

DISEÑO DE VIGAS DE CIMENTACIÓN Y CORONA DE MURO ESTRUCTURAL
DE CONCRETO REFORZADO CON SECCIÓN TRANSVERSAL EN T PARA
APOYO DEL GRUPO INME

DAVID ENRIQUE HERRERA PÉREZ
ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
CARLOS FELIPE ORDUZ SUÁREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

DISEÑO DE VIGAS DE CIMENTACIÓN Y CORONA DE MURO ESTRUCTURAL
DE CONCRETO REFORZADO CON SECCIÓN TRANSVERSAL EN T PARA
APOYO DEL GRUPO INME

DAVID ENRIQUE HERRERA PÉREZ
ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
CARLOS FELIPE ORDUZ SUÁREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
PH.D EM INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION.

CODIRECTOR
CARLOS FELIPE ORDUZ SUÁREZ
ING. CIVIL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por el gran apoyo que han sido durante toda mi carrera universitaria, a mis compañeros de carrera, en especial a Camilo Rincón, con quien realicé este proyecto de manera conjunta y con quien nos complementamos bastante para poder culminar nuestras carreras y en general a todos mis amigos y seres queridos por acompañarme a transitar esta magnífica experiencia que fue mi carrera universitaria.

Este trabajo se desarrolló como aporte al proyecto de investigación con código 1895 "Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificaciones Tipo Túnel en Zonas de Alta Amenaza Sísmica. Fase 1", financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
2. MUROS ESTRUCTURALES	17
2.1 MECANISMOS DE FALLA	18
2.1.1. Falla por flexión	18
2.1.2. Falla por corte	18
2.2 ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL (<i>PUSHOVER</i>)	19
3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	20
3.1 DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO	20
3.2 TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS	20
3.3 TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS	22
3.4 CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	23
3.5 MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS	23
3.6 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	24
3.7 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	25
3.8 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO	25
3.9 IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO	26
3.10 ACERO DE REFUERZO	27
3.11 MALLA ELECTROSOLDADA	29
4. DISEÑO DEL MURO	30
4.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO	30
4.1.1. Asentamiento	31
4.1.2. Cálculo de la resistencia requerida	31
4.1.3. Cantidad de agua	32
4.1.4. Relación agua/cemento	32
4.1.5. Cantidad de cemento necesario	33
4.1.6. Cantidad de agregado grueso	33

4.1.7. Cantidad de agregado fino.....	34
4.1.8. Corrección por humedad.....	35
4.2 DISEÑO DEL REFUERZO	36
4.2.1. Cálculo de Reacciones	38
4.2.2. Chequeo de las dimensiones por cortante.....	38
4.2.3. Chequeo diseño a cortante	39
4.2.4. Diseño a cortante	39
4.2.5. Chequeo de elemento de borde.....	41
4.2.6. Diseño de los elementos de borde.....	41
5. ANÁLISIS PUSHOVER.....	43
6. DISEÑO DE VIGAS.....	46
6.1 VIGA DE CORONA.....	46
6.2 VIGA DE CIMENTACIÓN	46
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES (OPCIONAL)	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Falla por flexión.....	18
Ilustración 2. Falla por corte.....	19
Ilustración 3. Ensayo con el Frasco de Le Chatelier.	20
Ilustración 4. Molde para el ensayo de masa unitaria.	24
Ilustración 5. Máquina de los ángeles.....	26
Ilustración 6. Muestras del ensayo de impurezas orgánicas después de ser agitadas.	27
Ilustración 7. Muestras del ensayo de impurezas orgánicas comparadas con los vidrios de color estándar.....	27
Ilustración 8. Probeta de 3/8" luego del ensayo a tracción.	28
Ilustración 9. Probeta de 1/4" luego del ensayo a tracción.	29
Ilustración 10. Probeta de malla luego de ser ensayada.	30
Ilustración 11. Definición de ejes para el diseño del muro.	37
Ilustración 12. Distribución del refuerzo en planta del muro TW1.1.	44
Ilustración 13. Curva de capacidad del muro TW1.1.	44
Ilustración 14. Curva de capacidad del muro TW1.2.	44
Ilustración 15. Distribución del refuerzo en planta del muro TW1.2.	45
Ilustración 16. Diagramas de momento y cortante de la viga corona del ala.	47
Ilustración 17. Diagramas de momento y cortante de la viga de cimentación del alma.	47
Ilustración 18. Planta y distribución del refuerzo a flexión y cortante de la viga corona del muro TW1.2.	48
Ilustración 19. Planta y distribución del refuerzo a flexión y cortante de la viga de cimentación del muro TW1.2.	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análisis pushover y curva de capacidad.....	19
Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado grueso.	21
Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino.....	22
Gráfico 4. Grafica esfuerzo-deformación de las probetas de 3/8"	28
Gráfico 5. Esfuerzo-deformación de las probetas de 1/4".....	29
Gráfico 6. Esfuerzo-deformación de las probetas de la malla electrosoldada.	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Masa de la muestra según el tamaño máximo nominal.	21
Tabla 2. Tamaño de la muestra para agregados de peso normal.	23
Tabla 3. Masa mínima de las muestras.	24
Tabla 4. Granulometría de las muestras para el ensayo.	25
Tabla 5. Asentamiento del concreto según su uso.	31
Tabla 6. Resistencia de diseño cuando no se cuenta con datos estadísticos.	31
Tabla 7. Requisitos aproximados de contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados.	32
Tabla 8. Relación agua-cemento según la capacidad del concreto.	32
Tabla 9. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	33
Tabla 10. Cantidades finales de la mezcla de concreto por metro cubico.	36
Tabla 11. Fuerza y refuerzo del muro diseñado.....	42

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden ser visualizados en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Datos de la caracterización de materiales

Anexo B. Plano de construcción del muro

Anexo C. Modelo Pushover en SAP 2000, 2019

Anexo D. Modelo estático lineal en SAP 2000, 2019

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE VIGAS DE CIMENTACIÓN Y CORONA DE MURO ESTRUCTURAL DE CONCRETO REFORZADO CON SECCIÓN TRANSVERSAL EN T PARA APOYO DEL GRUPO INME.*

AUTOR: DAVID ENRIQUE HERRERA PÉREZ.**

PALABRAS CLAVE: Muros esbeltos de concreto reforzado, muros estructurales con sección transversal en T, análisis no-lineal.

