SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA

CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Sistema Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres

ESTUDIO EXPERIMENTAL: DINTELES PREFABRICADOS SOMETIDOS A FLEXIÓN

José Antonio Díaz Pérez

Leonardo E. Flores Corona

Dirección de Investigación
Subdirección de Vulnerabilidad Estructural

Diciembre de 2020

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN 3

1.1 OBJETIVOS 3

CAPÍTULO 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL 5

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES 5

2.1.1 Geometría y variables de estudio 5

2.1.2 Armados 5

2.1.3 Propiedades nominales de los materiales 6

2.2 PREDICCIÓN DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ 6

2.2.1 Resistencia a flexión 6

2.2.2 Resistencia a flexión 7

2.2.3 Resistencia a cortante 7

2.3 INSTRUMENTACIÓN 8

2.4 APLICACIÓN DE CARGAS 8

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 11

3.1 MODELO 1 DINTEL CON GROUT 11

3.2 MODELO 2 DINTEL SECONCRETO 13

3.3 MODELO 3 DINTEL GRAVILLA 3/8 15

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES 19

REFERENCIAS 21

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

El estudio experimental del comportamiento estructural de muros de mampostería ha tenido un avance constante en las últimas décadas con series de ensayes experimentales lo que ha llevado a la actualización de las normas de diseño de mampostería del reglamento de construcciones de la Ciudad de México en sus versiones de 2004 y 2017-2020.

En el último año se ha desarrollado, dentro del laboratorio de estructuras grandes de CENAPRED, un estudio de muros de bloque con refuerzo horizontal entre las hiladas, en donde se ha podido observar su influencia en el comportamiento de los muros y sus principales variables de refuerzo, ya sea con la modalidad de mampostería confinada o como mampostería con refuerzo interior.

Como complemento a este estudio en desarrollo se realizó un proyecto alterno que consistió en realizar pruebas a unos dinteles prefabricados construidos con piezas de concreto ranuradas, las cuales incluyen en su interior un refuerzo de acero. El propósito de estos elementos es variado, desde emplearse como dala que permita desplantar sobre ella un muro de mampostería hasta como un elemento de cerramiento para puertas y ventanas como se muestra en la Figura 1.1.

Figura 1.1 Ejemplo de dinteles en ventanas

1.1 OBJETIVOS

- Verificar experimentalmente el comportamiento de tres dinteles prefabricados con piezas de mampostería.
- Comparar los resultados con la predicción teórica de resistencia y estudiar las deformaciones obtenidas a flexión.

CAPÍTULO 2
PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

2.1.1 Geometría y variables de estudio

Se consideraron tres dinteles prefabricados, con las siguientes variantes:

Secciones.- tres modelos:
- Rectangular de 10×20 cm, usando bloques especiales en forma de "U" de 10×20×40 cm.

Tipo de ensaye:
- Falla a cortante por flexión.

Tipo de relleno:
- Cada espécimen tuvo un tipo de relleno diferente: el primero (D1) fue elaborado con grout, el segundo (D2) con seconcreto 250 y el tercero (D3) empleando gravilla con tamaño máximo de 10 mm (3/8 pulg).

En la Figura 2.1 se muestra la dimensión general de los especímenes.

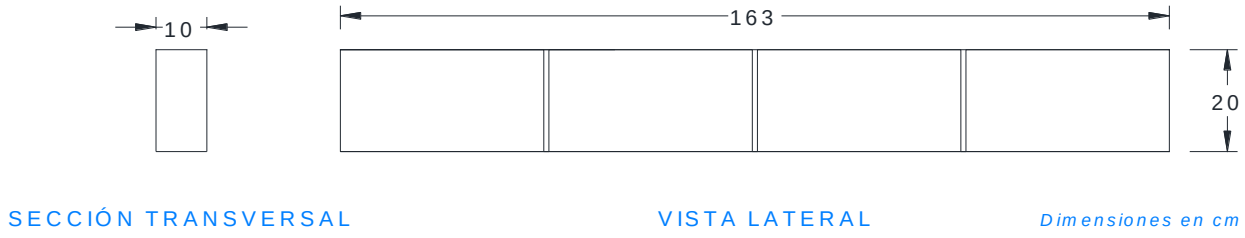

Figura 2.1 Dimensiones generales de los especímenes

2.1.2 Armados

El armado de los tres especímenes fue el mismo para poder comparar el comportamiento ante carga a flexión. Se reforzaron con dos barras del No. 3 (0.95 mm), una en el lecho inferior y otra en el superior, sujetas con grapas de alambre estirado en frío tipo tec 60 de 0.4 mm de diámetro (5/32 pulg) colocados a cada 10 cm (G5/32" @10 cm).

