

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO ANALÍTICO-EXPERIMENTAL DEL DESEMPEÑO DE UN
PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO
DE BLOQUE DE BAJA RESISTENCIA, A TRAVÉS DE UN ENSAYO
A CARGA LATERAL Y MODELO COMPUTACIONAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**KARINA ELIZABETH LIMA AVILA
kela1906@gmail.com**

**JADYRA ESPERANZA PAREDES TUMBACO
jadyra_paredest@hotmail.com**

DIRECTOR: ING. SOSA CAIZA DIEGO ANDRÉS M.Sc.

QUITO, JULIO 2017

DECLARACIÓN

Nosotras, KARINA ELIZABETH LIMA AVILA y JADYRA ESPERANZA PAREDES TUMBACO, declaramos que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

**KARINA ELIZABETH LIMA
AVILA**

**JADYRA ESPERANZA PAREDES
TUMBACO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por KARINA ELIZABETH LIMA AVILA y JADYRA ESPERANZA PAREDES TUMBACO, bajo mi supervisión.

ING. SOSA CAIZA DIEGO ANDRÉS M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer a mis padres Víctor y María, a mis hermanos Edwin, Ruben y Jonathan por siempre apoyarme y estar a mi lado; y a toda mi familia que me ha sabido inspirar con sus palabras y darme la fuerza para continuar.

Jady gracias por tu amistad por recibirme en tu hogar y a toda tu familia que son gente maravillosa que se hace querer. Gracias amiga por todos los momentos felices y tristes, por siempre apoyarme y estar para mí cuando lo he necesitado. Sigue siendo esa mujer luchadora que siempre ha sabido salir adelante.

A la **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**, a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, a sus maestros por habernos brindado sus conocimientos. En especial al Ingeniero Diego Andrés Sosa Caiza, por su atención, conocimientos y tiempo dedicado en la dirección, desarrollo y conclusión del presente trabajo de titulación.

Al Centro de Investigación de la Vivienda por permitirnos realizar el presente tema como proyecto de titulación y por habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas. Y como no agradecerles por habernos brindado su apoyo y amistad Gaston, Diego, Christian, Raul, Edwin, Meli, Robert.

Karina Elizabeth Lima Avila

AGRADECIMIENTO

Como no agradecer a Dios por todas sus bendiciones, haberme permitido llegar hasta hoy y regalarme tantos ángeles en mi vida.

A mi Madre por ser mi apoyo, mi guía y estar conmigo en todo momento

A mi esposo por su apoyo y comprensión.

A mi pequeña hija Karen por toda su paciencia, su amor, por ser la luz y la razón de luchar cada día.

A mis abuelitos por todas sus enseñanzas, a mi familia porque de una u otra manera me han ayudado para cumplir esta meta.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas y darme la oportunidad de educarme en esta noble institución y conocer personas maravillosas.

A mis profesores por todos sus conocimientos impartidos.

Al Ing. Diego Sosa por su atención, conocimientos y tiempo dedicado en la dirección, desarrollo y conclusión del presente trabajo de titulación.

Al Centro de Investigación de la vivienda, por habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo del proyecto, pero sobre todo gracias por su amistad Gaston, Diego, Christian, Meli, Raul, Edwin, Robert.

A mi mejor amiga Kary por haber hecho esta tesis juntas y por todas la experiencias compartidas durante todo este tiempo.

A mis amigos y amigas por hacer la vida universitaria mucho más llevadera, ayudarme, por todos los buenos momentos que hemos pasados.

Jadyra Esperanza Paredes Tumbaco

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico esta tesis a mis amados padres y hermanos por ser mi inspiración y quienes, con todo su esfuerzo y sacrificio me apoyaron en toda mi vida académica.

Karina Elizabeth Lima Avila

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mi hija Karen, quien en todo momento ha sido mi motor, mi inspiración, mi motivación, quien siempre con sus demostraciones de afecto le daba sentido a mi vida y me inspiraba a seguir, progresar y terminar con éxito esta tesis, gracias a Dios que con su infinito amor me regalo tan hermosa compañía.

Jadyra Esperanza Paredes Tumbaco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XVII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	XVIII
RESUMEN	XX
ABSTRACT	XXI
PRESENTACIÓN	XXII
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ALCANCE	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1. MAMPOSTERÍA	3
1.4.2. COMPONENTES DE LA MAMPOSTERÍA.....	3
1.4.3. CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA	5
1.4.4. TIPOS DE FALLAS.....	6
1.4.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA.....	10

1.4.6.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_{m\theta}$).....	11
1.4.7.	MÓDULO DE CORTE Y RELACIÓN DE POISSON.....	12
1.4.8.	HORMIGÓN.....	12
1.4.9.	DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL HORMIGÓN.....	14
1.4.10.	MODELO DE MANDER PARA EL HORMIGÓN CONFINADO.....	14
1.4.11.	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.....	16
1.4.12.	ACERO DE REFUERZO.....	16
1.4.13.	CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	17
1.4.14.	ACERO DE REFUERZO DE ALTA RESISTENCIA.....	18
1.4.15.	SISTEMA ESTRUCTURAL PORTICADO.....	19
1.4.16.	SISTEMAS PORTICADOS CON PANELES DE RELLENO.....	20
1.5.	METODOLOGÍA.....	23
1.5.1.	ENSAYOS EN PIEZAS DE BLOQUES.....	23
1.5.2.	ENSAYOS DEL MORTERO.....	23
1.5.3.	ENSAYOS EN MURETES DE MAMPSOTERIA.....	24
1.5.4.	ANÁLISIS COMPUTACIONAL PREVIO.....	26
1.5.5.	ENSAYOS EN PÓRTICOS.....	26
1.5.6.	CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL PÓRTICO CON PANEL DE RELLENO A TRAVÉS DEL RESULTADO EXPERIMENTAL.....	27
CAPÍTULO 2	28
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	28
2.1.	HORMIGÓN.....	28
2.2.	ACERO DE REFUERZO.....	29
2.3.	BLOQUE.....	31

2.4. MORTERO.....	33
2.5. MAMPOSTERÍA.....	34
2.5.1. ESFUERZO DE COMPRESION MEDIANTE ENSAYOS EN MURETES.....	35
2.5.2. ESFUERZO DE CORTE MEDIANTE ENSAYOS DE TENSIÓN DIAGONAL EN MURETES	38
2.5.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m).....	39
CAPÍTULO 3	40
MODELO ANALÍTICO	40
3.1. GEOMETRÍA PRELIMINAR DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO.....	41
3.2. MODELOS CONSTITUTIVOS	41
3.2.1. MODELO DEL ACERO	41
3.2.2. MODELO DEL HORMIGÓN	44
3.2.3. MODELO DE LA MAMPOSTERÍA	46
3.2.4. PROCEDIMIENTO ESTÁTICO NO LINEAL.....	52
CAPÍTULO 4	54
PROCESO CONSTRUCTIVO Y ENSAYO A CARGA HORIZONTAL CÍCLICA.....	54
4.1. GEOMETRÍA DEFINITIVA.....	54
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL PÓRTICO.....	55
4.2.1. VIGA DE CIMENTACIÓN	55
4.1.1. COLUMNAS	56
4.1.2. VIGA.....	57
4.1.3. PANEL DE RELLENO	58
4.2. EQUIPOS E INSTRUMENTACION	59
4.3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	61

CAPÍTULO 5	63
ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
5.1. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	63
5.1.1. ESTADOS DE DAÑO	65
5.1.2. MODOS DE FALLA	65
5.1.3. DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	72
5.1.4. DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ SECANTE	73
5.1.5. AMORTIGUAMIENTO VISCOZO EQUIVALENTE.....	74
5.1.6. ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA	75
5.1.7. DUCTILIDAD	76
5.2. CALIBRACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO.....	77
5.2.1. COMPARACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO Y EL MODELO EXPERIMENTAL	77
5.2.2. CRITERIOS DE DESEMPEÑO	80
5.2.3. DUCTILIDAD DEL MODELOS CALIBRADO.....	81
5.3. PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO.....	82
5.3.1. CURVA DE CAPACIDAD	82
5.3.2. DUCTILIDAD	83
5.4. COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE MODELO ANALÍTICO CALIBRADO CON Y SIN PANEL DE RELLENO.....	84
CAPÍTULO 6	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	90
ANEXOS	95

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. 1 CLASIFICACIÓN DE BLOQUES, SEGÚN SUS USOS.....	4
CUADRO 1. 2 CLASIFICACIÓN DE BLOQUES, SEGÚN SU DENSIDAD.....	4
CUADRO 1. 3 DIMENSIONES DE LOS BLOQUES	5
CUADRO 1. 4 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO	5
CUADRO 1. 5 RANGOS PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD	11
CUADRO 1. 6 RESISTENCIA A LA COMPRESION SEGÚN EL TIPO DE FALLA	11
CUADRO 2. 1 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN.....	29
CUADRO 2. 2 PROPIEDADES VARILLA Ø12 [mm].....	30
CUADRO 2. 3 PROPIEDADES VARILLA Ø9 [mm].....	30
CUADRO 2. 4 DIMENSIONES DEL BLOQUE	31
CUADRO 2. 5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE	32
CUADRO 2. 6 PROPIEDADES DEL BLOQUE	33
CUADRO 2. 7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO.....	34
CUADRO 2. 8 PROPIEDADES DEL MORTERO.....	34
CUADRO 2. 9 ESFUERZO DE COMPRESION POR MURETE	37
CUADRO 2. 10 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MURETE.....	37
CUADRO 2. 11 ESFUERZO DE TENSION DIAGONAL POR MURETE	39
CUADRO 2. 12 RESISTENCIA A TENSION DIAGONAL DEL MURETE	39
CUADRO 2. 13 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA.....	39
CUADRO 3. 1 SECCIONES Y ACERO DE REFUERZO PARA COLUMNAS Y VIGA	41
CUADRO 3. 2 VALORES DE K1 Y K2, PARA VALORES DE λ_h	49
CUADRO 5. 1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS DE DAÑO.....	65
CUADRO 5. 2 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO	72
CUADRO 5. 3 RIGIDEZ SECANTE Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS POR CICLO.....	73

CUADRO 5. 4 AMORTIGUAMIENTO VISCOZO EQUIVALENTE POR CICLO	75
CUADRO 5. 5 PROPIEDADES DE LA CURVA DE CAPACIDAD ENVOLVENTE EXPERIMENTAL.....	76
CUADRO 5. 6 DUCTILIDAD DE LA CURVA DE CAPACIDAD ENNVOLVENTE EXPERIMENTAL DEL PORTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO	77
CUADRO 5. 7 PARÁMETROS MODIFICADOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO.....	79
CUADRO 5. 8 COMPARACIÓN ENTRE MODELOS ANALÍTICOS.....	80
CUADRO 5. 9 CRITERIOS DE DESEMPEÑO.....	81
CUADRO 5. 10 DETERMINACIÓN DE LA DUCTILIDAD ANALÍTICA, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO.....	82
CUADRO 5. 11 DETERMINACIÓN DE LA DUCTILIDAD, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 MODOS DE FALLA POR DESLIZAMIENTO DE LAS JUNTAS DE MORTERO	7
FIGURA 1. 2 MODOS DE FALLA POR AGRIETAMIENTO DE BLOQUES Y DIVISIÓN DE LAS JUNTAS DE MORTERO.	8
FIGURA 1. 3 MODO DE FALLA POR DESPRENDIMIENTO EN EL PLANO	9
FIGURA 1. 4 MODOS DE FALLA DENTRO DEL PANEL DE RELLENO	10
FIGURA 1. 5 COMPONENTES DEL HORMIGÓN	13
FIGURA 1. 6 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL HORMIGÓN	15
FIGURA 1. 7 ARMADO TÍPICO DE UNA SECCIÓN	17
FIGURA 1. 8 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO	18
FIGURA 1. 9 COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE BAJA Y ALTA RESISTENCIA	19
FIGURA 1. 10 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO PARA EL PANEL DE RELLENO.....	20
FIGURA 1. 11 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DEL PANEL DE RELLENO.....	22
FIGURA 1. 12 ENSAYO A COMPRESIÓN DIAGONAL.....	25
FIGURA 1. 13 DETALLE DEL ENSAYO EN LOS PÓRTICOS	27
FIGURA 2. 1 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN Ø12 [mm]	29
FIGURA 2. 2 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN Ø9 [mm]	30
FIGURA 2. 3 DIMENSIONES DE LOS MURETES	35
FIGURA 2. 4 GRÁFICA ESFUERZO DE COMPRESIÓN-DEFORMACIÓN UNITARIA PARA MURETES.....	37
FIGURA 2. 5 GRÁFICA ESFUERZO DE TENSIÓN DIAGONAL-DEFORMACIÓN UNITARIA PARA MURETES.....	38

FIGURA 3. 1 CURVA CARACTERISTICA DEL ESFUERZO- DEFORMACIÓN PARA EL MODELO DE MENEGOTTO-PINTO.....	42
FIGURA 3. 2 PARÁMETROS INGRESADOS EN EL MODELO DEL ACERO	43
FIGURA 3. 3 PROPIEDADES DEL ACERO, PARA EL MODELO DE MENEGOTTO-PINTO	43
FIGURA 3. 4 PARÁMETROS INGRESADOS EN EL MODELO DEL HORMIGÓN CONFINADO.....	44
FIGURA 3. 5 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA EL MODELO DE MANDER.....	45
FIGURA 3. 6 PARÁMETROS DEL PUNTAL EQUIVALENTE INGRESADOS EN EL MODELO DE LA MAMPOSTERÍA.....	47
FIGURA 3. 7 PARÁMETROS DEL RESORTE DE CORTE INGRESADOS EN EL MODELO DE LA MAMPOSTERÍA.....	48
FIGURA 3. 8 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL PANEL CENTRAL	50
FIGURA 3. 9 VARIACIÓN DEL AREA DEL PUNTAL	50
FIGURA 3. 10 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL MODELO DEL PUNTAL	52
FIGURA 3. 11 ESQUEMA DEL PÓRTICO DE HORMIGON ARMADO CON PANEL DE RELLENO	53
FIGURA 3. 12 CURVA DE CAPACIDAD DEL PÓRTICO DE H.A. CON PANEL DE RELLENO PARA LA PREDICCIÓN DE LA CARGA MÁXIMA	53
FIGURA 4. 1 GEOMETRÍA DEL PÓRTICO	54
FIGURA 4. 2 VISTA TRANSVERSAL DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN	55
FIGURA 5. 1 DIAGRAMA HISTERÉTICO.....	64
FIGURA 5. 2 DIAGRAMA TIEMPO-HISTORIA.....	64
FIGURA 5. 3 FISURAS HASTA EL CICLO 5	66
FIGURA 5. 4 FISURAS HASTA EL CICLO 6	67
FIGURA 5. 5 FISURAS HASTA EL CICLO 7	68
FIGURA 5. 6 FISURAS HASTA EL CICLO 8	69
FIGURA 5. 7 FISURAS HASTA EL CICLO 9	70
FIGURA 5. 8 FISURAS HASTA EL CICLO 10	71

FIGURA 5. 9 DISIPACIÓN DE ENERGÍA POR CICLO, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO	72
FIGURA 5. 10 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ, PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO	74
FIGURA 5. 11 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO.....	75
FIGURA 5. 12. CURVA DE CAPACIDAD ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA.....	76
FIGURA 5. 13 PARÁMETROS DE FLUENCIA Y CARGA ÚLTIMA EN LA CURVA EXPERIMENTAL, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO.....	77
FIGURA 5. 14 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 1	78
FIGURA 5. 15 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 2	78
FIGURA 5. 16 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 3	79
FIGURA 5. 17 CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA Y CRITERIOS DE DESEMPEÑO, DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO.....	81
FIGURA 5. 18 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FLUENCIA EN LA CURVA DEL MODELO CALIBRADO, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO	82
FIGURA 5. 19 CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA Y CRITERIOS DE DESEMPEÑO DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO.....	83
FIGURA 5. 20 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FLUENCIA, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO	83
FIGURA 5. 21 COMPARACIÓN CURVA DE CAPACIDAD-PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON Y SIN PANEL DE RELLENO	84

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2. 1 CILINDROS DE HORMIGÓN.....	28
FOTOGRAFÍA 2. 2 ENSAYO A COMPRESIÓN DE BLOQUES	31
FOTOGRAFÍA 2. 3 MUESTRAS CUBICAS DE MORTERO	33
FOTOGRAFÍA 2. 4 MURETES.....	35
FOTOGRAFÍA 2. 5 ENSAYO DE COMPRESION DE MURETES	36
FOTOGRAFÍA 2. 6 ENSAYO DE TENSION DIAGONAL DE MURETES	38
FOTOGRAFÍA 4. 1 ARMADO DE LAS VIGA DE CIMENTACIÓN DE 30x60	56
FOTOGRAFÍA 4. 2 ENCOFRADO Y UBICACIÓN DE ACERO DE REFUERZO (VIGA DE CIMENTACIÓN Y COLUMNAS)	56
FOTOGRAFÍA 4. 3 ENCOFRADO Y FUNDICIÓN DE COLUMNAS.....	57
FOTOGRAFÍA 4. 4 ENCOFRADO Y FUNDICIÓN DE LA VIGA	58
FOTOGRAFÍA 4. 5 PÓRTICO CON PANEL DE RELLENO.....	58
FOTOGRAFÍA 4. 6. SISTEMA PARA LA APLICACIÓN DE CARGA	59
FOTOGRAFÍA 4. 7 BOMBA HIDRÁULICA ZE5.....	59
FOTOGRAFÍA 4. 8 LVDTs HBM.	60
FOTOGRAFÍA 4. 9 SISTEMA UPM HBM	60
FOTOGRAFÍA 4. 10 ENSAYO DEL PORTICO CON PANEL DE RELLENO	61
FOTOGRAFÍA 4. 11 CURVA HISTERÉTICA.....	62

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

δ	Alargamiento/elongación
h	Altura de entre piso
b	Altura del bloque
h'	Altura del murete
h_w	Altura del panel
w	Ancho del murete
b_w	Ancho del puntal
θ	Ángulo de inclinación de la diagonal
A	Área de la sección transversal del cubo de mortero
A_n	Área neta del murete
C_p	Coficiente de variación de la resistencia a compresión de piezas de mampostería, ≥ 0.35
C_j	Coficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero, > 0.2
C_m	Coficiente de variación de la resistencia a la compresión de muretes, ≥ 0.15
C_v	Coficiente de variación de la resistencia a tensión diagonal de muretes, > 0.2
K_1, K_2	Coficientes expresados en función de λh
ϵ_{cc}	Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{cc} .
$2\epsilon_{co}$	Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{co} , se asume un valor de 0.002
ϵ_c	Deformación longitudinal del concreto a compresión.
ϵ	Deformación unitaria
s	Desviación estándar del número de muestras
σ	Esfuerzo
S_s	Esfuerzo de corte sobre área neta
σ_v	Esfuerzo vertical de compresión debido a cargas gravitacionales
j	Espesor de la junta de mortero.
t	Espesor total del murete
P	Fuerza axial / carga de rotura
$P_{m\acute{a}x}$	Fuerza máxima aplicada

I_c	Inercia de la sección de las columnas
d_w	Longitud de la diagonal del panel
L	Longitud inicial
$\overline{f_w}$	Media de la resistencia a compresión corregida por esbeltez.
$\overline{f_p}$	Media de la resistencia a compresión de piezas de mampostería
$\overline{f_j}$	Media de resistencia a compresión de cubos de mortero
$\overline{V_m}$	Media del esfuerzo máximo de corte de muretes
E_m	Módulo de elasticidad de la mampostería
E_b	Módulo de elasticidad del bloque
E_j	Módulo de elasticidad del mortero
E_{sec}	Módulo secante de elasticidad del concreto en el esfuerzo máximo del hormigón confinado
E_c	Módulo tangencial de elasticidad del hormigón
λ	Parámetro adimensional de rigidez relativa
W_c	Peso específico del hormigón
ρ	Peso específico del mortero
n	Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida (pieza de mampostería)
ϑ	Relación de Poisson
x	Relación entre deformación en un instante determinado y deformación en la resistencia máxima a la compresión del hormigón confinado
r	Relación relativa entre modulo inicial y secante de elasticidad del hormigón confinado
f'_c	Resistencia a compresión del hormigón
f_{ws}	Resistencia a corte bajo tensión diagonal
f_j	Resistencia a la compresión de cubos de mortero
f_p	Resistencia a la compresión de piezas de mampostería
v_m	Resistencia a tensión diagonal para muretes
f_{wu}	Resistencia al deslizamiento de las juntas de mortero
f'_w	Resistencia fundamental a la compresión
f'_{cc}	Resistencia máxima a la compresión del hormigón confinado
f'_{co}	Resistencia máxima a la compresión del hormigón no confinado
S	Superficie bruta de la cara comprimida del bloque

RESUMEN

El presente trabajo de titulación busca validar el modelo de un pórtico de hormigón armado con panel de relleno propuesto en el programa SeismoStruct, para predecir el desempeño de esta tipología considerando las características específicas de ciertos materiales típicos en la ciudad de Quito.

En el diseño sismoresistente se considera a los paneles de relleno como una carga muerta, sin analizar la interacción entre la estructura y el relleno. Siendo necesario conocer el comportamiento inelástico global del sistema evaluando la influencia del panel de relleno, se realizó una modelación para la predicción de la respuesta no lineal considerando el efecto del panel de relleno en estructuras tipo pórtico mediante un análisis pushover monotónico.

Se ejecutó un ensayo a través de carga lateral cíclica en el pórtico de hormigón armado con panel de relleno, con el propósito de comparar la curva de capacidad analítica con la curva de capacidad envolvente obtenida experimentalmente.

De los resultados obtenidos de la curva histerética experimental se determinaron propiedades características del comportamiento del sistema como: modos de falla, disipación de energía, degradación de la rigidez y amortiguamiento viscoso equivalente.

De la curva de capacidad analítica se determinan los criterios de desempeño, permitiéndonos identificar de manera eficaz los instantes donde se alcanzan los estados límites y la ductilidad de la estructura.

Para determinar la influencia del panel de relleno en el desempeño del pórtico de hormigón armado, se analiza la curva de capacidad analítica del pórtico con panel de relleno y sin panel de relleno.

Palabras claves: Sistemas porticados, panel de relleno, análisis pushover, modelo analítico, curva histerética, curva de capacidad.

ABSTRACT

The present titling work seeks to validate the model of a reinforced concrete porch with a infill panel which is proposed in the SeismoStruct program in order to predict the performance of this typology considering the specific characteristics of certain typical materials in the Quito city.

The infill panels are considered as a dead load in the resistant seism design without analyzing the interaction between the structure and the infill.

It is necessary to know the global inelastic behavior of the system by evaluating the influence of the infill panel, a demonstration was performed for the prediction of the nonlinear response considering the effect of the infill panel in structures of frame type using a monotonic pushover analysis.

In addition, a cyclic lateral load test was performed on the reinforced concrete frame with infill panel, in order to compare the analytical capacity curve with the enveloping capacity curve that was obtained experimentally.

According to the results obtained from the experimental hysteretic curve, it determined properties, characteristics of the behavior and of the system like failure manners, energy dissipation, stiffness degradation and equivalent viscous damping

It is possible to determine the performance opinions with the analytical capacity curve in order to identify effectively the moments where it is possible to reach the limit states and the ductility of the structure.

In order to determine the influence of the infill panel in the performance of the reinforced concrete frame so for this reason, it is essential to analyze the analytical capacity curve of the frame with infill panel and without infill panel.

Key words: porticated systems, infill panel, pushover analysis, analytical model, hysteretic curve, capacity curve.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación está organizado en seis capítulos detallados a continuación:

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES. Se muestra la introducción, alcance, objetivos y marco teórico; referentes al estudio de la influencia del panel de relleno en un pórtico de hormigón armado, además de la metodología que se aplicó durante la elaboración del presente trabajo de titulación.

CAPÍTULO 2: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES. En esta sección se detallan los diferentes ensayos realizados y la metodología empleada en el procesamiento de datos, para determinar las propiedades de los materiales.

CAPÍTULO 3: MODELO ANALÍTICO. Se establecen los modelos constitutivos de los materiales necesarios para la modelación preliminar, con la cual se determina la geometría definitiva del pórtico de hormigón armado con panel de relleno, además de predecir la capacidad de carga del prototipo.

CAPÍTULO 4: PROCESO CONSTRUCTIVO Y ENSAYO A CARGA LATERAL CÍCLICA. Se describen los pasos seguidos en la construcción del pórtico, igualmente se indican los equipos e instrumentos empleados en la ejecución del ensayo. Se usan materiales con las mismas propiedades que los ingresados en la modelación.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS. Se determinarán diversos parámetros asociados con los resultados del ensayo a carga lateral cíclica en el rango inelástico. Así mismo se procede a modificar ciertos parámetros hasta ajustar la curva analítica a la experimental.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Después del sismo ocurrido en Pedernales el 16 de abril del 2016, el cual presentó una magnitud de 7.8 (Mw magnitud momento), se pudo evidenciar que la mampostería fue la primera en presentar daños, desde fisuras en enlucidos hasta su colapso parcial o total. Disminuyendo así la resistencia de la estructura y poniendo en riesgo la vida de las personas.

En el diseño sismoresistente, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-CG, 2015) considera a los paneles de relleno como una carga muerta, sin analizar la interacción entre la estructura y el relleno. Belda (2014) menciona que “en la mayoría de casos los elementos de relleno no se tienen en cuenta en el diseño de estructuras frente a sismos”, además Carrillo y González (2007), indican la importancia de conocer el comportamiento inelástico local y global del sistema, evaluando la influencia del panel de relleno, principalmente cuando afectan a los elementos del sistema y su configuración.

Estudios realizados por Chicaiza (2017) indican que en la ciudad de Quito el sistema predominante son los pórticos de hormigón armado con vigas banda y paneles de relleno correspondiente al 81.6% del total de viviendas residenciales.

En la actualidad existen programas de análisis no lineal de estructuras que permiten hacer predicciones analíticas del desempeño de las mismas, como es el caso del programa SeismoStruct (2016). Estos modelos nos pueden ayudar a estimar el comportamiento de la tipología más utilizada en viviendas residenciales en la ciudad de Quito. Un adecuado modelo de predicción para pórticos con paneles de relleno debe ser comparado con resultados experimentales (Smyrou E., Blandon C., Antoniou S., Pinho R., Crisafulli F., 2011).

Por este motivo los resultados obtenidos de este trabajo van a ayudar a complementar la base de datos existentes en el país sobre el estudio de

mampostería, de igual manera este estudio permitirá seguir avanzando con la investigación de los efectos producidos por la mampostería (Paredes, P. & Fernández, L., 2010), (Zabala, O. & Zabala, J., 2006).

En el presente trabajo de investigación se realiza un ensayo a carga lateral cíclica de un pórtico con panel de relleno que considera el proceso constructivo tradicional y el uso de ciertos materiales típicos de la Ciudad de Quito, con el fin de conocer si el modelo computacional es aplicable en nuestro medio.

1.2. ALCANCE

El siguiente trabajo de investigación realiza un estudio analítico-experimental del desempeño de un pórtico de hormigón armado con panel de relleno de bloque de baja resistencia, para lo cual se realizará una modelación en el software SeismoStruct 2016, que será validada mediante un ensayo a carga lateral cíclica de un pórtico a escala real, con el propósito de comparar la curva de capacidad analítica con la curva envolvente obtenida del ensayo experimental.

Con estos resultados se permitirá conocer el comportamiento de los paneles de relleno con algunos materiales típicos de la ciudad de Quito, determinando su influencia en la rigidez, capacidad de carga, modo de falla, y disipación de energía en las estructuras.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia del panel de relleno en el desempeño de estructuras de pórticos de hormigón armado mediante modelos computacionales y ensayos experimentales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar el modelo computacional y evidenciar su aproximación con la realidad comparando los resultados del modelo analítico con los del ensayo experimental.
- Determinar criterios de desempeño obteniendo la curva de capacidad a partir de la modelación del pórtico de hormigón armado con panel de relleno utilizando el software SeismoStruct 2016.
- Determinar parámetros relacionados con el comportamiento del pórtico de hormigón armado con panel de relleno, a partir del ensayo a carga lateral cíclica de la estructura.
- Determinar el comportamiento del pórtico sin panel de relleno mediante la modelación analítica.

1.4. MARCO TEÓRICO

1.4.1. MAMPOSTERÍA

Se define como el conjunto de mampuestos (bloque o ladrillo) unidos con mortero y trabados entre ellos (NEC-SE-MP, 2014). Es el material utilizado principalmente para paredes externas y divisorias además de brindar protección contra incendios, térmica y acústica. En el ámbito arquitectónico la parte estética, textura y color es importante (Crisfulli, 1997).

1.4.2. COMPONENTES DE LA MAMPOSTERÍA

1.4.2.1. Unidades de mampuesto

Son piezas fabricadas de hormigón o arcilla, empleadas en la construcción de mampostería; de acuerdo a sus dimensiones son clasificadas como ladrillo o bloque, siendo los ladrillos de fácil manipulación. Otro método de clasificación es considerando el porcentaje de alveolos (INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

1.4.2.1.1. *Bloque hueco de hormigón*

Se trata de piezas prefabricadas con cemento, agua y áridos en forma de paralelepípedo con cavidades transversales en su interior, reduciendo el volumen de la pieza del 50% al 75% del volumen total (NTE INEN 638, 2014).

Clasificación de los bloques huecos de hormigón

Este tipo de bloque puede clasificarse de dos maneras: de acuerdo a su uso y de acuerdo a su densidad, como se muestra en el CUADRO 1. 1 y CUADRO 1. 2 respectivamente.

CUADRO 1. 1 CLASIFICACIÓN DE BLOQUES, SEGÚN SUS USOS.

CLASE	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento
	Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento
	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

FUENTE: NTE INEN 638, 2014

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 1. 2 CLASIFICACIÓN DE BLOQUES, SEGÚN SU DENSIDAD.

TIPO	DENSIDAD DEL HORMIGÓN [kg/cm ³]
Liviano	< 1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	> 2000

FUENTE: NTE INEN 638,2014

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Dimensiones

En el CUADRO 1. 3 se representan las dimensiones de largo, ancho y alto de los bloques indicados en la norma, es decir dimensiones nominales y efectivas que son las medidas tomadas del bloque. De ser necesario se podría fabricar bloques con distintas medidas, teniendo presente que las dimensiones efectivas de estos no deben variar en más de 5 mm (NTE INEN 638, 2014).

CUADRO 1. 3 DIMENSIONES DE LOS BLOQUES

TIPO	DIMENSIONES NOMINALES [cm]			DIMENSIONES EFECTIVAS [cm]		
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
A, B	40	20, 15, 10	20	39	19, 14, 09	19
C, D	40	10,15, 20	20	39	09, 14, 19	19
E	40	10, 15, 20, 25	20	39	09, 14, 19, 24	20

FUENTE: NTE INEN 638, 2014

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.2.2. Mortero de pega

Se obtiene de la mezcla de materiales cementantes, arena, agua y aditivos de ser necesario; se caracteriza por ser una mezcla homogénea que es empleada para unir los mampuestos (Gutiérrez, 2003).

Tomando como referencia la norma técnica NEC SE MP (2014) se establece que estos morteros deben cumplir ciertos lineamientos como son una buena plasticidad, consistencia, agua mínima para la hidratación del cemento y garantizar su adherencia con las unidades de mampostería.

De acuerdo a la resistencia a compresión, el mortero se clasifica en cinco tipos como se observa en el CUADRO 1. 4.

CUADRO 1. 4 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO

DESIGNACIÓN	RESISTENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*	
		[Psi]	[Mpa]
M	Alta	2500	17,2
S	Alta media	1800	12,4
N	Media	750	5,17
O	Baja media	350	2,41
K	Baja	75	0,52

*Resistencia promedio a los 28 días

FUENTE: ASTM C270, 2015

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.3. CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

La mampostería considera las funciones estructurales y arquitectónicas para su clasificación. Estableciendo las siguientes tipologías (NEC-SE-MP, 2014):

1.4.3.1. Mampostería simple

Constituida por piezas de mampostería unidas con mortero, en las que no se emplea la cantidad de acero de refuerzo suficiente para que sea definida como mampostería parcialmente reforzada.

1.4.3.2. Mampostería parcialmente reforzada

En esta tipología la mampostería a utilizar presenta perforaciones verticales en las cuales se colocan barras de refuerzo y alambres de acero.

1.4.3.3. Mampostería reforzada

Presenta la misma configuración de la mampostería parcialmente confinada, además se puede vaciar mortero de relleno en las celdas verticales en las que se ubica el refuerzo.

1.4.3.4. Mampostería de muros confinados

Se caracteriza principalmente por presentar reforzamiento con los elementos de hormigón armado que rodean el muro de mampostería.

1.4.4. TIPOS DE FALLAS

La mampostería puede presentar daños en cada uno de sus elementos y por razones diferentes ya que se trata de un material no homogéneo, por lo que no se puede suponer que la falla se da solo por una razón. Muchos tipos de fallas son posibles debido a la interacción bloque-mortero, dependiendo del estado de tensión en las juntas del mortero, el fallo puede presentarse en el mortero o en el mecanismo combinado (Andreas, 1996).

La falla en los paneles de relleno bajo la aplicación de carga lateral su pueden dividir en tres tipos fundamentalmente:

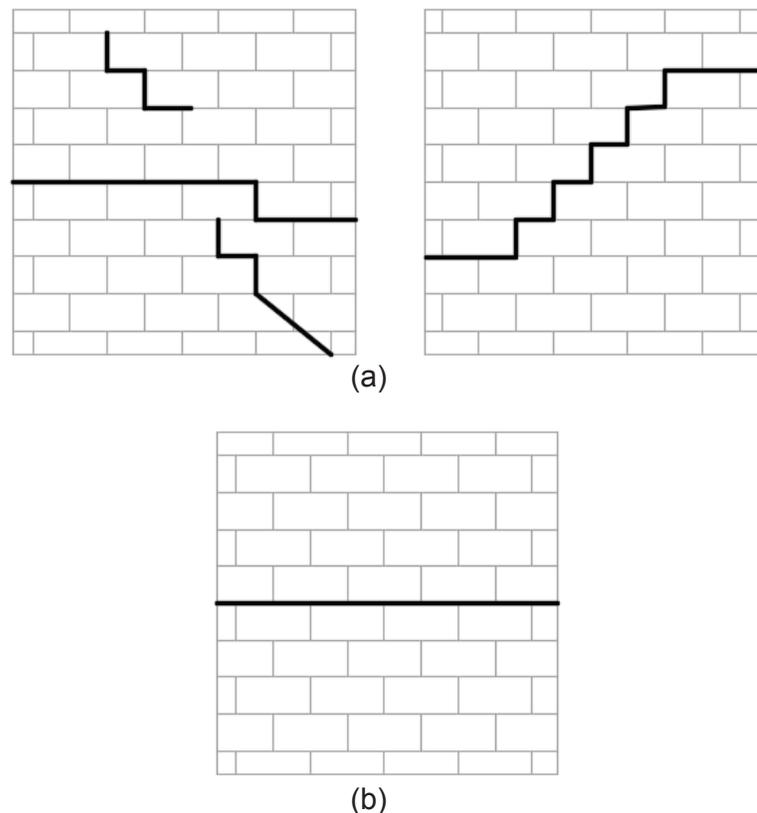
1.4.4.1. Deslizamiento de las juntas de mortero

El deslizamiento de las juntas de mortero se da cuando la tensión normal y tensión tangencial aumentan suficientemente para cortar el material como se describe la

ley de fricción de Mohr-Coulomb (Andreas, 1996). Se pueden producir las siguientes fallas con este tipo:

- Fallas limitadas a las juntas horizontales, donde el esfuerzo de corte es mayor que el esfuerzo de compresión, se observan grietas de forma lineal o escalonadas sin producir el colapso del panel. Como se muestra en la FIGURA 1.1 (a).
- Fallas a lo largo de las juntas horizontales hasta llegar al fallo del panel. FIGURA 1.1 (b).