DESCRIPCIÓN:

En este documento se presentan las actividades y los resultados de la pasantía de investigación llevada a cabo en el marco del proyecto de investigación con código 1895 de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión VIE, titulado “Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificaciones Tipo Túnel en Zonas de Alta Amenaza Sísmica. Fase 1” del Grupo INME. El objetivo de esta pasantía consistió en diseñar un muro de concreto reforzado con sección transversal en T, característico de edificaciones altas construidas mediante el sistema tipo túnel en la ciudad de Bucaramanga, junto con sus vigas de cimentación y corona. Para esto, se caracterizaron los materiales que serán empleados en la construcción del muro y las vigas, se realizó un análisis estático no-lineal del muro para determinar su capacidad y ajustar su diseño y. A partir del diseño final del muro, se determinaron las fuerzas con las que finalmente se diseñaron las vigas.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, Ing. Civil, Ph. D. Codirector: Carlos Felipe Orduz Suárez, Ing. Civil.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF FOUNDATION AND TOP BEAMS OF CONCRETE REINFORCED STRUCTURAL WALL WITH T-SHAPED CROSS SECTION FOR SUPPORT OF THE INME GROUP.*

AUTHOR: CAMILO ANDRÉS RINCÓN SILVA.**

KEYWORDS: Slender reinforced concrete walls, structural walls with T-shaped cross section, non-linear analysis.

DESCRIPTION:

This document presents the activities and results of the research internship carried out within the framework of the research project with code 1895 of the Vice-Rector's Office for Research and Extension VIE Study of the Seismic Behavior of Tunnel Type Buildings in Areas of High seismic threat. Phase 1" of the INME Group. The objective of this internship was to design a reinforced concrete wall with a T-shaped cross section, characteristic of tall buildings built through the tunnel type system in the city of Bucaramanga, along with its foundation and top beams. For this, the materials that will be used in the construction of the wall and the beams were tested, a non-linear static analysis of the wall was carried out to determine its capacity and adjust its design and, from the final design of the wall, the forces with which the beams were finally designed.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, Ing. Civil, Ph. D. Codirector: Carlos Felipe Orduz Suárez, Ing. Civil.

INTRODUCCIÓN

Ante el evidente aumento del número de habitantes de la ciudad de Bucaramanga (Colombia) y, del país en general, se ha incrementado la demanda de vivienda que, sumada a las limitaciones, ha llevado a que hoy se construyan cada vez más edificaciones en altura en esta ciudad. El sistema más empleado para este fin es el de muros estructurales contruidos por medio del sistema tipo túnel. Las edificaciones contruidas con este sistema, se caracterizan porque están conformadas por muros delgados y losas macizas, reforzados con mallas electrosoldadas. Los encofrados utilizados para su construcción constan de módulos metálicos en forma de u invertida de fácil recuperación. Esto hace que el proceso constructivo sea rápido [1].

El sismo ocurrido en Chile en 2010 tuvo características excepcionales en cuanto a magnitud, duración, aceleraciones, contenido de frecuencias y poder destructivo, entre otras [2]. Debido a este evento ocurrieron daños en numerosas edificaciones de muros de concreto reforzado, que era considerado hasta ese entonces como el sistema estructural sismo-resistente idóneo en zonas de frecuente ocurrencia de grandes sismos [3]. Las normas que rigen el diseño sismo-resistente en Chile fueron modificadas a partir de los daños observados luego de este evento, especialmente en lo referente a muros estructurales de concreto reforzado.

Debido a que se observaron fallas similares tras el sismo de Christchurch, Nueva Zelanda 2011 [4] y teniendo en cuenta que la ciudad de Bucaramanga es considerada una zona de alta actividad sísmica, el grupo INME de la Universidad Industrial de Santander adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil, adelanta el proyecto denominado “Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificaciones Tipo Túnel en Zonas de Alta Amenaza Sísmica. Fase 1” con código 1895 en la Vicerrectoría de Investigación y Extensión VIE, con el fin de caracterizar este sistema en la ciudad de Bucaramanga.

En este documento se presenta los resultados de la pasantía de investigación realizada con el fin de obtener el diseño de un muro de concreto reforzado con sección transversal en T, característico de esta tipología en la ciudad de Bucaramanga, junto con sus vigas de cimentación y corona.

Este trabajo se realizó en conjunto con el trabajo realizado por Camilo Andrés Rincón Silva en su pasantía de investigación “Diseño de Muro Estructural de Concreto Reforzado con Sección Transversal en T”.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar las vigas de cimentación y corona de un muro estructural de concreto reforzado con sección transversal en T para apoyar el desarrollo del proyecto de investigación “Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificaciones Tipo Túnel en Zonas de Alta Amenaza Sísmica. Fase 1” con código 1895 en la VIE.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los materiales que se emplearán para el diseño del muro y las vigas: cemento, agregados fino y grueso, acero de refuerzo y malla electro-soldada; de acuerdo con las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC.
- Diseñar la mezcla de concreto del muro y las vigas de acuerdo con la norma del American concrete Institute ACI 211.
- Diseñar el refuerzo del muro de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente NSR10.
- Realizar un Análisis Estático No-Lineal (Pushover) para determinar la capacidad del muro, con el fin de revisar su diseño, de manera que este no supere la capacidad de los equipos del Laboratorio de Estructuras.
- Diseñar el refuerzo de las vigas de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente NSR10, a partir de la fuerza máxima obtenida del Análisis del punto anterior.