En la Figura 2.2 y se muestra el armado de los especímenes.

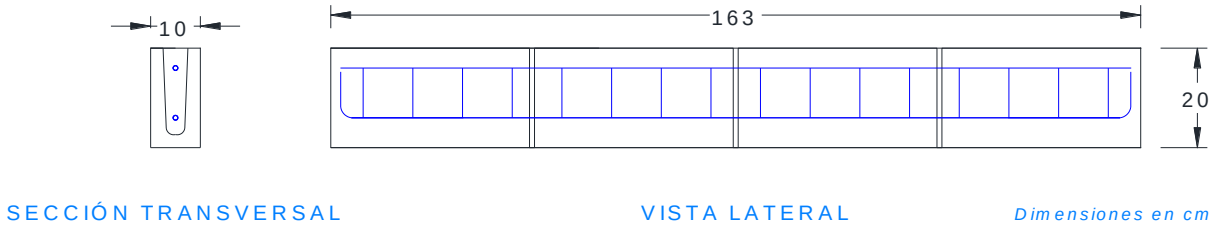

Figura 2.2 Armado de los especímenes

2.1.3 Propiedades nominales de los materiales

Las propiedades nominales de los materiales a usar fueron:

*	Concreto	f_c' = 20 MPa (200 kg/cm²)
*	Bloques de concreto en "U"	f_p' = 5 MPa (50 kg/cm²)
*	Mortero industrializado	f_p' =12.5 MPa (125 kg/cm²)
*	Acero longitudinal	f_y = 412 MPa (4200 kg/cm²)
*	Acero transversal	f_y = 210 MPa (2100 kg/cm²)

2.2 PREDICCIÓN DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

Para la planeación del ensaye, diseño del marco de carga, selección de los instrumentos y establecimiento de la historia de carga, fue necesario contar de antemano con la mejor predicción posible del comportamiento: resistencia máxima, deformación cuando se generen los agrietamientos o fluencia y deformación máxima (desplazamientos).

2.2.1 Resistencia a flexión

El análisis de los dinteles se realizó asumiendo un arreglo de carga de una viga simplemente apoyada (en el plano de carga) con una carga vertical aplicada en dos puntos del espécimen como se muestra en la Figura 2.3.

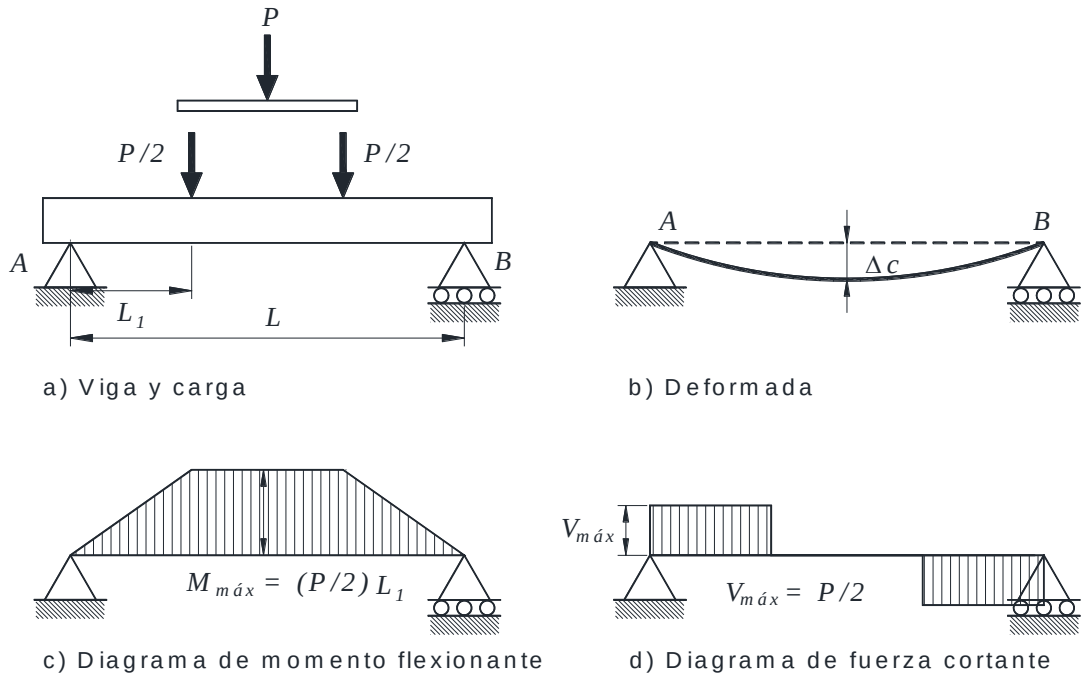

Figura 2.3 Viga simplemente apoyada considerada para el ensaye

El cálculo de la resistencia teórica se realizó con las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (NTCC) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (CDMX, 2017).