FIGURA 1.1 MODOS DE FALLA POR DESLIZAMIENTO DE LAS JUNTAS DE MORTERO



FUENTE: Andreas, 1996

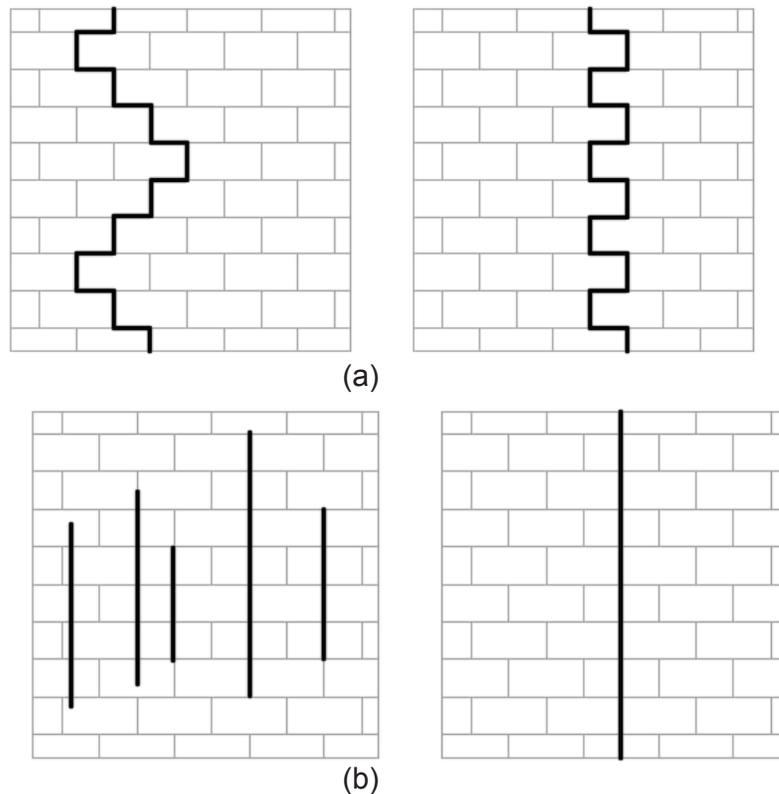
1.4.4.2. Agrietamiento de bloques y división de las juntas del mortero

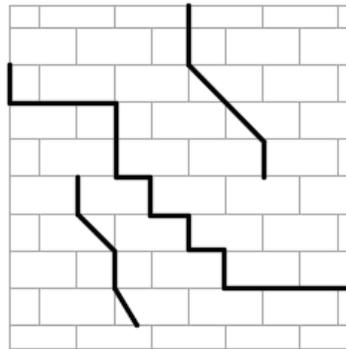
Las grietas se originan en las juntas verticales de acuerdo con las tensiones principales dentro del bloque, suponiendo un material elástico lineal el panel de relleno falla de una manera quebradiza como lo menciona el criterio de esfuerzo

máximo de tensión de Saint Venant (Andreas,1996). Dependiendo de los esfuerzos de corte y compresión a lo largo de las juntas, los fallas por este tipo pueden ser:

- Deslizamiento de las juntas horizontales y división de las juntas verticales en forma escalonada o de zigzag, la falla es una combinación de deslizamiento y fraccionamiento, que se espera para ladrillos fuertes y morteros débiles ver FIGURA 1. 2 (a).
- Separación de bloques y daño de las juntas verticales del mortero, las grietas aparecen a lo largo de las juntas verticales y por el centro del bloque, produciendo desprendimiento de tensión entre el mortero y el bloque a través de la junta vertical, ver **FIGURA 1. 2** (b).
- Fraccionamiento de bloques y deslizamiento de las juntas del mortero o combinado, ver **FIGURA 1. 2** (c).

FIGURA 1. 2 MODOS DE FALLA POR AGRIETAMIENTO DE BLOQUES Y DIVISIÓN DE LAS JUNTAS DE MORTERO.





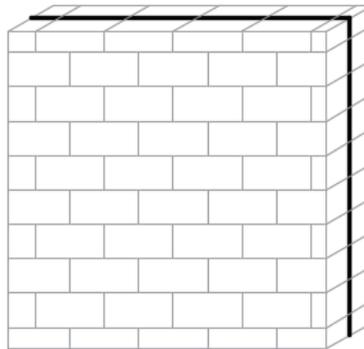
(c)

FUENTE: Andreaus, 1996

1.4.4.3. Desprendimiento en el plano medio.

En este tipo de falla el colapso del material corresponde al esfuerzo mínimo de compresión. Es el caso de compresión biaxial con tensiones de compresión muy altas con respecto a la de corte, produciendo una falla por la división de un plano paralelo a la superficie libre del panel que se presenta de una manera quebradiza (FIGURA 1. 3) (Andreaus,1996).

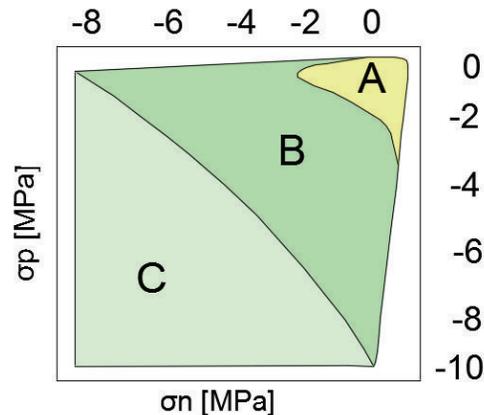
FIGURA 1. 3 MODO DE FALLA POR DESPRENDIMIENTO EN EL PLANO.



FUENTE: Andreaus, 1996

En el panel de relleno se presentan los modos de falla en función de la tensión normal (σ_n) y paralelo (σ_p) al mortero de la junta, para un corte (ζ) igual a cero.

En la FIGURA 1. 4 se observa tres regiones de acuerdo a la variación de los esfuerzos, donde la parte A se asocia con el deslizamiento de mortero, la parte B con la división y agrietamiento de los elementos, y la parte C con el modo de descascaramiento. (Andreaus,1996).

FIGURA 1. 4 MODOS DE FALLA DENTRO DEL PANEL DE RELLENO

FUENTE: Andreaus, 1996

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA

Se define como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria a un nivel de esfuerzo de 30% al 75% de la resistencia a la compresión fundamental de la mampostería ($f'm$). Un segundo método es calculando la pendiente de la línea trazada desde 0.05 $f'm$ a 0.33 $f'm$ (Crisafulli, 1997).

La mampostería está compuesta por piezas de bloque y mortero, cada elemento con distintas características esfuerzo-deformación. En base a las propiedades de los componentes se realiza un modelo analítico en el cual se asume un comportamiento elástico lineal de los materiales obteniendo la ECUACIÓN (1. 1) (Crisafulli, 1997):

$$E_m = E_b \frac{\left(\frac{b}{j} + 1\right)}{\left(\frac{b}{j} + \frac{E_b}{E_j}\right)} \quad (1. 1)$$

Donde:

E_m módulo de elasticidad de la mampostería.

E_b módulo de elasticidad del bloque.

E_j módulo de elasticidad del mortero.

b altura del bloque.

j espesor de la junta de mortero.

Además, investigadores como Sahlin (1971); Sinhad y Pedreschi (1983); Hendry (1990); San Bartolome (1990); Paulay y Priestley (1992); consideraron que es posible relacionar de alguna forma el módulo de elasticidad de los paneles de mampostería con la resistencia a la compresión ($f_{m\theta}$) del material.

En el CUADRO 1. 5 se indican rangos de variación para el módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión fundamental y tipo de fallas, según algunos investigadores (SeismoSoft, 2016).

CUADRO 1. 5 RANGOS PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

RANGO	INVESTIGADORES
400 f'm < Em < 1000 f'm	Crisafulli (1997) y Smyrou (2006)
1000 f'm	Sahlin (1971); Paulay y Priestley (1992)
350 f'm	NTCM-RCDF (2004)

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_{m\theta}$)

Representa la capacidad diagonal del panel de relleno, y se lo determina en base a cada mecanismo de falla posible. El valor más bajo de $f_{m\theta}$ será asignado como la resistencia al mecanismo de falla más probable del panel de relleno (SeismoSoft, 2016).

Bertoldi et al. (1993), ha descrito cuatro mecanismos de falla posibles, desarrollando las siguientes ecuaciones, ver CUADRO 1. 6:

CUADRO 1. 6 RESISTENCIA A LA COMPRESION SEGÚN EL TIPO DE FALLA

TIPO DE FALLA	ECUACIÓN
Tracción diagonal	$f_{m\theta} = \frac{0.6f'_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (1. 2)$
Deslizamiento	$f_{m\theta} = \frac{(1.2 \sin \theta + 0.45 \cos \theta) f'_{wu} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (1. 3)$
Compresión en esquinas	$f_{m\theta} = \frac{1.12 f'_w \sin \theta \cos \theta}{K_1 (\lambda h)^{-0.12} + K_2 (\lambda h)^{0.88}} \quad (1. 4)$
Compresión en el centro del panel	$f_{m\theta} = \frac{1.16 f'_w \tan \theta}{K_1 + K_2 \lambda h} \quad (1. 5)$

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima K. y Paredes J.

Donde:

f_{ws} : Resistencia a corte bajo tensión diagonal, determinada de acuerdo a lo indicado en el ENUNCIADO 1.5.3.

σ_v : Esfuerzo vertical de compresión debido a cargas gravitacionales (usualmente cero dado que son paneles divisorios, no portantes).

f_{wu} : Resistencia al deslizamiento de las juntas de mortero.

f'_w : Resistencia fundamental a la compresión, determinada de acuerdo a lo indicado en el ENUNCIADO 1.5.3.

λ : Parámetro adimensional de rigidez relativa, ECUACIÓN (3. 5).

h : Altura de piso

K_1, K_2 : Coeficientes expresados en función de λh

1.4.7. MÓDULO DE CORTE Y RELACIÓN DE POISSON

Para su aplicación se considera a la mampostería como un material isotrópico, donde la relación G_m/E_m varía de 0.4 a 0.45 y la relación de Poisson se encuentra en un rango de 0.1 a 0.25, (Crisafulli, 1997). Se calcula a través de la ECUACIÓN (1. 6).

$$G_m = \frac{E_m}{2(1+\nu)} \quad (1. 6)$$

Donde:

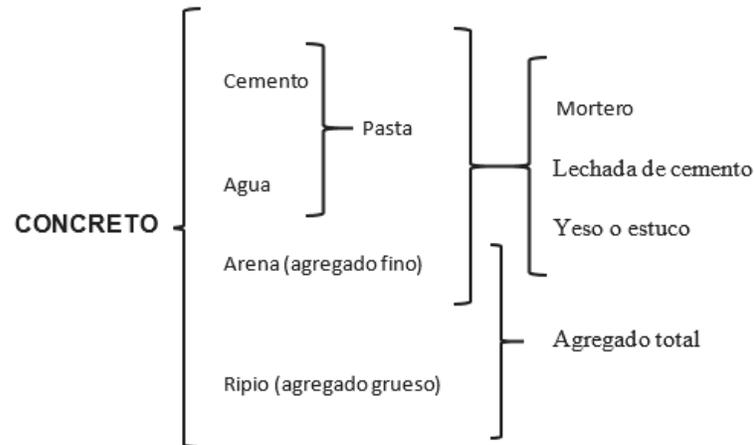
E_m : Módulo de elasticidad de la mampostería

ν : Relación de Poisson

1.4.8. HORMIGÓN

La norma NEC-SE-HM (2014) define al hormigón como la mezcla de cemento pórtland, agregado fino, grueso y agua; de acuerdo a las necesidades constructivas se establecerá el tipo de aditivo a usar de ser el caso, (FIGURA 1. 5).

En base a estudios realizados se conoce que el hormigón presenta una alta resistencia a compresión y ante sollicitaciones a tracción es frágil y débil. Con el fin de aprovechar sus propiedades se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistentes a tracción, tomando el nombre de hormigón armado.

FIGURA 1. 5 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

FUENTE: Parker, 2008

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.8.1. COMPONENTES DEL HORMIGÓN

1.4.8.1.1. *Materiales cementantes*

Son aglomerantes con propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir los agregados y formar una sola masa sólida.

1.4.8.1.2. *Agregados*

Conforman las tres cuartas partes del volumen total del hormigón. Los agregados se clasifican en finos y gruesos; los finos son conocidos como arenas y deben pasar el tamiz #4 (4,75 mm), mientras que los agregados gruesos o ripio son los retenidos. Se debe considerar la granulometría de los mismos al igual que sus propiedades mecánicas ya que determinarán el nivel de compactación del hormigón y su resistencia (Romo, 2005).

1.4.8.1.3. *Agua*

La principal función del agua se debe a que conjuntamente con el cemento producen una reacción química dando la resistencia al hormigón, además de ayudar en la manejabilidad. La NTE INEN 1108 (2014) establece el uso de agua potable.

1.4.8.1.4. Aditivos

La NTE INEN 694 (2010) define al aditivo como un material capaz de modificar ciertas propiedades de la mezcla fresca y el proceso de fraguado; se agrega a la mezcla durante el proceso de mezclado o posterior a éste. Existe una amplia variedad de aditivos los cuales se deben escoger de acuerdo a las condiciones que debe presentar el hormigón.

1.4.8.2. Curado

El proceso de fraguado del hormigón se debe a la reacción química entre el cemento y el agua formando cristales hidratados que generan calor, siendo necesario dotar de agua suficiente al hormigón especialmente en las primeras horas y días (siete días) de su fabricación, (Romo, 2005).

1.4.9. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL HORMIGÓN

Mediante el ensayo a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón se obtiene la curva esfuerzo-deformación. La parte inicial de la curva es la parte lineal representando un 40% de la resistencia última, inmediatamente superado el 70% de la resistencia de falla se tiene un comportamiento no lineal perdiendo rigidez (Nilson, 1999).

1.4.10. MODELO DE MANDER PARA EL HORMIGÓN CONFINADO

Mander (1998) propone un modelo de diagrama esfuerzo-deformación para el hormigón confinado con refuerzo transversal de forma rectangular y circular, ver FIGURA 1. 6 donde se observa que el hormigón confinado presenta mayor capacidad de carga y ductilidad a la del hormigón no confinado.

Para este modelo el esfuerzo de compresión longitudinal f_c está dado por:

$$f_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (1.7)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (1.9)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (1.10)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{co}} \quad (1.11)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (1.12)$$

Donde:

f'_c : Esfuerzo de compresión longitudinal del hormigón [MPa].

f'_{cc} : Resistencia máxima a la compresión del hormigón confinado [MPa].

f'_{co} : Resistencia máxima a la compresión del hormigón no confinado [MPa].

ϵ_c : Deformación longitudinal del concreto a compresión.

ϵ_{cc} : Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{cc} .

$2\epsilon_{co}$: Deformación correspondiente al esfuerzo f'_{co} , se asume un valor de 0.002

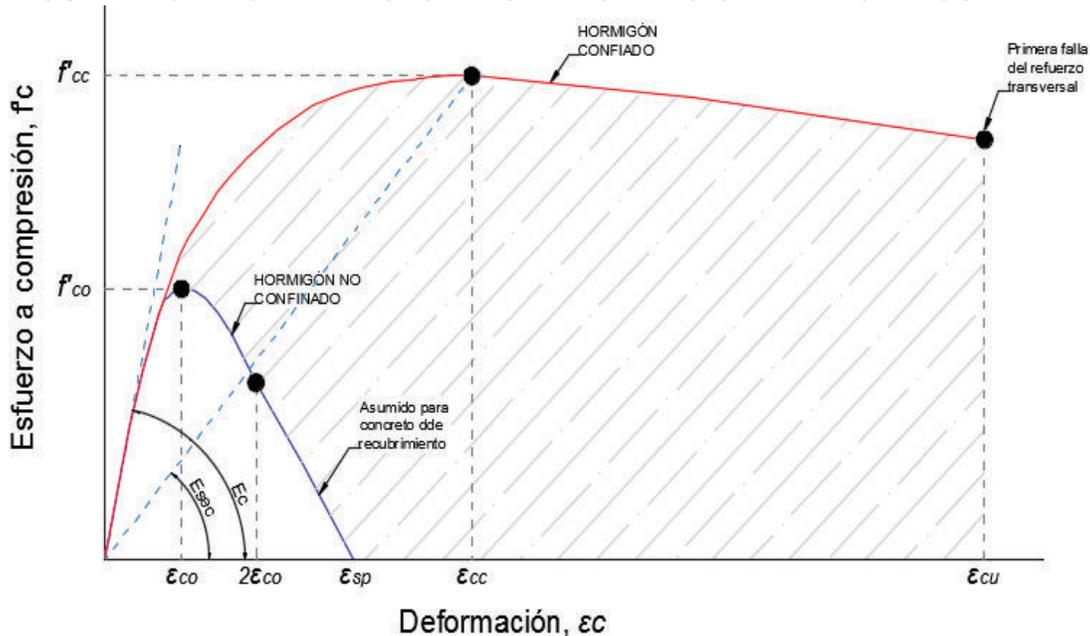
x : Relación entre deformación en un instante determinado y deformación en la resistencia máxima a la compresión del hormigón confinado.

r : Relación relativa entre módulo inicial y secante de elasticidad.

E_c : Módulo tangencial de elasticidad hormigón [MPa].

E_{sec} : Módulo secante de elasticidad del concreto en el esfuerzo máximo [MPa].

FIGURA 1. 6 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL HORMIGÓN



FUENTE: Mander, 1998
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.11. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

Es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en el rango elástico, varía respecto a la resistencia del hormigón con la que fue diseñado, la edad y las proporciones de los componentes (Cormac & Brown, 2011).

De acuerdo al ACI-318S-08 (2014) sección 8.5.1, define al módulo de elasticidad como la pendiente de la recta dibujada desde un esfuerzo nulo hasta un esfuerzo de $0,45 f'_c$.

Para concretos entre 1440 y 2560 [kg/m³] se aplica:

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \quad (1.13)$$

Para hormigones de densidad 2300 [kg/m³] se recomienda:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1.14)$$

Donde:

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón [MPa]

W_c : Peso específico del hormigón [kg/cm³]

f'_c : Resistencia a compresión del hormigón [MPa]

1.4.12. ACERO DE REFUERZO

Existen diversas áreas en las que el acero es uno de los materiales principales que aporta resistencia a tensión y compresión al hormigón, asegurando el control de momentos flectores que pueden producir agrietamientos e incluso la falla de los elementos estructurales. Esta acción se logrará alcanzando la suficiente adherencia entre el hormigón y el acero de refuerzo. Generalmente conocido como varillas que vienen en forma circular, además se pueden hallar en una extensa gama de diámetros. Son varillas corrugadas que mejoran la adherencia y de acuerdo a su grado se determinan las propiedades mecánicas (Rochel, 2007), siendo las más comunes en nuestro medio las de grado A42 y A52 con un esfuerzo de 4283 [kg/cm²] (420 MPa) y 5303 [kg/cm²] (520 MPa) respectivamente (NTE INEN 102, 2017).

1.4.12.1. Refuerzo transversal

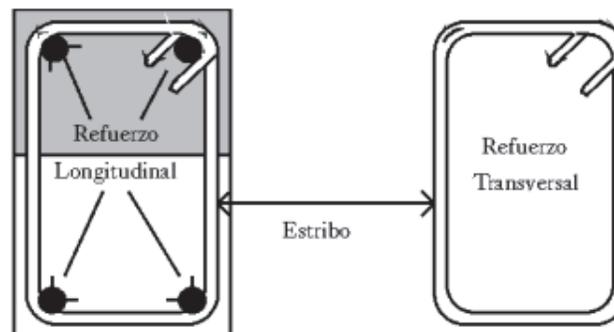
Rochel (2007), menciona que el refuerzo transversal en el hormigón armado, conocidos como estribos son los encargados de soportar las tensiones diagonales producidas por fuerzas cortantes y confinar al hormigón, para así controlar los desplazamientos laterales.

1.4.12.2. Refuerzo longitudinal

Son varillas colocadas en la dirección longitudinal del elemento, situadas en las zonas donde se producen los mayores esfuerzos de tracción para aumentar la capacidad de deformación del hormigón y disminuir las grietas (Rochel, 2007).

En la FIGURA 1. 7 se observa el armado tradicional de un elemento de sección rectangular, indicando la ubicación del refuerzo longitudinal y transversal.

FIGURA 1. 7 ARMADO TÍPICO DE UNA SECCIÓN



FUENTE: Rochel, 2007.

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.13. CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Mediante ensayos a tracción se registra la fuerza aplicada y la elongación en la varilla, con estos valores se determina la curva esfuerzo-deformación (FIGURA 1. 8) con la que se puede calcular la resistencia y rigidez del material. El esfuerzo es la relación entre la carga aplicada para el área de la sección transversal y la deformación se determina como el cociente entre el alargamiento que sufre el espécimen para la longitud inicial (Rochel, 2007).

$$\sigma = P/A \quad (1. 15)$$

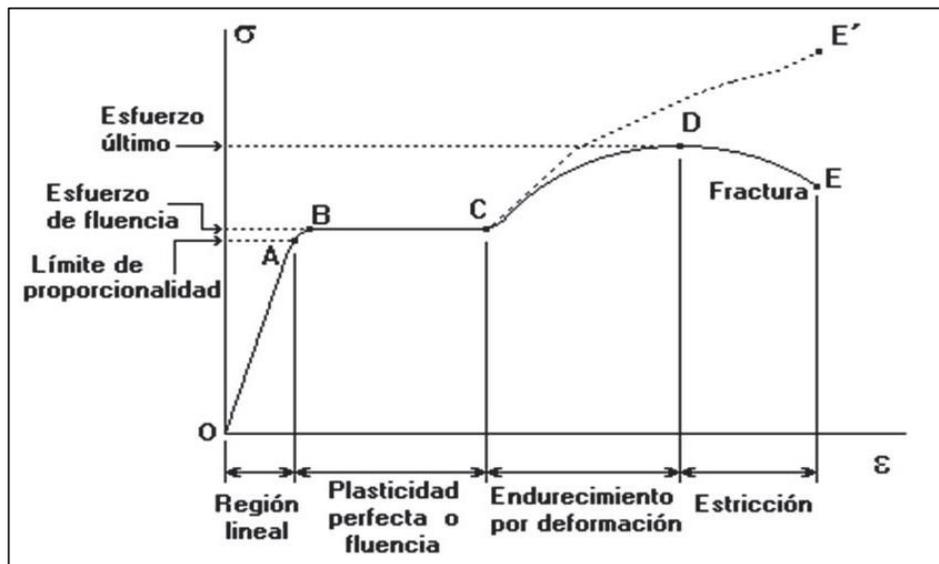
$$\varepsilon = \delta/L \quad (1. 16)$$

Donde:

- σ : esfuerzo
- P : Fuerza axial
- A : Área de la sección transversal
- ε : deformación unitaria
- δ : alargamiento
- L : Longitud inicial

Se observa que el tramo OA es el tramo elástico, donde la curva es lineal y en este se determina el módulo de elasticidad, limitada por el esfuerzo de fluencia, desde donde inicia la zona de plasticidad perfecta, en el tramo BC el material se deforma sin presentar un incremento en la fuerza aplicada, seguido de la zona plástica hasta llegar al esfuerzo de rotura tramo CE, (Meca, 2011).

FIGURA 1. 8 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO



FUENTE: Feodosiev, 1980.

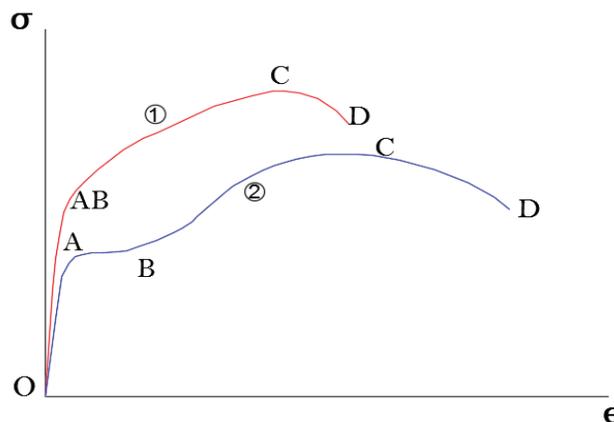
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.14. ACERO DE REFUERZO DE ALTA RESISTENCIA

Las varillas de acero de alta resistencia tienen un comportamiento elástico hasta el esfuerzo de fluencia, seguido del comportamiento plástico sin presentar una zona de fluencia definida, además tiene una capacidad alta a soportar esfuerzos de tensión pero baja capacidad de deformación exteriorizando una falla frágil, como se

muestra en la FIGURA 1. 9, además se diferencia el comportamiento entre el acero de baja resistencia (2) y uno de alta resistencia (1).

FIGURA 1. 9 COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE BAJA Y ALTA RESISTENCIA



FUENTE: Feodosiev, 1980.
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.4.15. SISTEMA ESTRUCTURAL PORTICADO

Sistema formado por vigas y columnas de hormigón armado, conectados entre sí por medio de nudos, permitiendo la transferencia de los momentos flectores y cargas axiales a las columnas. Normalmente estos pórticos son rellenos con mampostería de bloque o ladrillo.

Las ventajas que el sistema posee son las siguientes:

- Capaces de disipar grandes cantidades de energía ya que sus elementos poseen una alta ductilidad.
- Solicitaciones sísmicas pequeñas por ser estructuras muy flexibles.
- Mayor versatilidad en la distribución de los espacios.

Entre las desventajas que presenta se menciona las siguientes:

- Baja resistencia y rigidez a cargas laterales.
- Grandes desplazamientos, aumentando las derivas y afectando a los elementos no estructurales.
- El sistema está limitado a estructuras de baja y mediana altura, en el caso que los niveles se aumenten las dimensiones de las columnas serían mayores.

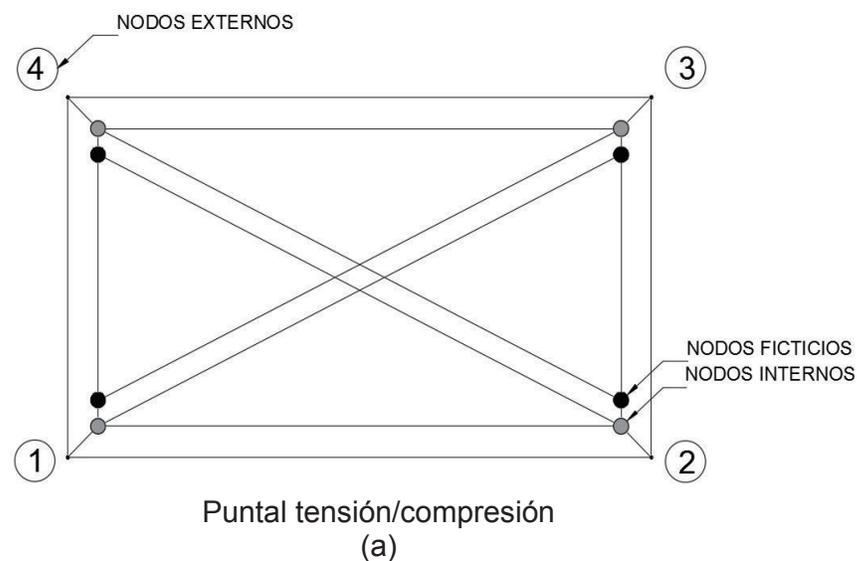
1.4.16. SISTEMAS PORTICADOS CON PANELES DE RELLENO

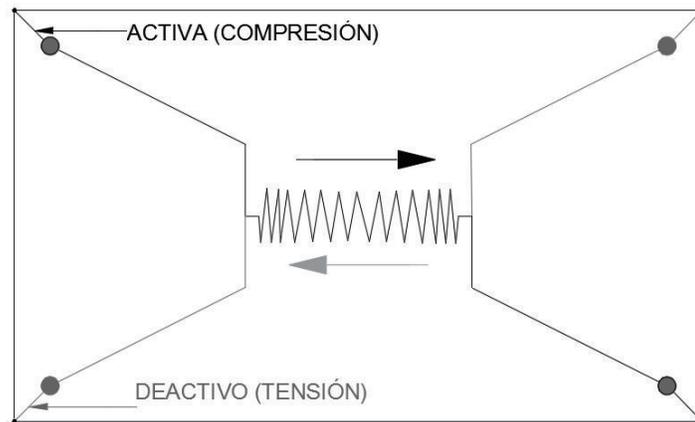
Para el estudio de sistemas porticados con paneles de relleno se deben considerar las características particulares de la mampostería como: el comportamiento inelástico no lineal, la difícil determinación de sus propiedades mecánicas y su interacción con el pórtico.

Estudios presentados por Crisafulli & Carr (2007), proponen un macromodelo para la evaluación de la respuesta global de este sistema, a través de un elemento tipo panel de 4 nodos para el modelado de la respuesta no lineal, donde se explica por separado el comportamiento de compresión y corte del panel de relleno.

El panel está representado por seis bielas, 2 puntales en cada dirección diagonal para simular el efecto del relleno ver FIGURA 1. 10 (a), y un resorte de corte en direcciones opuestas para caracterizar la fricción y deslizamiento de las juntas del mortero como se observa en la FIGURA 1. 10 (b).

FIGURA 1. 10 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO PARA EL PANEL DE RELLENO





Resorte de corte

(b)

FUENTE: Crisafulli & Carr, 2007

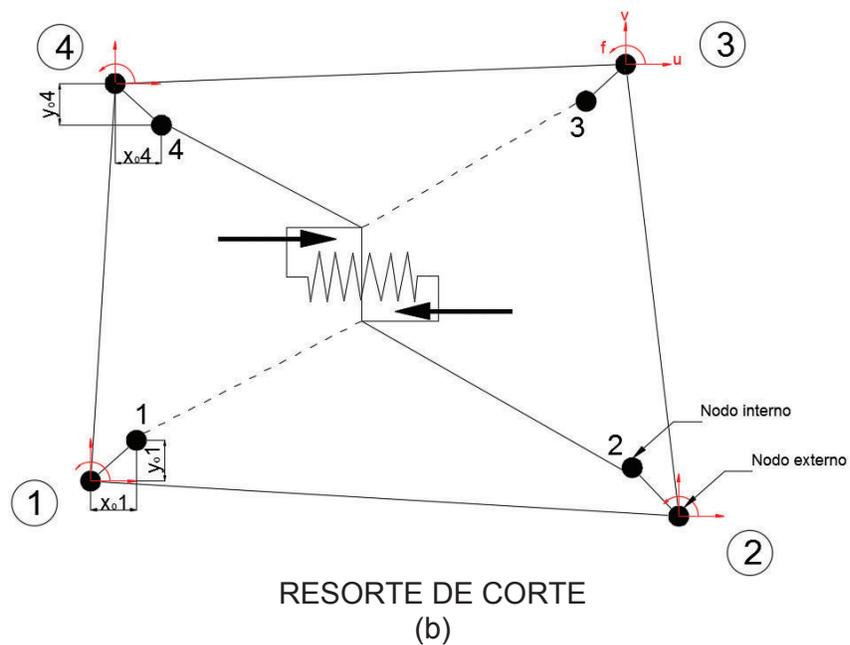
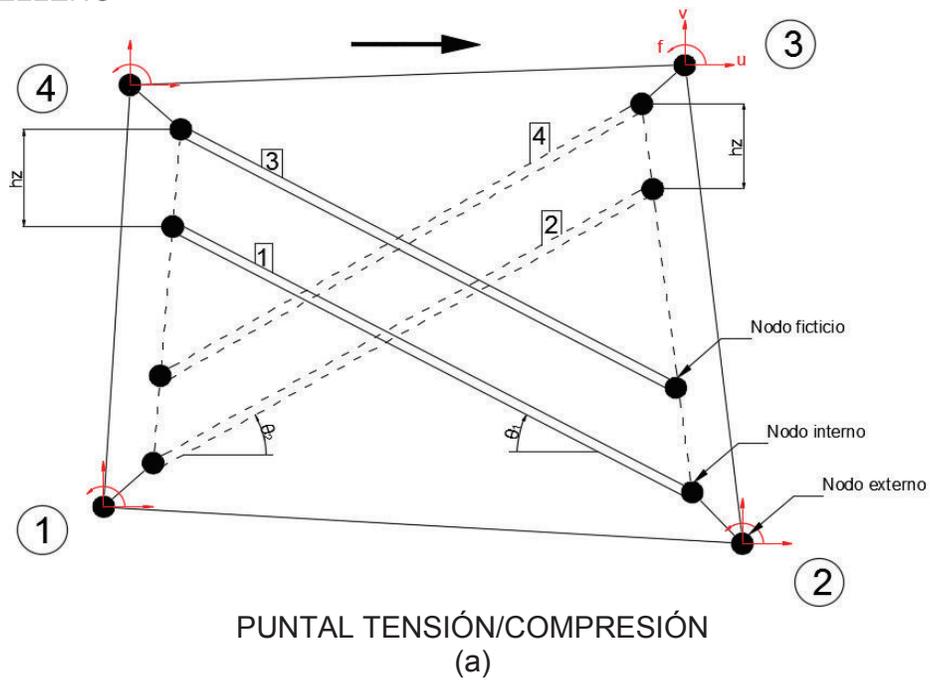
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Los puntales están conectados a un nodo interno y al otro extremo a un nodo ficticio, como se muestra en la FIGURA 1. 10 (a), el resorte de corte está conectado a dos nodos internos diagonalmente opuestos dependiendo de la dirección de la fuerza de corte (FIGURA 1. 10, b).

Considerando de esta manera tres conjuntos de nodos: externos, internos y ficticios. Los nodos externos son los que se conectan al panel con los ejes de los elementos del pórtico, los nodos internos son las esquinas del panel y los nodos ficticios son los extremos del puntal que no están conectados con el nodo interno.

En cada nodo externo e interno se consideran tres grados de libertad, dos de translación y una de rotación, en los nodos ficticios se toman en cuenta 2 grados de libertad de traslación por nodo (FIGURA 1. 11).

FIGURA 1. 11 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL MODELO DEL PANEL DE RELLENO



FUENTE: Crisafulli & Carr, 2007
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.5. METODOLOGÍA

1.5.1. ENSAYOS EN PIEZAS DE BLOQUES

Para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques huecos de hormigón se somete a la pieza a una carga progresiva de compresión, hasta determinar su resistencia máxima admisible. Deben usarse bloques enteros y haber sido refrendados para evitar la concentración de esfuerzos en ciertas áreas de la pieza. Se coloca la muestra centrándola en la máquina que aplicará la carga gradualmente a una velocidad constante. (NTE INEN 640, 1993)

La resistencia a la compresión se calcula por la ecuación siguiente:

$$f_p = \frac{P}{S} \quad (1. 17)$$

Donde:

f_p : La resistencia a la compresión, [MPa]

P : La carga de rotura [N]

S : Superficie bruta de la cara comprimida del bloque, [mm²]

1.5.2. ENSAYOS DEL MORTERO

Para la determinación de la resistencia a compresión del mortero se realizan ensayos en cubos de 50 [mm] de lado, las muestras se toman en moldes de tres compartimentos que son compactados y apisonados en dos capas. El curado de las muestras se realiza el primer día en sus moldes, luego son desencofrados y sumergidos en agua hasta ser ensayados. La resistencia máxima admisible se determina mediante ensayos, el cual consiste en aplicar una carga compresiva a los especímenes (NTE INEN 488, 2009).

La carga se debe aplicar en las caras que estuvieron en contacto con las superficies planas del molde, hasta llegar a la carga máxima de ensayo y calcular la resistencia a la compresión con la siguiente ecuación:

$$f_j = \frac{P}{A} \quad (1. 18)$$

Dónde:

f_j : Resistencia a la compresión [MPa].

P : Carga total máxima de falla [N].

A : Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica la carga [mm²].

1.5.3. ENSAYOS EN MURETES DE MAMPSOTERIA

1.5.3.1. Resistencia a la compresión (f'_w)

Los prismas a ensayarse deben construirse de manera que reflejen la realidad, para lo cual se debe emplear los mismos materiales y mano de obra que se utilizara en la estructura.

El espécimen tendrá un espesor igual al de los muros o vigas de la estructura, la longitud debe ser mayor o igual a la longitud de la unidad de albañilería y la altura debe cumplir mínimo tres hiladas, donde la relación altura-espesor debe ser mayor o igual a 3, (NTE INEN-NEC-SE-MP 26-6, 2014).

Para la determinación de la resistencia a compresión de la mampostería, se aplica una carga perpendicular en el centro de la cara superior del prisma la cual debe estar alineada con el centro de la máquina, la carga debe ser aplicada de manera continua a una velocidad uniforme hasta alcanzar la carga máxima.

Los ensayos se realizarán a los 28 días, ya que a esta edad se alcanza la resistencia que se tomara como base del diseño, sin embargo, después de este periodo la resistencia sigue aumentado.

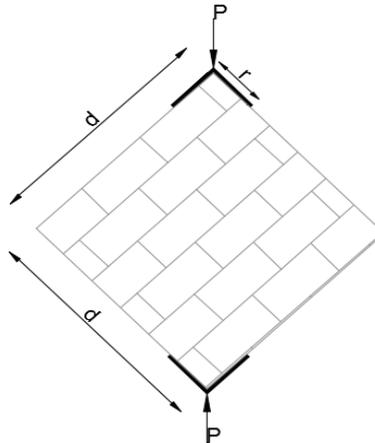
La resistencia a compresión debe calcularse como la relación entre la carga máxima en N y el área de la sección transversal en mm². Los resultados deben expresarse en MPa. (NTE INEN-NEC-SE-MP 26-6, 2014).