2. MUROS ESTRUCTURALES

Los muros estructurales de concreto reforzado son sistemas ampliamente utilizados en los proyectos de edificaciones sismo resistentes. Sus características destacadas de elevada rigidez y ductilidad le permiten resistir de forma eficiente las cargas laterales debidas a las acciones sísmicas y de viento, limitando los desplazamientos laterales de la estructura y permitiendo gran disipación de energía en las zonas diseñadas para tal fin [4]. Los muros estructurales tienen la característica de presentar un espesor muy pequeño en comparación con el resto de sus dimensiones, y se pueden clasificar según su sección transversal, relación de aspecto y comportamiento [3].

Según su sección transversal pueden clasificarse en:

- Muros planos: son aquellos que no presentan cambios de dirección en planta.
- Muros con elementos extremos: son aquellos que presentan un aumento de su sección transversal en sus extremos.
- Muros con alas: son aquellos que están unidos perpendicularmente a otros muros y vistos en planta se puede apreciar formas en T, L, entre otros.
- Muros quebrados: estos muros presentan diferentes direcciones y bifurcaciones en su proyección en planta.

Según su relación de aspecto, (H/L , donde H es la altura del muro y L es su longitud en planta) se clasifican en:

- Muros bajos: son aquellos cuya relación de aspecto es menor a 2.
- Muros intermedios: son aquellos cuya relación de aspecto está entre 2 y 5.
- Muros altos: son aquellos cuya relación de aspecto es mayor a 5.

Según su comportamiento se pueden clasificar en:

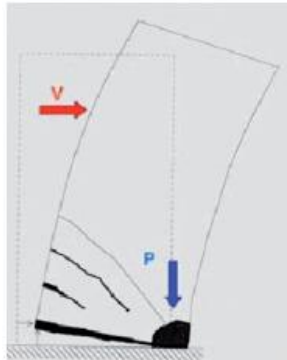
- Muros de cortante: en estos muros el cortante controla los desplazamientos y la resistencia.

- Muros de flexión: la flexión controla los desplazamientos y la resistencia de estos muros.
- Muros dúctiles: muros que presentan buenas características de disipación de energía para cargas cíclicas.

2.1 MECANISMOS DE FALLA

2.1.1 Falla por flexión. Este tipo de falla se presenta cuando la capacidad de resistencia al cortante supera a la de flexión. Esta falla se caracteriza por transmitir gran parte de la carga vertical a sus extremos, lo que puede generar la trituration del concreto con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical, en caso que no exista confinamiento en los bordes [2].

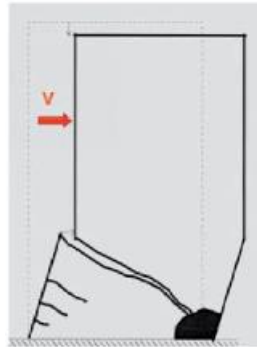
Ilustración 1. Falla por flexión.



Fuente: Á. San Bartolomé, D. Quiun, and W. Silva (2011).

2.1.2 Falla por corte. La falla por corte se produce en los muros de concreto armado cuando su capacidad resistente a fuerza cortante es inferior a la de flexión. Esta falla se caracteriza por la presencia de grietas diagonales; al igual que en una falla por flexión, los talones del muro pueden triturarse con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical, si es que el extremo carece de estribos de confinamiento [2].

Ilustración 2. Falla por corte.

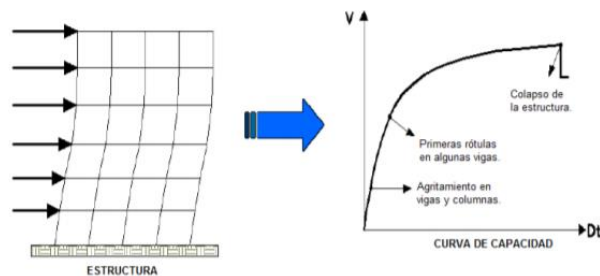


Fuente: Á. San Bartolomé, D. Quiun, and W. Silva (2011).

2.2 ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL (PUSHOVER)

Este método consiste en someter una estructura a cargas laterales, las cuales se van incrementando paulatinamente hasta llegar al punto de colapso de la misma, con el fin de detectar cambios significativos en el comportamiento individual de cada elemento, cosa que no permite hacer un análisis lineal [17].

Gráfico 1. Análisis pushover y curva de capacidad



Fuente: J.S. Poma de la Cruz (2018)

Los incrementos de estas cargas se van dando desde cero hasta que algunos de sus elementos alcancen su límite elástico, luego la estructura es modificada para tener en cuenta la pérdida de rigidez de los elementos cuya capacidad ha sido excedida, luego una distribución de fuerzas laterales es nuevamente aplicada hasta que elementos adicionales excedan su capacidad resistente, continuando el proceso hasta que la estructura haya fallado. c

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Se caracterizaron los materiales que se emplearán para la construcción del muro y sus vigas. Estos materiales son similares a los que se usan comúnmente en la construcción en la ciudad de Bucaramanga. Cada ensayo se realizó al menos tres veces, a fin de tener una muestra estadística básica.

3.1 DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO

Para hallar la densidad del cemento hidráulico se realizó el ensayo descrito en la NTC 221 [6]. Se realizaron tres ensayos de cemento tipo 1. El promedio de las densidades dio como resultado 2.99g/cm³.

Ilustración 3. Ensayo con el Frasco de Le Chatelier.