2.2.2 Resistencia a flexión

Un cálculo simple de la resistencia a la flexión se puede realizar despreciando el refuerzo del lecho superior que trabajará a compresión (refuerzo negativo) y calculando la resistencia a flexión como viga simplemente reforzada con el acero en la parte inferior (refuerzo positivo):

$$a = \frac{A_s f_y}{b f_c''}; \quad \text{y} \quad M_R = F_R A_s f_y (d - 0.5a) \tag{1}$$

donde:

F_R es el factor de resistencia y que para fines de este estudio se tomó como la unidad $F_R = 1$;

A_s es el área de acero en el lecho inferior de la viga;

b es el ancho de la sección de concreto;

d es el peralte efectivo de la sección (distancia del centroide del acero a tensión hasta la fibra externa a compresión);

f_y es el esfuerzo especificado de fluencia del acero;

f_c'' es la resistencia del bloque de esfuerzos a compresión, para lo cual $f_c'' = 0.85 f_c'$ (CDMX, 2017); y

L es el claro de la viga que será L=1.53 m.

Tomando en cuenta la geometría de los especímenes, y las propiedades nominales f_y = 4200 kg/cm², f_c' = 200 kg/cm², y por tanto f_c'' = 170 kg/cm² tenemos los resultados de la Tabla 2.1. Si la sección llegara a su resistencia con momento M_R, la carga vertical valdría $P_{MR} = 2M_R/L_1$ y la fuerza cortante $V_{MR}=P_{MR}/2$. El cortante asociado al momento resistente suponiendo dos cargas puntuales a una distancia L_1 se muestra en la columna marcada como V_{MR}.

Tabla 2.1 Resistencias nominales a flexión como sección simplemente reforzada

Espécimen	Armado positivo	A_s cm²	b cm	h cm	d cm	p	a cm	$M_{R,\ simple}$ t-cm	$P_{MR,\ simple}$ t	$V_{MR,\ simple}$ t
D 1,2,3	1#3	0.71	10	20	14	0.0051	1.75	39.13	1.58	0.79

p es la cuantía de refuerzo a tensión $p=A_s/bd$

2.2.3 Resistencia a cortante

La resistencia a cortante por tensión diagonal se calcula tomando en cuenta los criterios de las NTCC (2017).

$$V_R = F_R\, 0.5 v_m' A_T \tag{2}$$

Para los dinteles considerando una resistencia a compresión diagonal v_m'=6 kg/ cm² tenemos:

$$V_R = (1)(0.5)(6)(10\times20) = 600 \text{ kg}$$

Considerando el cortante máximo $V_{Max} = P/2$ obtenemos:

$$P_{Max} = 2\, V_{Max} \tag{3}$$

$$P_{Max} = 2(600)=1200 \text{ kg} = 1.2 \text{ ton}$$

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados del cálculo de las resistencias máximas donde podemos observar que primero alcanzarían un comportamiento a cortante.

Tabla 2.2 Resistencias nominales a cortante y flexión de los especímenes

Espécimen	P_{Max} Flexión t	P_{Max} Cortante t
D 1,2,3	1.58	1.2

2.3 INSTRUMENTACIÓN

Para la instrumentación externa se colocaron medidores de desplazamiento vertical en el eje de los dinteles, uno en el centro y dos más que coincida con la distancia de las cargas. En la Figura 2.4 se muestra el arreglo de la instrumentación externa.