1.5.3.2. Resistencia a corte bajo tensión diagonal (f_{ws})

Este ensayo determina la resistencia a corte, aplicando cargas de compresión a lo largo de la diagonal del murete (FIGURA 1. 12), produciendo la falla de tensión diagonal, (ASTM E519/E519M, 2015).

Los muretes deben ensayarse a los 28 días, aplicando la carga de forma continua hasta alcanzar el agrietamiento diagonal.

FIGURA 1. 12 ENSAYO A COMPRESIÓN DIAGONAL



FUENTE: CPE INEN-NEC-SE-MP 26-6, 2014
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La resistencia a la tensión diagonal se determina de la siguiente manera:

$$S_s = \frac{0.707 * P}{A_n} \quad (1. 19)$$

Donde:

S_s : esfuerzo de corte sobre área neta [MPa].

P : carga aplicada, [N]

A_n : área neta del murete, [mm²] definida a continuación.

$$A_n = \left(\frac{w+h'}{2} \right) * t * n \quad (1. 20)$$

Dónde:

w : anchura del murete [mm]

h' : altura del murete [mm]

t : espesor total del murete [mm]

n : porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida, expresada en decimales

1.5.4. ANALISIS COMPUTACIONAL PREVIO

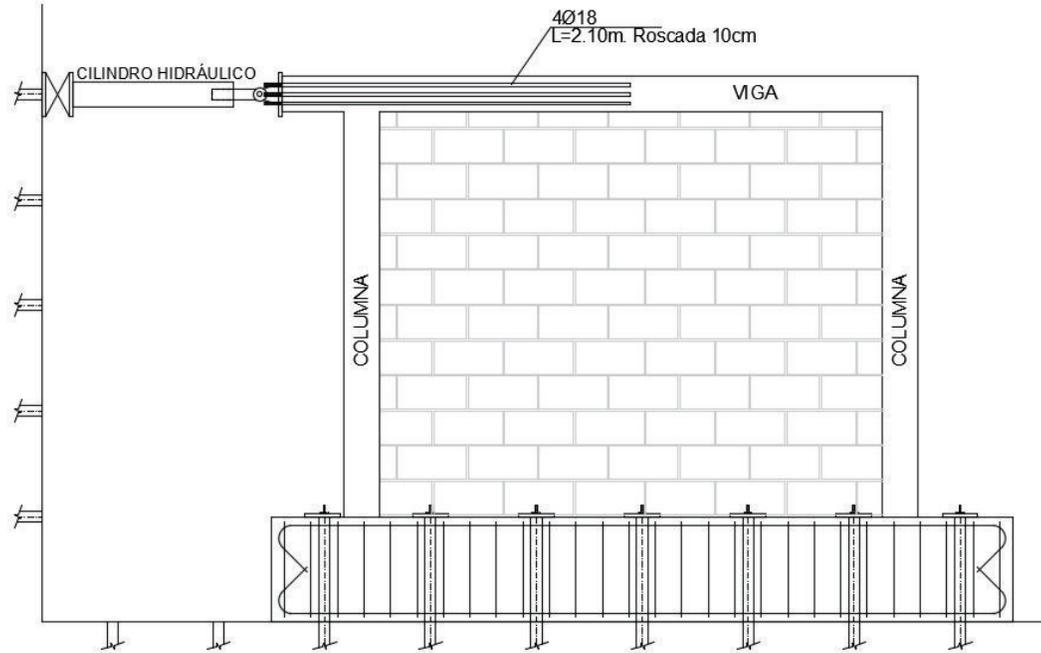
Para una mejor idealización de la influencia del panel de relleno en el pórtico de hormigón armado se realiza el modelo en el software SeismoStruct 2016, en función de las propiedades mecánicas de los materiales determinadas mediante ensayos experimentales. Este modelo preliminar permite la obtención de la curva de capacidad para determinar la carga máxima esperada en el ensayo, nivel de degradación del panel y niveles de daño, además nos permite predecir y asegurar una capacidad de carga menor a 20000 [kg] (20 T), ya que se dispone de una celda de carga capaz de registrar hasta 20000 [kg] (20 T) en la realización de ensayos cíclicos bidireccionales.

Para la modelación del pórtico con panel de relleno es necesario definir ciertos lineamientos: propiedades de los materiales constitutivos, modelo de los elementos del pórtico, modelo del panel de relleno, parámetros mecánicos, geométricos y empíricos.

Para la generación del modelo se utilizará un análisis pushover, obteniendo la curva de capacidad y criterios de desempeño.

1.5.5. ENSAYOS EN PÓRTICOS

Para la caracterización del comportamiento del pórtico y sus elementos, se debe realizar el ensayo a carga lateral cíclica creciente hasta alcanzar el fallo de la estructura, la carga se aplica mediante un cilindro hidráulico de doble efecto, en el extremo de la viga superior, en dirección paralela al muro, cómo se muestra en la FIGURA 1. 13.

FIGURA 1. 13 DETALLE DEL ENSAYO EN LOS PÓRTICOS

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

1.5.6. CALIBRACIÓN DEL MODELO PARA EL PÓRTICO CON PANEL DE RELLENO A TRAVÉS DEL RESULTADO EXPERIMENTAL.

Con la obtención de la curva de capacidad envolvente del pórtico ensayado y la curva de capacidad del modelo preliminar, se realiza la comparación de los resultados analíticos con los experimentales para evaluar la precisión del modelo. Finalmente, con la calibración del modelo computacional se podrá representar la respuesta del desempeño del panel de relleno en sistemas aperticados.

CAPÍTULO 2

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

2.1. HORMIGÓN

Para los elementos de hormigón armado del pórtico como: cimentación, viga y columnas se realizó el ensayo de 3 probetas por elemento. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales (LEMSUR), ver ANEXO 1.

En la FOTOGRAFÍA 2. 1, se pueden observar las muestras de hormigón, la ejecución del ensayo y uno de los tipos de falla presentado.

FOTOGRAFÍA 2. 1 CILINDROS DE HORMIGÓN



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En base a los ensayos realizados se determina la resistencia a la compresión, la carga máxima, el peso específico y el módulo de elasticidad que se determina en base a la ECUACION (2. 1), estos resultados se muestran a continuación en el CUADRO 2. 1)

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \quad (2. 1)$$

CUADRO 2. 1 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN

PARÁMETRO	CIMENTACIÓN	COLUMNA	VIGA	UNIDADES
$f'c$	289.33	281.67	222.00	kg/cm ²
Carga máxima	51990	51570	41180	kg
Módulo de elasticidad, E_m	212622.514	251743.92	186245.80	kg/cm ²
Peso específico	2248.67	2173.33	2147.67	kg/m ³

FUENTE: LEMSUR, 2016

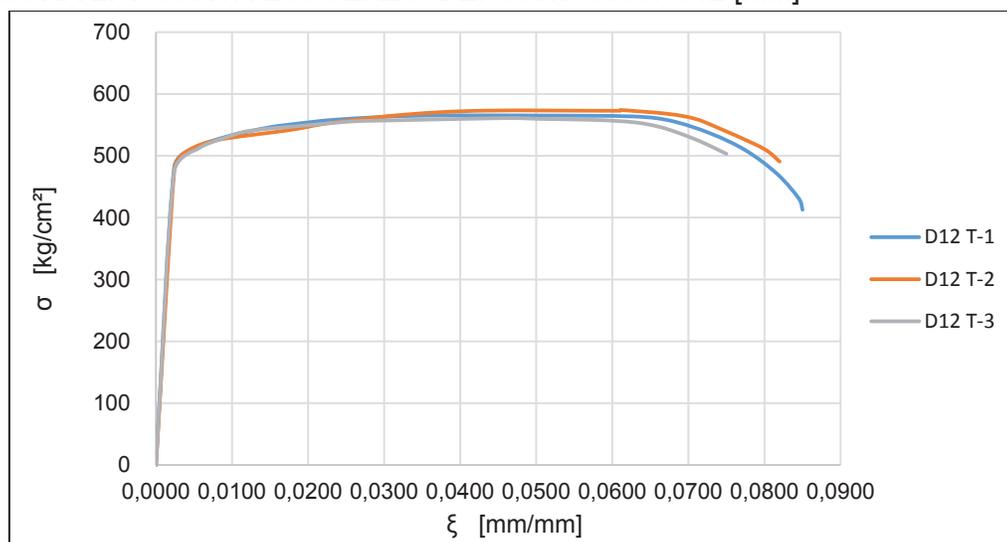
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.2. ACERO DE REFUERZO

En la viga y columnas se utilizan elementos prefabricados con acero de refuerzo de alta resistencia, vigentes en el mercado que poseen dimensiones estándar, siguiendo la recomendación de Quijia, N. & Vaca, L. (2016) se realizó el ensayo de un pórtico con estos elementos.

Para la determinación de las propiedades se realizaron ensayos de tracción a tres varillas de 12 [mm] y tres de 9 [mm] de diámetro (ANEXO 1), en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV), los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación.

En la FIGURA 2. 1 se muestra la curva esfuerzo deformación de las tres probetas ensayadas, las cuales muestran la misma tendencia y en base a la metodología indicada se determina sus propiedades indicadas en el CUADRO 2. 2.

FIGURA 2. 1 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN Ø12 [mm]

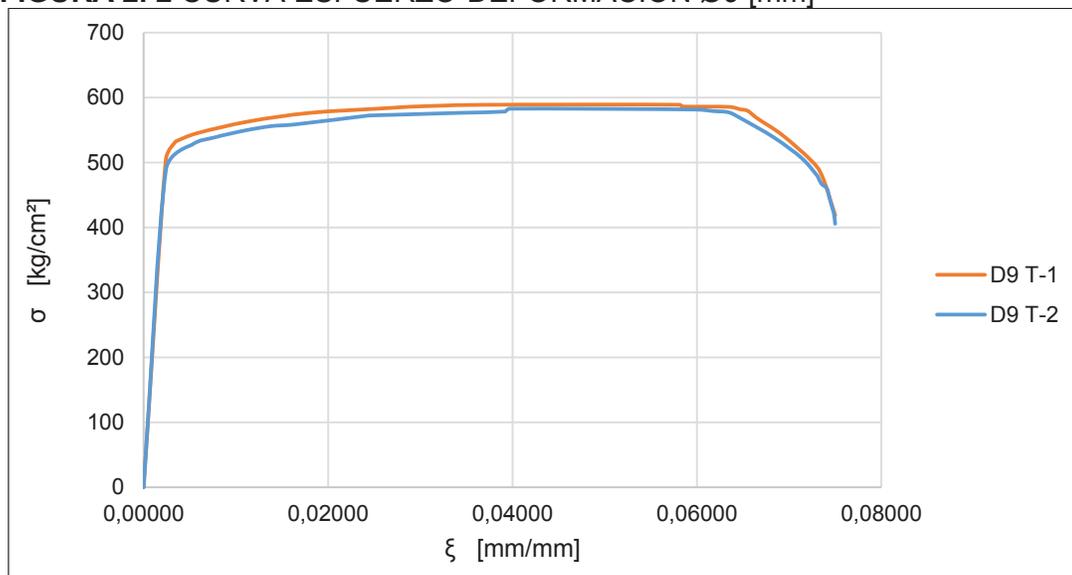
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 2. 2 PROPIEDADES VARILLA Ø12 [mm]

PROPIEDADES VARILLA 12 [mm]		
Módulo de elasticidad, E	2026693.5	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia, fy	4864.04	kg/cm ²
Deformación en el punto de fluencia, ξy	0.0024	mm/mm
Esfuerzo en la carga pico, fu	5778.39	kg/cm ²
Deformación en la carga pico, ξu	0.0522	mm/mm
Esfuerzo de rotura, fr	4780.64	kg/cm ²
Deformación en el punto de rotura, ξr	0.0807	mm/mm

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En la FIGURA 2. 2 se muestra la curva esfuerzo deformación de varillas Ø9 [mm], para dos de las tres probetas ensayadas ya que se descartó una debido a la dispersión de sus valores y en base a la metodología indicada se determina sus propiedades indicadas en el CUADRO 2. 3.

FIGURA 2. 2 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN Ø9 [mm]

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 2. 3 PROPIEDADES VARILLA Ø9 [mm]

PROPIEDADES VARILLA 9 [mm]		
Módulo de elasticidad, E	2100849.4	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia, fy	5062.8	kg/cm ²
Deformación en el punto de fluencia, ξy	0.0024	mm/mm
Esfuerzo en la carga pico, fu	5975.4	kg/cm ²
Deformación en la carga pico, ξu	0.0489	mm/mm
Esfuerzo de rotura, fr	4204.39	kg/cm ²
Deformación en el punto de rotura, ξr	0.075	mm/mm

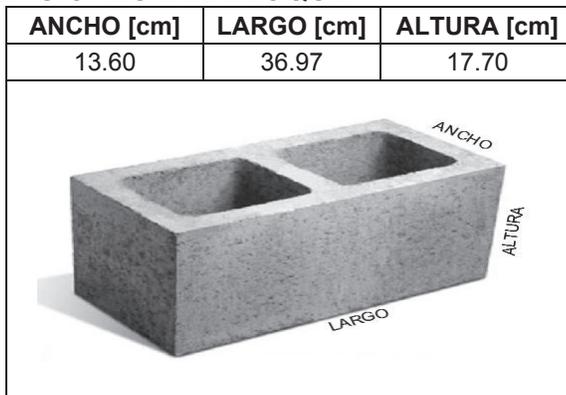
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.3. BLOQUE

Para la construcción del panel de relleno se utilizó un bloque de hormigón de baja resistencia, de acuerdo a la clasificación detallada en el CUADRO 1. 1 el bloque se cataloga como clase D. La geometría que presenta el bloque se detalla en el CUADRO 2. 4.

CUADRO 2. 4 DIMENSIONES DEL BLOQUE

ANCHO [cm]	LARGO [cm]	ALTURA [cm]
13.60	36.97	17.70



El diagrama muestra un bloque de hormigón rectangular con un hueco central dividido en dos compartimentos. Las dimensiones están etiquetadas como ANCHO (ancho del bloque), LARGO (longitud del bloque) y ALTURA (altura del bloque).

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE (f_p)

Las muestras de tres bloques fueron ensayadas en el LEMSUR (ver ANEXO 1), en la FOTOGRAFÍA 2. 2 se observa el ensayo de uno de los especímenes empleando la máquina de ensayos para la resistencia a compresión, además se colocó placas de neopreno para la distribución uniforme de la carga.

FOTOGRAFÍA 2. 2 ENSAYO A COMPRESIÓN DE BLOQUES



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La resistencia a la compresión de las piezas de mampostería se determinó usando la siguiente ecuación (NTCM-RCDF, 2004):

$$f_p = \frac{\bar{f}_p}{1+2.5 C_p} \quad (2. 2)$$

Donde:

f_p resistencia a compresión de las piezas

\bar{f}_p media de resistencia a compresión de las piezas

C_p coeficiente de variación de la resistencia a compresión, que para piezas fabricadas artesanalmente no puede ser menor que 0.35

$$C_p = \frac{s}{\bar{f}_p} \quad (2. 3)$$

s desviación estandar del número de muestras.

En el CUADRO 2. 5 se muestran los resultados de las ecuaciones aplicadas, donde se obtiene un valor de resistencia mucho menor a la media tratando de ser conservadores.

CUADRO 2. 5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE

	VALOR	UNIDADES
\bar{f}_p	9.99	kg/cm ²
S	1.18	kg/cm ²
Cp	0.35	---
Fp	5.33	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.3.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA

Se determinará el módulo de elasticidad (E_b) de acuerdo a investigaciones experimentales realizadas por Kirtsching (1985) según la ECUACIÓN (2. 4) obteniendo el valor indicado en el CUADRO 2. 6.

$$E_b = 980 * f_p^{0.77} \quad (2. 4)$$

CUADRO 2. 6 PROPIEDADES DEL BLOQUE

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
f_p	5.33	kg/cm ²
P_{max}	5000	kg
Peso específico	1420.62	kg/m ³
E_b	6063.71	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.4. MORTERO

Para determinar el peso específico y resistencia a la compresión del mortero de pega se ensayaron 3 probetas cubicas, las muestras fueron tomadas en moldes de tres compartimentos compactadas en dos capas como se muestra en la FOTOGRAFÍA 2. 3, en el LEMSUR. (ANEXO 1).

FOTOGRAFÍA 2. 3 MUESTRAS CUBICAS DE MORTERO

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO (f_j)

La resistencia a la compresión se determinó bajo la siguiente expresión (NTCM-RCDF, 2004):

$$f_j = \frac{\bar{f}_j}{1+2.5 C_j} \quad (2. 5)$$

Donde:

\bar{f}_j media de la resistencia a compresión de cubos de mortero

C_j coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero, > 0.2

$$C_j = \frac{s}{\bar{f}_j} \quad (2. 6)$$

En el CUADRO 2. 7 se muestran los resultados de las ecuaciones 2.5 y 2.6, donde se obtiene un valor de resistencia del mortero menor a la media representativo de las muestras.

CUADRO 2. 7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

	VALOR	UNIDADES
\bar{f}_j	118.63	kg/cm ²
S	10.47	kg/cm ²
Cj	0.20	---
Fj	79,08	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.4.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL MORTERO DE PEGA

En base a las ecuaciones sugeridas por Crisafulli (1997) se emplea la ECUACIÓN (2. 7).

$$E_j = 43 \rho^{1.5} \sqrt{f_j} \quad (2. 7)$$

Donde:

ρ peso específico del mortero en [kN/m³]

Las propiedades del mortero se muestran a continuación:

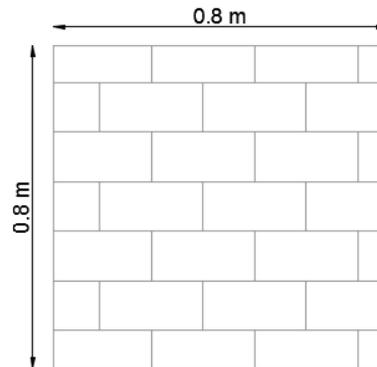
CUADRO 2. 8 PROPIEDADES DEL MORTERO

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
fj	79.08	kg/cm ²
Pmax	3068.00	kg
Peso esp	2010.00	kg/m ³
Ej	106863.55	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.5. MAMPOSTERÍA

Para la determinación de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a tensión diagonal del panel de relleno que se utilizará en el pórtico. Se realizaron ensayos a compresión y tensión diagonal de seis muretes (tres en compresión y tres en tensión diagonal) en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV-EPN) como se menciona en el apartado 1.5.3. Los muretes fueron construidos con materiales de la ciudad de Quito y sus dimensiones fueron de 0.8 [m] de largo por 0.8 [m] de alto y 0.142 [m] de espesor.

FIGURA 2. 3 DIMENSIONES DE LOS MURETES

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

FOTOGRAFÍA 2. 4 MURETES

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.5.1. ESFUERZO DE COMPRESION MEDIANTE ENSAYOS EN MURETES

En la FOTOGRAFÍA 2. 5 se puede observar la aplicación de carga a compresión sobre el murete, para este ensayo se usa un marco de carga al cual está conectado a un cilindro hidráulico y la celda de carga.

FOTOGRAFÍA 2. 5 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MURETES



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Del ensayo realizado se obtiene la curva carga-desplazamiento, de la cual se puede obtener el diagrama esfuerzo-deformación unitaria mostrada en la FIGURA 2. 4, donde se puede observar que el esfuerzo máximo de los tres ensayos presenta una variación pequeña entre 7 y 8 [kg/cm²] y una deformación unitaria de aproximadamente 0,006.

Los resultados de los ensayos son analizados bajo la NTCM-RCDF (2004). El procesamiento de datos obtenidos en los ensayos a compresión se realiza mediante la ECUACIÓN (2. 8), para la determinación del esfuerzo a compresión.

$$f'_w = \frac{\overline{f}_w}{1+2.5 C_m} \quad (2. 8)$$

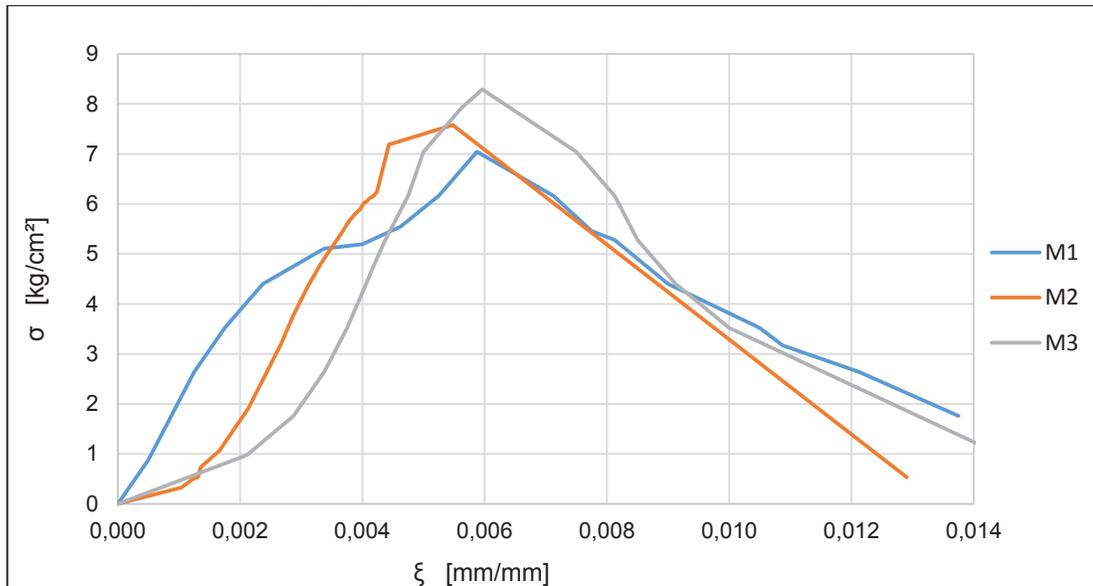
Donde:

\overline{f}_w : media de la resistencia a compresión corregida por esbeltez.

C_m : coeficiente de variación de la resistencia a la compresión de muretes, ≥ 0.15

$$C_m = \frac{s}{\overline{f}_j} \quad (2. 9)$$

FIGURA 2. 4 GRÁFICA ESFUERZO DE COMPRESIÓN-DEFORMACIÓN UNITARIA PARA MURETES



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En el CUADRO 2. 9 y CUADRO 2. 10 se observan los esfuerzos de resistencia a la compresión corregidos por esbeltez de los tres muretes y los resultados obtenidos respectivamente.

CUADRO 2. 9 ESFUERZO DE COMPRESIÓN POR MURETE

MURETES	ESBELTEZ	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDO [kg/cm ²]
M1	5.63	1.08	7.71
M2	5.63	1.08	8.19
M3	5.63	1.08	8.96

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 2. 10 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MURETE

\bar{f}'_w	8.25	Kg/cm ²
S	0.68	---
Cm	0.15	---
f'_w	6.00	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.5.2. ESFUERZO DE CORTE MEDIANTE ENSAYOS DE TENSIÓN DIAGONAL EN MURETES

En la FOTOGRAFÍA 2. 6 se observa uno de los ensayos a compresión diagonal, donde la aplicación de la carga se da a través del cilindro hidráulico en la diagonal del murete

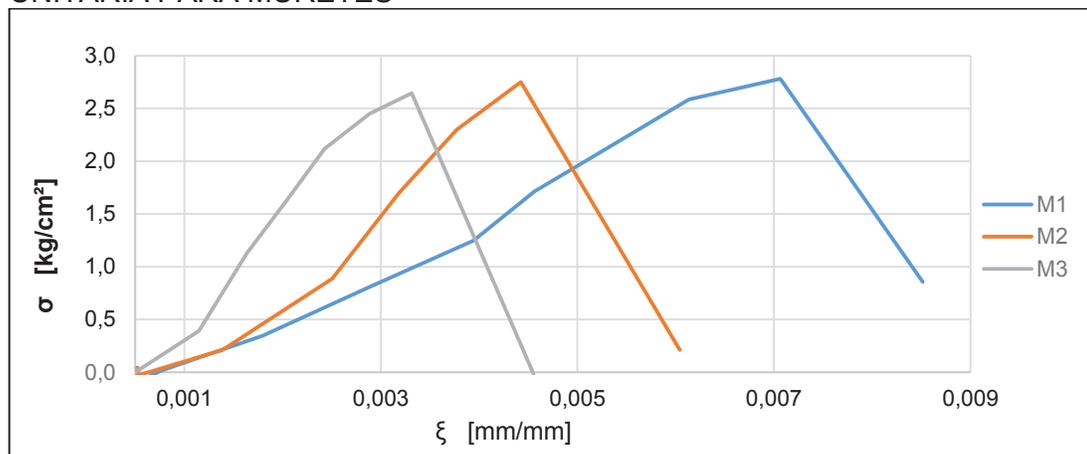
FOTOGRAFÍA 2. 6 ENSAYO DE TENSION DIAGONAL DE MURETES



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Del ensayo se obtiene la curva carga-desplazamiento y para el cálculo de los esfuerzos se utilizan las ecuaciones 1.19 y 1.20 obteniendo las curvas presentadas en la FIGURA 2. 5.

FIGURA 2. 5 GRÁFICA ESFUERZO DE TENSIÓN DIAGONAL-DEFORMACIÓN UNITARIA PARA MURETES



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Los resultados de los ensayos son analizados bajo la NTCM-RCDF (2004) para lo cual se aplica la ECUACIÓN (2. 10).

$$f_{ws} = \frac{\overline{f_{ws}}}{1+2.5 C_v} \quad (2. 10)$$

Donde:

$\overline{f_{ws}}$: media del esfuerzo máximo de corte de muretes.

C_v : coeficiente de variación de la resistencia a tensión diagonal de muretes, que en ningún caso se tomará inferior a 0.20.

$$C_v = \frac{s}{\overline{v_m}} \quad (2. 11)$$

Procesando los datos se obtienen los siguientes resultados:

CUADRO 2. 11 ESFUERZO DE TENSION DIAGONAL POR MURETE

MURETE	CARGA MAX [kg]	ÁREA [m ²]	f _{ws} [kg/cm ²]
M1	2234.14	0.0568	2.78
M2	2209.56	0.0568	2.75
M3	2124.63	0.0568	2.65

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 2. 12 RESISTENCIA A TENSION DIAGONAL DEL MURETE

$\overline{f_{ws}}$	2.73	Kg/cm ²
s	0.072	Kg/cm ²
Cv	0.20	- - -
$\overline{f_{ws}}$	1.82	Kg/cm ²

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

2.5.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m)

Para el cálculo del módulo de elasticidad de la mampostería se utilizarán algunas referencias, mencionadas en Capítulo 1. En el CUADRO 2. 13 se indican los valores de E_m de acuerdo a cada uno de las formas de cálculo indicadas en el apartado 1.4.5.

CUADRO 2. 13 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA

MÓDULO DE ELASTICIDAD [kg/cm ²]	
PENDIENTE GRÁFICA	1908.00
CRISAFULLI	6666.30
400*f'm	2399.82
1000*f'm	5999.55

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CAPÍTULO 3

MODELO ANALÍTICO

Con el fin de hacer predicciones analíticas del desempeño del pórtico de hormigón armado con panel de relleno se realiza la modelación en el software SeismoStruct 2016, dentro de la librería de este programa se encuentran modelos no lineales de la respuesta de este tipo de sistemas. Para evaluar la influencia del panel de relleno en el comportamiento del pórtico se consideran los modelos constitutivos de los materiales antes estudiados, estos serán ingresadas en la modelación, (ANEXO 2).

En el programa se encuentran disponibles varias secciones de hormigón armado, además se tiene en cuenta el comportamiento inelástico de los materiales y la no linealidad geométrica; la aplicación de cargas puede ser constante o variable.

El programa cuenta con ocho tipos de análisis diferentes: tiempo-historia estático y dinámico, pushover convencional y adaptativo, análisis dinámico incremental, eigenvalores, carga estática no variable y análisis espectral. Para el desarrollo de este capítulo se usará el análisis pushover convencional.

SeismoStruct permite la estimación de daño, determinación de la carga de colapso de una estructura, visualizar en tiempo real la curva carga-desplazamiento, el gráfico de la deformada de la estructura, además de establecer criterios de performance que permiten identificar cuando los distintos estados límites de desempeño son alcanzados.

En este capítulo se generará el modelo de un pórtico de hormigón armado con panel de relleno, en función de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos determinados experimentalmente y la geometría definida en el apartado 3.1.

Esto sin embargo requiere una calibración fina del modelo, que se consigue después de varios ajustes y comparando con los resultados obtenidos del ensayo experimental.

3.1. GEOMETRÍA PRELIMINAR DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

Las secciones para columnas y viga serán definidas previamente por los elementos prefabricados disponibles en el mercado, como se observa en el CUADRO 3. 1.

CUADRO 3. 1 SECCIONES Y ACERO DE REFUERZO PARA COLUMNAS Y VIGA

ELEMENTO	DETALLE	ACERO DE REFUERZO
COLUMNAS		<p>Longitudinal: 4 varillas de $\varnothing 12$ mm</p> <p>Estribos: $\varnothing 6$ cada 7.5 – 15 – 7.5 cm</p>
VIGAS		<p>Longitudinal: 4 varillas de $\varnothing 9$ mm</p> <p>Estribos: $\varnothing 5.5$ cada 7.5 – 15 – 7.5 cm</p>

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

De acuerdo a la NEC-SE-VIVIENDA (2014), la altura de entrepiso máxima es 2.5 [m] y luces de hasta 4[m] para viviendas de uno y dos pisos. Se adoptará valores de 2.4[m] para la longitud de las columnas y 3.05 [m] para la viga, que se utilizarán en el modelo preliminar.

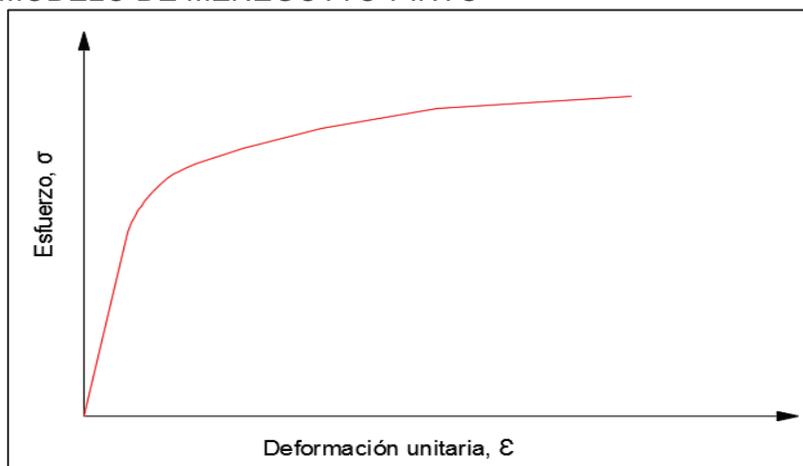
3.2. MODELOS CONSTITUTIVOS

3.2.1. MODELO DEL ACERO

Para la modelación del acero se utiliza el modelo uniaxial de Menegotto-Pinto. La curva esfuerzo-deformación posee una suave transición de la zona elástica a la

zona plástica con endurecimiento, semejante al comportamiento del acero de alta resistencia que no presenta zona de fluencia. Para definir la curva $\sigma - \epsilon_u$ se establecen cinco parámetros: módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura, módulo de rigidez secundario y el exponente de la curva del rango plástico. (Menegotto M. & Pinto P., 1973)

FIGURA 3. 1 CURVA CARACTERISTICA DEL ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL MODELO DE MENEGOTTO-PINTO



FUENTE: Menegotto M. & Pinto P., 1973
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Para la modelación se ingresan los parámetros antes mencionados los cuales ya fueron determinados a partir de los ensayos a tracción del acero y en la FIGURA 3. 2. se puede evidenciar los valores ingresados, obteniendo la curva constitutiva del acero para varillas de $\varnothing 12$ y 9 [mm] como se muestra en la FIGURA 3. 3.

FIGURA 3. 2 PARÁMETROS INGRESADOS EN EL MODELO DEL ACERO

Nombre de Material:

Tipo de Material: Nota: Vaya al menú de Ajustes de "Modelos Constitutivos" para definir los modelos de materiales que se muestran aquí

Modelo de Menegotto-Pinto para acero Límite in

Gráfico de Muestra
Propiedades Material

Modulo de elasticidad (kPa)

Límite de fluencia (kPa)

Parámetro de endurecimiento por deformación (-)

Parámetro de forma inicial de la curva de transición (-)

Coef. de calibración de la forma de la curva de transición A1 (-)

Coef. de calibración de la forma de la curva de transición A2 (-)

Coef. de calibración del endurecimiento isotrópico A3 (-)

Coef. de calibración del endurecimiento isotrópico A4 (-)

Deformación de rotura/pandeo (-)

Peso específico (kN/m³)

Nombre de Material:

Tipo de Material: Nota: Vaya al menú de Ajustes de "Modelos Constitutivos" para definir los modelos de materiales que se muestran aquí

Modelo de Menegotto-Pinto para acero Límite

Gráfico de Muestra
Propiedades Material

Modulo de elasticidad (kPa)

Límite de fluencia (kPa)

Parámetro de endurecimiento por deformación (-)

Parámetro de forma inicial de la curva de transición (-)

Coef. de calibración de la forma de la curva de transición A1 (-)

Coef. de calibración de la forma de la curva de transición A2 (-)

Coef. de calibración del endurecimiento isotrópico A3 (-)

Coef. de calibración del endurecimiento isotrópico A4 (-)

Deformación de rotura/pandeo (-)

Peso específico (kN/m³)

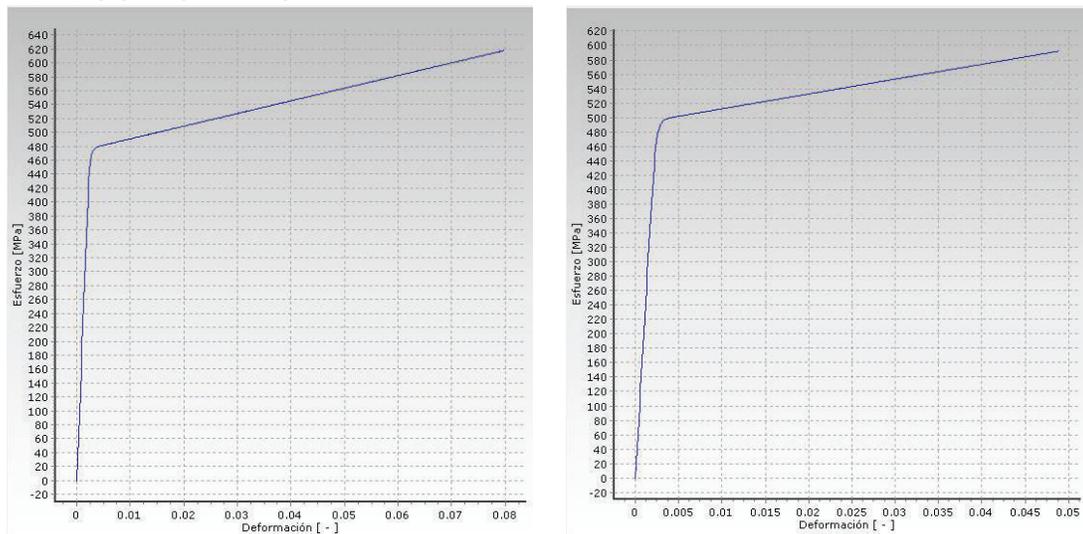
(a) Ø12 [mm]

(b) Ø9 [mm]

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Los parámetros A_1 , A_2 , A_3 y A_4 , serán asignados en función a los rangos o valores por defecto establecidos en el SeismoStruct (ANEXO 2).

FIGURA 3. 3 PROPIEDADES DEL ACERO, PARA EL MODELO DE MENEGOTTO-PINTO

(a) Ø12 [mm]

(b) Ø9 [mm]

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

3.2.2. MODELO DEL HORMIGÓN

En la modelación del hormigón armado se utiliza el modelo uniaxial no lineal de confinamiento constante. Los efectos del confinamiento provisto por la armadura transversal son incorporados mediante los propuestos por Mander et al. (1988), en las cuales se asume una presión de confinamiento constante a lo largo de todo el rango de esfuerzo-deformación.

Para describir las características mecánicas del material es necesario definir cinco parámetros (FIGURA 3. 4): resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y peso específico que son valores obtenidos en el apartado 2.1, la deformación al valor pico del esfuerzo se asume 0.002 y la resistencia a la tracción se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$f_t = k_t * \sqrt{f'_c} \quad (3. 1)$$

Donde k_t es 0.75 para el hormigón en tracción debido a la flexión (columnas) y 0.5 para hormigón en tracción directa (viga) (Priestley et. al., 1996).