3.2 TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS

Se elaboró el tamizado mecánico de las tres muestras de agregado grueso con la intención de determinar el tamaño máximo nominal de la muestra. Para ello se supuso un tamaño máximo nominal de 3/4" (19 mm) y se procedió a tomar la masa mínima de cada muestra (Tabla 1).

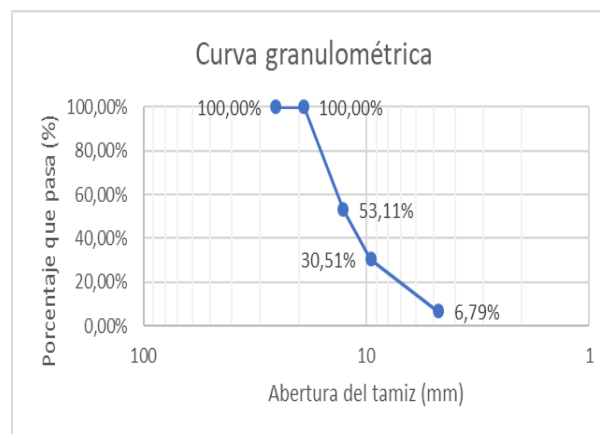
Tabla 1. Masa de la muestra según el tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas (mm)	Masa mínima Muestra de ensayo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
112,0	200
125,0	300
150,0	500

Fuente: NTC 77.

Se tomaron tres muestras de 5kg y se introdujeron en el horno para secarlas, después se tomaron sus pesos y se procedió a pasar cada una por la tamizadora mecánica. Se pesaron las masas retenidas en cada uno de los tamices y se registraron en los respectivos formatos. Se determinó el tamaño máximo nominal del agregado, el cual fue 1/2" (12.7mm) Figura 2.

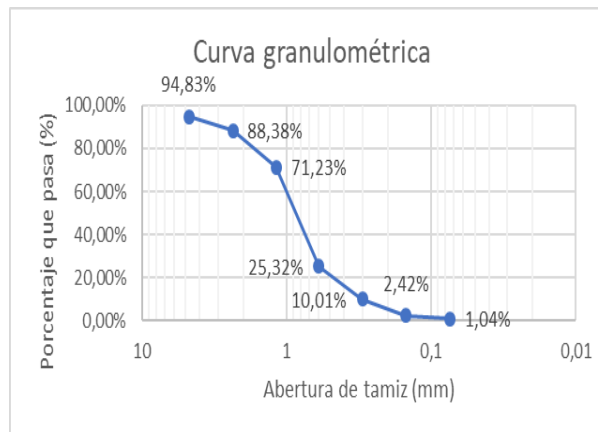
Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado grueso.



3.3 TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS

Se tomaron las tres muestras de agregado fino, cada una de 300g, según lo especifica el numeral 7.4 de la NTC 77 [5]. A continuación, se procedió a secar las muestras en el horno, se tomaron sus masas se introdujeron una por una en la tamizadora mecánica. Una vez retirada la muestra de la tamizadora se registraron las masas retenidas en cada uno de los tamices usados. Este procedimiento se realizó con las tres muestras, y el resultado fueron curvas como la mostrada en la figura 3.

Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino.



Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos se calculó el módulo de finura y posteriormente se obtuvo un promedio de 3,09%.

3.4 CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Con este ensayo se determinó la humedad de los agregados en su estado original. Para ello se tomaron tres muestras de agregado fino y tres muestras de agregado grueso, según la tabla 2, y se anotó su masa. Luego, fueron introducidos en el horno y se anotaron sus masas al secarse. Finalmente se calculó la humedad y se obtuvo un promedio de 1.18% en el agregado grueso, y 5.84% en el agregado fino.

Tabla 2. Tamaño de la muestra para agregados de peso normal.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm) ^A	Masa mínima de la muestra (kg) ^B
4,75	0,5
9,50	1,5
12	2
19	3
25	4
37	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

Fuente: NTC 77.

3.5 MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS

Se calculó la masa unitaria de los agregados gruesos y finos siguiendo la NTC 92 [8]. Para ello se tomaron tres muestras de cada agregado seco, cada una de ellas, con un volumen de entre 125 y 200% de la capacidad del molde utilizado en el ensayo (ver figura 4). Luego se determinó el volumen del molde, pesándolo vacío y lleno de agua. El volumen del molde se tomó como la diferencia entre esos dos pesos. Posteriormente, se consolidó cada muestra como lo describe la norma y se anotó la masa del molde con la muestra consolidada. La masa unitaria de cada una de las muestras se calculó dividiendo la diferencia entre el peso del molde lleno y vacío, por el volumen del molde.

Al finalizar los tres ensayos, se promediaron las densidades volumétricas obtenidas, dando como resultado una masa unitaria promedio de 1550,31kg/cm³.

Ilustración 4. Molde para el ensayo de masa unitaria.



3.6 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Para este ensayo, se tomó una muestra, de acuerdo con la Tabla 4 y se sumergió en agua por 24h. Después del período de saturación del agregado, se retiró del agua. A continuación, se retiró el exceso de agua con un paño absorbente, hasta que se alcanzó la condición Saturada Superficialmente Seca (sss); se anotó su masa y se introdujo en el horno hasta su secado. Se anotó la masa del agregado seco y con estos datos se calculó la densidad y absorción del agregado grueso según la NTC 176 [9]. Se obtuvo una densidad promedio de 2.71g/cm³ y porcentaje de absorción de 0.33%.

Tabla 3. Masa mínima de las muestras.

Tamaño nominal, mm	Masa mínima de la muestra de ensayo, kg
12,5 ó menos	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Fuente: NTC176.