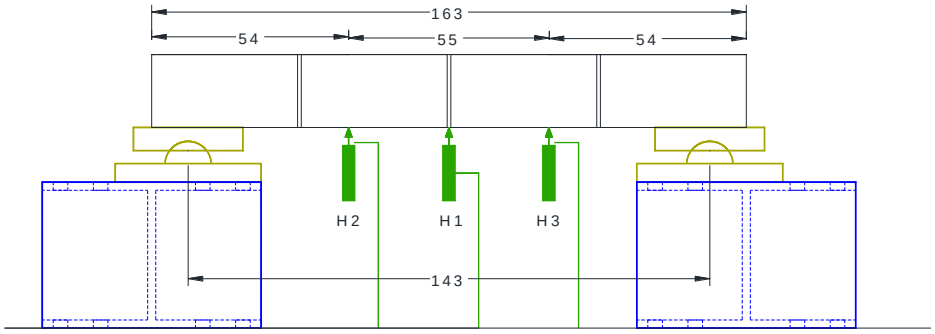

Figura 2.4 Instrumentación externa en modelos

2.4 APLICACIÓN DE CARGAS

La prueba fue pensada para que, mediante el montaje de un marco de acero, se les pudiera aplicar una fuerza con un gato hidráulico de 50 t y este a su vez repartiera dicha fuerza en dos fuerzas puntuales ubicadas a lo largo de la viga mediante el uso de un yugo de acero. Cabe mencionar que para fines del montaje se dejaron cinco centímetros en cada extremo por lo que la longitud del claro, *L* fue la distancia entre el centro de las dos rotulas de apoyo y tuvo una medida de 153 cm.

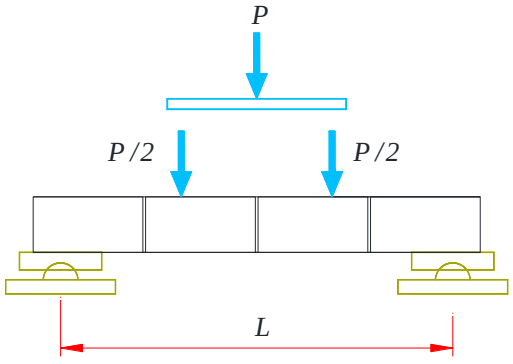

Figura 2.5 Posición esquemática del ensaye

Los apoyos se resolvieron con rótulas o articulaciones en una sola dirección, simplemente apoyadas en cajones de acero. En la Figura 2.6 se presenta el marco de carga.

