 16, 59–63.

IMCYC. (2011). *Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio*. 50(50), 67–71.

IMCYC. (2013). Problemas, causas y soluciones. *Revistacyt*, 1, 2–4. <http://www.imcyc.com/revistacyt/febrero2013/pdfs/problemas>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. In *Concreto reforzado con fibras* (Vol. 13). [www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn](http://www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn)

Liao, W. (2020). *An Innovative Test Method for Tensile Strength of Concrete by Applying the Strut-and-Tie Methodology*. MDPI. Recuperado noviembre de 2021, de <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/12/2776>

Koh, C., Roque, R., & Lopp, G. (2009). Development of a Dog-Bone Direct Tension Test (DBDT) for asphalt concrete. *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, 585–596. <https://doi.org/10.1201/9780203092989.ch57>

Krishna Iyer, R., & Sukesan Nair, N. (1977). Ensayos acelerados de resistencia del hormigón. *The Indian Concrete Journal*, 51(11), 71–74. <https://doi.org/10.3989/mc.1979.v29.i175.1095>

López Montero, T. (2018). *Efecto del envejecimiento y de la acción del agua en la fisuración de las mezclas asfálticas* [UPC]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=258376&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=258376>

López, R., José, C., Pérez, T., Andrés, Q., Acosta, A. T., Martínez, M., Wilfredo, M., Molina, M., Eduardo, L., Aguilar, A., Cíntora, E. Z., Genescá, J., Benjamín, L., & Salas, V. (2006). *Durabilidad De La Infraestructura De Concreto Reforzado Expuesta a Diferentes Ambientes Urbanos De México*. 292(292), 149.

Martín, J. F. (2016). *ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DEL ENSAYO BARCELONA*. UPC.

Masías, K. (2018). Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Moreno, E. I. M., Solís-Carcaño, R. G. S., Varela-Rivera, J. V., & Gómez, M. A. G. L. (2016). TENSILE STRENGTH OF CONCRETE WITH HIGH ABSORPTION LIMESTONE AGGREGATE. *CONCRETO Y CEMENTO. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*, 8(1), 25–45. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-30112016000200035](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112016000200035)

Moreno, G. L. J. M. O. (2006). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BÁSICA DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN*.

Muñoz Barrantes, J., & Rivas García, E. (2003). *Correlación entre pruebas destructivas y pruebas no destructivas para medir propiedades mecánicas del concreto hidráulico*. 141.

National Ready Mixed Concrete Association. (2006). CIP 16 Resistencia a Flexión del concreto. *Concrete in Practice*, 2. <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>

National Ready Mixed Concrete Association. (2015). CIP 35 - Prueba de Resistencia a Compresion del Concreto. *El Concreto En La Práctica ¿Qué, Por Qué y Como?*, 2. <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf>

Noguera, A. H., & Miró, R. (2011). Efecto de la tenacidad del asfalto en la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(2), 224–239. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732011000200006>

NRCMA. (2020, abril). *Concrete in practice* (CIP-35). <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP35es.pdf>

NRMCA. (2020, abril). *El concreto en la práctica ¿Qué, porqué y cómo?* (CIP-41-Ensayo de aceptación del concreto). <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP41es.pdf>

ONNCE. (2008). *NMX-C-191-ONNCCE-2008* (N.º 1). [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAup7NpIf0AhXLI2oFHe9JBPsQFnoECAIQAQ&url=http%3A%2F%2Fequiposparalaboratorios.com%2Fdatos%2Fwebs%2Famic%2Folds%2FNMX-C-191-20080430.pdf&usg=AOvVaw3\\_P7KhLyJP3T1GJICqFeJO](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAup7NpIf0AhXLI2oFHe9JBPsQFnoECAIQAQ&url=http%3A%2F%2Fequiposparalaboratorios.com%2Fdatos%2Fwebs%2Famic%2Folds%2FNMX-C-191-20080430.pdf&usg=AOvVaw3_P7KhLyJP3T1GJICqFeJO)

Pacheco Flores, L. M. (2017). Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Paiva, E. N. (2013). A trajetória sociotécnica de Fernando Luiz Lobo Barboza Carneiro: O Engenheiro Civil do “Ensaio Brasileiro”. *REVISTA ATOR-REDE*, (1).

Pérez Jiménez, F., Miró Recasens, R., Martínez, A., & Garrote Villar, E. (2007). Nuevo procedimiento de ensayo para evaluar la tenacidad de las mezclas bituminosas.

*Carreteras*, 4(153), 38–45.

Ruiz, J. C. (2018). Efecto de la aplicación de curado acelerado en la resistencia a la compresión de especímenes de concreto utilizando el método de la NTP 339.213, año 2015. In *Ucv*. Universidad privada del norte.

Scanferla, B., Jordán, L., Ing, T., & Barreda, M. (2009). Ensayos De Hormigon En Estado Fresco Y Endurecido. *Centro de Investigaciones Viales*, 94–110.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (s. f.). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 2). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-005-04.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (s. f.-b). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES* (Vol. 2). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-056-06.pdf>

Secretaría de comunicaciones y transportes (SCT). (2004). M·MMP·2·02·058/04. In SCT (Ed.), *MMMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES* (pp. 1–12).

<https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-058-04.pdf>

Secretaría de comunicaciones y transportes (SCT). (2004). M·MMP·2·02·059/04. In SCT (Ed.), *MMMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES* (pp. 1–6).

<https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-059-04.pdf>

Secretaría de comunicaciones y transportes (SCT). (2006). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-2-02-056-06.pdf>

Vidaud, E. J. V. Q., & Vidaud, I. N. V. Q. (2014). Control de calidad al concreto. *Revistacyt*, 1, 24–27. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/febrero2014/ingenieria.pdf>

Villar, E. G. (2006a). *Capítulo 3 el ensayo de tracción directa*. UPC. Villar, E. G. (2006b). *Ensayo de tracción indirecta*. UPC.

Zheng, W. (2001, 1 enero). *Direct Tension Test of Concrete*. American Concrete Institute. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/10162>

## **ANEXOS**