3.7 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Se tomaron 5kg de agregado y se sumergieron en agua por 24h, de acuerdo con la NTC 237 [10]. Luego, fue extendido en una superficie no absorbente, y con una corriente de aire se llevó al estado sss. Posteriormente, se tomaron las tres muestras cercanas a los 500g, y se anotaron sus masas. Cada una de estas fue introducida al picnómetro, que después se llenó parcialmente de agua y se agitó para retirar las burbujas, y finalmente, se terminó de llenar hasta la marca y se anotó su masa. Se determinó una densidad promedio: 2.56g/cm³ y porcentaje de absorción de 2.01%.

3.8 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO

Se calculó la pérdida de material por el desgaste debido a la abrasión, impacto y trituración. Para ello, teniendo en cuenta la granulometría obtenida en los ensayos del tamizado del agregado grueso, se seleccionó la granulometría tipo B de la tabla 5. Posteriormente, se secó el material y se pasó por los tamices correspondientes hasta obtener suficiente cantidad para realizar tres ensayos con estas características. A continuación, se introdujeron en la máquina de los ángeles (ver figura 5) con once esferas de metal y se hicieron rotar por aproximadamente 15min a 33rpm.

Tabla 4. Granulometría de las muestras para el ensayo.

Tamaño del tamiz (aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados, g			
Pasa	Retenido en	Granulometría			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2 de pulgada)	25.0 mm (1 pulgada)	1 250 ± 25			
25.0 mm (1 pulgada)	19.0 mm (3/4 de pulgada)	1 250 ± 25			
19.0 mm (3/4 de pulgada)	12.5 mm (1/2 de pulgada)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12.5 mm (1/2 de pulgada)	9.5 mm (3/8 de pulgada)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9.5 mm (3/8 de pulgada)	6.3 mm (1/4 de pulgada)	-		2 500 ± 10	
6.3 mm (1/4 de pulgada)	4.75-mm (No. 4)	-		2 500 ± 10	
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	-			5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: NTC 98

Ilustración 5. Máquina de los ángeles.



Una vez finalizado el tiempo, se descargó el material y se lavó sobre el tamiz No 1. Se secó en el horno y se anotó su masa y se procedió a compararla con la masa, antes del ensayo para calcular la pérdida como porcentaje de la original. De los ensayos fueron obtenidos tres datos de desgaste los cuales se promediaron obteniendo un 27,06% de desgaste.

3.9 IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO

Se realizó este ensayo para confirmar que la cantidad de impurezas orgánicas [12] en la muestra de agregado fino, no sea mayor al permitido. Para ello, se pusieron tres muestras en tres botellas, cada una hasta la marca, luego se añadió la solución de hidróxido hasta la segunda marca y se agitaron las muestras vigorosamente. Se dejaron reposar por 24h. Luego de esto se comparó el color del agua de la muestra contra los vidrios de color estándar y se anotó el número del color más cercano al de la muestra. Las muestras ensayadas en el laboratorio dieron colores similares al color No 3, por lo tanto, el agregado es apto para su uso.

Ilustración 6. Muestras del ensayo de impurezas orgánicas después de ser agitadas.



Ilustración 7. Muestras del ensayo de impurezas orgánicas comparadas con los vidrios de color estándar.



3.10 ACERO DE REFUERZO

Se realizó este ensayo para verificar la resistencia tensión del acero que se usará para la construcción del muro. Para ello se prepararon 6 probetas para ensayarlas, 3 de ellas con un diámetro de $\frac{3}{8}$ " y las otras 3 de $\frac{1}{4}$ ", que son los diámetros que se usarán finalmente en la construcción del muro. Se realizó un ensayo a tensión a cada una de las 6 probetas para obtener las propiedades mecánicas de cada una, así como sus curvas de esfuerzo-deformación, siguiendo la NTC 2289 [14] y cumpliendo los requerimientos de la NTC 3353 [13].

Primero se ensayaron las probetas de 3/8" (ver figura 8). De este ensayo se realizó su respectiva grafica de esfuerzo-deformación (ver figura 9), de donde se obtuvieron que la resistencia a la tracción promedio fue de 648MPa y la resistencia a la fluencia promedio fue de 463MPa. De la misma forma se ensayaron las probetas de 1/4" (ver figura 10). De este ensayo se realizó su respectiva gráfica de esfuerzo-deformación, (ver figura 9), de donde se encontró que la resistencia a la tracción promedio fue de 645MPa y la resistencia a la fluencia promedio fue de 498MPa.

Ilustración 8. Probeta de 3/8" luego del ensayo a tracción.



Gráfico 4. Grafica esfuerzo-deformación de las probetas de 3/8".

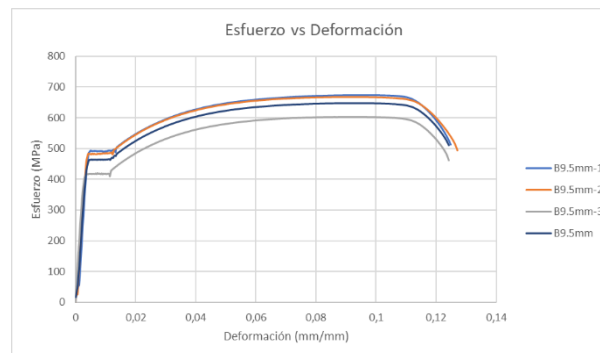
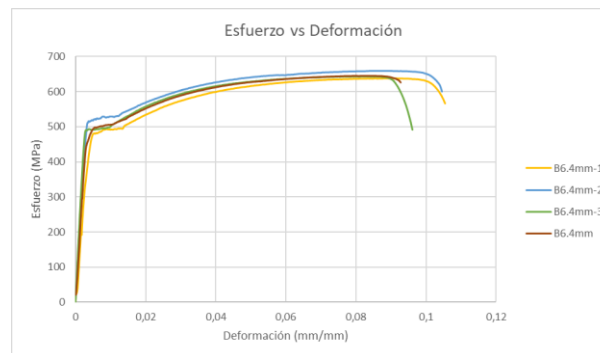


Ilustración 9. Probeta de 1/4" luego del ensayo a tracción.