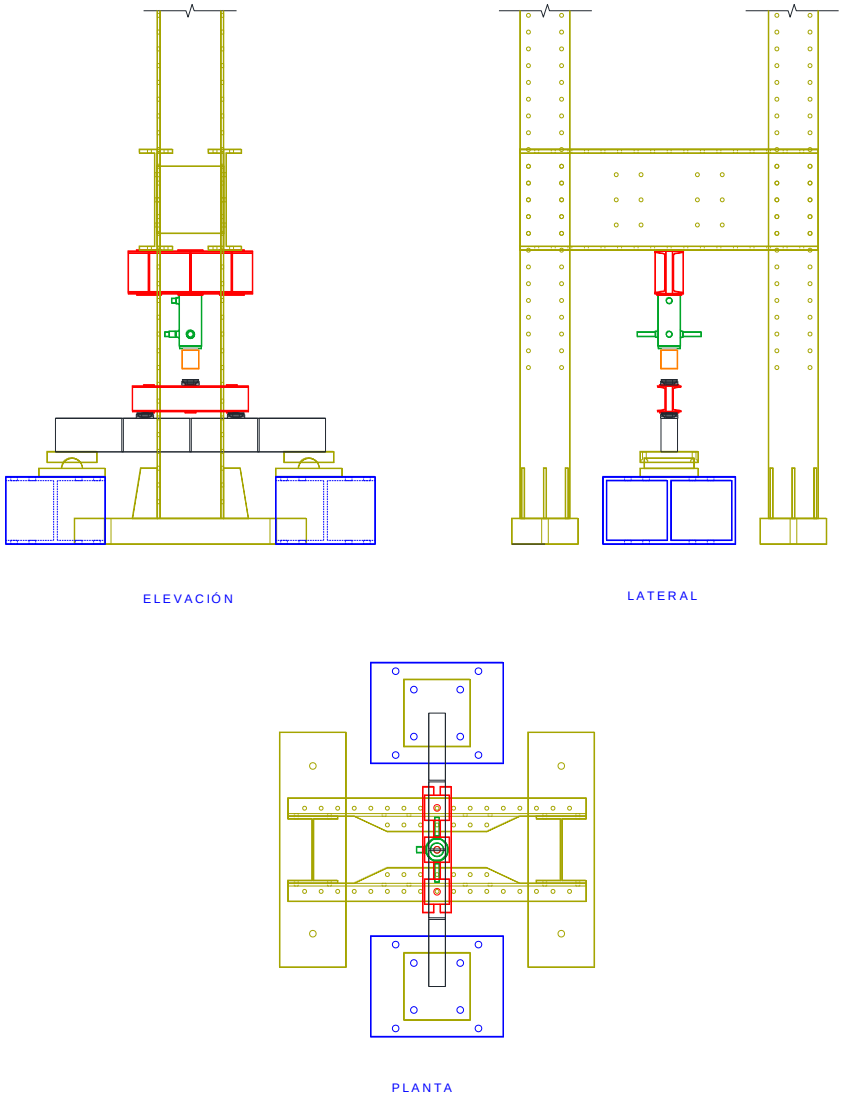

Figura 2.6 Dispositivo de aplicación de carga para los dinteles

CAPÍTULO 3
ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 MODELO 1 DINTEL CON GROUT

Se trata de un dintel prefabricado construido con grout, el cual estuvo simplemente apoyado sobre articulaciones tipo rótula y se le aplicaron dos cargas a través de un gato hidráulico con capacidad de 50 ton. La carga del gato se transmitió en dos puntos repartidos a lo largo del modelo (Figura 3.1).

Figura 3.1 Modelo D1

Se dio inicio la prueba aplicando carga al centro de claro como anteriormente se explicó en el apartado de Aplicación de Cargas. Las cargas y deformaciones se obtuvieron del procesamiento de datos y apoyados del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 2.3.

La carga en donde apareció el primer agrietamiento a cortante fue de 0.57 ton y la de fluencia de 2.32 ton, la cual se tomó cuando se observó en la curva de carga-deformación un cambio en la pendiente producto de la perdida de rigidez. La carga máxima fue de 2.7 ton con una deformación de 35.93 mm. Los resultados se resumen en la siguiente tabla. La Figura 3.2 muestra la curva carga-desplazamiento del espécimen en donde se observa gráficamente el comportamiento que tuvo el dintel durante la aplicación de la carga.

Tabla 3.1 Cargas y desplazamientos experimentales de espécimen D1

Caso	**Carga,** t	*Desplazamiento, mm*		
		Δ_{agr}	Δ_{fy}	$\Delta_{máx}$
P_{aqr}	0.57	0.74		
P_{fy}	2.32		8.74	
$P_{máx}$	2.7			35.93

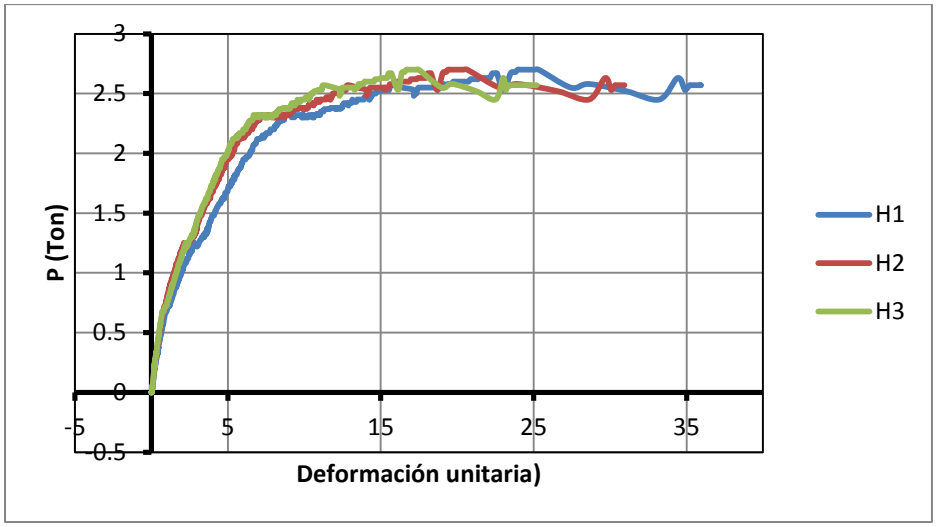

Figura 3.2 Gráfica Carga-Desplazamiento Modelo D1

En la Figura 3.4 se muestra el patrón de agrietamiento siendo las grietas verticales por flexión, que se originaron en la parte inferior y las de cortante en diagonal. Como se puede ver, las de grietas de cortante finalmente representaron el mecanismo de falla del elemento, mecanismo que es el que se pretendía cumplir.