FIGURA 3. 4 PARÁMETROS INGRESADOS EN EL MODELO DEL HORMIGÓN CONFINADO

Nombre de Material:

Tipo de Material: Nota: Vaya al menú de Ajustes de "Modelos Constitutivos" para definir los modelos de materiales que se muestran aquí

Modelo no lineal de Mander et al. para hormigón

Parametros para Revisiones basadas en Código

Material_Existente Material_Nuevo

Valor de resistencia media

Límite inferior del valor de resistencia, $\mu\sigma$

Gráfico de Muestra

Propiedades Material

Esfuerzo de Compresion Medio (kPa)

Esfuerzo de Traccion Medio (kPa)

Módulo de elasticidad (kPa)

Deformacion al valor del maximo pico de esfuerzo (m/m)

Peso especifico (kN/m3)

Gráfico de Muestra

Factor de Confinamiento (valor indicativo)

El **factor de confinamiento** especificado aquí es solo para **propósitos de muestra**. Los factores de confinamiento empleados en el análisis se definen en el módulo de Secciones, basandose en el refuerzo de las secciones.

(a) Columna

Nombre de Material:

Tipo de Material: Nota: Vaya al menú de Ajustes de "Modelos Constitutivos" para definir los modelos de materiales que se muestran aquí

Modelo no lineal de Mander et al. para hormigón

Parámetros para Revisiones basadas en Código

Material_Existente Material_Nuevo

Valor de resistencia media

Límite inferior del valor de resistencia, $\mu\sigma$

Gráfico de Muestra
Propiedades Material

Esfuerzo de Compresión Medio (kPa)

Esfuerzo de Tracción Medio (kPa)

Módulo de elasticidad (kPa)

Deformación al valor del máximo pico de esfuerzo (m/m)

Peso específico (kN/m³)

Gráfico de Muestra
Factor de Confinamiento (valor indicativo)

El **factor de confinamiento** especificado aquí es solo para **propósitos de muestra**. Los factores de confinamiento empleados en el análisis se definen en el módulo de Secciones, basándose en el refuerzo de las secciones.

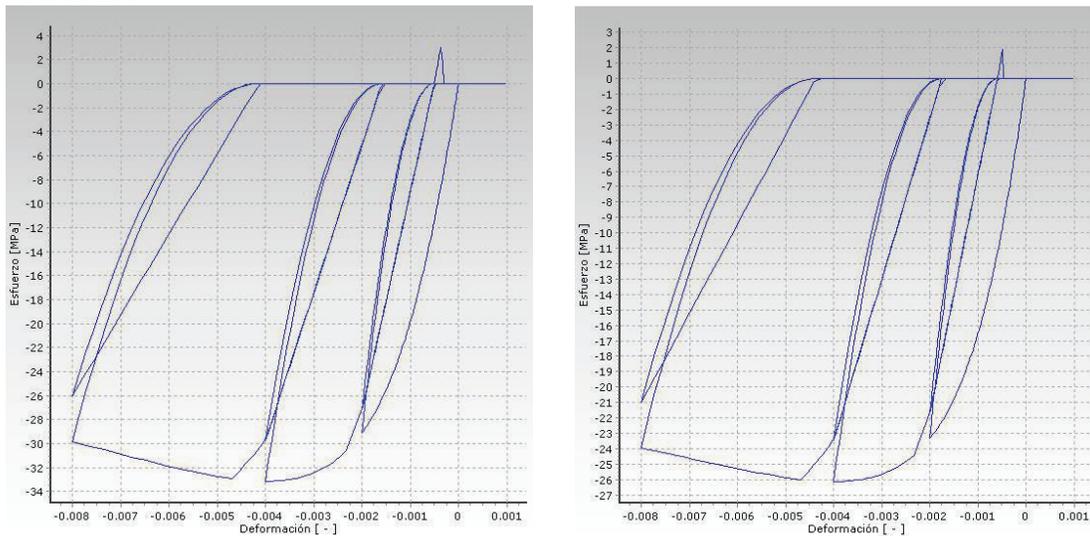
(b) Viga

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En base a las propiedades del hormigón ingresadas se determinan los siguientes modelos constitutivos para el hormigón de las columnas y la viga (FIGURA 3. 5).

FIGURA 3. 5 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA EL MODELO DE MANDER



(a) Columna

(b) Viga

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

3.2.3. MODELO DE LA MAMPOSTERÍA

Para la modelación del panel de relleno de mampostería se emplea la teoría del puntal equivalente, mencionada en el apartado SISTEMAS PORTICADOS CON PANELES DE RELLENO 1.4.16.

Para la caracterización del modelo en el SeismoStrut 2016 se requiere definir los siguientes parámetros.

3.2.3.1. Parámetros del puntal equivalente

- **Módulo de elasticidad (E_m)**

Se utiliza el valor determinado en base a las propiedades de los materiales que forman la mampostería.

- **Resistencia a la compresión ($f_{m\theta}$)**

Se consideran los tipos de fallas descritos en el CUADRO 1. 6, y se asigna el menor valor de $f_{m\theta}$ obtenido

- **Resistencia a la tracción (f_t)**

Por su baja influencia en la respuesta global y siendo considerablemente menor a la resistencia a la compresión se asume un valor de cero.

- **Deformación correspondiente al esfuerzo máximo (ϵ_m)**

Es la ϵ_m correspondiente al f'_w de la curva esfuerzo-deformación del ensayo a compresión.

- **Deformación última (ϵ_{ult})**

Se toma como el punto más alto de la curva esfuerzo-deformación del ensayo a compresión, usualmente igual $20 \epsilon_m$.

- *Deformación de cerramiento (ϵ_{cl})*

Es la deformación sucesiva al cierre de las fisuras permitiendo desarrollar esfuerzos de compresión.

- *Deformación de reducción y residual del área de la biela (ϵ_1, ϵ_2)*

Son valores ligados a la reducción del área de la biela. Debido a su difícil deducción se toman los valores por defecto.

Los parámetros empíricos indicados en SeismoStruct 2016 son utilizados para análisis de cargas cíclicas, por lo cual no serán considerados ya que el presente estudio realiza un análisis pushover monotónico.

En la FIGURA 3. 6 se puede evidenciar los valores ingresados para el modelo de la mampostería.

FIGURA 3. 6 PARÁMETROS DEL PUNTAL EQUIVALENTE INGRESADOS EN EL MODELO DE LA MAMPOSTERÍA

Parámetro	Valor Ingresado
Módulo de Young inicial - Em	653740,71
Resistencia a la compresión - fm	425,12
Resistencia a la tracción - ft	0,00
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo - em	0,0045
Deformación última - eu	0,006
Deformación de cerramiento - ed	0,004
Deformación de reducción del área de la biela - e1	0,0006
Deformación residual del área de la biela - e2	0,001

FUENTE: SeismoSoft, 2016
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Parámetros del resorte de corte

- **Resistencia de adherencia por corte (τ_0)**

Es la fuerza de unión por corte, mediante estudios experimentales se han establecido diferentes expresiones empíricas y rangos de 0.1 a 1.5 [MPa] (SeismoSoft, 2016).

- **Coefficiente de fricción (μ)**

Debido a su difícil determinación se establecen los siguientes rangos: 0.1 a 1.2 y 0.7 a 0.85 (SeismoSoft, 2016)

- **Máxima resistencia al corte (τ_{max})**

Es la fuerza de corte más grande que se presenta en el panel de relleno, es independiente del tipo de falla. Ante falta de información se emplea la ECUACIÓN (3. 2).

$$\tau_{max} = \tau_0 + \mu f_{m\theta} \quad (3. 2)$$

- **Factor de reducción por corte (α_s)**

Representa la relación entre τ_{max} y la tensión media del panel, se trata de un valor empírico para el cual Crisafulli (1997) propone un rango de 1.4 a 1.65.

FIGURA 3. 7 PARÁMETROS DEL RESORTE DE CORTE INGRESADOS EN EL MODELO DE LA MAMPOSTERÍA

Página 1	
Resistencia de adherencia por corte	17,004
Coefficiente de fricción	0,30
Máxima resistencia al corte	144,54
Factor de reducción del corte	1,40

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

3.2.3.2. Espesor del panel (t)

Es el grosor del panel, se toma el ancho del bloque.

3.2.3.3. Deriva de colapso fuera del plano

Este parámetro determina la desactivación del panel, cuando este alcanza una deriva fuera del plano y ya no contribuye a la rigidez del pórtico, al ser este estudio en un solo plano se asume un valor del 5%.

3.2.3.4. Área 1 del puntal (A_1)

Es el área de la diagonal que se toma como el producto entre el ancho de puntal y el espesor del panel:

$$A_1 = b_w * t \quad (3.3)$$

$$b_w = \left(\frac{K_1}{\lambda h} + K_2 \right) * dw \quad (3.4)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m * t * \sin(2\theta)}{4 * E_c * I_c * h_w}} \quad (3.5)$$

Donde:

b_w : es el ancho del puntal

h : altura de entre piso

dw : longitud de la diagonal del panel

θ : ángulo de inclinación de la diagonal

E_c : módulo de elasticidad del hormigón utilizado en las columnas

I_c : inercia de la sección de las columnas

h_w : altura del panel

K_1, K_2 : constantes que dependen de λh

CUADRO 3. 2 VALORES DE K1 Y K2, PARA VALORES DE λh

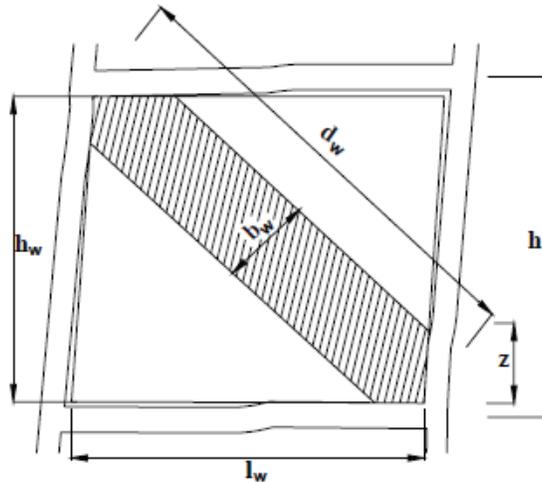
λh	K1	K2
< 3.14	1.30	-0.18
3.14-7.85	0.71	0.01
>7.85	0.47	0.04

FUENTE: SMYROU, 2016.

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En la siguiente figura se observa la nomenclatura asignada al panel de relleno, además de representar el esquema del puntal equivalente.

FIGURA 3. 8 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL PANEL CENTRAL



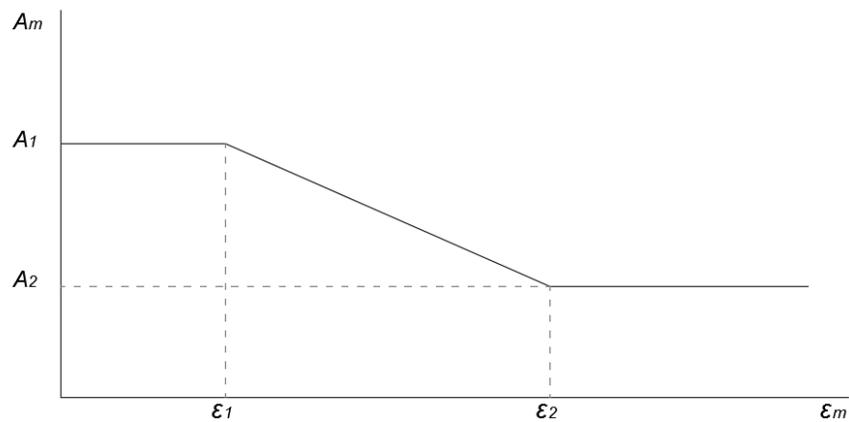
FUENTE: Crisafulli, 1997.

3.2.3.5. Área 2 del puntal (A_2)

Es la disminución del área de la biela por la degradación del panel cuando el desplazamiento lateral y horizontal aumentan.

En la FIGURA 3. 9 se observa la variación del área a partir de la deformación de reducción hasta alcanzar una deformación residual del área de la biela.

FIGURA 3. 9 VARIACIÓN DEL AREA DEL PUNTAL



FUENTE: Crisafulli, 1997.

3.2.3.6. Longitud equivalente de contacto (h_z)

Es un porcentaje de h_w , indica la separación entre los nodos ficticios internos, que muestra la longitud de contacto entre el panel y el pórtico. Se consideran valores entre $\frac{1}{3}z$ y $\frac{1}{2}z$, donde z es la distancia efectiva de contacto.

$$z = \frac{\pi}{2\lambda} \quad (3.6)$$

$$hz = \frac{1}{3}z \text{ a } \frac{1}{2}z \quad (3.7)$$

$$hz\% = \frac{hz}{h_w} \% \quad (3.8)$$

3.2.3.7. Reducción horizontal del panel de relleno (x_o)

Porcentaje de la longitud del horizontal del panel, representa la componente X de la distancia entre el nodo exterior e interior.

3.2.3.8. Reducción vertical del panel de relleno (y_o)

Porcentaje de la longitud vertical del panel, representa la componente Y de la distancia entre el nodo exterior e interior.

3.2.3.9. Proporción de la rigidez asignada al corte (γ_s)

El elemento presenta una rigidez total la cual es distribuida al resorte (K_s , ECUACIÓN 3. 9) y los puntales (K_A , ECUACIÓN 3. 10), por lo tanto γ_s representa el porcentaje de la rigidez del panel que será asignada al resorte de corte. (Smyrou E., Blandon C., Antoniou S., Pinho R., Crisafulli F., 2011).

$$K_s = \gamma_s \frac{A_{ms} E_m}{d_m} \cos^2 \theta \quad (3.9)$$

$$K_A = (1 - \gamma_s) \frac{A_{ms} E_m}{2 d_m} \quad (3.10)$$

3.2.3.10. Peso específico

Representa el peso volumétrico del panel (debe recordarse que a este tipo de elemento no se le asigna ni sección ni material, por lo cual su peso propio debe ser definido. El valor por defecto es 10 [kN/m³].

FIGURA 3. 10 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL MODELO DEL PUNTAL

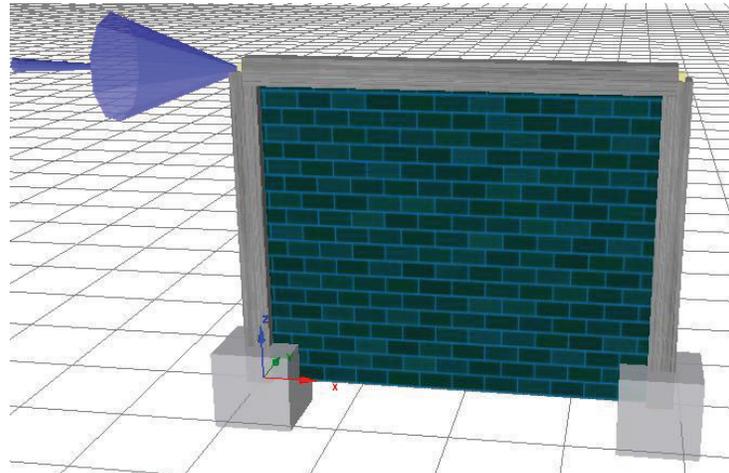
Espesor Panel t (m)	0,142
Distorsión de colapso fuera del plano (% del lado vert.)	5,00
Area Biela 1 (m ²)	0,122
Área Biela 2 (% de Área Biela 1)	90,00
Long. de contacto equiv. Hz (% del lado vert. del panel)	24,87
Offset horiz. xo (% del lado horizontal del panel)	3,51
Offset vert. yo (% del lado vertical del panel)	4,35
Proporción de la rigidez asignada al corte (%)	20,00
Peso específico (kN/m ³)	13,93

FUENTE: SeismoSoft, 2016
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

3.2.4. PROCEDIMIENTO ESTÁTICO NO LINEAL

Para obtener la curva de capacidad representativa del sistema se realiza un análisis estático no lineal pushover, después de haber definido el modelo (geometría y propiedades mecánicas de los materiales) se aplica una carga incremental en el nudo superior de la estructura controlando su desplazamiento (FIGURA 3. 11).

FIGURA 3. 11 ESQUEMA DEL PÓRTICO DE HORMIGON ARMADO CON PANEL DE RELLENO



FUENTE: SeismoSoft 2016
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

De la curva de capacidad obtenida (FIGURA 3. 12) se determina como carga máxima 11500 [kg] (11,5 T), asegurándonos de no superar las capacidades de los equipos existentes en el laboratorio. Se procede con la construcción del espécimen.

FIGURA 3. 12 CURVA DE CAPACIDAD DEL PÓRTICO DE H.A. CON PANEL DE RELLENO PARA LA PREDICCIÓN DE LA CARGA MÁXIMA



FUENTE: SeismoSoft 2016
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

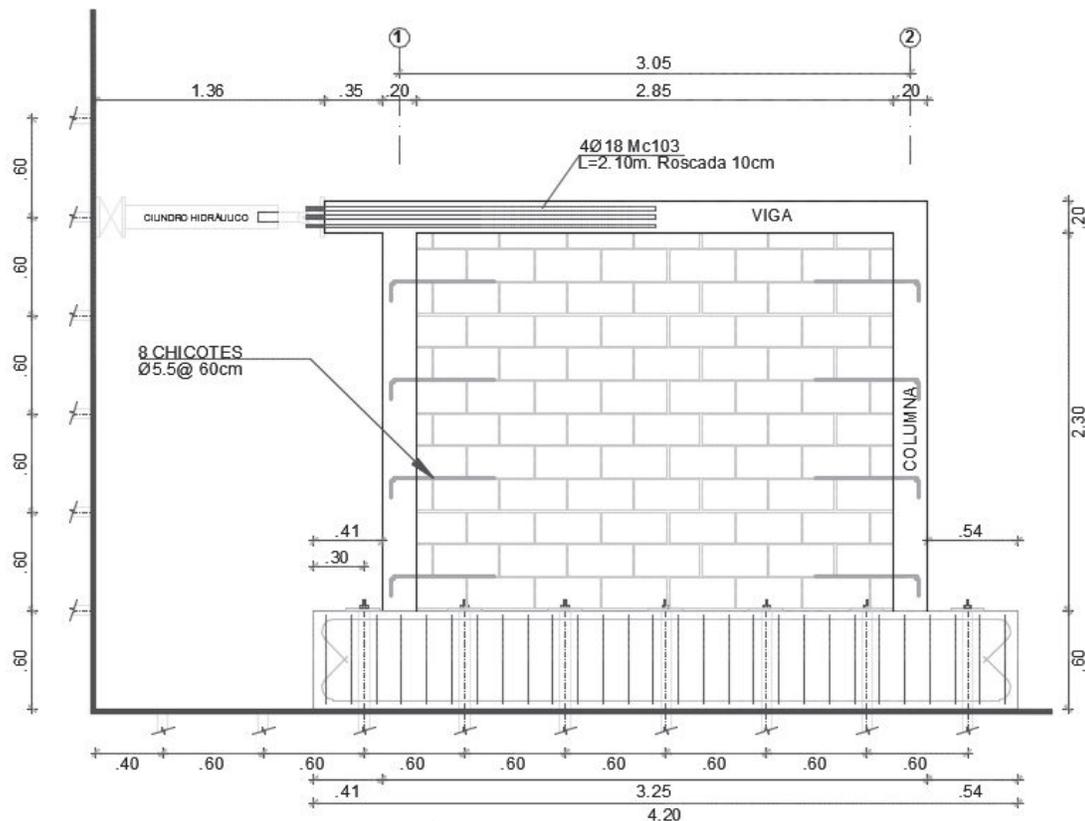
CAPÍTULO 4

PROCESO CONSTRUCTIVO Y ENSAYO A CARGA HORIZONTAL CÍCLICA

4.1. GEOMETRÍA DEFINITIVA

El prototipo para el ensayo se construyó con las dimensiones establecidas en el apartado 3.1 definiendo la geometría del pórtico con: 3.25 [m] de largo y 2.50 [m] de alto, secciones de 30x60 [cm] para la viga de cimentación, 20x20 [cm] para los elementos confinantes, y un espesor de 14[cm] para el panel de relleno (FIGURA 4. 1).

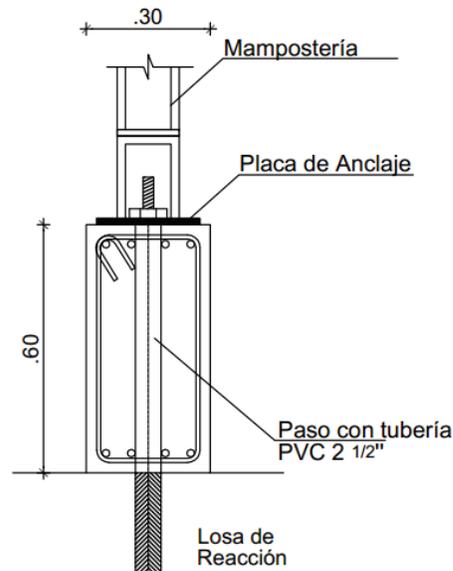
FIGURA 4. 1 GEOMETRÍA DEL PÓRTICO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La viga de cimentación sirve para anclar el sistema a la losa de reacción, evitar desplazamientos en la base, soportar y dar estabilidad a la estructura. El armado longitudinal se realiza con 8 varillas de 18 [mm] y el armado transversal con 27 estribos de 10 [mm] cada 15 [cm], además se coloca tubería PVC para los puntos de anclaje (FIGURA 4. 2).

FIGURA 4. 2 VISTA TRANSVERSAL DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL PÓRTICO

La construcción del prototipo se realiza con la geometría ya establecida y con los materiales indicados en el capítulo 2.

4.2.1. VIGA DE CIMENTACIÓN

La construcción se inicia con el encofrado, colocación del armado estructural, ubicación y amare de las columnas, para proceder a la fundición de la viga de cimentación tomando en cuenta la colocación de siete varillas de anclaje que fijaran la estructura a la losa de reacción.

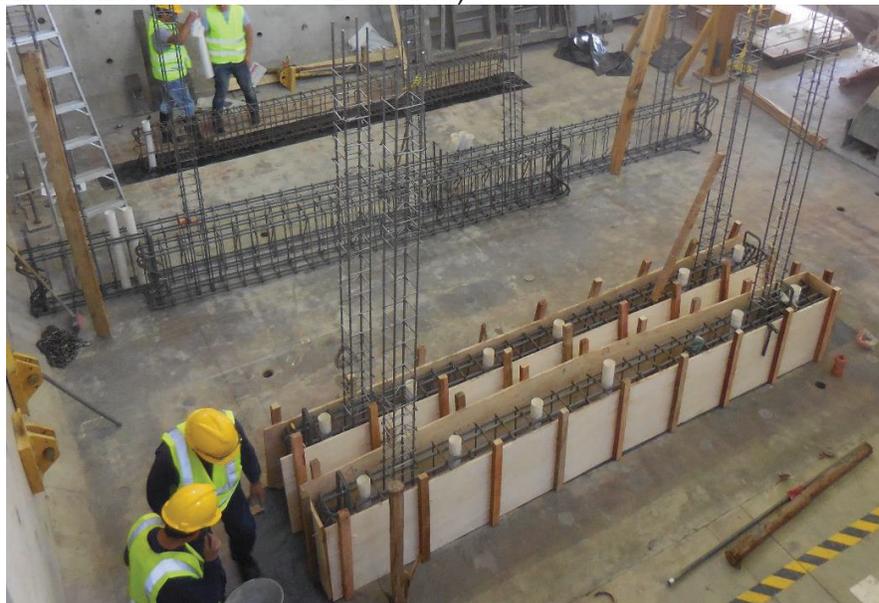
En la FOTOGRAFÍA 4. 1 y FOTOGRAFÍA 4. 2 se puede evidenciar el proceso constructivo para la viga de cimentación.

FOTOGRAFÍA 4. 1 ARMADO DE LAS VIGA DE CIMENTACIÓN DE 30x60



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

FOTOGRAFÍA 4. 2 ENCOFRADO Y UBICACIÓN DE ACERO DE REFUERZO (VIGA DE CIMENTACIÓN Y COLUMNAS)



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.1.1. COLUMNAS

Una vez lista la viga de cimentación se encofran las columnas, además se colocan 8 chicotes dispuestos cada 60 [cm] (FIGURA 4. 1) y se procede con su fundición.

En la FOTOGRAFÍA 4. 3 se puede constatar la colocación del encofrado y los chicotes.

FOTOGRAFÍA 4. 3 ENCOFRADO Y FUNDICIÓN DE COLUMNAS



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.1.2. VIGA

Se realiza el encofrado para posteriormente ubicar el armado y proceder con la fundición de la viga, considerando la colocación de varillas roscadas que serán ancladas al acople para la transmitir la carga. En la siguiente fotografía se observa que una vez listas las columnas se realiza la construcción de la viga.

FOTOGRAFÍA 4. 4 ENCOFRADO Y FUNDICIÓN DE LA VIGA

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.1.3. PANEL DE RELLENO

Finalmente se procede con el levantamiento del panel, es decir colocación y unión de las piezas de bloque utilizando mortero de pega y después de transcurrir un tiempo considerable se procedió a pintar el muro (FOTOGRAFÍA 4. 5), para facilitar la visualización de fisuras en el momento de la ejecución del ensayo.

FOTOGRAFÍA 4. 5 PÓRTICO CON PANEL DE RELLENO

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.2. EQUIPOS E INSTRUMENTACION

Los equipos e instrumentación que se utilizarán se detallan a continuación:

En la FOTOGRAFÍA 4. 6 se describe el sistema para la aplicación de carga, (1) el cilindro hidráulico de embolo sólido de doble acción con capacidad de 100 [T] para aplicar la carga cíclica incremental; (2) la celda de carga HBM-KRAFTAUFNEMER que tiene la capacidad de registrar hasta 20 [T] y (3) la rótula para acoplar el sistema de carga con el prototipo de ensayo.

FOTOGRAFÍA 4. 6. SISTEMA PARA LA APLICACIÓN DE CARGA



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La bomba hidráulica ze5 con presión máxima de trabajo 10 000 [Psi], se observa en la siguiente fotografía.

FOTOGRAFÍA 4. 7 BOMBA HIDRÁULICA ZE5



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En la FOTOGRAFÍA 4. 8 se observa LVDTs - HBM para medir y registrar los desplazamientos ubicados en la parte superior, medio e inferior de la columna en dirección del movimiento.

FOTOGRAFÍA 4. 8 LVDTs HBM.



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En la FOTOGRAFÍA 4. 9 se observa el sistema UPM HBM de 80 canales para la adquisición de datos.

FOTOGRAFÍA 4. 9 SISTEMA UPM HBM



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

4.3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realiza a través de carga lateral cíclica aplicada en el extremo superior de la viga del pórtico con panel de relleno, ya construido e implantado en el CIV-EPN.

La carga cíclica incremental se aplica mediante el cilindro hidráulico en dirección paralela al muro (FOTOGRAFÍA 4. 10), medida por la celda de carga y el desplazamiento lateral superior medido por el LDVT, serán registrados y almacenados a través del UPM como curva de capacidad histerética.

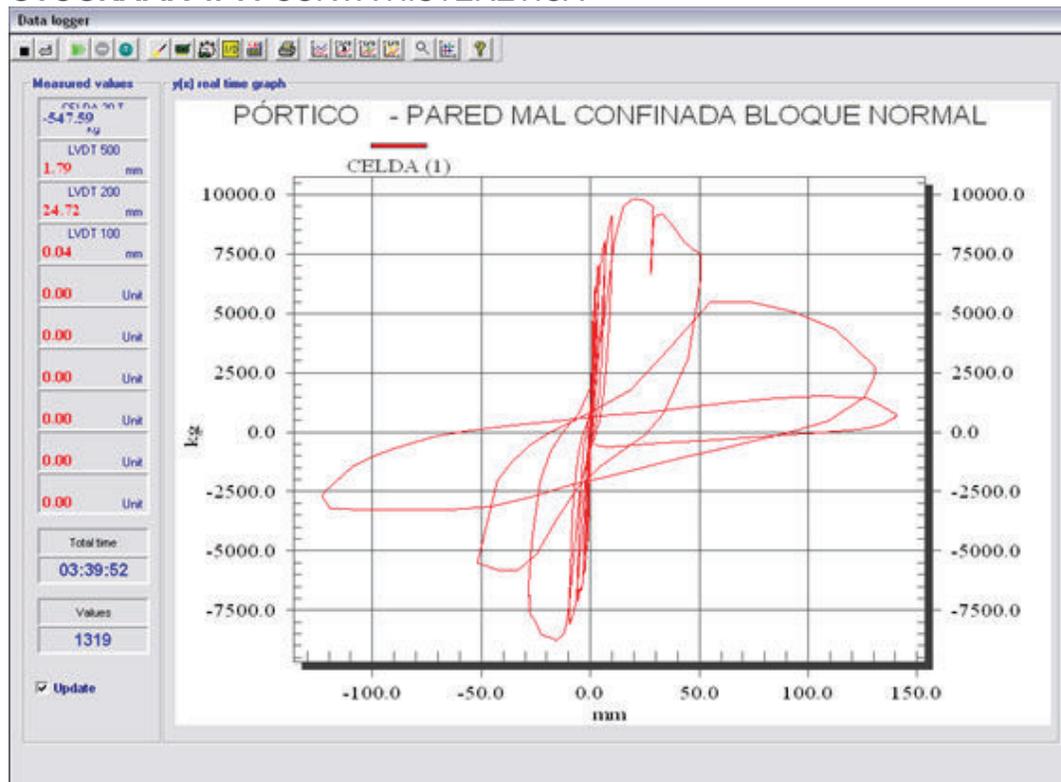
FOTOGRAFÍA 4. 10 ENSAYO DEL PORTICO CON PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

El prototipo será ensayado a través de una serie de ciclos controlando la aplicación de la carga alternada en sentido positivo y negativo, observando el comportamiento del sistema, fallas y grietas en cada ciclo, hasta llegar a la capacidad máxima de carga de la estructura obteniendo la curva histerética mostrada en la FOTOGRAFÍA 4. 11.

FOTOGRAFÍA 4. 11 CURVA HISTERÉTICA



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En el ANEXO 3 se puede observar fotografías de los materiales empleados en el presente estudio, construcción del pórtico de hormigón armado con panel de relleno y registro fotográfico del ensayo a carga lateral cíclica.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

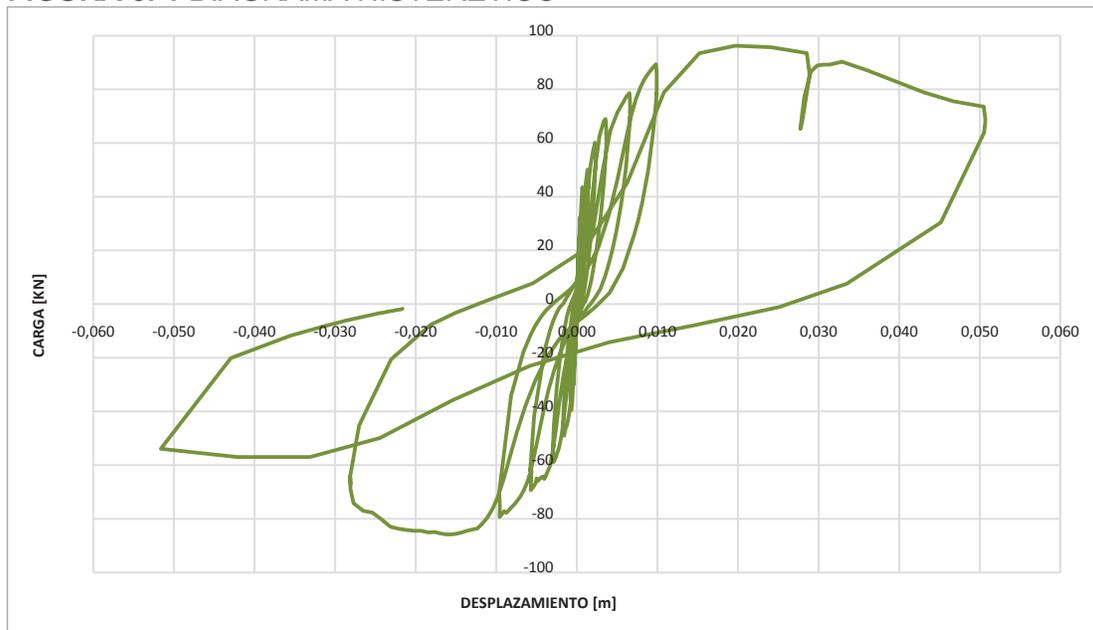
5.1. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se determinarán diversos parámetros asociados con los resultados del ensayo a carga lateral cíclica en el rango inelástico mencionados a continuación.

- Modos de falla.
- Disipación de energía por ciclo.
- Degradación de la rigidez secante.
- Amortiguamiento viscoso equivalente.
- Envolvente de la respuesta histerética.
- Ductilidad.

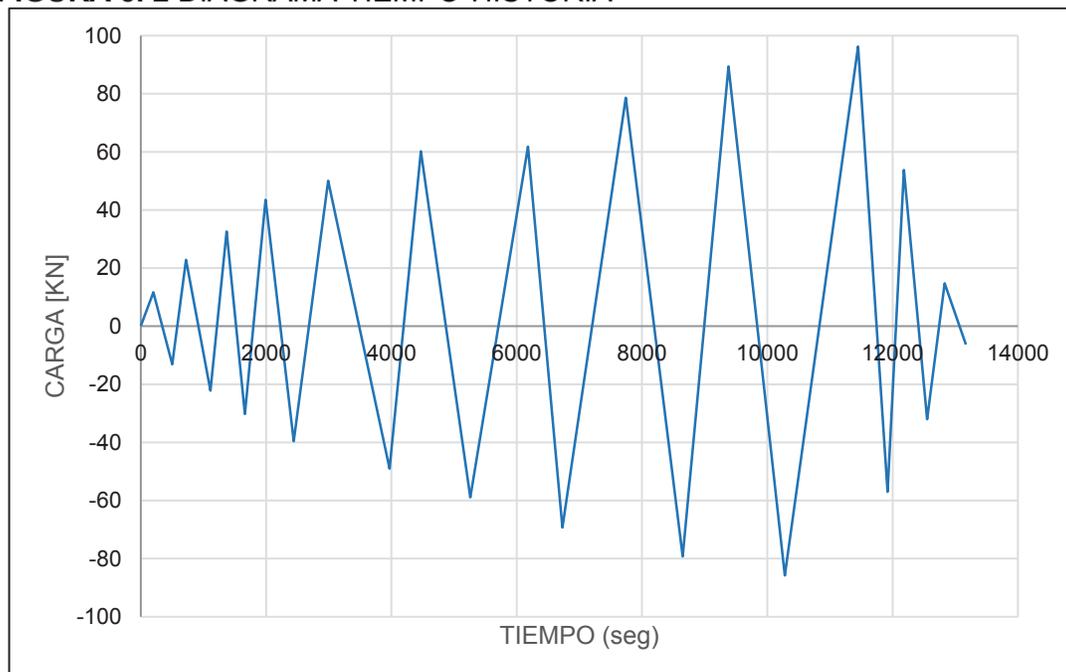
Del ensayo realizado se obtuvo la curva histerética (FOTOGRAFÍA 4. 12) constituida por 12 ciclos. Mediante la revisión fotográfica se llegó a la conclusión que los dos últimos ciclos no deben ser considerados en el análisis del pórtico de hormigón armado con panel de relleno, ya que el daño de la estructura es grave presentando fisuras en los nudos debido a la compresión en las esquinas, separación entre el panel de relleno y los elementos confinantes, además de deslizamiento entre las juntas del mortero y la mampostería.

Los ciclos correspondientes a las condiciones donde la estructura es estable son representados en la FIGURA 5. 1, donde se puede observar que la carga máxima es de aproximadamente 10000 [kg] (10 T) con un desplazamiento de 0,02 [m], a partir de este instante su capacidad de carga disminuye y los desplazamientos aumentan considerablemente.

FIGURA 5. 1 DIAGRAMA HISTERÉTICO

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En base al registro histerético obtenido se observa la variación de la carga aplicada al sistema en función del tiempo.