Gráfico 5. Esfuerzo-deformación de las probetas de 1/4".



3.11 MALLA ELECTROSOLDADA

Se tomaron tres probetas de la malla que se espera usar en la construcción del muro y se realizó su respectivo ensayo, siguiendo lo establecido en la NTC 5806 [15], (ver figura 12), al igual que se realizaron ensayos a las barras de refuerzo. Se empleó el método de desplazamientos, debido a que no fue posible determinar la resistencia a la fluencia de la malla a partir de la gráfica obtenida, (ver figura 13) [13]. La resistencia a la tracción fue de 645MPa y a la fluencia fue de 580MPa aproximadamente.

4. DISEÑO DEL MURO

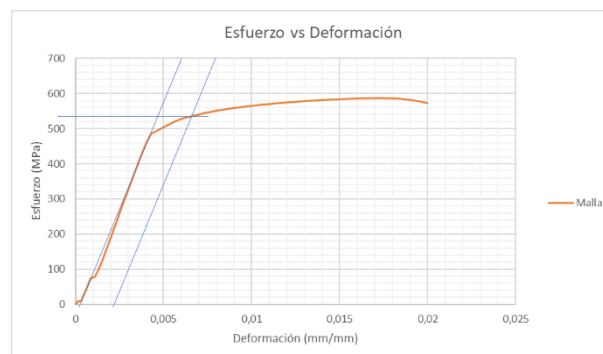
4.1. DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Se realizó el diseño de la mezcla de concreto para la construcción del muro. Para ello se tuvo en cuenta el requerimiento de concreto de 21MPa y se asumió la densidad del agua como 1000kg/m³.

Ilustración 10. Probeta de malla luego de ser ensayada.



Gráfico 6. Esfuerzo-deformación de las probetas de la malla electrosoldada.



2.2.1 Asentamiento. Primero, se determinó el asentamiento máximo que debe tener la mezcla de concreto para garantizar su fluidez. Según la tabla 6, para muros reforzados se recomienda un asentamiento de 4”.

Tabla 5. Asentamiento del concreto según su uso.

Construcción de Concreto	Asentamiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: ACI 211.

2.2.2 Cálculo de la resistencia requerida. Es probable que se presenta una variación en la resistencia después de los 28 días, por esta razón, se debe emplear un factor de seguridad para garantizar que se logre la resistencia especificada. Debido a que para el caso de este proyecto no se contó con datos estadísticos, de acuerdo con la tabla 6, se sumaron 8,3MPa a la resistencia especificada a la compresión, por lo tanto, la resistencia requerida para el diseño de la mezcla de concreto fue de 29,3MPa o 293kg/cm².

Tabla 6. Resistencia de diseño cuando no se cuenta con datos estadísticos.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: ACI 318-08.

2.2.3 Cantidad de agua. Se empleó la tabla 7 para determinar los litros de agua requeridos por metro cuadrado de concreto para lograr el asentamiento especificado. De esta misma tabla se obtuvo el porcentaje de aire retenido en la mezcla, que en este caso fue del 2,5%. Se determinó que para un asentamiento de 4" con un agregado grueso de 1/2" se necesitan 215 l/m³ o 215kg/m³.

Tabla 7. Requisitos aproximados de contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en l/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI 211.

2.2.4 Relación agua/cemento. Luego se calculó la relación agua/cemento necesaria para que la mezcla llegue a la resistencia requerida. Para ello se recurrió a la tabla 8, y se interpolaron los valores más cercanos a la resistencia requerida:

$$0,48 + \frac{0,57 - 0,48}{350 - 280} * 350 * 293 = 0,533$$

Tabla 8. Relación agua-cemento según la capacidad del concreto.

Compressive Strength at 28 days, f'_{cr} , MPa (psi)**	Water-Cement Ratio by Weight	
	Non-Air-Entrained Concrete	Air-Entrained Concrete
48 (7000)	0.33	—
41 (6000)	0.41	0.32
35 (5000)	0.48	0.40
28 (4000)	0.57	0.48
21 (3000)	0.68	0.59
14 (2000)	0.82	0.74

Fuente: ACI 211.

2.2.5 Cantidad de cemento necesario. Teniendo la cantidad de agua necesaria y la relación agua/cemento, se calculó la cantidad de cemento requerida para un metro cúbico de concreto:

$$\frac{215kg}{0,533} = 388,59kg/m^3$$

2.2.6 Cantidad de agregado grueso. Se calculó la cantidad de agregado grueso necesario, buscando en la tabla 9 el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, según el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 9. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TABLA N° 3: VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (b / b.)					
D n max.	MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA				
	2.40	2.6	2.80	3.00	3.20
3 / 8 "	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
1 / 2 "	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
3 / 4 "	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
1 1 / 2 "	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
3 "	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

Fuente: ACI 211.

$$0,51 + \frac{0,53 - 0,51}{3 - 3,2} * (3,09 - 3,2) = 0,521$$

La relación para los agregados ensayados es de 0,521, con esta y la densidad del agregado grueso se obtuvo la masa del agregado para un metro cúbico de concreto:

$$0,521 * 1550,31 \frac{kg}{m^3} = 807,71 \frac{kg}{m^3}$$

2.2.7 Cantidad de agregado fino. La cantidad de agregado fino se obtuvo por diferencia de volúmenes. Esto fue posible debido a que era lo único que faltaba para completar la mezcla, para ello se usaron las densidades obtenidas en los ensayos:

$$\text{Cemento: } \frac{388,59kg}{2,99 \frac{gr}{cm^3} * 1000 \left(\frac{kg * cm^3}{gr * m^3} \right)} = 0,130m^3$$

$$\text{Agua: } \frac{215kg}{1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 0,125m^3$$

$$\text{A. grueso : } \frac{807,71kg}{2,71 \frac{gr}{cm^3} * 1000 \left(\frac{kg * cm^3}{gr * m^3} \right)} = 0,298m^3$$

$$\text{Aire: } \frac{2,5\%}{100\%/m^3} = 0,025m^3$$

$$\Sigma = 0,130 + 0,125 + 0,298 + 0,025 = 0,668m^3$$

$$A. fino = 1m^3 - 0,668m^3 = 0,332m^3$$

$$A. fino = 0,332m^3 * \frac{2,55gr}{cm^3} * 1000 \left(\frac{kg * m^3}{gr * m^3} \right) = 846,57kg$$