El número asociado a cada grieta, marcadas en una cara del modelo, representa el número de paso en la prueba y está asociado a un valor de carga y de desplazamiento. En lo subsecuente, se le llamara paso al número asignado dentro del ciclo de la prueba de ensaye del dintel y que aparece de color rojo en las fotografías junto a una grieta vertical o diagonal.

Figura 3.3 Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D1

Figura 3.4 (cont.) Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D1

3.2 MODELO 2 DINTEL SECONCRETO

Se trata de un dintel prefabricado construido con una mezcla prefabricada denominada "seconcreto", ensayado como viga simplemente apoyada en forma similar al modelo 1, Figura 3.5.

Figura 3.5 Modelo D2

Se dio inicio la prueba aplicando carga con el gato hidráulico. Las cargas y deformaciones se obtuvieron del procesamiento de datos y apoyados del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 2.3.

Tabla 3.2 Cargas y desplazamientos experimentales de espécimen VT2

Caso	**Carga,** t	*Desplazamiento, mm*		
		Δ_{agr}	Δ_{fy}	$\Delta_{máx}$
P_{agr}	0.98	1.72		
P_{fy}	2.5		10.19	
$P_{máx}$	2.87			42.36

La carga en donde apareció el primer agrietamiento a cortante fue de 0.98 ton y la de fluencia de 2.5 ton, la cual se tomó cuando se observó en la curva de carga-deformación un cambio en la pendiente producto de la perdida de rigidez. La carga máxima fue de 2.87 ton con una deformación de 42.36 mm. Los resultados se resumen en la siguiente tabla. La Figura 3.6 muestra la curva carga-desplazamiento del espécimen en donde se observa gráficamente el comportamiento que tuvo el dintel durante la aplicación de la carga.

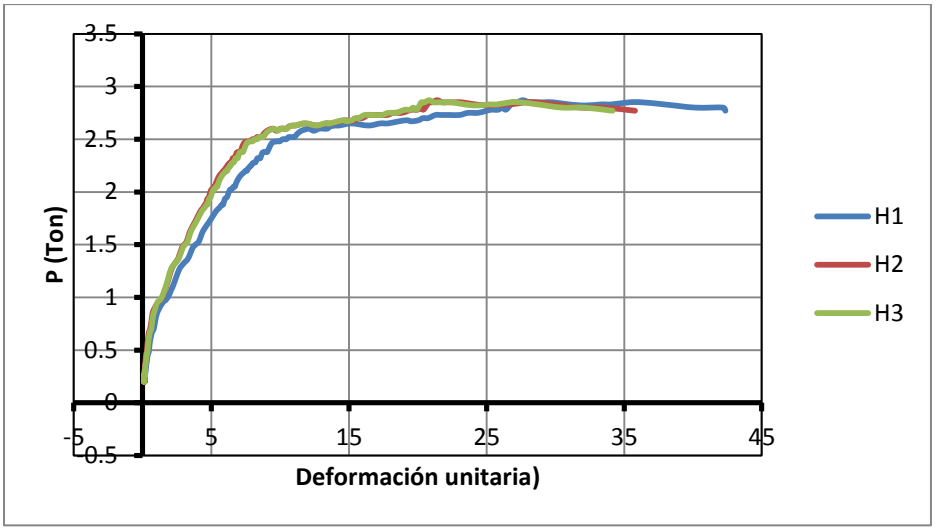

Figura 3.6 Gráfica Carga-Desplazamiento Modelo D2

En la Figura 3.8 se muestra el patrón de agrietamiento en donde se puede corroborar el mecanismo de falla por cortante, siendo este el esperado.