FIGURA 5. 2 DIAGRAMA TIEMPO-HISTORIA

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.1. ESTADOS DE DAÑO

Los estados de daño a partir de la descripción de las fallas en los elementos estructurales y no estructurales, por la aplicación de cargas horizontales se indican en el CUADRO 5. 1, presentado por el comité VISION 2000 (1995)

CUADRO 5. 1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS DE DAÑO

ESTADOS DE DAÑO	DESCRIPCIÓN DE FALLAS
Despreciable	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo.
Ligero	Agrietamiento en los elementos estructurales. Daño limitado y no compromete la seguridad de la estructura.
Moderado	Perdida de resistencia y rigidez, el sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales y contenido pueden dañarse.
Severo	Daños severos en elementos estructurales. Falla de elementos secundarios, no estructurales y contenidos. Pre-colapso.
Completo	Pérdida parcial o total. Colapso parcial o total.

FUENTE: VISION 2000, 1995.

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2. MODOS DE FALLA

Se realiza una revisión fotográfica con el fin de observar el desarrollo de las fisuras durante el ensayo.

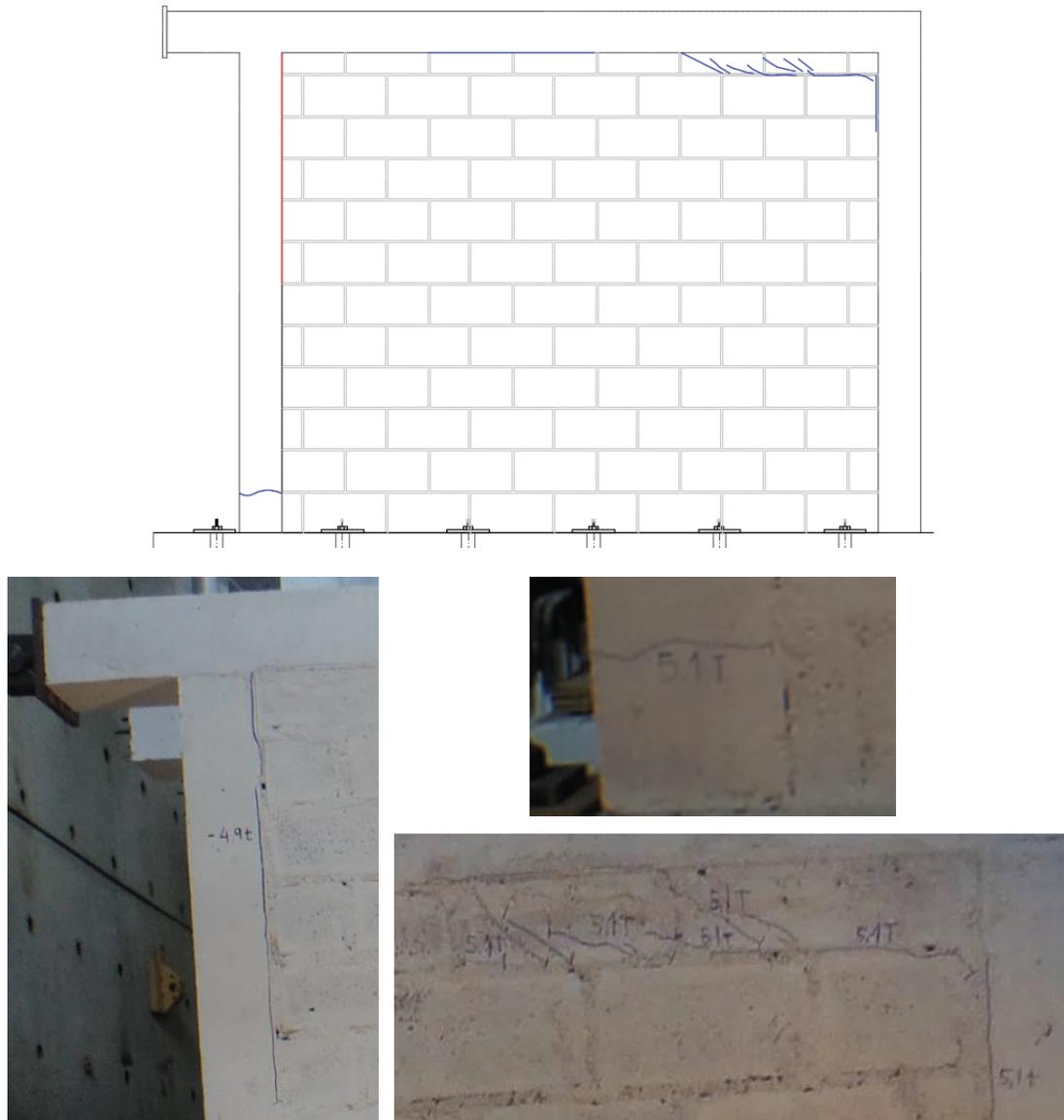
Hasta el ciclo 4 con la aplicación de carga hasta 4 [T] y -4[T], se llega a un desplazamiento de 0.66[mm] y -0.72 [mm] respectivamente, no se observa la presencia de fallas siendo el estado de daño despreciable.

5.1.2.1. Ciclo 5

La carga aplicada es de hasta 5.1 [T] llegando a un desplazamiento de 1.31 [mm], donde empiezan a aparecer fisuras en la base de la columna izquierda a una altura de 20 [cm] aproximadamente, en la esquina superior derecha se presentan fallas de agrietamiento de los bloques y división de las juntas verticales y horizontales del

mortero, además una fisura entre la mampostería y la viga. En el otro sentido la carga que se aplica llega hasta -4.9 [T] con un desplazamiento de -1.58 [mm], se observa una fisura entre la mampostería y la columna. El estado de daño presentado en este ciclo es leve (FIGURA 5. 3).

FIGURA 5. 3 FISURAS HASTA EL CICLO 5

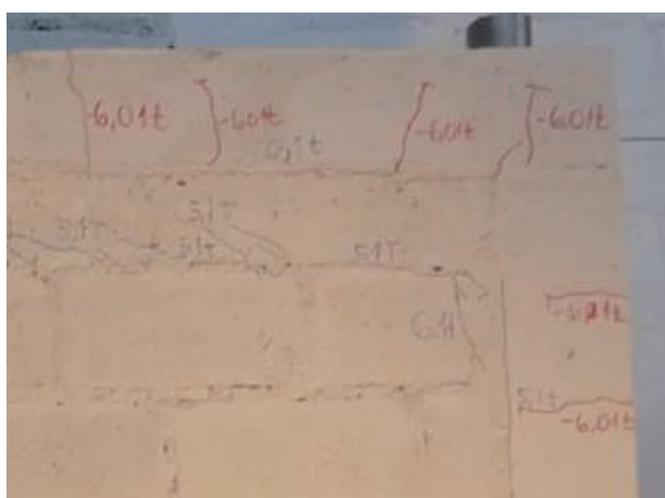
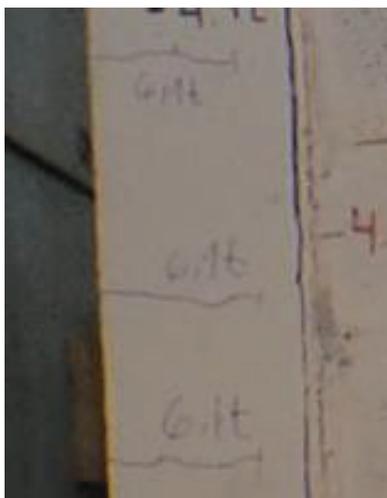
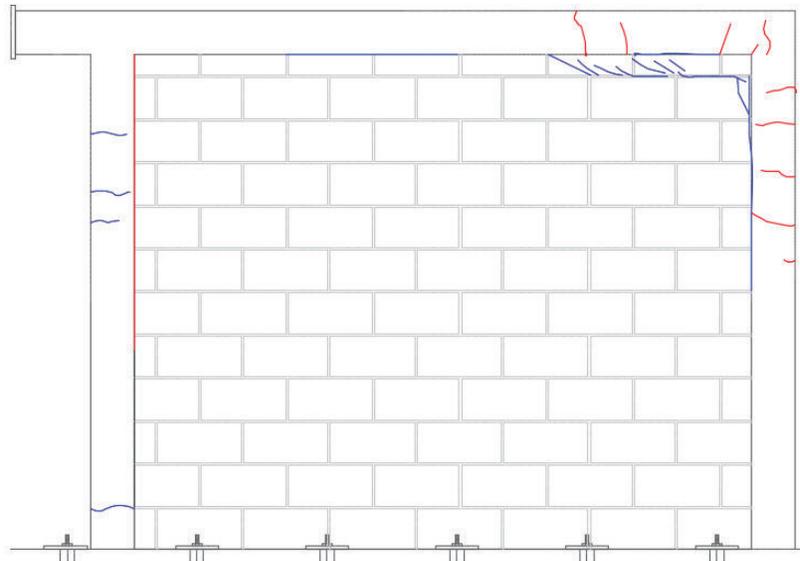


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2.2. Ciclo 6

La carga aplicada llega hasta 6.14 [T] teniendo a un desplazamiento de 2.25 [mm], presentando fisuras entre el panel de relleno y el pórtico, daño de las juntas verticales del mortero en la parte superior derecha, fisuras en la parte superior de la columna izquierda. En el otro sentido la carga se aplica hasta -6 [T], con un desplazamiento de -2.93 [mm], se observan fisuras en la esquina superior derecha de los elementos confinantes, se prolonga la fisura derecha entre el pórtico y el panel. El estado de daño en este ciclo es leve. (FIGURA 5. 4)

FIGURA 5. 4 FISURAS HASTA EL CICLO 6

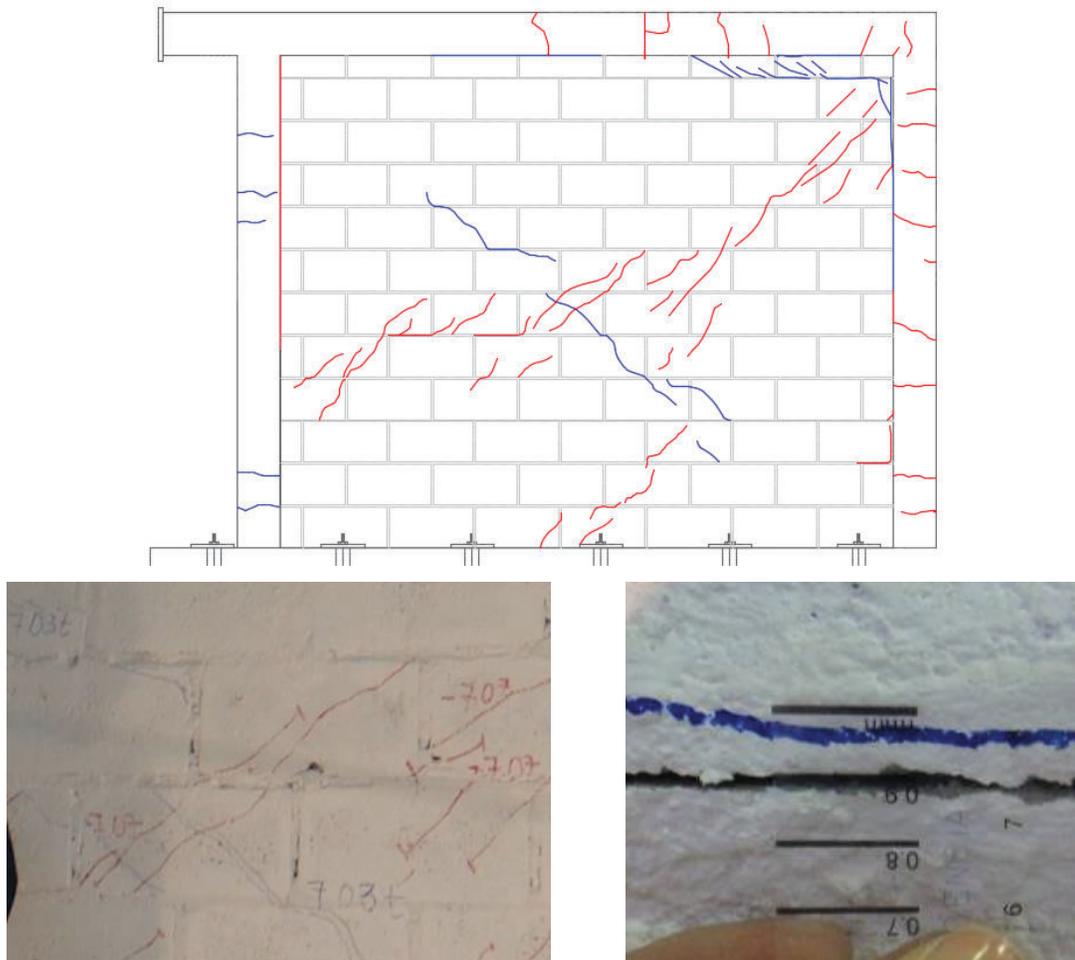


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2.3. Ciclo 7

La carga que se aplica es de hasta 7.03 [T] llegando a un desplazamiento de 3.63 [mm], se forman fisuras en la columna izquierda a una altura de 30 [cm] medidos desde la base, fisuras diagonales en el centro del panel produciendo el fraccionamiento combinado de agrietamiento del ladrillo y de la junta del mortero. En sentido negativo la carga que se aplica llega hasta -7.07 [T], con un desplazamiento de -5.72 [mm], se observan fisuras desde la base hasta la parte media de la columna derecha, fisuras verticales en el centro de la viga, fisuras diagonales de fraccionamiento del bloque y de las juntas verticales y horizontales del mortero. El espesor máximo de las fisuras que se presentan es de 0.9[mm]. El estado de daño es leve (FIGURA 5. 5).

FIGURA 5. 5 FISURAS HASTA EL CICLO 7

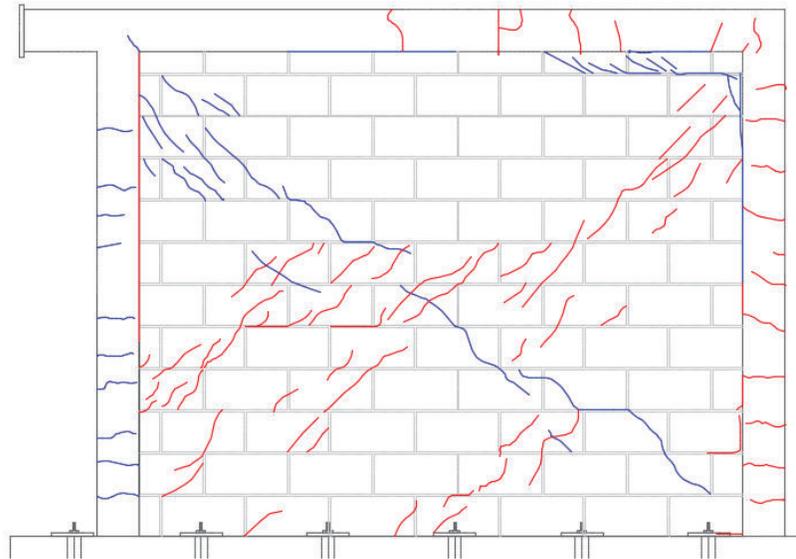


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2.4. Ciclo 8

La carga aplicada es de hasta 8.02 [T] con un desplazamiento de 6.5 [mm] y fisuras de 1.4 [mm], se pueden observar nuevas fisuras en la columna izquierda, fisuras diagonales en la esquina superior izquierda del panel produciendo el fraccionamiento combinado de agrietamiento del ladrillo y de la junta del mortero. En el otro sentido la carga se aplica hasta -8.08 [T], con un desplazamiento de -9.59 [mm] y fisuras de 2.5[mm], la mayoría de fisuras se pudieron observar en la esquina inferior izquierda en forma diagonal fraccionando el boque y las juntas de mortero. El estado de daño es leve (FIGURA 5. 6).

FIGURA 5. 6 FISURAS HASTA EL CICLO 8

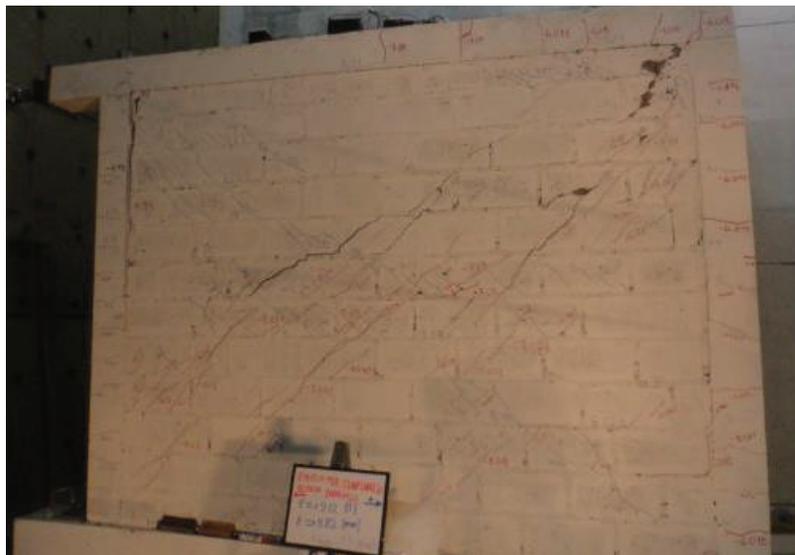
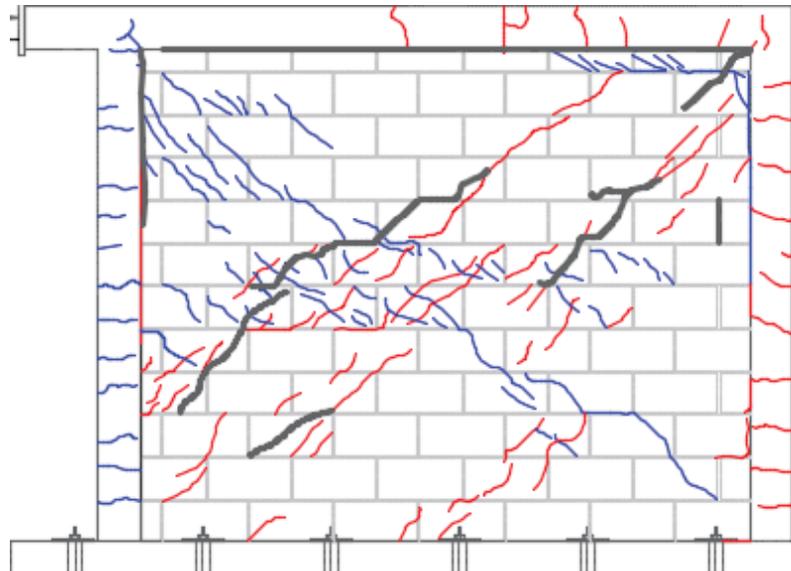


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2.5. Ciclo 9

La carga aplicada es de hasta 9.12 [T] llegando a un desplazamiento de 9.82 [mm] y fisuras de 2.5 [mm], se observan la propagación de las fisuras diagonales en la esquina superior izquierda. En el sentido negativo la carga se aplica hasta -8.75 [T] con un desplazamiento de -16.28 [mm] y fisuras de 8[mm], la separación entre la columna izquierda y el panel es mucho más clara, además de la propagación de fisuras diagonales y en la esquina superior derecha el descascaramiento de las piezas de mampostería. El estado de daño es moderado.(FIGURA 5. 7)

FIGURA 5. 7 FISURAS HASTA EL CICLO 9

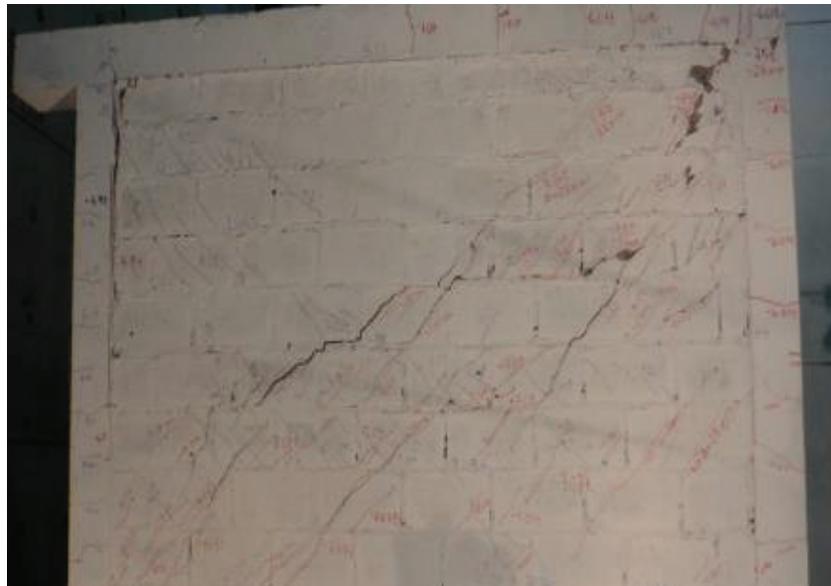
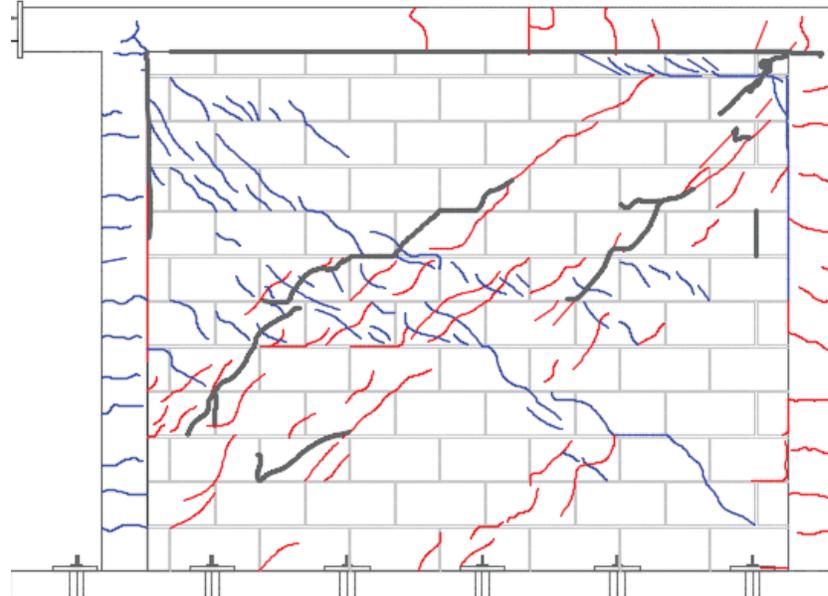


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.2.6. Ciclo 10

La carga aplicada es de hasta 9.8 [T] llegando a un desplazamiento de 19.65 [mm] y fisuras de 20 [mm] se observa el fraccionamiento de bloques y deslizamiento de las juntas del mortero. En el sentido negativo la carga se aplica hasta -5.81 [T], con un desplazamiento de -33.1 [mm] y se presenta el descascaramiento de la unión viga columna. El estado de daño es severo (FIGURA 5. 8).

FIGURA 5. 8 FISURAS HASTA EL CICLO 10



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.3. DISIPACIÓN DE ENERGÍA

El área contenida en cada ciclo histerético se manifiesta como la energía disipada por el sistema debido a la aplicación de carga en el proceso cíclico al que se le ha sometido.

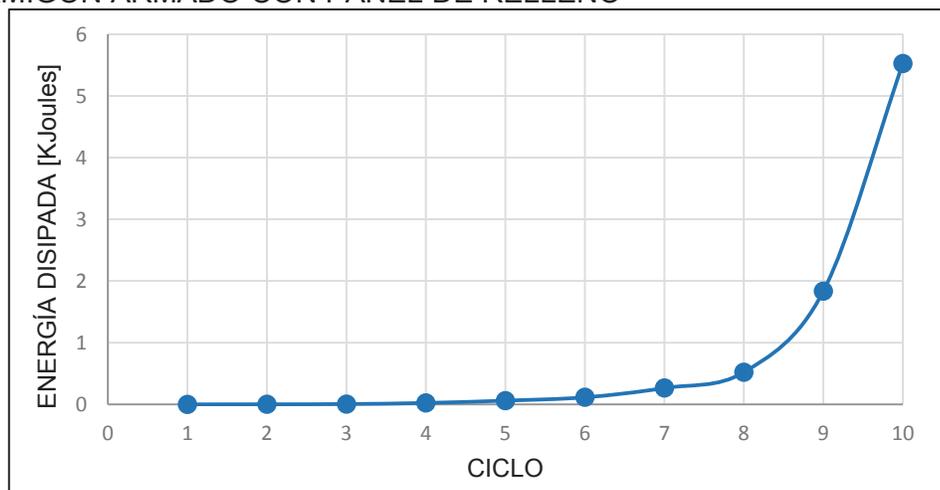
CUADRO 5. 2 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO

PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO			
CICLO	CARGA [KN]	CARGA [T]	ENERGÍA DISIPADA [KJoules]
1	11,68	1,19	6,49E-04
2	22,84	2,33	2,20E-03
3	32,58	3,32	5,70E-03
4	43,52	4,44	0,024
5	50,06	5,10	0,061
6	60,20	6,14	0,115
7	68,97	7,03	0,265
8	78,65	8,02	0,522
9	89,39	9,12	1,835
10	96,27	9,81	5,526
TOTAL:			8,36

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

A partir del ciclo 5 debido al desgaste de la estructura y formación de fisuras se observa que la energía disipada aumenta

FIGURA 5. 9 DISIPACIÓN DE ENERGÍA POR CICLO, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.4. DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ SECANTE

Durante el proceso cíclico se observa que la curva se suaviza en la rama de descarga, registrando que la deformación es mayor que la registrada en el proceso de carga ante la aplicación de la misma fuerza. Al incremento de la deformación y disminución de la rigidez secante se la conoce como la “degradación de la rigidez”. Se observa una similar conducta para los ciclos posteriores, pero con un comportamiento más frágil. (Gallegos & Cassabone, 2005)

La rigidez secante es determinada con la pendiente de la línea que une los puntos de carga máxima y mínima, se aplica este procedimiento para establecer este valor en cada ciclo y así visualizar la disminución de la rigidez del sistema.

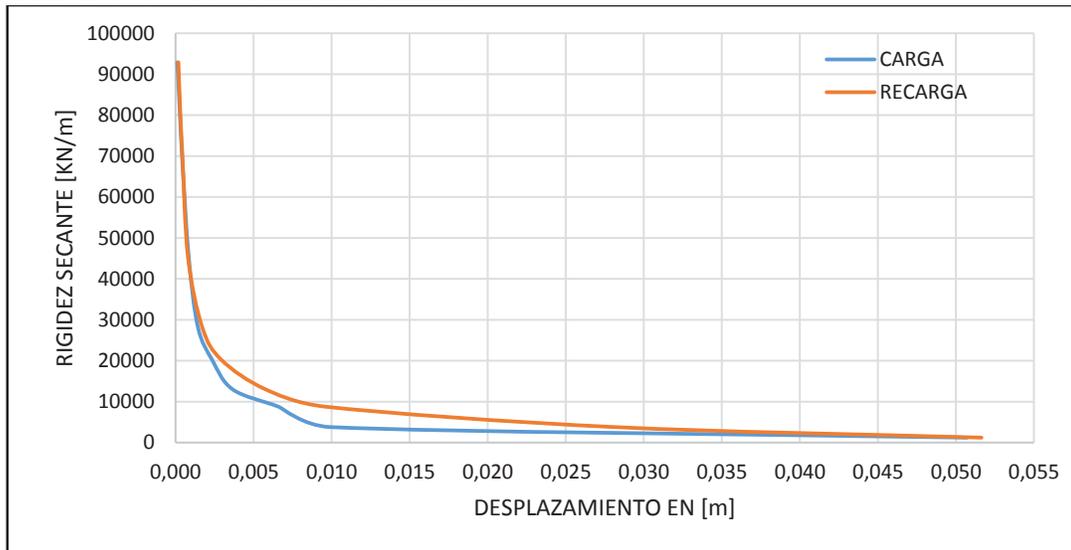
CUADRO 5. 3 RIGIDEZ SECANTE Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS POR CICLO

Ciclo	Rigidez [kN/m]	Δ_{max} [m]	Δ_{min} [m]
1	92935,4594	0,000113	0,000180
2	81711,108	0,000263	0,000288
3	69641,2707	0,000420	0,000444
4	45371,8777	0,000841	0,000794
5	28234,0502	0,001429	0,001704
6	20175,4393	0,002346	0,002945
7	12972,2549	0,003665	0,005782
8	8742,50098	0,006610	0,009643
9	3779,59527	0,009917	0,028140
10	1200	0,050692	0,051638

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La aplicación de carga en el sentido negativo (recarga) produce que las fisuras originadas en la fase anterior se cierren progresivamente manifestándose como un incremento de la curva de recarga. La degradación de rigidez de acuerdo a los resultados obtenidos se observa en la FIGURA 5. 10.

FIGURA 5. 10 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ, PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.5. AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE

Definido como la energía disipada producida por la fricción entre los materiales constitutivos de la estructura, ante velocidades bajas y moderadas donde la fuerza de fricción es directamente proporcional y opuesta a la velocidad del sistema en movimiento. El amortiguamiento viscoso equivalente se determina mediante la ECUACIÓN (5. 1) (Gallegos & Cassabone, 2005).

$$\xi_{EQ} = \frac{\text{Energía disipada/ciclo}}{2 * \pi * K_{sec} * \delta_{max}^2} \quad (5. 1)$$

Donde:

K_{sec} : Rigidez secante por ciclo

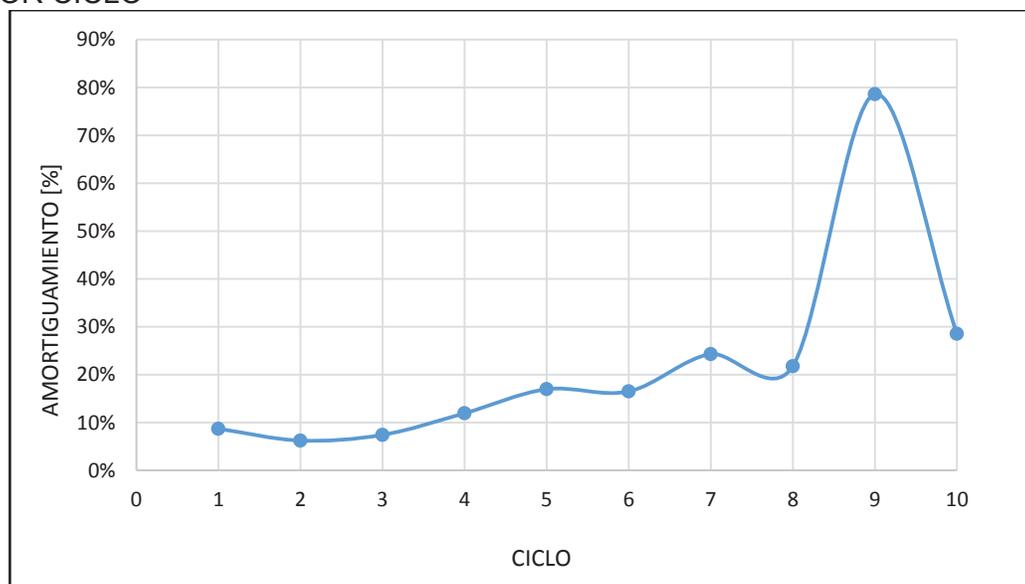
δ_{max} : desplazamiento máximo en cada ciclo

Aplicando la ECUACIÓN (5. 1) se encuentran los valores del amortiguamiento viscoso equivalente por ciclo mostrados en el CUADRO 5. 4 y FIGURA 5. 11.

CUADRO 5. 4 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO

Ciclo	ENERGÍA DISIPADA [KJoules]	Rigidez (KN/m)	δ_{max} (m)	AMORTIGUAMIENTO [%]
1	6,49E-04	92935,4594	0,000113	8,68%
2	2,20E-03	81711,108	0,000263	6,21%
3	5,70E-03	69641,2707	0,000420	7,40%
4	0,024	45371,8777	0,000841	11,92%
5	0,0614	28234,0502	0,001429	16,95%
6	0,115	20175,4393	0,002346	16,48%
7	0,2659	12972,2549	0,003665	24,29%
8	0,5221	8742,50098	0,006610	21,75%
9	1,8357	3779,59527	0,009917	78,59%
10	5,526	1200	0,050692	28,52%

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

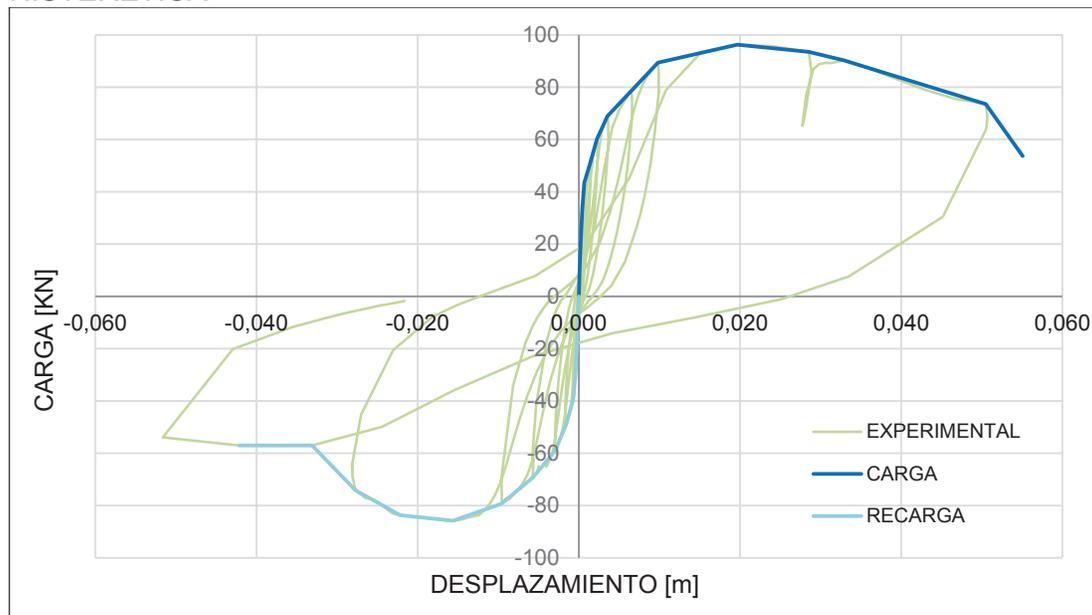
FIGURA 5. 11 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.6. ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA

Para poder realizar la comparación entre las curvas de capacidad analíticas y experimental, se procede a definir la envolvente de la curva histerética determinando los puntos de carga máxima y mínima de cada ciclo ya que en la modelación se realizó un análisis pushover.

FIGURA 5. 12. CURVA DE CAPACIDAD ENVOLVENTE DE LA RESPUESTA HISTERÉTICA



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 5. 5 PROPIEDADES DE LA CURVA DE CAPACIDAD ENVOLVENTE EXPERIMENTAL

CARGA MAXIMA	96,270 [KN]	9,82 [T]
DESPLAZAMIENTO MAXIMO	0,020 [m]	0,020 [m]
RIGIDEZ TANGENTE	65688 [KN/m]	6698,34 [T/m]
RIGIDEZ SECANTE	19393 [KN/m]	1977,54 [T/m]

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.1.7. DUCTILIDAD

Para determinar la ductilidad de desplazamiento máximo se utiliza la relación entre el desplazamiento ultimo y el desplazamiento de fluencia, ECUACIÓN (5. 2) (Gallegos & Cassabone, 2005).

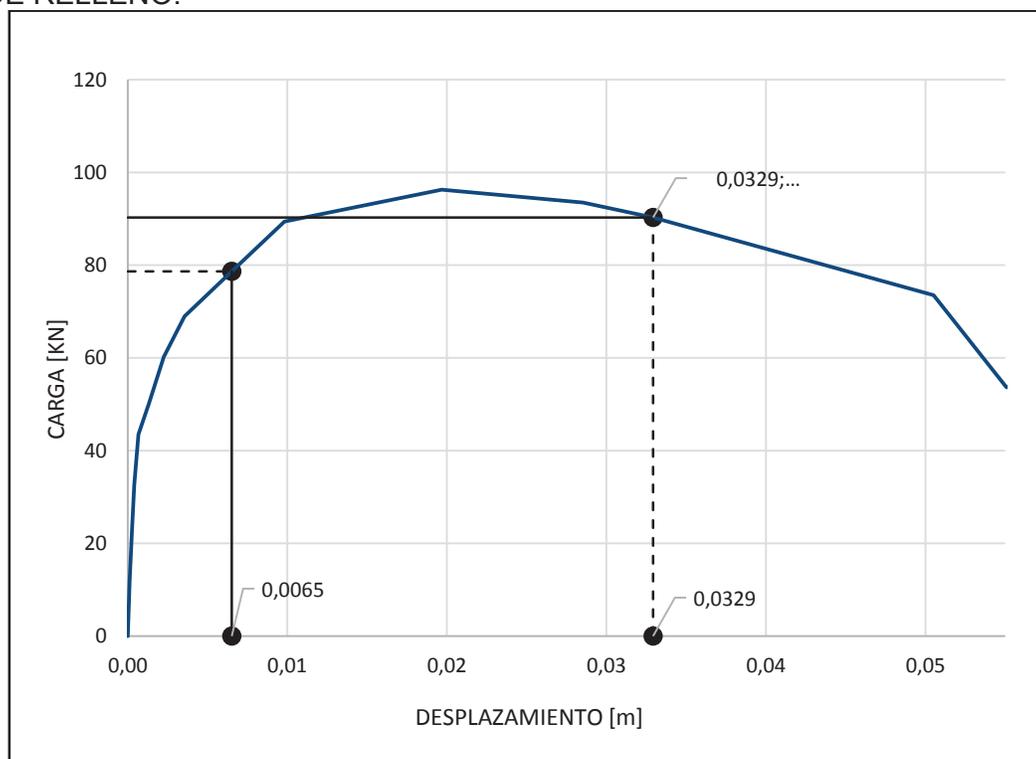
$$\mu' = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (5. 2)$$

Donde

δ_u : desplazamiento correspondiente a esfuerzo ultimo

δ_y : desplazamiento correspondiente al esfuerzo de fluencia

FIGURA 5. 13 PARÁMETROS DE FLUENCIA Y CARGA ÚLTIMA EN LA CURVA EXPERIMENTAL, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO.