2.2.8 Corrección por humedad. Debido a que los agregados poseen una humedad natural, que aporta agua a la mezcla, se realizó una corrección para no alterar la relación agua/cemento.

4.1.8.1 Agregado grueso. Para el agregado grueso se determinó una humedad natural del 1,18%. Se halló la masa real de agregado:

$$807,71kg * (1 + 1,18\%) = 817,00kg$$

Posterior a esto se descontó el porcentaje de absorción:

$$807,71kg * (1,18\% - 0,33\%) = 6,62kg$$

4.1.8.2 Agregado fino. Para el agregado fino se determinó una humedad natural del 5,84%. Se halló la masa real de agregado:

$$846,57kg * (1 + 5,84\%) = 895,67kg$$

Posterior a esto se descontó el porcentaje de absorción:

$$846,57kg * (5,84\% - 2,03\%) = 31,92kg$$

4.1.8.3 Cantidades finales. Teniendo el agua que aportan los agregados fino y grueso, se calculó el agua requerida para la mezcla:

$$\text{Agua: } 215\text{kg} - 6,62\text{kg} - 31,92\text{kg} = 176,46\text{kg}$$

Finalmente, en la Tabla 10 se presentan las cantidades de cada uno de los componentes requeridos para la mezcla de concreto.

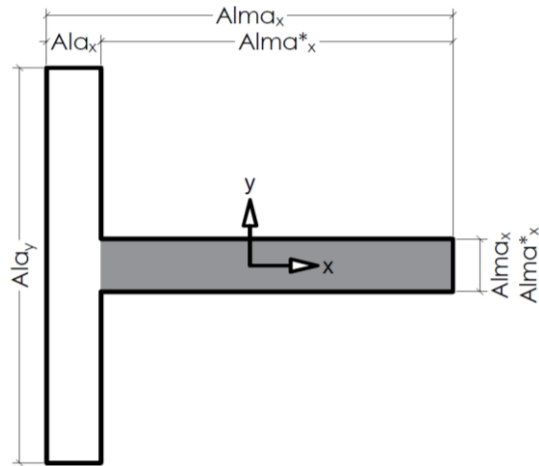
Tabla 10. Cantidades finales de la mezcla de concreto por metro cubico.

Cantidades por m3		
Cemento	388,59	Kg
Agua	215	L
AF	846,57	Kg
AG	807,71	Kg

4.2. DISEÑO DEL REFUERZO

Se realizó el diseño de un muro estructural de concreto reforzado, de acuerdo con la NSR-10 [16] y teniendo en cuenta las dimensiones del laboratorio de Estructuras y los requerimientos del proyecto de investigación 1895. Las dimensiones fueron dadas siguiendo los ejes de la ilustración 11.

Ilustración 11. Definición de ejes para el diseño del muro.



Las dimensiones del muro son:

- Ala en x: 150mm
- Ala en y: 1.300mm
- Ala en z: 2.700mm
- Alma en x: 1.300mm
- Alma en y: 150mm
- Alma en z: 2.700mm

Las dimensiones de la viga de cimentación son:

- Ala en x: 800mm
- Ala en y: 3.000mm
- Ala en z: 500mm
- Alma en x: 2.300mm
- Alma en y: 800mm
- Alma en z: 500mm

Las dimensiones de la viga de corona:

- Ala en x: 400mm
- Ala en y: 1.300mm
- Ala en z: 500mm
- Alma en x: 1.500mm
- Alma en y: 500mm
- Alma en z: 500mm

Cargas aplicadas al muro:

- Carga axial: se tomó del 80% del actuador que se dispondrá verticalmente, lo cual equivale a 292kN.
- Carga horizontal: se tomó del 80% del actuador que se dispondrá horizontalmente lo cual equivale a 400kN.

4.2.1 Cálculo de Reacciones. Se calcularon las reacciones del muro según las cargas dadas:

- Peso de la viga de corona: 12,84kN
- Peso del muro: 23,81kN
- Carga axial: $N_u = 328,65\text{kN}$.
- Cortante ultimo: $V_u = 400\text{kN}$
- Momento ultimo: $M_u = 1.080\text{kN.m}$

4.2.2 Chequeo de las dimensiones por cortante. Se chequearon las dimensiones del muro por el cortante, siguiendo los numerales C.11.9.3 y C.21.9.4.1:

$$V_{um\acute{a}x} \text{ C.11.9.3} = 445\text{kN}$$

$$V_{um\acute{a}x} \text{ C.21.9.4.1} = 543\text{kN}$$

Debido a que el V_u es menor, se cumple el chequeo.

4.2.3 Chequeo diseño a cortante. Se chequeó la necesidad del diseño de refuerzo para la resistencia a cortante. Primero se calculó la resistencia al cortante suministrada por el concreto, según los numerales C.11.9.5 y C.11.9.6, de cada numeral se obtuvieron los siguientes resultados:

$$C.11.9.5: V_{c\text{máx}} = 122\text{kN}$$

$$C.11.9.6: V_c = 259\text{kN}$$

$$C.11.9.6: V_c = 114\text{kN}$$

De estos resultados se seleccionó el menor y se comparó con el V_u de diseño:

$$V_u = 400\text{kN} > 43\text{kN} = 0.5 \cdot 0.75 \cdot 114\text{kN} = V_c$$

Como se observa, el V_u de diseño es mayor al V_c suministrado por el concreto, por lo tanto, se debe diseñar por cortante.