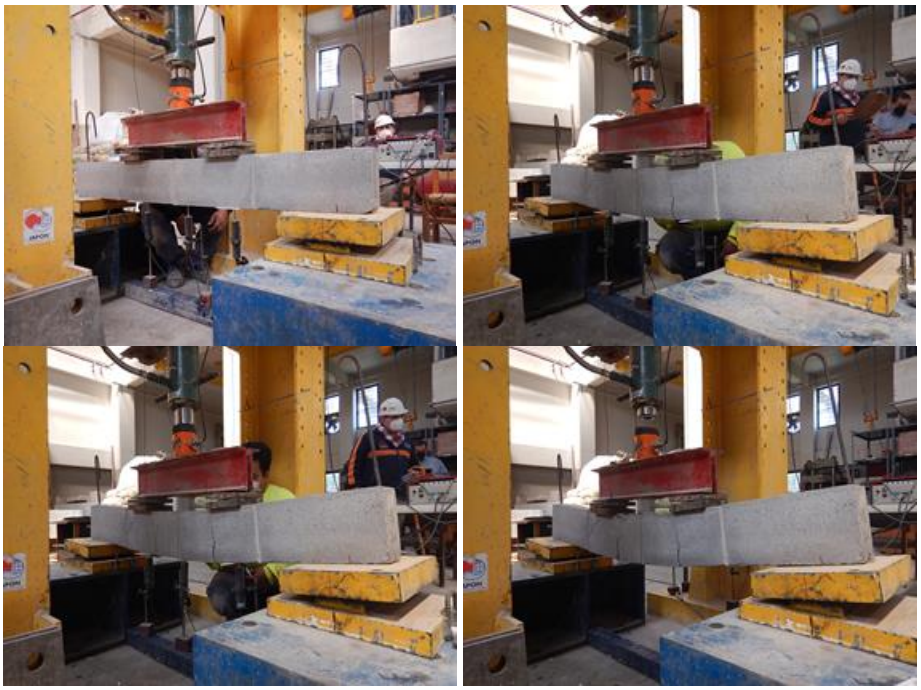

Figura 3.7 Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D2

Figura 3.8 (cont.) Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D2

3.3 MODELO 3 DINTEL GRAVILLA 3/8

Consistió de un dintel prefabricado cuya diferencia con los anteriores radicó en que fue construido con una mezcla de concreto con gravilla de 3/8"; el arreglo de carga fue como se explicó en los anteriores especímenes, Figura 3.9.

Figura 3.9 Modelo D3

Se dio inicio la prueba aplicando carga con el gato hidráulico. Las cargas y deformaciones se obtuvieron del procesamiento de datos y apoyados del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 2.3.

La carga en donde apareció el primer agrietamiento a cortante fue de 0.72 ton y la de fluencia de 2.6 ton, la cual se tomó cuando se observó en la curva de carga-deformación un cambio en la pendiente producto de la perdida de rigidez. La carga máxima fue de 2.92 ton con una deformación de 31.44 mm. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3.3 Cargas y desplazamientos experimentales de espécimen D3

Caso	**Carga,** t	*Desplazamiento, mm*		
		Δ_{agr}	Δ_{fy}	$\Delta_{máx}$
P_{agr}	0.72	1.03		
P_{fy}	2.6		9.42	
$P_{máx}$	2.92			31.44

La Figura 3.10 muestra la curva carga-desplazamiento del espécimen en donde se observa gráficamente el comportamiento que tuvo el dintel durante la aplicación de la carga.

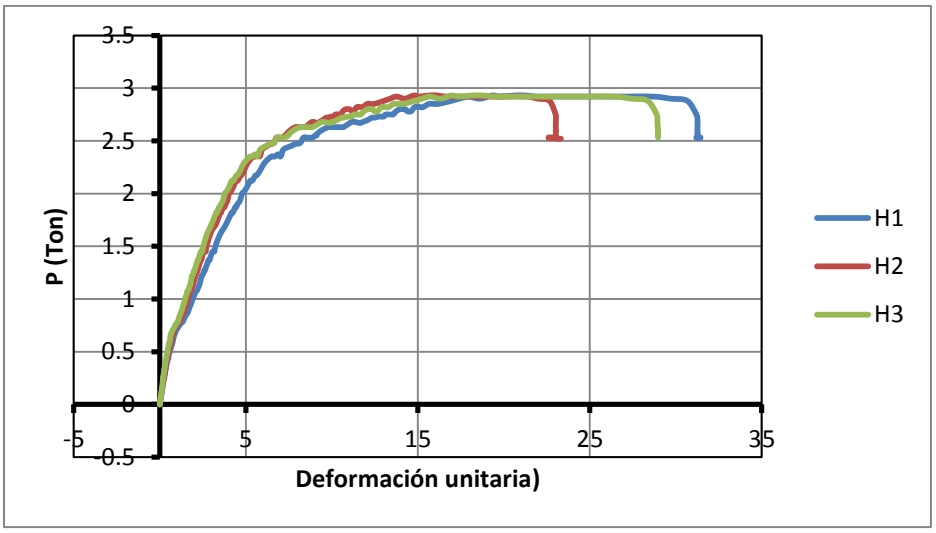

Figura 3.10 Gráfica Carga-Desplazamiento Modelo D3

En la Figura 3.12 se puede observar el patrón de agrietamiento que confirma el mecanismo de falla por cortante, siendo este el predicho.