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 5. 6 DUCTILIDAD DE LA CURVA DE CAPACIDAD ENNVOLVENTE EXPERIMENTAL DEL PORTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

$\delta_y =$	0.0065	[m]
$\delta_u =$	0.0329	[m]
$\mu =$	5.050	-----

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

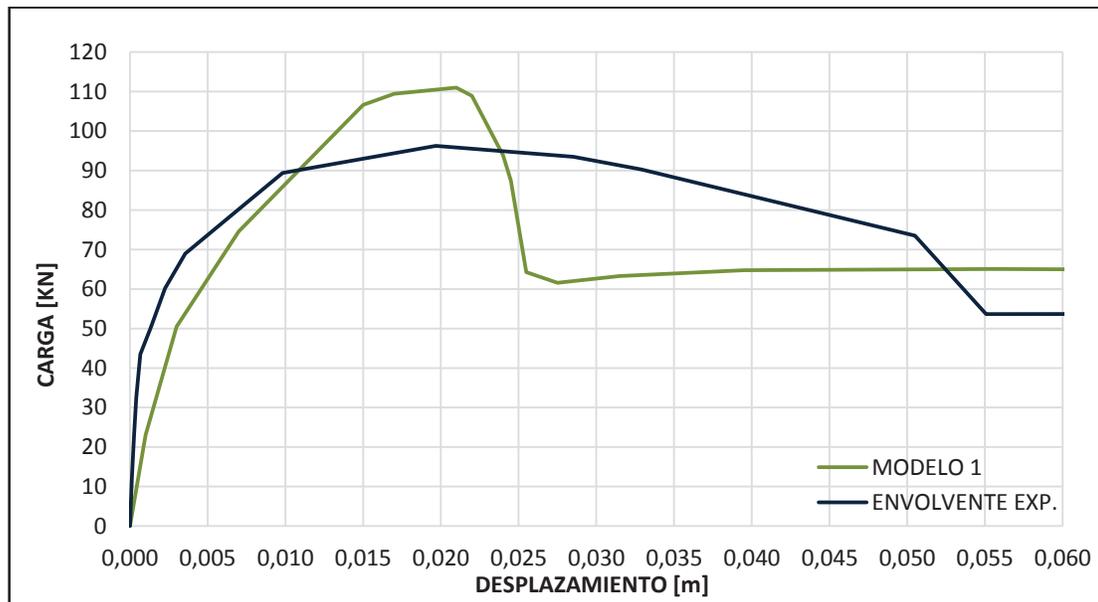
5.2. CALIBRACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO

5.2.1. COMPARACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO Y EL MODELO EXPERIMENTAL

Realizando una comparación inicial podemos observar que la curva analítica (modelo 1) presenta mayor capacidad de carga y rigidez, por lo que se precederá

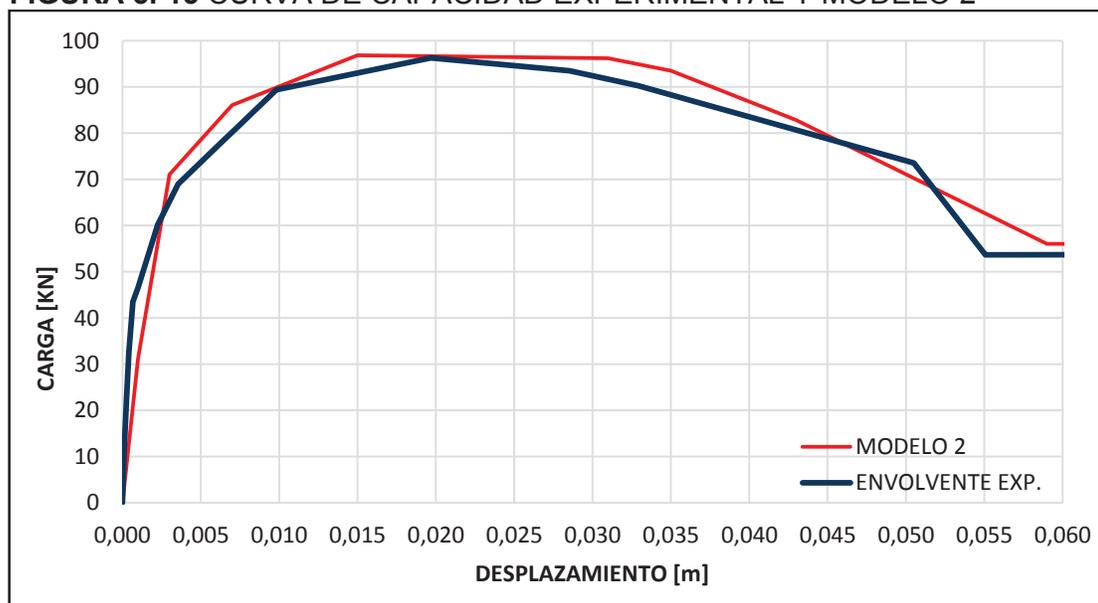
a modificar ciertos parámetros tratando de ajustar la curva analítica a la experimental.

FIGURA 5. 14 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 1

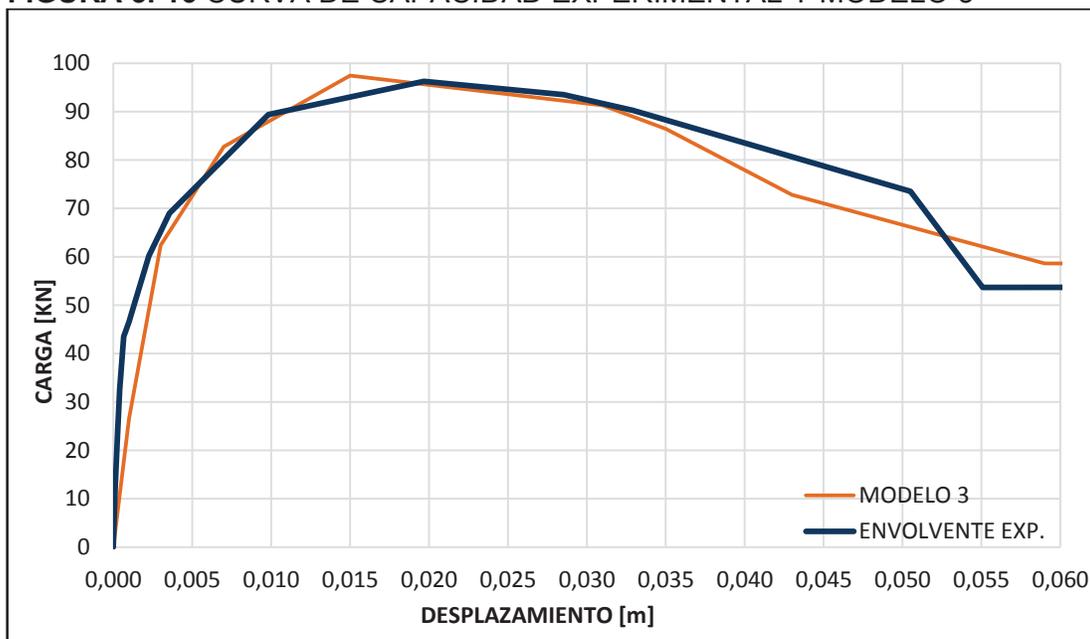


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

FIGURA 5. 15 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 2



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

FIGURA 5. 16 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL Y MODELO 3

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Las propiedades de los materiales constitutivos no fueron modificados ya que fueron determinados experimentalmente y representan condiciones reales; para la calibración del modelo se modificaron los parámetros indicados en el CUADRO 5. 7.

CUADRO 5. 7 PARÁMETROS MODIFICADOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO

PARÁMETROS DEL PANEL DE RELLENO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR POR DEFECTO	UNIDAD
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo (ϵ_m)	0,005	0,003	0,001	0,001-0,005	0,001	m/m
Deformación última (ϵ_{ult})	0,006	0,014	0,012	-	0,024	m/m
Coefficiente de fricción (μ)	0,300	0,035	0,250	0,1-1,2	0,7	---
Máxima resistencia al corte (τ_{max})	144,54	115,00	123,28	-	600	Kpa
Proporción de la rigidez asignada al corte (γ_s)	20	60	20	20-60	---	%

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

En el CUADRO 5. 8 se analizan ciertas propiedades notables de las curvas analíticas determinando su porcentaje de error para seleccionar la que mejor se ajusta a la envolvente experimental.

CUADRO 5. 8 COMPARACIÓN ENTRE MODELOS ANALÍTICOS

	EXP	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3	
	VALOR	VALOR	ERROR	VALOR	ERROR	VALOR	ERROR
CARGA MAXIMA [KN]	96,270	110,996	15,30%	96,839	0,59%	97,454	1,23%
DESPLAZAMIENTO MAXIMO [m]	0,020	0,021	6,74%	0,015	23,76%	0,015	23,76%
RIGIDEZ TANGENTE [KN/m]	65688	22986	65,01%	31246	52,43%	26549	59,58%
RIGIDEZ SECANTE [KN/m]	19393	10656	45,05%	23685	22,13%	20793	7,22%

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

La deformación correspondiente al esfuerzo máximo y deformación última son parámetros que modifican notablemente la capacidad máxima de carga y variación de la rigidez.

Al no disponer de resultados experimentales se calculan los parámetros del resorte de corte, asumiendo el valor para el coeficiente de fricción el cual modifica la resistencia máxima de corte, se variará μ hasta ajustar la curva.

La proporción de la rigidez asignada al corte se varió para representar la degradación de la estructura durante el ensayo.

Al modificar estos parámetros se identificó que la curva de capacidad analítica del modelo 3 representa el comportamiento del pórtico siendo este el modelo calibrado.

5.2.2. CRITERIOS DE DESEMPEÑO

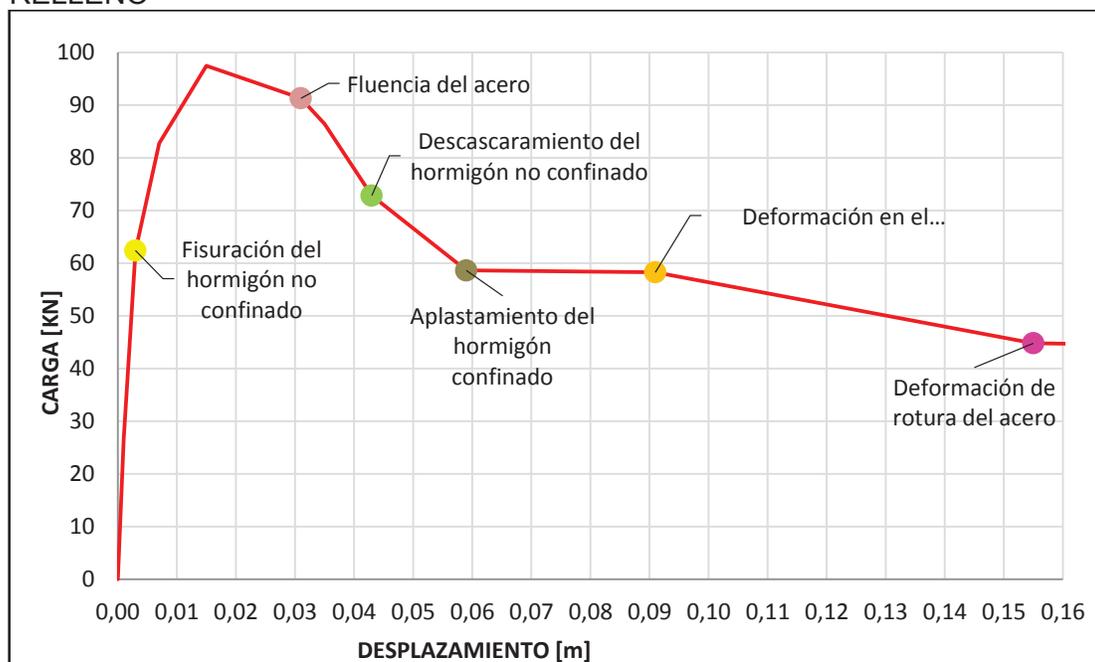
Una vez calibrado el modelo se pueden determinar los criterios de desempeño, permitiéndonos identificar de manera eficaz los instantes donde se alcanzan los estados límites en la curva de capacidad. De acuerdo al SeismoStruct se establecen los criterios de desempeño a determinarse en la curva de capacidad del modelo analítico (CUADRO 5. 9) (SeismoSoft, 2016).

CUADRO 5. 9 CRITERIOS DE DESEMPEÑO

CRITERIOS DE DESEMPEÑO	DEFORMACIÓN UNITARIA
Fisuración del hormigón no confinado	0,0001
Fluencia del acero	0,0024
Descascaramiento del hormigón no confinado	-0,002
Deformación del esfuerzo máximo del hormigón no confinado	-0,003
Aplastamiento del hormigón confinado	-0,005
Deformación en el punto medio de fluencia del acero	0,03
Deformación en la carga máxima del acero	0,05
Deformación de rotura del acero	0,08

FUENTE: SeismoSoft, 2016

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

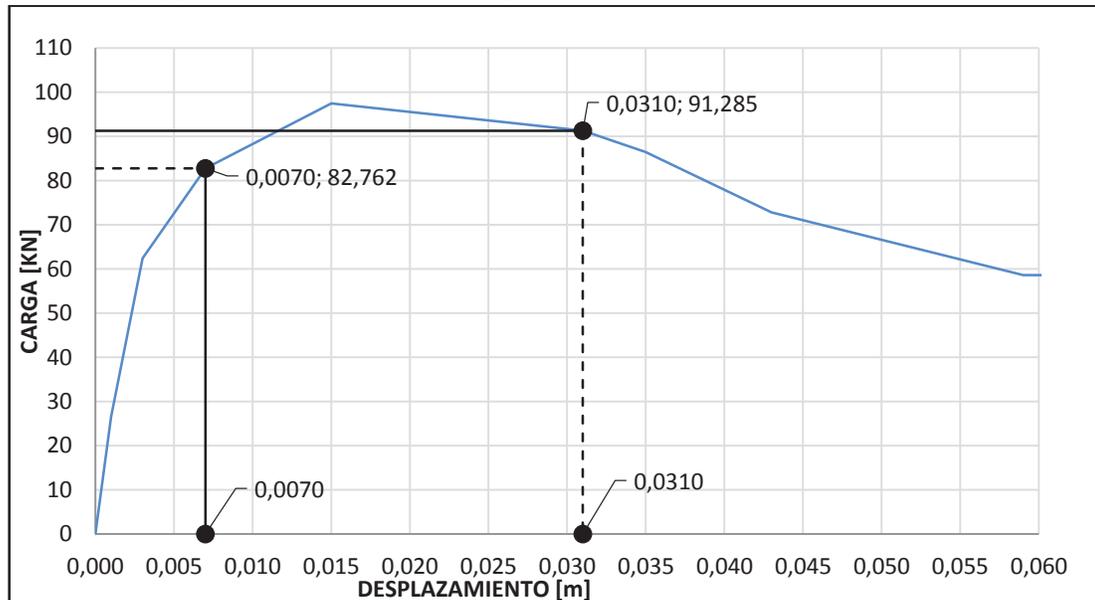
FIGURA 5. 17 CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA Y CRITERIOS DE DESEMPEÑO, DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.2.3. DUCTILIDAD DEL MODELOS CALIBRADO

Para el cálculo de la ductilidad se establecieron los desplazamientos correspondientes a punto de fluencia y el de carga última, de la curva de capacidad del modelo analítico calibrado.

FIGURA 5. 18 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FLUENCIA EN LA CURVA DEL MODELO CALIBRADO, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

Se realiza una comparación del valor de ductilidad entre los valores obtenidos de la curva envolvente experimental y de la curva del modelo calibrado teniendo un error de 12%.

CUADRO 5. 10 DETERMINACIÓN DE LA DUCTILIDAD ANALÍTICA, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

	CURVA EXPERIMENTAL	MODELO CALIBRADO	UNIDADES
$\delta_y =$	0.0065	0.0070	[m]
$\delta_u =$	0.0329	0.0310	[m]
$\mu =$	5.050	4.428	---

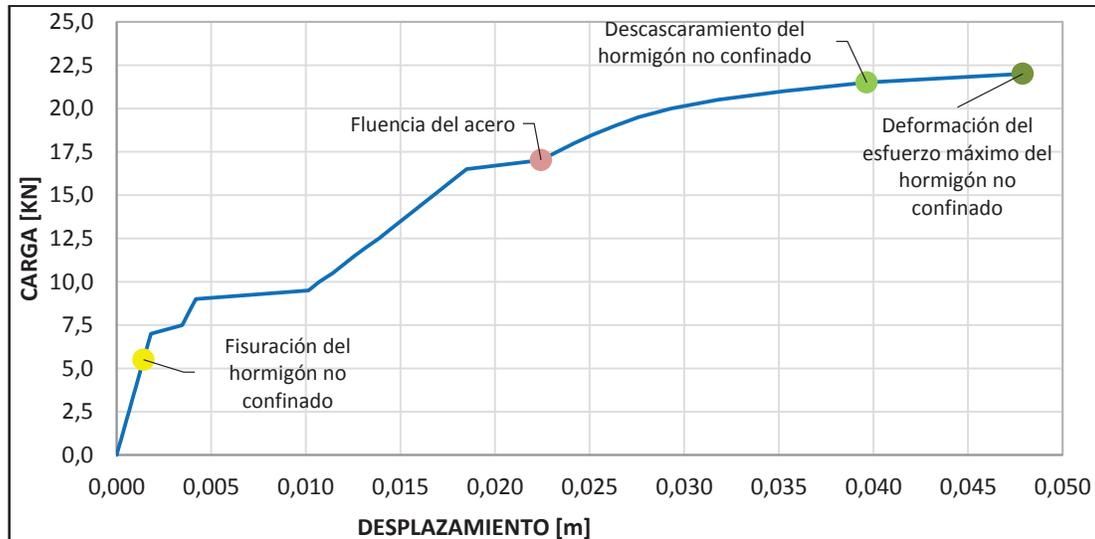
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.3. PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO

5.3.1. CURVA DE CAPACIDAD

A partir del modelo calibrado del pórtico con panel de relleno se descartó la mampostería, para analizar el comportamiento del pórtico vacío determinando los criterios de desempeño (FIGURA 5. 19).

FIGURA 5. 19 CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA Y CRITERIOS DE DESEMPEÑO DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO

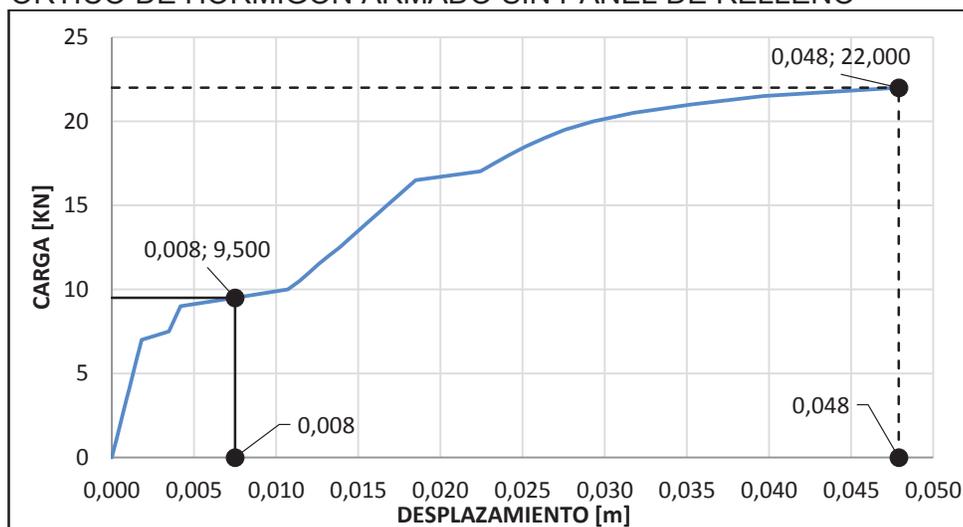


ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.3.2. DUCTILIDAD

Para la determinación de la ductilidad del pórtico sin panel de relleno se encuentran los desplazamientos correspondientes a la carga máxima y de fluencia (FIGURA 5. 20), donde se puede observar que la deformación última disponible se encuentra en el punto del aplastamiento del hormigón confinado.

FIGURA 5. 20 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FLUENCIA, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CUADRO 5. 11 DETERMINACIÓN DE LA DUCTILIDAD, PARA EL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO SIN PANEL DE RELLENO

δ_y	0.0075	[m]
δ_u	0.0479	[m]
μ'	6.386	--

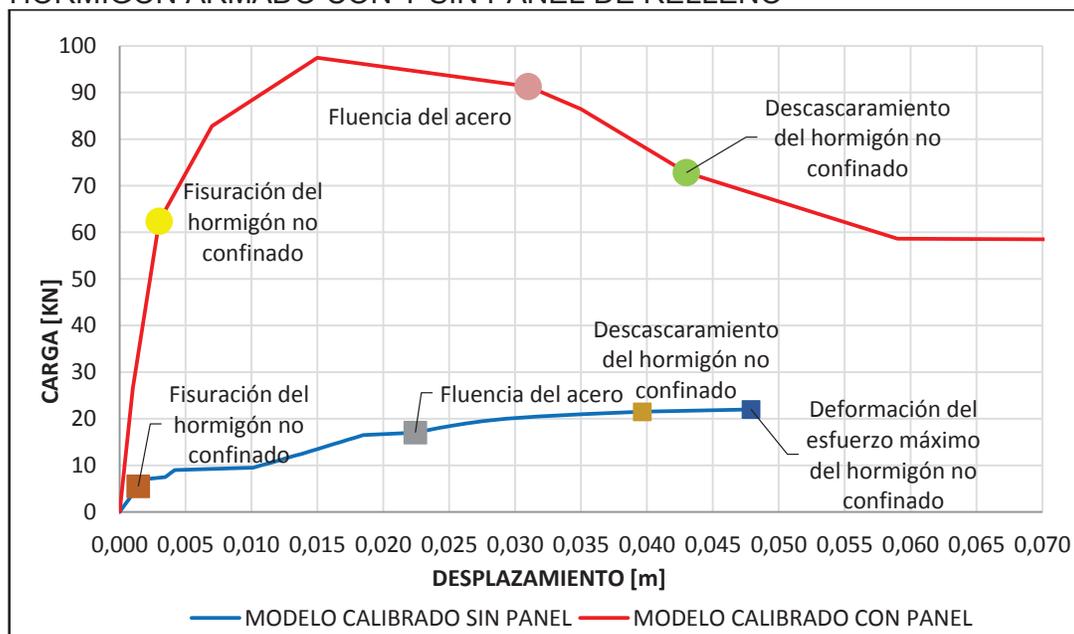
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

5.4. COMPARACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE MODELO ANALÍTICO CALIBRADO CON Y SIN PANEL DE RELLENO

Como se puede observar en la FIGURA 5. 21, el pórtico de hormigón armado con panel de relleno tiene mayor capacidad de carga y menor desplazamiento, evidenciando que el panel de relleno influye en la capacidad de carga y rigidez del sistema.

El pórtico con panel de relleno presenta una capacidad de deformación menor restringiendo su comportamiento al de un material frágil, lo contrario ocurre con la curva de capacidad del pórtico sin panel de relleno donde el comportamiento sería dúctil.

FIGURA 5. 21 COMPARACIÓN CURVA DE CAPACIDAD-PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON Y SIN PANEL DE RELLENO



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos determinados mediante ensayos experimentalmente son la base para la generación del modelo del pórtico de hormigón armado con panel de relleno.
- La geometría y dimensiones del pórtico con panel de relleno, sirven para definir la configuración geométrica del puntal equivalente y del resorte de corte necesaria para representar el comportamiento del panel.
- En la determinación del módulo de elasticidad de la mampostería se emplearon las propiedades del bloque y mortero según la ecuación propuesta por Crisafulli, siendo la que mejor se ajustó para la calibración de la estructura estudiada.
- Con el modelo del puntal equivalente propuesto por Crisafulli que se encuentra en la librería del software SeismoStruct, disponible para representar el comportamiento no lineal tipo pushover de estructuras aporricadas con paneles de relleno, se puede evidenciar buenos resultados siendo una herramienta fácil y eficaz para el estudio de esta tipología.
- La comparación entre la curva de capacidad analítica del pórtico con panel de relleno, determinada mediante el análisis pushover monotónico y la curva de capacidad envolvente obtenida del ensayo a carga lateral cíclica, permite validar el modelo analítico.
- En base a la revisión fotográfica del ensayo del pórtico se observaron fisuras y desprendimiento del hormigón no confinado en los elementos estructurales,

además en el panel de relleno el tipo de falla presentado fue el fraccionamiento de los bloques y deslizamiento de las juntas del mortero; de acuerdo a la descripción de daños presentado por el comité VISION 2000 este corresponde a un estado de daño severo.

- Se observa la formación de un plano de deslizamiento entre los elementos del panel de relleno, produciendo la activación del puntal equivalente que origina la falla en la columna.
- Los criterios de desempeño determinados en la curva de capacidad del modelo analítico para el pórtico de hormigón armado con panel de relleno, representa una estimación de daño aproximada con respecto a los observados durante el ensayo.
- En los últimos cinco ciclos se observa la mayor cantidad de energía disipada representando un 99% y el ciclo que presenta mayor porcentaje de disipación es el último (ciclo 10) con un 66%; evidenciando el incremento en la disipación de energía debido a la ocurrencia de daños en el sistema durante el ensayo experimental.
- La degradación de la rigidez del sistema durante el ensayo fue del 97%. Observando la pendiente de la curva de degradación en función del desplazamiento se puede afirmar que la rigidez es mayor en los primeros ciclos hasta alcanzar un desplazamiento de 2,25 [mm], posteriormente se observa una variación brusca de pérdida de rigidez hasta llegar a los 15 [mm], finalmente a partir de este instante la rigidez tiende a cero permitiendo mayores desplazamientos.
- Los parámetros necesarios para la calibración del modelo analítico que se modificaron fueron: la deformación correspondiente al esfuerzo máximo que se redujo de 0,0045 a 0,001; la deformación última aumentó de 0,006 a 0,012.

- Los parámetros de corte se determinaron analíticamente por lo que se varia dentro de los rangos establecidos por la bibliografía, como el coeficiente de fricción que se redujo de 0,3 a 0,25 produciendo la variación de la máxima resistencia a corte, además la proporción de la rigidez asignada al corte fue el mínimo valor recomendado. Estos parámetros son muy sensibles modificando significativamente a la curva de capacidad.
- La carga máxima del modelo calibrado es mayor a la obtenida en el ensayo experimental, presentando un error de 1.23%.
- El desplazamiento correspondiente a la carga máxima para el modelo calibrado es menor al registrado en el ensayo experimental, presentando un error de 24%.
- El valor de la rigidez tangente determinada de la curva de capacidad analítica presenta un error del 60% con relación al valor experimental, este error se debe a la baja precisión de los equipos para medir deformaciones muy pequeñas.
- El valor de la rigidez secante determinada en el ciclo 1 con relación a la rigidez secante en el modelo calibrado, representa un error del 7%.
- El valor de la ductilidad determinado de la curva de capacidad experimental es mayor al valor obtenido de la curva de capacidad del modelo calibrado, presentando un error del 12%.
- La carga ultima obtenida en el modelo analítico del pórtico de hormigón armado sin panel de relleno es el 23% de la carga ultima determinada del modelo analítico para el pórtico de hormigón armado con panel de relleno.
- La ductilidad en el pórtico de hormigón armado sin panel de relleno es 31% mayor a la del pórtico con panel de relleno, presentado una mayor capacidad

de desplazamiento en el rango inelástico a diferencia del pórtico con panel de relleno que presenta una falla frágil.

- De acuerdo a las características y propiedades mecánicas podemos afirmar que el panel de relleno en un sistema aporticado influye en el comportamiento, por lo cual debe ser considerado en los análisis estructurales.

RECOMENDACIONES

- Con el propósito de caracterizar esta tipología es necesario realizar mayor número de ensayos en pórticos de hormigón armado con paneles de relleno, generando una base de datos experimentales para la estimación de criterios necesarios en la evaluación de las edificaciones existentes en el Ecuador.
- Para estudios similares se deberían realizar ensayos de resistencia a corte por adherencia, permitiendo analizar los tipos de falla posibles y los parámetros necesarios para el modelo del resorte de corte para reflejar el comportamiento real del sistema en estudio y disminuir la incertidumbre.
- Para la determinación de la resistencia a compresión de muretes de mampostería y en base a la bibliografía revisada, se deberían realizar ensayos a compresión en pilas.
- Para la obtención de las propiedades mecánicas, el número de ensayos debería ser mayor a tres, para obtener una menor dispersión de datos y poder descartar resultados incoherentes.
- Para un posterior trabajo de titulación experimental se sugiere tomar como variable el proceso constructivo.

- Se debe controlar que los materiales y la dosificación del mortero, de pilas y muretes sean los mismos que se emplean en la construcción del pórtico, para que las propiedades determinadas sean las reales.
- En base a la ejecución y visualización del ensayo del prototipo de estudio se puede indicar que los elementos confinantes se dañan al mismo tiempo que el panel de relleno, por lo que se recomienda mejorar el armado de estos elementos.
- Para la construcción de elementos estructurales se debe tener en cuenta los lineamientos planteados por la NEC, siendo uno de ellos cumplir con las secciones mínimas para vigas y columnas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages: ASTM-E519/E519M-15*
- ACI. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary: ACI 318-08*
- Andreas, U. (1996). *Failure Criteria for Masonry Panels under In-Plane Loading. Journal of Structural Engineering*
- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages: ASTM-C270-15*
- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages: ASTM-E519/E519M-15*
- Belda, A. (2014). *Estudio experimental de la influencia del relleno de mampostería sobre pórticos de hormigón armado frente a acciones horizontales. Universidad Politécnica de Valencia. España.*
- Bertoldi, S., Decanini, L., & Gavarini C. (1993). *Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico. Atti del 6° convegno nazionale ANIDIS. Perugia, Italy.*
- Carrillo, C. P. (2008). *Análisis Sismorresistente de Pórticos Incluyendo la Influencia de la Mampostería en la Rigidez. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja*
- Carrillo, J., & Gonzales, G. (2007). *Influencia de la mampostería no reforzada en el comportamiento inelástico de pórticos de concreto.*
- Celi, C., & Pantoja, J. (2017). *Capacity curves and fragility curves of residential buildings for the city of Quito. Quito: GEM, EPN.*
- Chicaiza, M. (2017). *Modelo de exposición y mapa de vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.*
- Cormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado. México:*

Alfaomega.

CPE INEN. (2014). Capítulo 6: Mampostería estructural: CPE INEN-NEC-SE-MP 26-6. Ecuador.

Crisafulli, F. J., & Carr, A. J. (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. Bull NZ Soc Earthq Eng, 69-67

Crisfulli, F. J. (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structural with Mansory Infills. New Zealanda.

Díaz, J., & Rodríguez, D. (2011). Ensayos a Carga Horizontal de Mampostería Sin Mortero de Unión, Confinadas, con el Sistema Constructivo Multiblock, Escuela Politécnica Nacional. Quito.

Feodosiev, V., (1980). Resistencia de Materiales. Primera edición. Moscú

Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). Albañilería Estructural. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Gutiérrez, L. (2003). El Concreto y Otros Materiales Para la Construcción. Manizales.

Hendry, A., (1990). Structural Masonry. Macmillan Education Ltd. London, England.

INEN-NEC-SE-VIVIENDA, 2.-1. (2015). Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros. Quito.

Kirtsching, K., (1985). On the failure mechanism of Masonry Subjeted to Compression. Seventh International Brick Masonry Conference. Austria

Mander, M., (1998). Tehorical Stress-Strain Model For Confinated Concrete. Journal of Structural Engineering.

Meca. (2011). Diagrama esfuerzo-deformación unitaria. Obtenido de <http://mecatronica4b.blogspot.com/2011/11/diagrama-esfuerzo-deformacion-unitaria.html>

Menegotto, M., (1973). Method of analysis for cyclically loader R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending. LASE symposium. Lisboa

- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas no sísmicas: NEC-SE-CG. Ecuador.*
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de Mampostería Estructural: NEC-SE-MP. Ecuador.*
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Hormigón armado: NEC-SE-HM. Ecuador.*
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Vivienda de Hasta 2 Pisos con luces de hasta 5m: NEC-SE-VIVIENDA. Ecuador.*
- Nilson, A., (1999). *Diseño de estructuras de concreto. Mc Graw Hill.*
- NTCM-RCDF. (2004). *Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de Estructuras de Mampostería, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. México.*
- NTE INEN. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista: NTE INEN 488. Ecuador.*
- NTE INEN. (2010). *Hormigones y Áridos para elaborar hormigón. Terminología: NTE INEN 694. Ecuador.*
- NTE INEN. (2012). *Bloques Huecos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión: NTE INEN 640. Ecuador.*
- NTE INEN. (2014). *Agua Potable: requisitos: NTE INEN 1108. Ecuador.*
- NTE INEN. (2014). *Bloques Huecos de hormigón. Definiciones, Clasificación y condiciones generales: NTE INEN 638. Ecuador.*
- NTE INEN. (2017). *Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente para hormigón armado. Requisitos: NTE INEN 102. Ecuador.*
- Paredes, P., & Fernández, L. (2010). *Investigación teórico experimental de un sistema estructural alternativo. Escuela Politécnica Nacional. Quito.*
- Parker, H. (2008). *Diseño Simplificado de Concreto Reforzado. México: Limusa,*

S.A. .

Paulay, T., & Priestley M. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc., New York.

Pereira, P., Pereire, N., Ferrerira, D., & Lourenco. (2011). Behavior of manonry infill panels in RC frames subjected to in plane and out of plane loads. 7th Conferencia Internacional AMCM. Polonia.

Priestley, M., Calvi, G., & Kowalsky M. (2007). Displacement Based Seismic Desing of Structures. Pavia. Italia.

Priestley, M., Seible, F., & Calvi, G. (1996). Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons Inc., New York.

Quijja, N., & Vaca, L. (2016). Análisis de refuerzo longitudinal y transversal en vigas y columnas de hormigón armado utilizando acero de refuerzo con dos fluencias, mediante ensayos de carga. Escuela Politécnica Nacional. Quito

Rochel, R. (2007). Hormigon Reforzdo. Universidad EAFIT. Medellin

Romo, M. (2005). Temas de Hormigón Armado. Ecuador.

Sahlin, S. (1971). Structural Masonry. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.

San Bartolome, A. (1990). Colección del Ingeniero Civil. Colegio de Ingenieros del Perú, Perú.

Seismosoft. (2016). SeismoStruct 2016-Acomputer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. Italia.

SENCICO. (2006). Albañilería: SENCICO E.070. Perú.

Singaucho, J. C., Laurendeau, A., Viracucha, C., & Ruiz, M. (2016). Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud mw 7.8. Intensidades y aceleraciones. Informe Sísmico Especial N. 18-2016. Instituto Geofísico. Recuperado de <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>.

Smyrou, E. (2006). Implementation and verication of masory panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames

- Smyrou, E., Blandon, C., Antoniou, S., Pinho, R., & Crisafulli, F. (2011). *Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames*, *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI 10.1007/s10518-011-9262-6.
- Visión 2000. (1995). *Ingeniería sísmica basada en el desempeño de edificios*. Asociación de Ingenieros Estructurales. California
- Yepes, C., & Silva, V. (2015). *Exposure modelling in South America*. GEM Fundación. Italia
- Zabala, O., & Zabala, J. (2006). *Rehabilitación de mamposterías agrietadas de ladrillo artesanal*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.

ANEXOS

ANEXO 1
ENSAYOS DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 22 de diciembre de 2016

INF. No.16 - 1030
Hoja 01 de 01

SOLICITA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
Atención: Diego Arévalo
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253
PROYECTO: TESIS MAESTRÍA ING. FABIÁN PACHANO
CONTRATISTA: ****
FISCALIZADOR: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
ELEMENTO: VARIOS
NORMA: INEN 1573:2010 ; ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA		TIPO DE FALLA
								(kN)	(t)	(MPa)	(kg/cm ²)	
1	01-nov-16	C1 CIMENTACIÓN	29-nov-16	28	151	17789	2143	488.37	49.80	27.3	279	TIPO 2
2	01-nov-16	C1 CIMENTACIÓN	13-dic-16	42	153	18265	2226	489.52	49.92	27.3	279	TIPO 2
3	01-nov-16	C1 CIMENTACIÓN	13-dic-16	42	153	18385	2170	498.71	50.85	27.1	277	TIPO 3
4	16-nov-16	CO-P1	13-dic-16	27	153	18265	2211	411.21	41.93	22.7	231	TIPO 3
5	16-nov-16	CO-P1	13-dic-16	27	153	18265	2204	493.56	50.33	27.2	277	TIPO 5
6	16-nov-16	CO-P1	13-dic-16	27	154	18506	2145	473.45	48.28	25.4	259	TIPO 1
7	16-nov-16	CO-P1	13-dic-16	27	153	18265	2271	418.30	42.66	23.7	241	TIPO 2
8	18-nov-16	V1	13-dic-16	25	151	17908	2162	392.51	40.03	21.9	224	TIPO 3
9	18-nov-16	V1	13-dic-16	25	152	18146	2226	453.34	46.23	25.0	255	TIPO 5
10	18-nov-16	V1	13-dic-16	25	152	18146	2157	457.50	46.65	24.6	250	TIPO 5



Observación: Las procedencias y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DEL LABORATORIO



ENSAYO DE TRACCIÓN A VARILLAS DE 9 Y 12 [mm]

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Tres (3) varillas de diámetro 9 mm y tres (3) varillas de diámetro 12 mm marca ARMEX para ensayo de tracción.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN A MATERIAL BASE

En la tabla 1 se muestran los resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción a las varillas.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
D9 T-1	9,00	8.430	37.500	73,1	504	85,5	589	7,5
D9 T-2	9,00	8.340	37.100	71,0	489	84,6	583	7,5
D9 T-3	9,00	8.408	37.400	71,7	494	85,3	588	5,0*
D12 T-1	12,00	14.365	63.900	69,7	481	81,9	565	8,5
D12 T-2	12,00	14.590	64.900	69,0	476	83,2	574	8,2
D12 T-3	12,00	14.253	63.400	68,8	474	81,3	561	7,5

*La probeta falla fuera de la distancia entre 200 mm



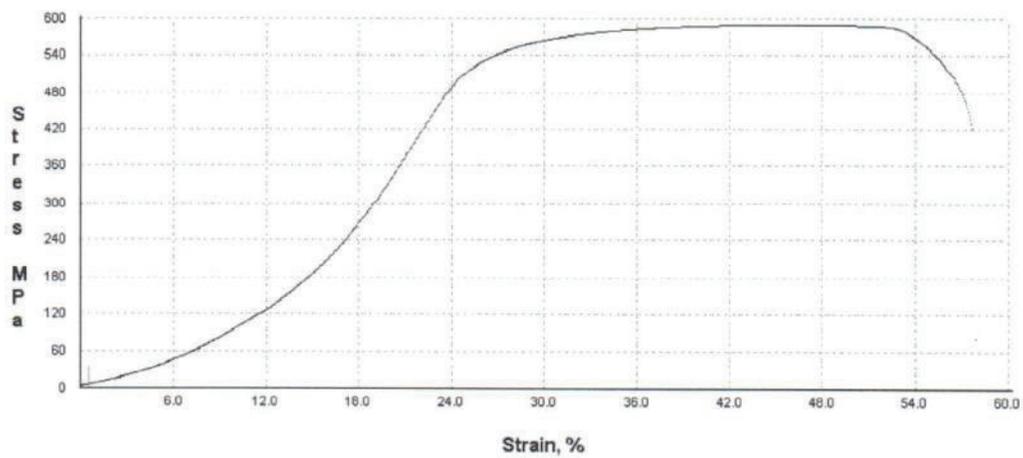


Figura 1. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D9 T-1.

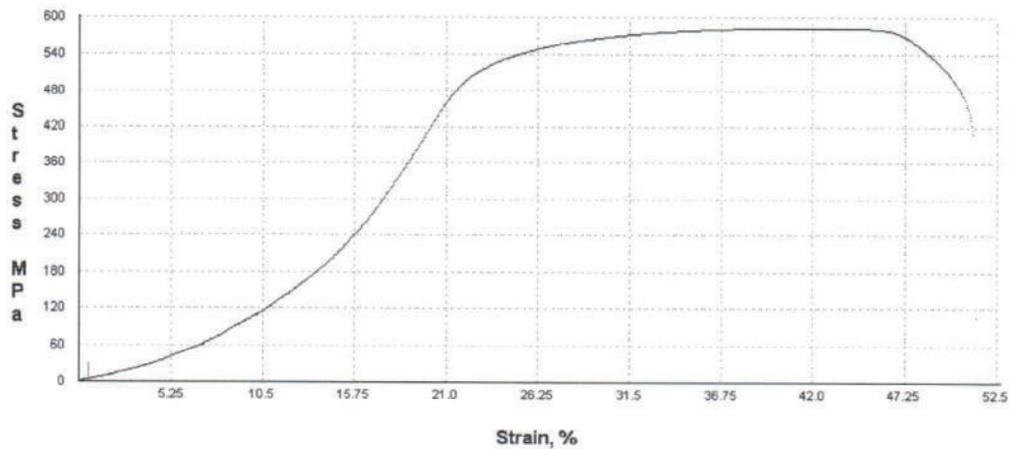


Figura 2. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D9 T-2.

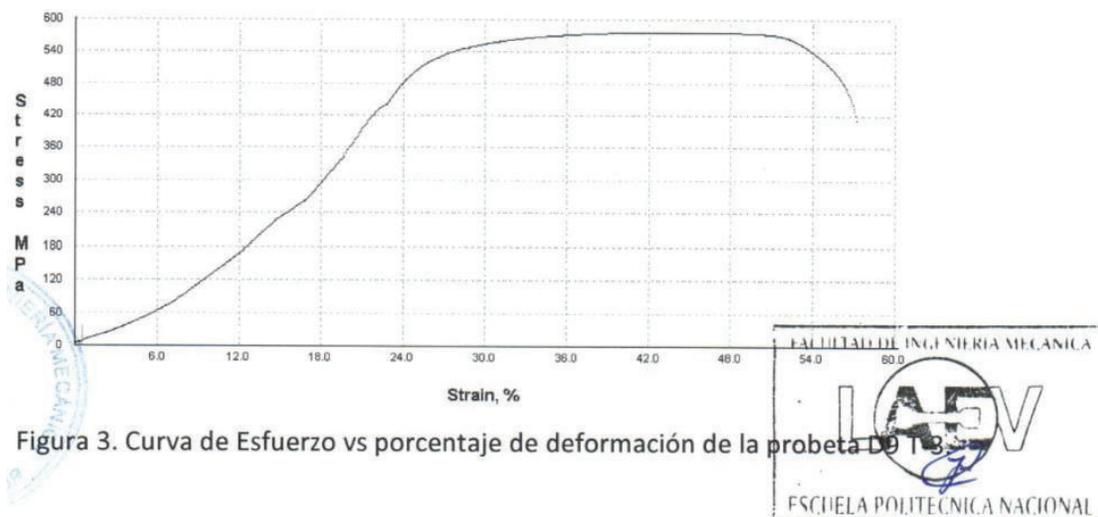


Figura 3. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D9 T-3.



VALORES OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS Ø 9 [mm]					
T-1		T-2		T-3	
ESFUERZO MPa	ϵ_u mm/mm	ESFUERZO Mpa	ϵ_u mm/mm	ESFUERZO MPa	ϵ_u mm/mm
0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000
504.00	0.0024	489.00	0.0024	494.00	0.0024
532.85	0.0035	527.88	0.0053	530.53	0.0033
532.85	0.0035	538.77	0.0077	537.55	0.0042
545.35	0.0058	549.37	0.0110	545.29	0.0064
563.45	0.0115	556.27	0.0139	549.53	0.0070
576.44	0.0180	558.73	0.0164	552.40	0.0075
583.40	0.0260	572.49	0.0244	552.40	0.0084
585.94	0.0289	572.49	0.0244	556.21	0.0085
585.94	0.0289	574.05	0.0282	556.39	0.0097
588.88	0.0368	576.70	0.0346	561.61	0.0125
589.00	0.0581	578.61	0.0392	569.88	0.0191
586.26	0.0584	583.00	0.0397	573.19	0.0192
585.71	0.0635	581.77	0.0597	573.89	0.0369
581.94	0.0647	579.32	0.0617	569.16	0.0371
579.49	0.0655	577.24	0.0635	570.93	0.0397
567.75	0.0666	567.05	0.0649	567.67	0.0399
542.58	0.0692	538.57	0.0684	568.04	0.0410
503.69	0.0724	506.59	0.0714	555.19	0.0432
478.79	0.0736	478.64	0.0731	537.83	0.0450
418.83	0.0750	478.64	0.0731	518.40	0.0465
		467.38	0.0735	485.54	0.0482
		460.40	0.0741	464.75	0.0489
		445.53	0.0744	438.67	0.0496
		429.03	0.0747	408.64	0.0500
		420.55	0.0749		
		405.79	0.0750		

Id.	E [Mpa]	f_y [Mpa]	ξ_y [mm/mm]	f_u [Mpa]	ξ_u [mm/mm]	f_r [Mpa]	ξ_r [mm/mm]	Esp [Mpa]	u
D9 T-1	209950.4	504	0.0024	589	0.058	418.83	0.0750	1526.0	0.0000
D9 T-2	202102.0	489	0.0024	583	0.039	405.79	0.0750	2518470.5	0.0125
D9 T-3	208640.8	494	0.0024	588	0.004	408.64	0.0056	39788720.5	0.1907
PROMEDIO	206026.2	496.5	0.0024	586.0	0.048	412.311	0.0750	1259998.25	0.01

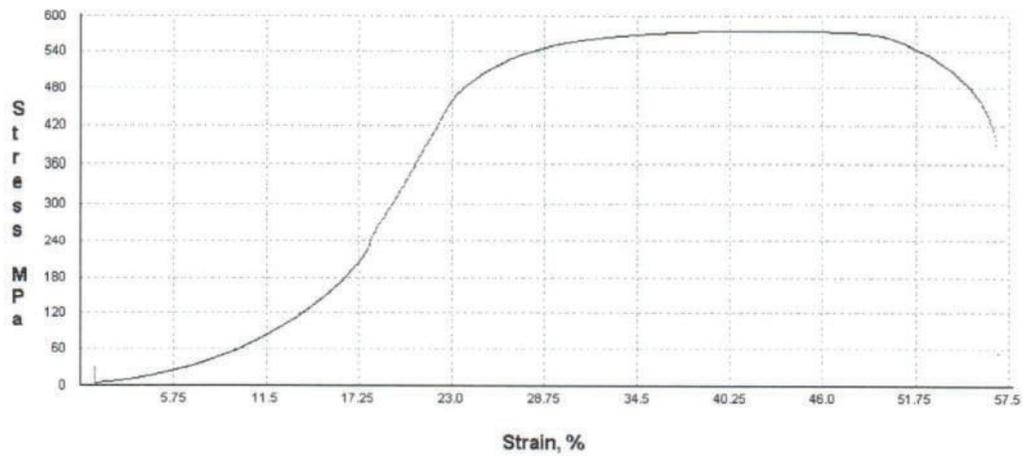


Figura 4. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D12 T-1.

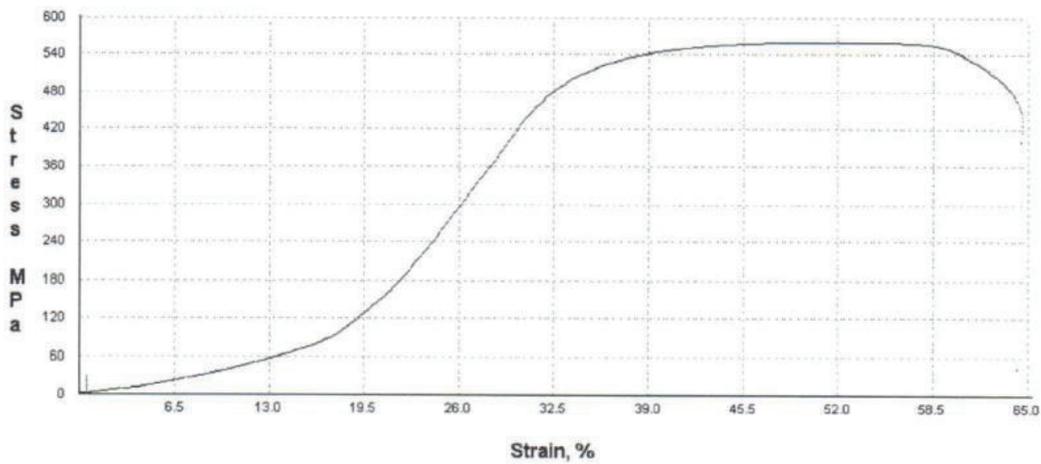


Figura 5. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D12 T-2.

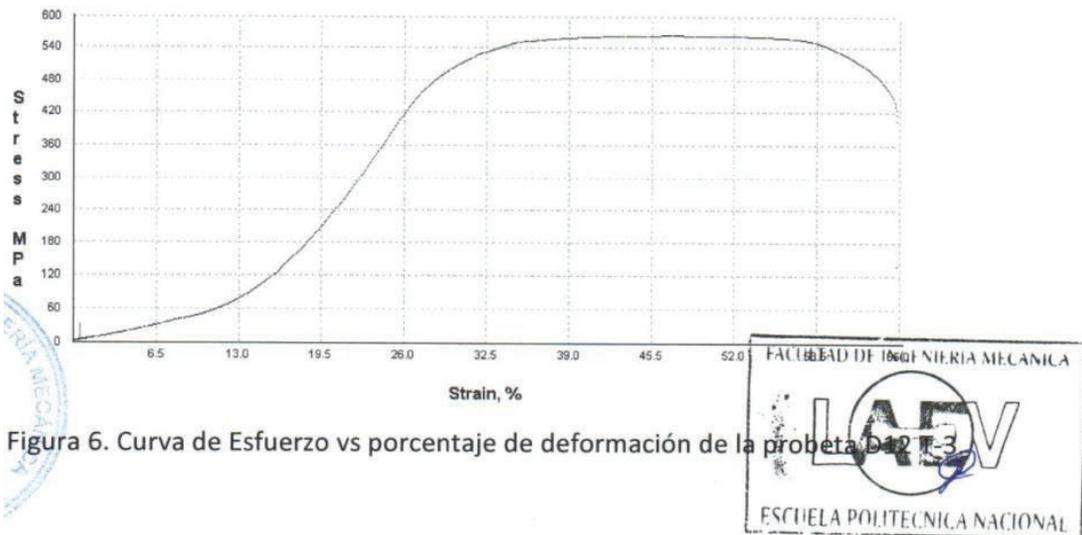


Figura 6. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta D12 T-3.



VALORES OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS Ø 12 [mm]					
T-1		T-2		T-3	
ESFUERZO MPa	ϵ_u mm/mm	ESFUERZO MPa	ϵ_u mm/mm	ESFUERZO MPa	ϵ_u mm/mm
0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000
481.00	0.0024	476.00	0.0024	474.00	0.0024
511.11	0.0048	501.52	0.0034	511.46	0.0055
531.36	0.0094	524.21	0.0076	529.76	0.0092
544.85	0.0145	541.63	0.0176	540.57	0.0124
550.72	0.0178	553.40	0.0231	550.07	0.0206
558.75	0.0241	566.62	0.0329	554.42	0.0244
564.71	0.0345	572.92	0.0433	556.49	0.0273
565.00	0.0495	572.71	0.0610	557.10	0.0303
563.48	0.0628	574.00	0.0610	561.00	0.0459
556.55	0.0677	567.84	0.0672	559.73	0.0506
536.12	0.0729	560.01	0.0708	557.94	0.0580
508.33	0.0776	546.79	0.0736	554.05	0.0630
470.26	0.0817	518.93	0.0787	546.87	0.0662
430.79	0.0845	506.46	0.0805	537.29	0.0686
412.65	0.0850	490.62	0.0820	522.71	0.0717
				503.19	0.0750

Id.	E [Mpa]	f_y [Mpa]	ξ_y [mm/mm]	f_u [Mpa]	ξ_u [mm/mm]	f_r [Mpa]	ξ_r [mm/mm]	Esp [Mpa]	u
D12 T-1	200417.4	481	0.0024	565	0.049	412.64	0.0850	1781.63	0.008
D12 T-2	198334.1	476	0.0024	574	0.061	490.62	0.0820	1671.22	0.008
D12 T-3	197500.7	474	0.0024	561	0.045	503.18	0.0750	2001.55	0.010
PROMEDIO	198750.7	477.0	0.0024	566.7	0.052	468.82	0.0807	1818.14	0.009

PROPIEDADES DE LA VARILLA	Ø 9 [mm]	Ø 12 [mm]	UNIDAD
Módulo de elasticidad, E	2100849.4	2026693.5	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia, f_y	5062.8	4864.04	kg/cm ²
Deformación en el punto de fluencia, ξ_y	0.0024	0.0024	mm/mm
Esfuerzo en la carga pico, f_u	5975.4	5778.39	kg/cm ²
Deformación en la carga pico, ξ_u	0.0489	0.0522	mm/mm
Esfuerzo de rotura, f_r	412.31	4780.64	kg/cm ²
Deformación en el punto de rotura, ξ_r	0.075	0.0807	mm/mm

COMPRESIÓN DEL BLOQUE



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DE MAMPOSTERÍA

INF. No. 16-1047
Hoja 1 de 1

Quito, 3 de enero de 2017

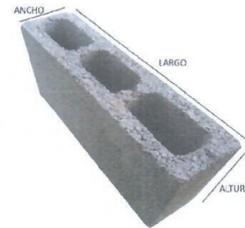
SOLICITA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
Atención: Diego Arévalo
Dirección: Ladrón de Guevara E.11-253
PROYECTO: TESIS MAESTRÍA ING. FABIÁN PACHANO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
FÁBRICA: ***
NORMA: INEN 638, INEN 639, INEN 643, INEN 2619

UNIDADES PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DIMENSIONES

No.	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	VOLUMEN NETO (cm ³)	ÁREA NETA (cm ²)
1	***	Bloque Normal 1	13-dic-16	>28 días	13.6	36.9	17.5	***	***	***	***	***	***	4265.7	199.6
2	***	Bloque Normal 2	13-dic-16	>28 días	13.6	37.1	17.7	***	***	***	***	***	***	4261.2	202.8
3	***	Bloque Normal 3	13-dic-16	>28 días	13.6	36.9	17.9	***	***	***	***	***	***	4365.3	201.6
PROMEDIO								***	***	***	***	***	***	4304.1	201.4

UNIDADES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

No.	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	ÁREA		CARGA ROTURA (ton.)	ESFUERZO	
			NETA (cm ²)	BRUTA (cm ²)		NETO (Mpa)	BRUTO (Mpa)
1	03-nov-16	Bloque Normal 1	199.6	501.6	4.37	2.15	0.88
2	03-nov-16	Bloque Normal 2	202.8	504.3	5.59	2.70	1.09
3	03-nov-16	Bloque Normal 3	201.8	500.2	5.05	2.46	0.99
PROMEDIO					2.4	1.0	



OBSERVACIONES: - El muestreo es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO

BQR16-012

Dirección: Ladrón de Guevara E.11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanine, Ofic. M15 **email:** laboratoriocivil@epn.edu.ec / **Tel.:** (02) 2976 300 ext.: 1609

COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS

Quito, 3 de enero de 2017

INF No 16 - 1044
Hoja 01 de 01

SOLICITA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
Atención: Diego Arévalo
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253
PROYECTO: TESIS MAESTRÍA ING. FABIÁN PACHANO

CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA
ELEMENTO: VARIOS
NORMA: NTE INEN 489:2009 / NTE INEN 2502:2009

No.	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE MUESTREO	CEMENTO		FECHA ROTURA	AGUA UTILIZADA (%)	FLUIDEZ (%)	ÁREA (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
			MARCA	TIPO						(KN)	(T)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	23-nov-16	***	HOLCIM	GU	15-dic-16	***	****	2520	2134	29.98	3.08	11.9	121
2	23-nov-16	***	HOLCIM	GU	15-dic-16	***	****	2606	1903	32.63	3.33	12.5	128
3	23-nov-16	***	HOLCIM	GU	15-dic-16	***	****	2642	1903	27.67	2.82	10.5	107

Observación: Las procedencias y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.



 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO

RESIS.MORT-16-08

ANEXO 2
MODELO ANALÍTICO

MODELOS DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS

MODELO DE MENEGOTTO-PINTO PARA EL ACERO

Ingreso de los resultados experimentales para la varilla de \varnothing 12 [mm] y \varnothing 9 [mm], en la definición de materiales del software SeismoStruct, utilizando el modelo de Menegotto-Pinto

IMAGEN 1.- EVIDENCIA VARILLA \varnothing 12 mm.

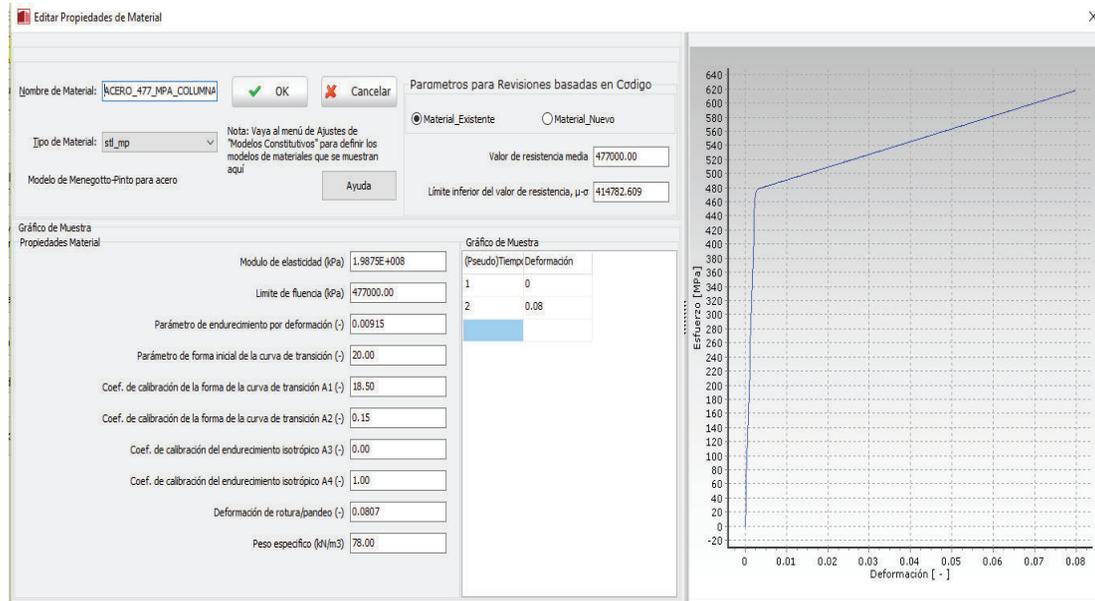


IMAGEN 2.- EVIDENCIA VARILLA \varnothing 9 mm.

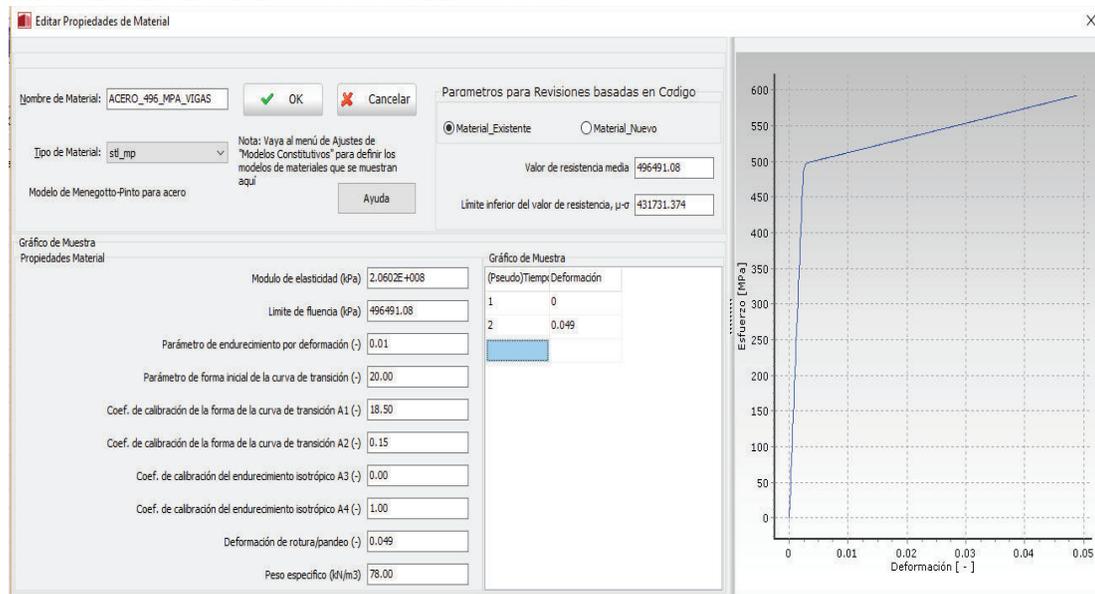


TABLA 1 COEFICIENTES DE CALIBRACIÓN - MODELO DE MENEGOTTO-PINTO PARA EL ACERO

PARÁMETROS	VALORES	
	DEFECTO	RANGOS
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A1	18.5	Constante
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A2	0.15	[0.05-0.15]
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A3	0	[0-0.025]
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A4	1	[2-7]

MODELO DE MANDER PARA EL HORMIGÓN

Ingreso de los resultados experimentales para el hormigón de vigas y columnas, en la definición de materiales del software SeismoStruct, utilizando el modelo de Mander.

IMAGEN 3.- EVIDENCIA DEL HORMIGON PARA COLUMNAS

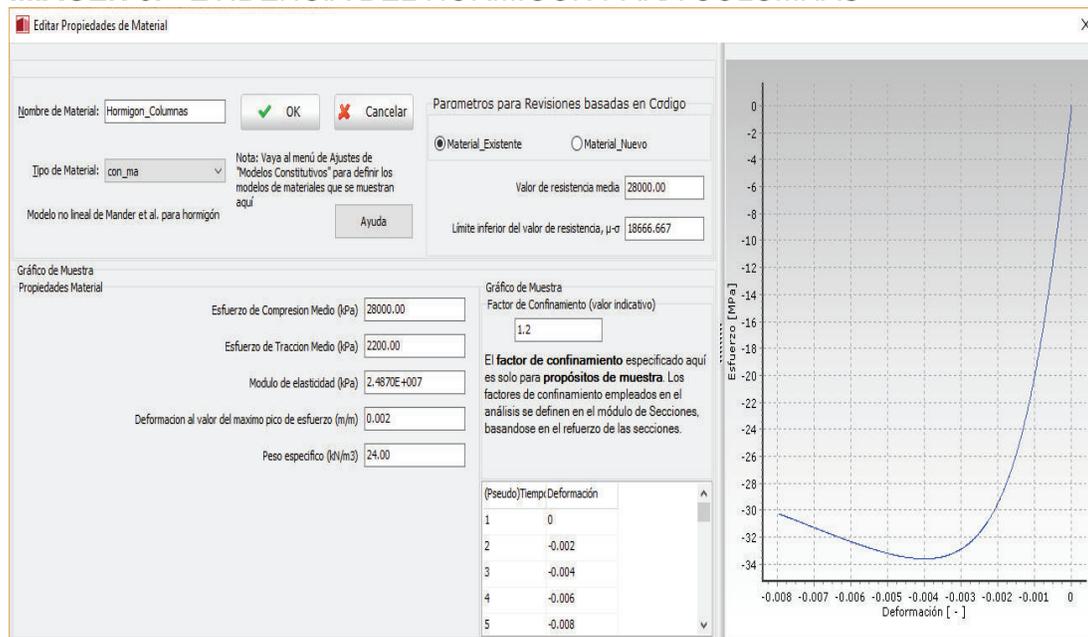
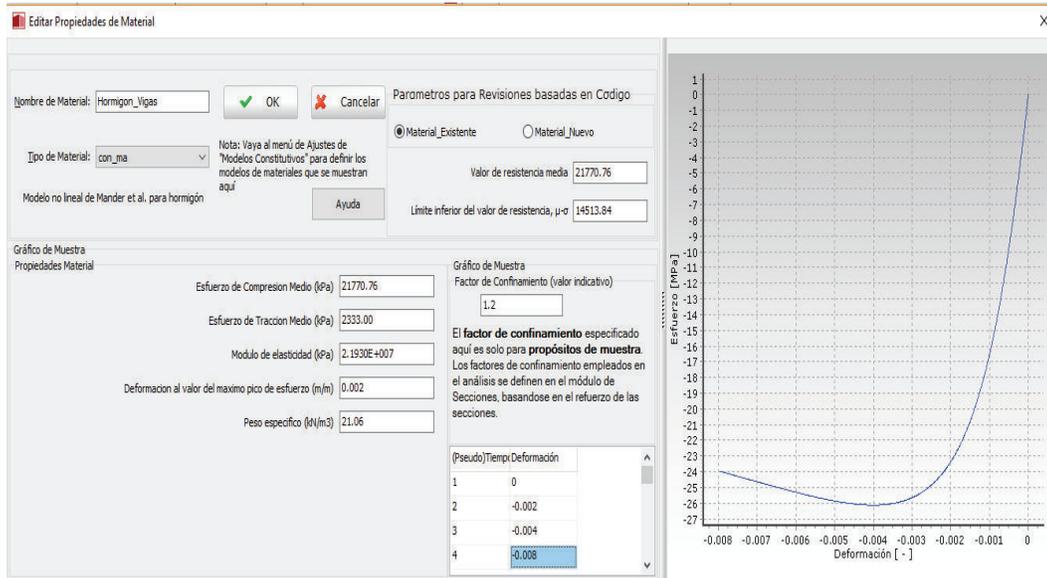


IMAGEN 4.- EVIDENCIA DEL HORMIGON PARA VIGAS



SECCIONES DE LOS ELEMENTOS CONFINANTES

IMAGEN 5.- SECCIÓN DE LA VIGA

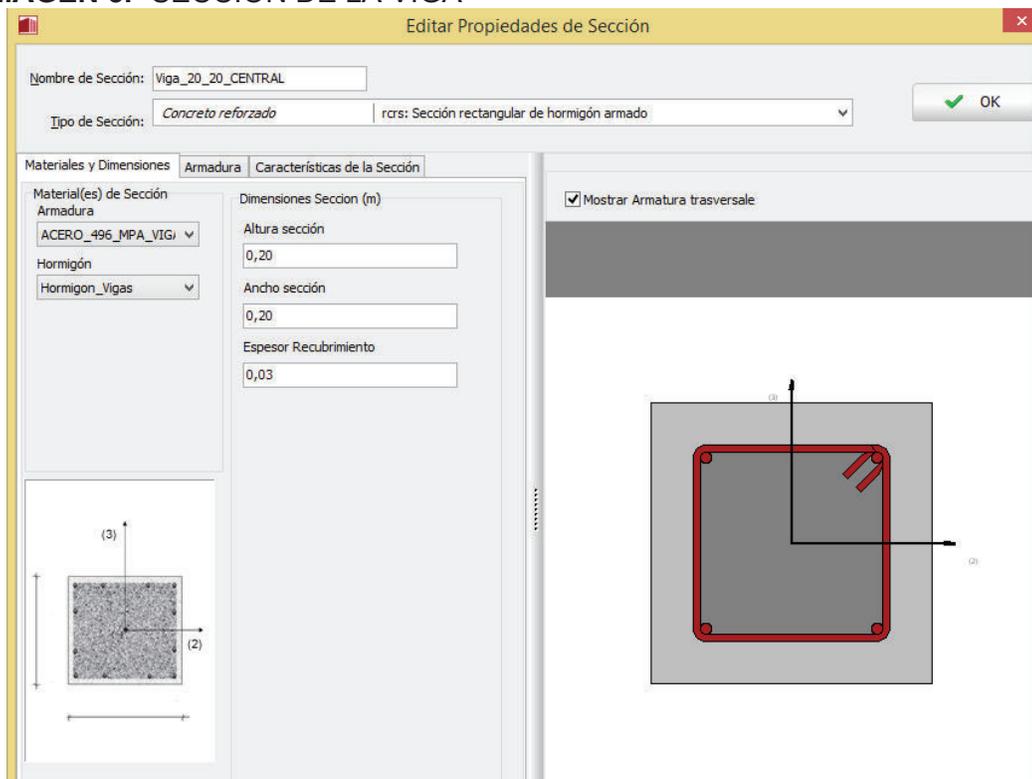
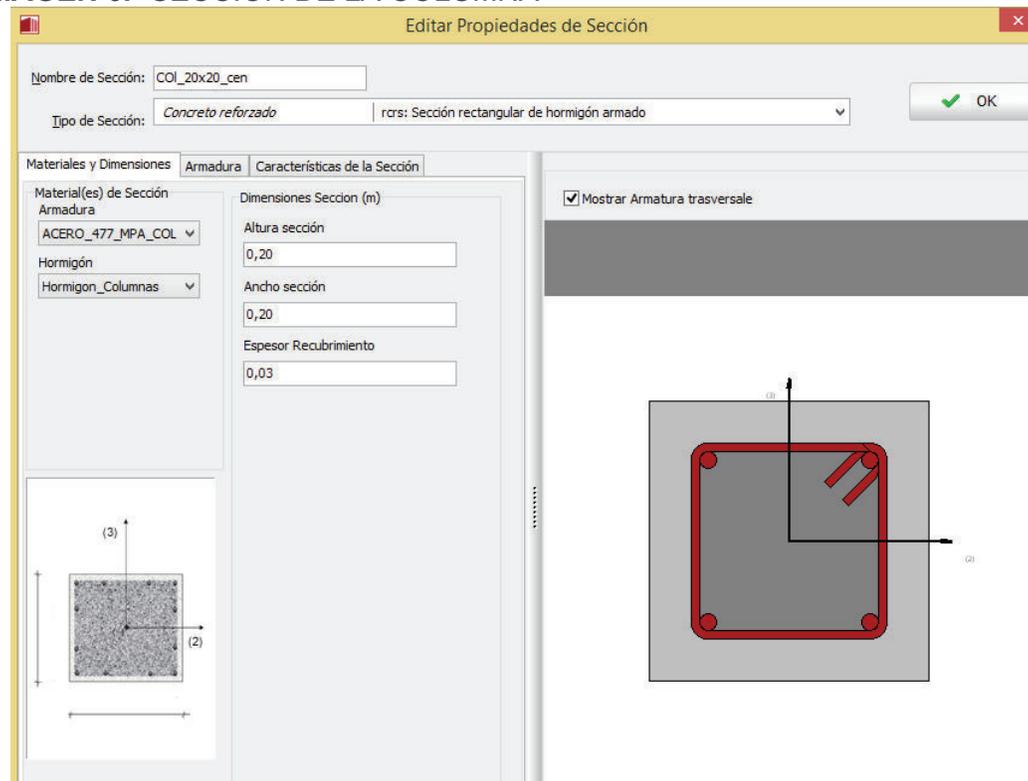


IMAGEN 6.- SECCIÓN DE LA COLUMNA



MODELO DEL PANEL DE RELLENO

IMAGEN 7.- EVIDENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL PANEL DE RELLENO