Figura 3.11 Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D3

Figura 3.12 (cont.) Patrón de agrietamiento por flexión y cortante en el modelo D3

CAPÍTULO 4
CONCLUSIONES

Se ensayaron tres dinteles prefabricados de mampostería, cada uno con diferente material utilizado como revoltura para el relleno de concreto y recubrimiento del acero de refuerzo; para el primer espécimen se utilizó grout, para el segundo un mortero industrializado denominado seconcreto y finalmente el tercero se hizo de concreto con gravilla de 10 mm (3/8 pulg), las probetas fueron diseñadas para trabajar simplemente apoyadas y aplicarles una carga monótona obligando a presentar un mecanismo de falla a cortante.

Los ensayes tuvieron como objetivo verificar el comportamiento de los especímenes y comparar los resultados experimentales con los teóricos tanto de resistencia de deformación. Dados los resultados de los ensayes realizados para el presente informe se puede concluir lo siguiente:

- Se comprobó con el patrón de grietas y el estado final de los dinteles el mecanismo de falla por cortante, mismo que se logró cuando alcanzaron su resistencia máxima y que era el esperado.

- La resistencia máxima de los modelos se alcanzó para cargas mayores que las calculadas con las expresiones para obtener la resistencia empleadas en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de Concreto (NTC-C 2017).

- Realizando una comparación entre los tres materiales empleados para la construcción de las probetas se puede observar, en la Figura 4.1, que los tres especímenes llegaron a una carga máxima similar; sin embargo, el dintel construido con gravilla fue el que tuvo una mayor resistencia, así mismo el construido con seconcreto tuvo una mayor capacidad de deformación. En los tres casos se superó la resistencia teórica calculada como se observa en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resistencias teóricas y experimentales

	TEORICA		EXPERIMENTAL		
	P_{Max} Flexión t	P_{Max} Cortante t	D1 t	D2 t	D3 t
RESISTENCIA	1.58	1.2	2.7	2.87	2.92

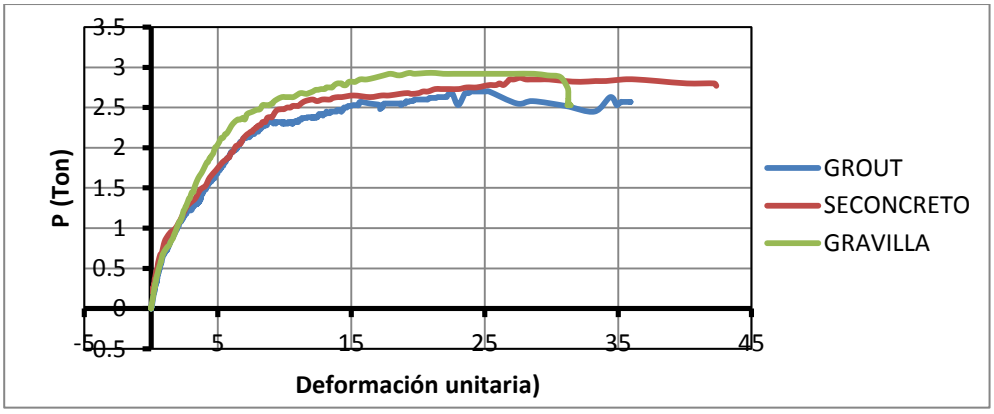

Figura 4.1 Comparación de la curva Carga-Desplazamiento de los especímenes

- Se recomienda realizar más pruebas de este tipo con un número mayor de especímenes para poder corroborar resultados.

REFERENCIAS

Flores L. (2006), "Catálogo de Características de Gatos, Vigas, Placas y otros elementos del LEG, CENAPRED", documento interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, febrero, 18 pp.

Gobierno de la Ciudad de México (CDMX, 2020), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería con comentarios", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No. 454, 19 de octubre de 2020, pp. 29-157.

Gobierno de la Ciudad de México (CDMX, 2017), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No. 220-Bis, 15 de diciembre de 2017, pp. 372-566.

Guzmán H.J., López H., Rodríguez M.A. (2008), "Manual de prácticas para laboratorio de materiales", Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, abril de 2008, 139 pp.

NMX-C-036-ONNCCE (2013), "Industria de la construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de ensayo", Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 9 pp.

NMX-C-404-ONNCCE (2012), "Industria de la construcción – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo", Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 16 pp.

NMX-C-464-ONNCCE (2010), "Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto", Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 23 pp.