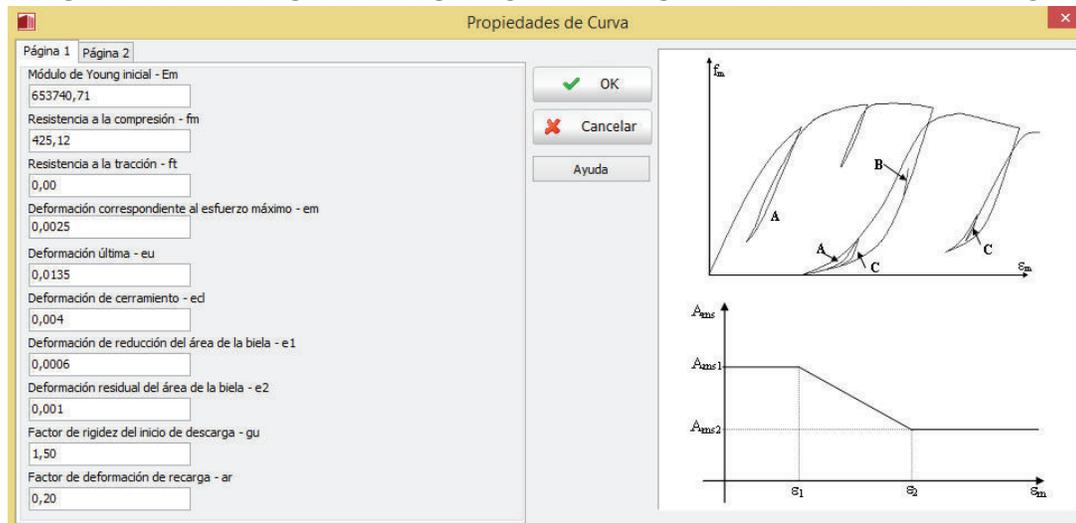


IMAGEN 8.- EVIDENCIA DE LOS PARÁMETROS ASIGNADOS A CORTE PARA EL PANEL DE RELLENO

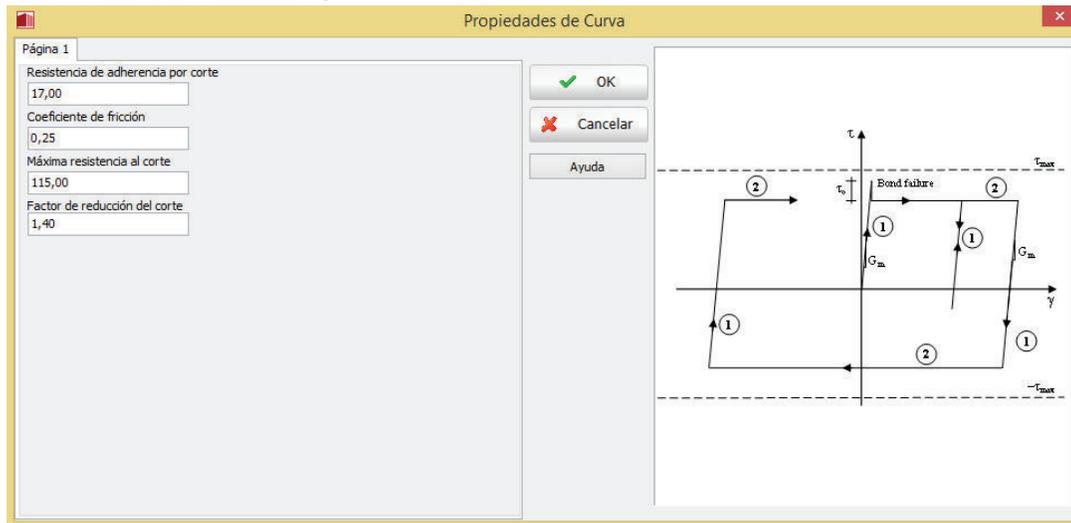


IMAGEN 9.- EVIDENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PANEL DE RELLENO

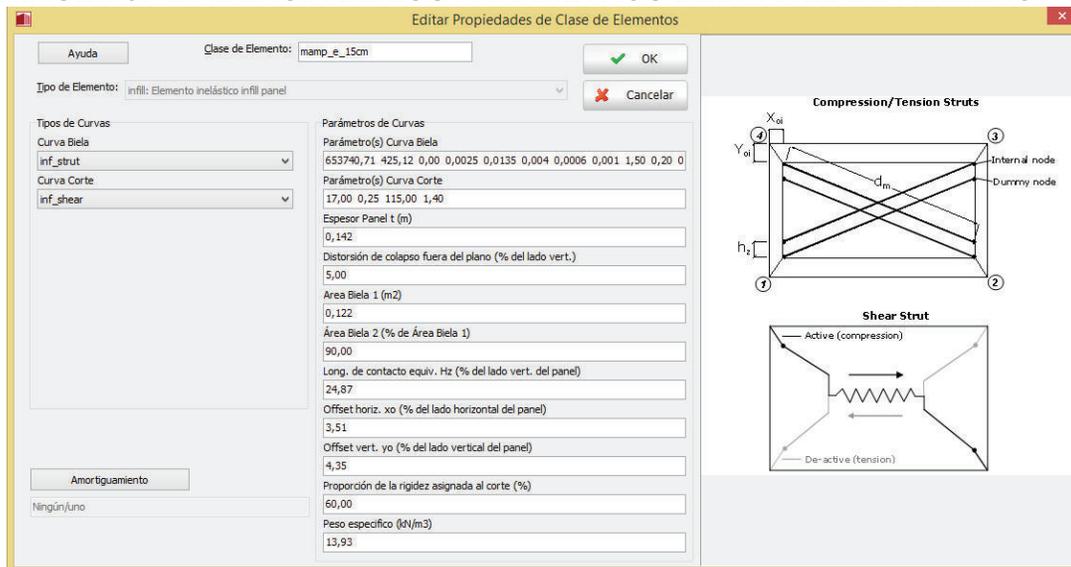


TABLA 2 VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

MODELO:		MATERIAL: ACERO COLUMNA MENEGOTTO PINTO					
PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR DEFECTO	Unidades	
E	198700000					Kpa	
fy	477000					Kpa	
Parámetro de endurecimiento por deformación	0,009000						
Parámetro de forma inicial de la curva de transición	20						
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A1	18,5						
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A2	0,15						
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A3	0						
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A4	1						
Deformación de rotura/pandeo	0,08						
Peso específico	78					Kn/m3	
MODELO:		MATERIAL: ACERO VIGA MENEGOTTO PINTO					
PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR DEFECTO	Unidades	
E	206022947,69					Kpa	
fy	496491,08					Kpa	
Parámetro de endurecimiento por deformación	0,010000						
Parámetro de forma inicial de la curva de transición	10						
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A1	18,5						
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición A2	0,15						
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A3	0						
Coefficiente de calibración del endurecimiento isotrópico A4	1						
Deformación de rotura/pandeo	0,0489						
Peso específico	78					Kn/m3	
MODELO:		MATERIAL: HORMIGÓN ARMADO DE COLUMNAS MANDER ET AL					
PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR DEFECTO	Unidades	
Esf. De compresión media	27622,39					Kpa	
Esf. De Tracción media	3941,8					Kpa	
E	2,47E+07					Kpa	
Def. al valor del máximo pico de esfuerzo	0,002			0,002-0,0022	0,002	m/m	
Peso específico	21,31					Kn/m3	
MODELO:		MATERIAL: HORMIGÓN ARMADO DE VIGAS MANDER ET AL					
PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR DEFECTO	Unidades	
Esf. De compresión media	21770,76					Kpa	
Esf. De Tracción media	2333,0					Kpa	
E	2,19E+07					Kpa	
Def. al valor del máximo pico de esfuerzo	0,002					m/m	
Peso específico	21,06					Kn/m3	
MODELO:		MATERIAL: MAMPOSTERÍA MANDER ET AL					
PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	VALOR DEFECTO	Unidades	
PARAMETROS CURVA BIELA : inf_strut							
Em	653740,71			[350m-1000m]	1600000	Kpa	
fmθ	425,12				1000	Kpa	
ft	0				0	Kpa	
em	0,0045	0,0025	0,001	0,001-0,005	0,0012	m/m	
eu	0,006	0,0135	0,012	-	0,024	m/m	
ed	0,004			0-0,003	0,004	m/m	
e1	0,0006			[0,0003-0,0008]	0,0006	m/m	
e2	0,001			[0,0006-0,016]	0,001	m/m	
gu	1,5			[1,5-2,5]	1,5		
ar	0,2			[0,2-0,4]	0,2		
ach	0,4			[0,1-0,7]	0,7		
ba	1,5			[1,5-2]	1,5		
bch	0,7			[0,5-0,9]	0,9		
gpu	1			-	1	(-)	
gpr	1,5			-	1,5	(-)	
ex1	3			-	3	(-)	
ex2	1,4			-	1,4	(-)	
PARAMETROS CURVA CORTE: inf_shear							
Resistencia de adherencia por corte	17,0047311			[300-600] Hendry [100-1500] Paulay [100-700] Shrive	300	Kpa Kpa Kpa	
Coefficiente de fricción	0,3	0,25	0,25	[0,1-1,2]	0,7	(-)	
Máxima Resistencia la corte	144,5402144	115	123,2843005	-	600	Kpa	
Factor de reducción del corte	1,4			[1,4-1,65]	1,5	(-)	
OTROS							
Espesor panel tw	0,142					m	
Distorsión de colapso fuera del plano	5					% LV	
A biela 1	0,122			[10-40]%		m2	
A biela 2	90					% A1	
Long. Contacto equivalente hz	24,87			[1/3 a 1/2] z		% LV	
OFFSET VER. Xo	3,51					% LH	
OFFSET VER. Yo	4,35					% LV	
Proporción de rig. Asignada al corte	20	60	20	[20-60]		%	
Peso Especifico	13,93					Kn/m3	

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

TABLA 3 PARÁMETROS MODIFICADOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO

PARÁMETROS DEL PUNTAL EQUIVALENTE	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	V. DEFECTO	UNIDAD
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo (ϵ_m)	0,0045	0,0025	0,001	0.001-0.005	0,0012	m/m
Deformación ultima (ϵ_{ult})	0,006	0,0135	0,012	-	0,024	m/m

PARÁMETROS DEL RESORTE DE CORTE	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	V. DEFECTO	UNIDAD
Coefficiente de fricción (μ)	0,3		0,25	[0.1-1.2]	0,7	(-)
Máxima resistencia al corte (t_{max})	144,5402144	115	123,2843005	-	600	Kpa

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	RANGOS	V. DEFECTO	UNIDAD
Proporción de la rigidez asignada al corte (γ_c)	20	60	20	[20-60]		%

ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

ANEXO 3
REGISTRO FOTOGRÁFICO

ENSAYOS DE MURETES A COMPRESIÓN**IMAGEN 10 ENSAYOS A COMPRESIÓN**

(a) Murete 1



(b) Murete 2



(b) Murete 3



ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

ENSAYOS DE MURETES A TENSIÓN DIAGONAL**IMAGEN 11 ENSAYOS A TENSIÓN DIAGONAL**

(a) Murete 1



(b) Murete 2



(b) Murete 3



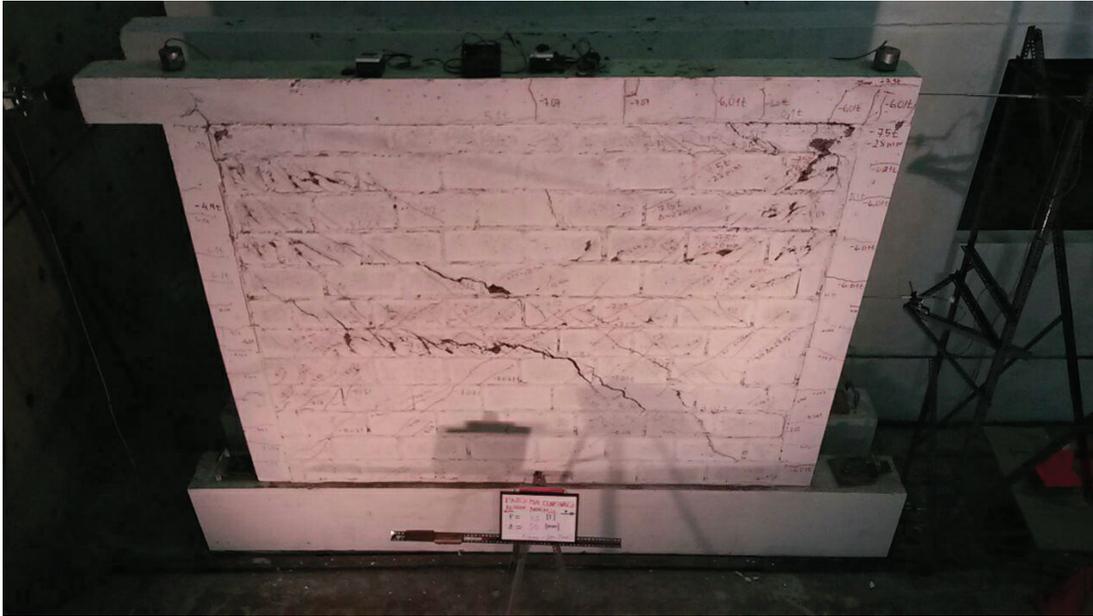
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

ENSAYO DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANEL DE RELLENO

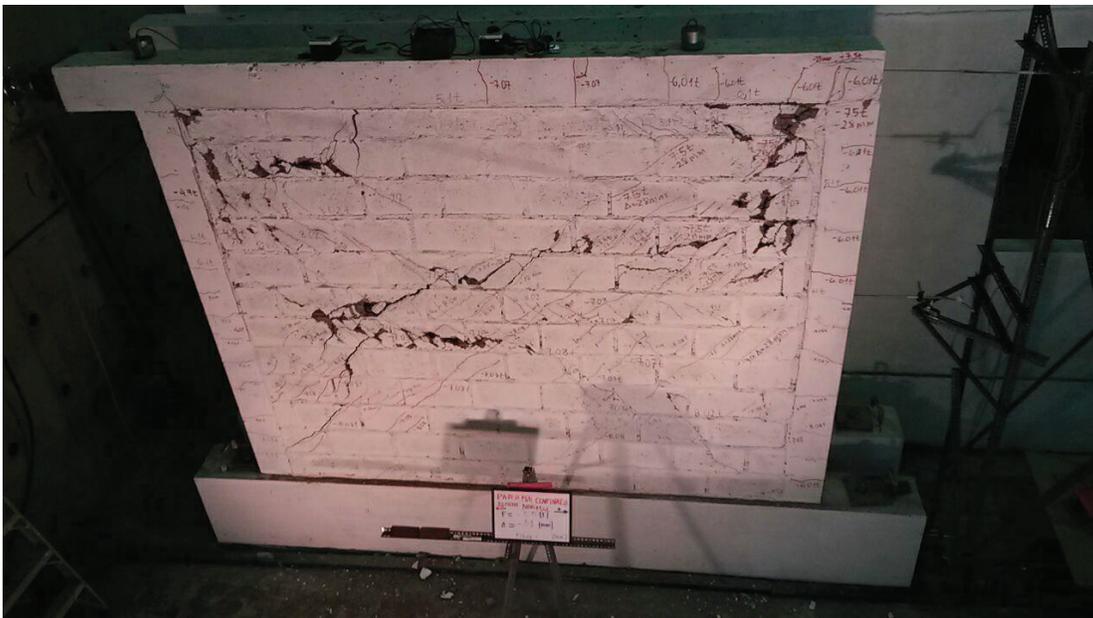
En el apartado 5.1.2 se detalla el registro fotográfico de los primeros ciclos los cuales fueron considerados para el análisis de los parámetros asociados con los resultados del ensayo a carga lateral cíclica en el rango inelástico.

En las siguientes imágenes se puede observar el nivel de daño que presenta el pórtico al llevarlo al colapso.

IMAGEN 12 ESTADO DE DAÑO DEL PÓRTICO EN EL CICLO 11 Y 12



(a) Ciclo 11, positivo



(b) Ciclo 11, negativo



(c) Ciclo 12, positivo

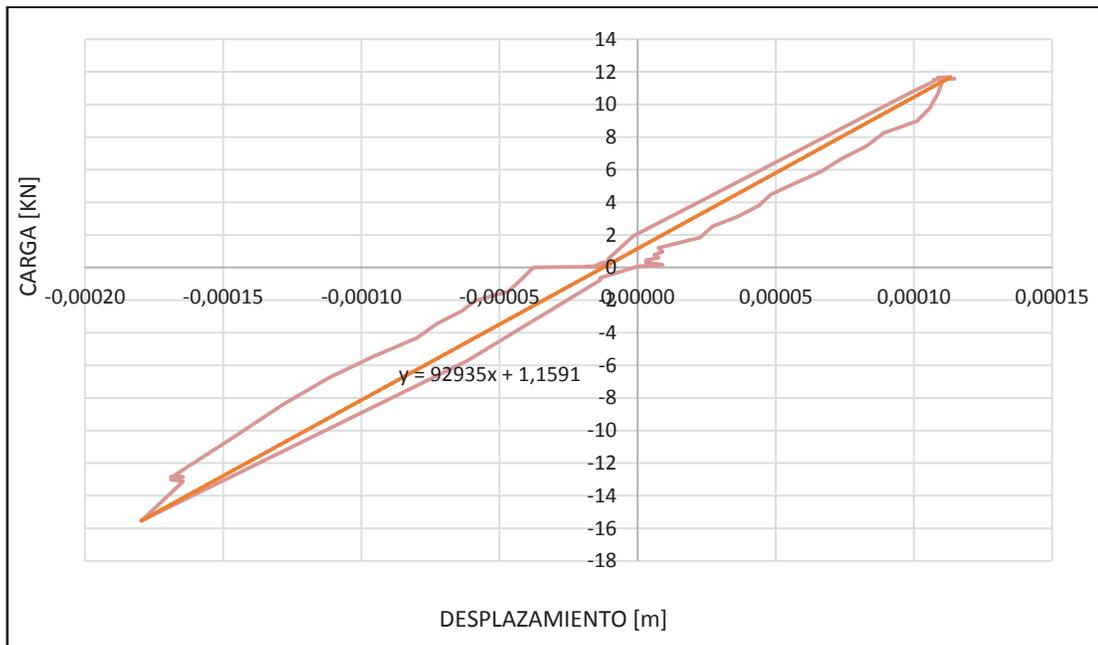


(d) Ciclo 12, negativo

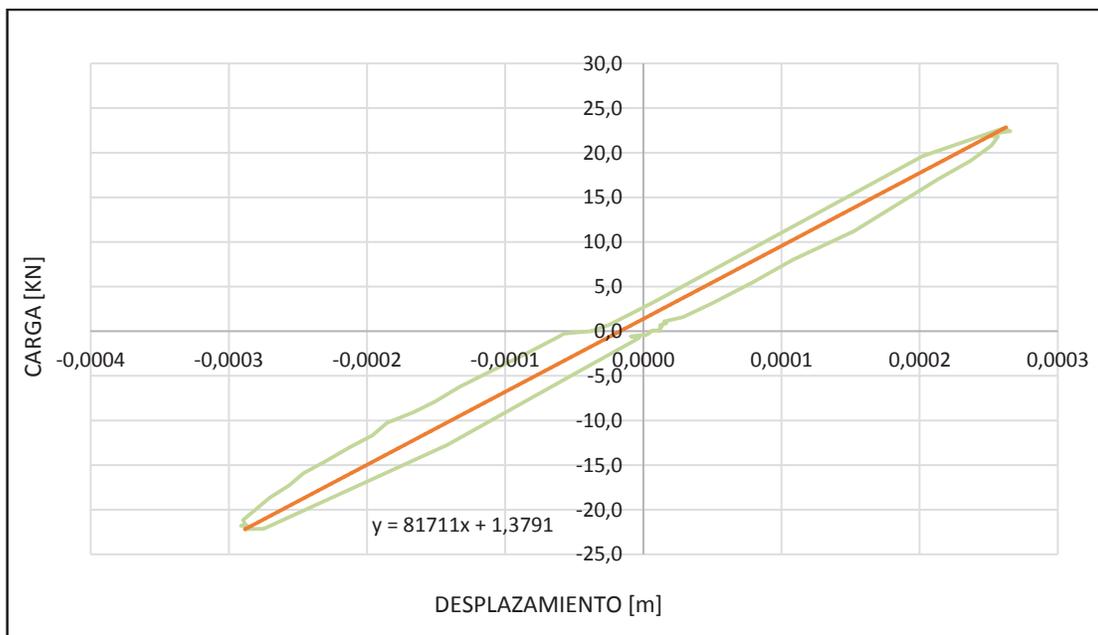
ELABORACIÓN: Lima Karina, Paredes Jadyra

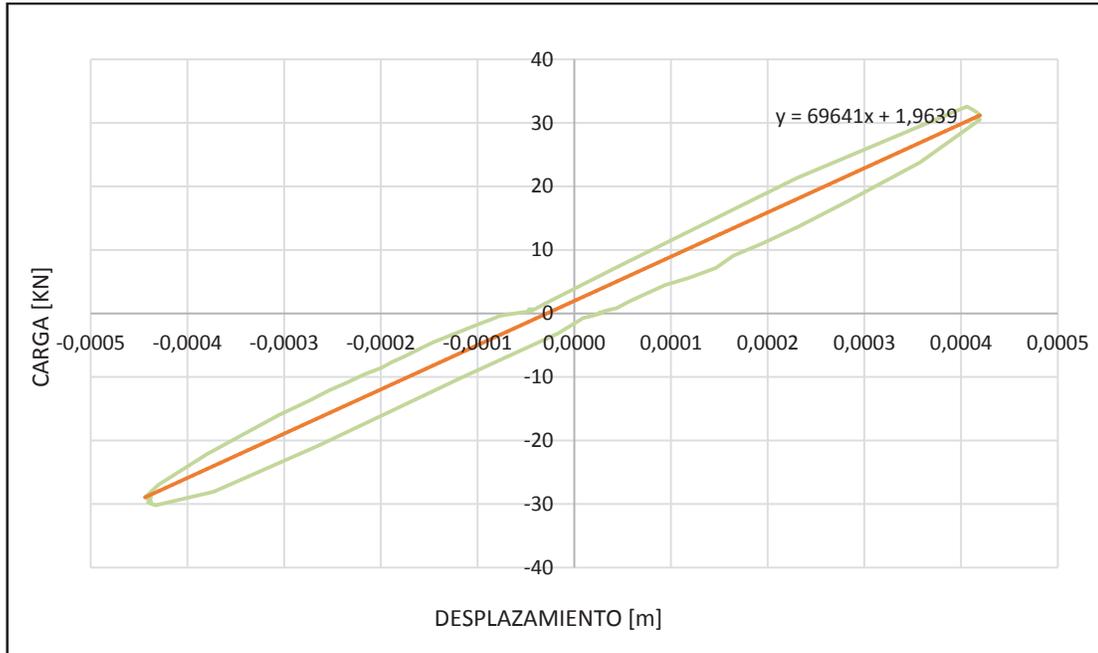
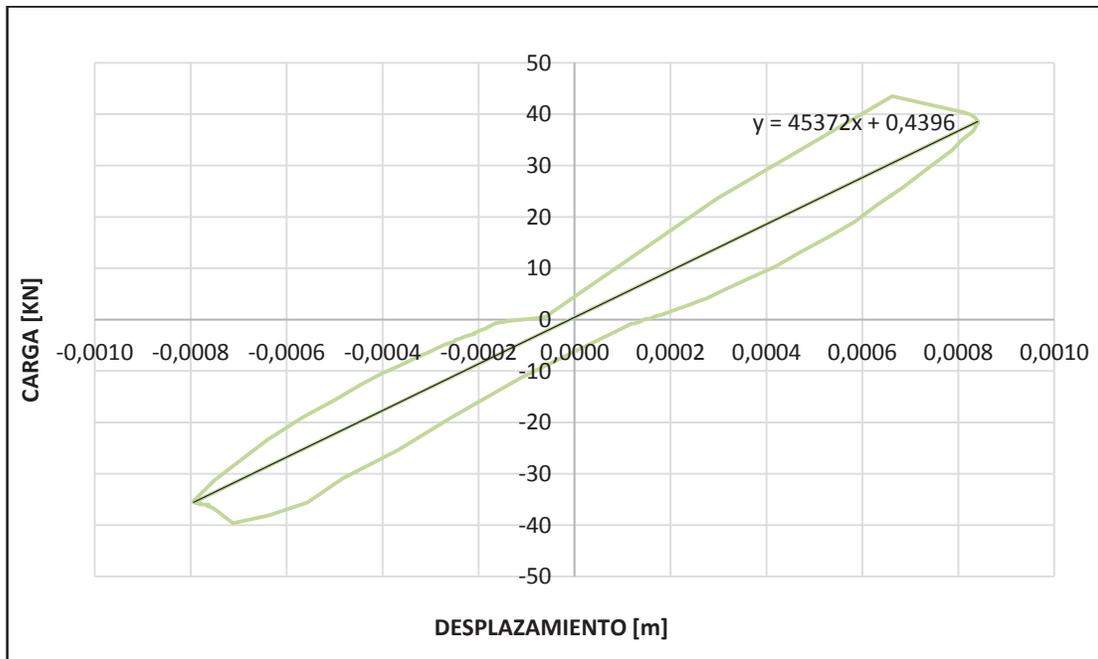
DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ SECANTE POR CICLO

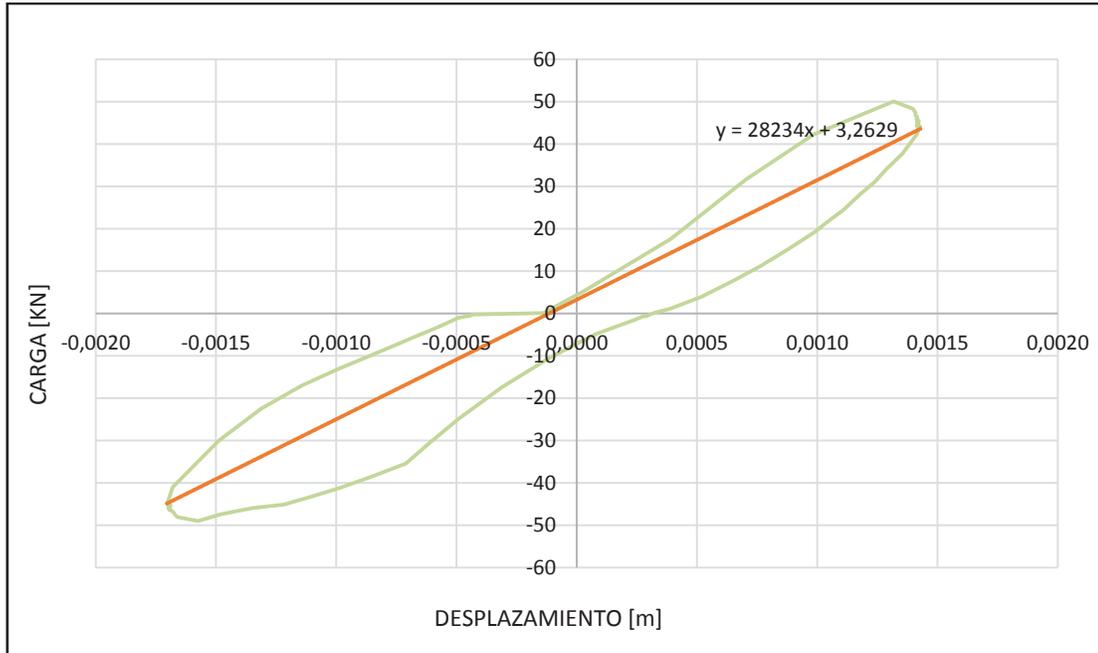
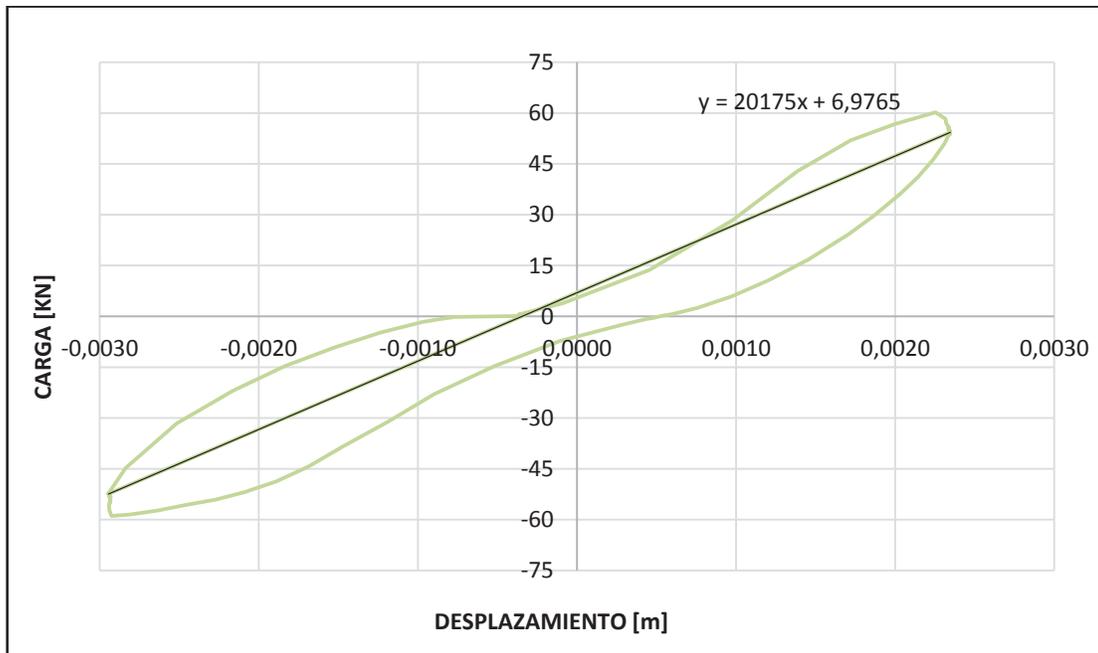
CICLO 1



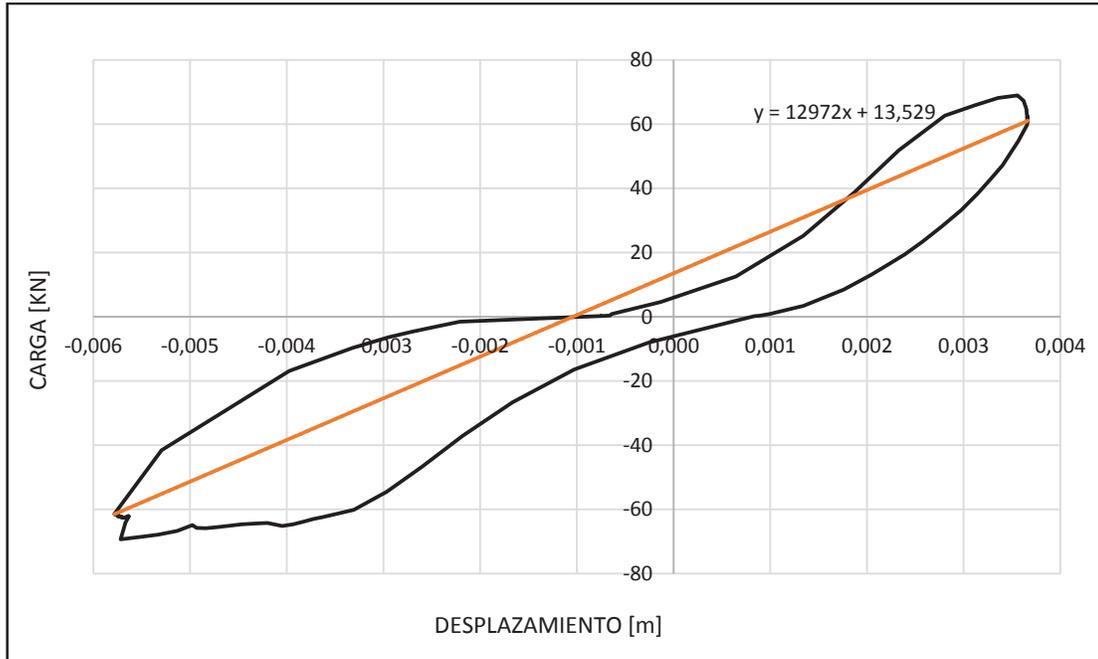
CICLO 2



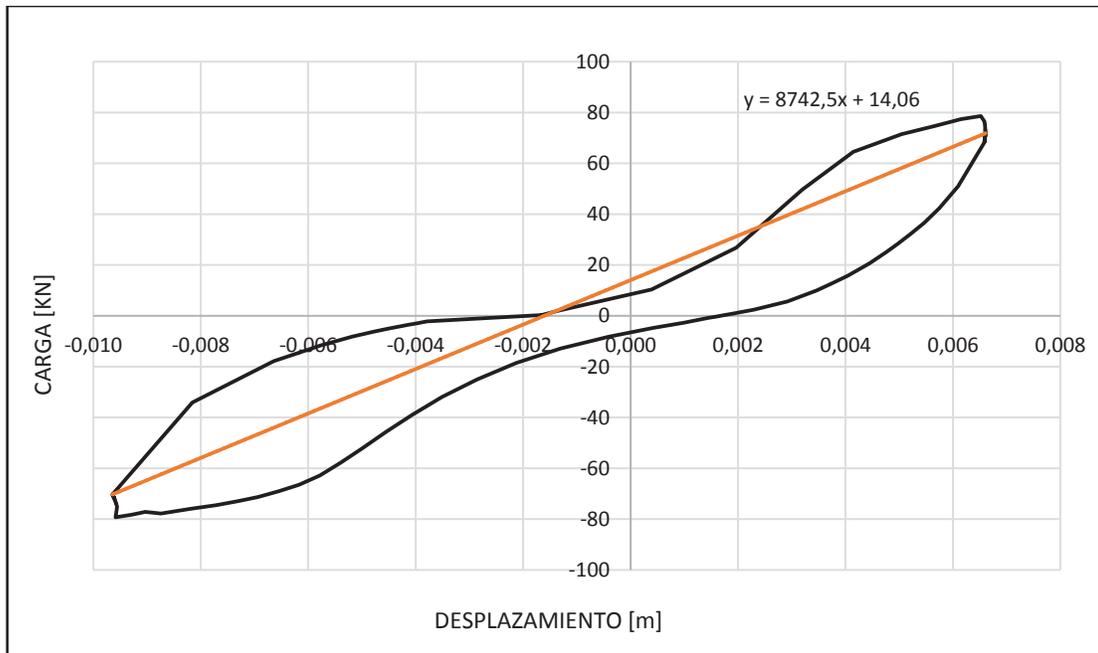
CICLO 3**CICLO 4**

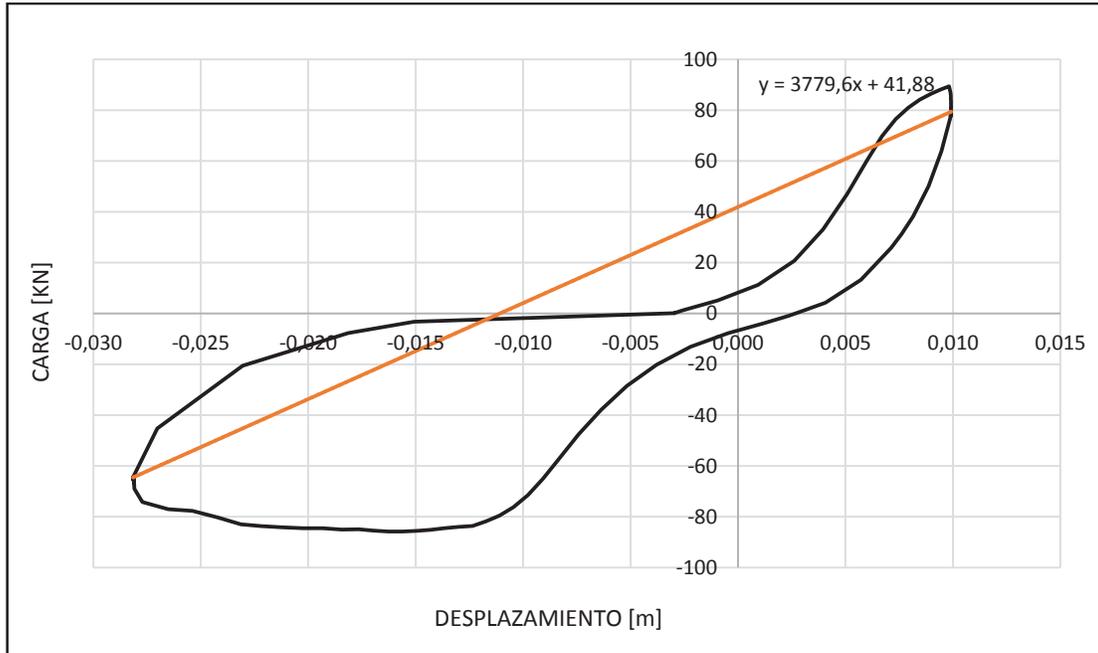
CICLO 5**CICLO 6**

CICLO 7



CICLO 8



CICLO 9**CICLO 10**