4.2.4 Diseño a cortante. Según el numeral C.21.9.2.3 se requieren dos capas de refuerzo.

4.2.4.1 Refuerzo Longitudinal. Para el diseño longitudinal se usaron los numerales C.11.9.9.4 y C.21.9.2.1. Adicional a esto se chequearon los numerales C.14.3.2 y C.21.9.4.3 los cuales no aplican a este diseño:

$$C.11.9.9.4: \rho_l = 0.0029$$

$$C.11.9.9.4: \rho_l = 0.0025$$

$$C.21.9.2.1: \rho_l = 0.0025$$

De estos numerales se escogió la mayor cuantía como la requerida para el diseño:

$$\rho_{l\text{req}} = 0.0029$$

4.2.4.2 Refuerzo Transversal. Para el diseño transversal del muro primero se chequeo el numeral C.11.9.9.1. Al ver que se cumplió con lo estipulado por este numeral se halló el cortante que se debe usar para el diseño, de acuerdo con C.11.1.1:

$$C.11.1.1: V_{sreq} = 419kN$$

Con este cortante se calculó la cuantía de acero transversal requerida para satisfacer esta capacidad usando los numerales C.11.9.9.1, C.11.9.9.2 y C.21.9.2.1:

$$C.11.9.9.1: p_{treq} = 0.0042$$

$$C.11.9.9.2: p_{tmin} = 0.0025$$

$$C.21.9.2.1: p_{tmin} = 0.0025$$

De estos numerales se escogió la mayor cuantía como la cuantía requerida para el diseño:

$$p_{treq} = 0.0042$$

4.2.4.3. Separación máxima. Se calculó la separación máxima de los aceros de refuerzo usando los numerales C11.9.9.3 y C.21.9.2.1:

$$C.11.9.9.3: s_{tm\acute{a}x} = 260mm$$

$$C.11.9.9.3: s_{tm\acute{a}x} = 450mm$$

$$C.11.9.9.3: s_{tm\acute{a}x} = 450mm$$

$$C.21.9.2.1: s_{tm\acute{a}x} = 450mm$$

De estas se seleccionó la menor de ellas como la máxima separación entre aceros.

4.2.4.4 Selección de aceros y disposición. Se emplearon mallas electrosoldadas para el refuerzo del muro, pues son las más comúnmente usadas en la construcción de Bucaramanga.

Se suministró igual cuantía de acero longitudinal y transversal, $\rho_{req} = 0.0042$, por medio de dos capas de malla de 8,0mm de diámetro cada 150mm, con lo que se obtuvo una cuantía de 0,0045.

4.2.5 Chequeo de elemento de borde. Se realizó el chequeo para revisar el requerimiento de elementos de borde. Para ello se utilizaron los numerales C.21.9.6.2 y C.21.9.6.3, los cuales arrojaron que sí son necesarios estos elementos.

4.2.6 Diseño de los elementos de borde. De acuerdo con el numeral C.21.9.6.4 se determinó una longitud mínima de los elementos de borde de 371mm, por eso se tomó una longitud de 400mm. Posterior a esto se realizó el diseño a flexión por medio de la teoría de distribución rectangular de esfuerzo de Whitney (ver anexo 1). Se obtuvo una cuantía de 0,0136, suministrada por medio de 8 barras No. 6. Teniendo esta distribución de acero, se chequeó la cuantía dentro del elemento de borde, cuyo valor fue de 3,79%. Esta cuantía es menor al 4% máximo descrito en el numeral C.21.6.3.1.

El diseño realizado se muestra en la tabla 10 y en la figura 17 se muestra el detallado del refuerzo de este muro.

Tabla 11. Fuerza y refuerzo del muro diseñado.

	TW1.1
Lw [mm]	1,300
Carga [%]	80%
Vu [kN]	400
Un [kN]	329
Malla	8mm@ 150mm
Mu [kN.m]	1,080
EB	8No.6/ 400mm
EBT	8No.6/ 400mm
ρ EB	3,79%
ρ EBT	2,33%

5. ANÁLISIS PUSHOVER

Posterior a la realización del diseño, se realizó un análisis *pushover* para determinar la capacidad del muro. Este análisis busca llevar una estructura al colapso mediante la colocación de cargas laterales incrementales aplicadas en la misma dirección [17]. En cada salto de carga se registra tanto el desplazamiento como el cortante aplicado para obtener la curva de capacidad. [18]. Se realizó el modelo del muro TW1.1 en el software SAP2000, del que se obtuvo la curva de capacidad (ver figura 18). De esta curva se obtuvo la fuerza máxima que soporta el muro cuando el ala se encuentra a compresión es de 925,6kN, es decir 2,31 veces la capacidad del laboratorio, esto se le atribuyó a la concentración de acero aportado por las mallas del ala actuando a tracción, el cual no se tuvo en cuenta para el diseño a flexión. Por esta razón, junto con el Grupo INME se decidió reducir las dimensiones del muro de 1,3m a 1m y emplear un refuerzo correspondiente a las cuantías mínimas permitidas por la NSR-10 [16], como se muestra en la figura 19. Luego, se realizó un análisis *pushover* de este nuevo diseño, cuyo resultado se muestra en la figura 20. A partir de esta curva, se puede concluir que la capacidad del muro es inferior a la del actuador del Laboratorio de estructuras, por lo que se decidió tomar este como el diseño final.

Ilustración 12. Distribución del refuerzo en planta del muro TW1.1.

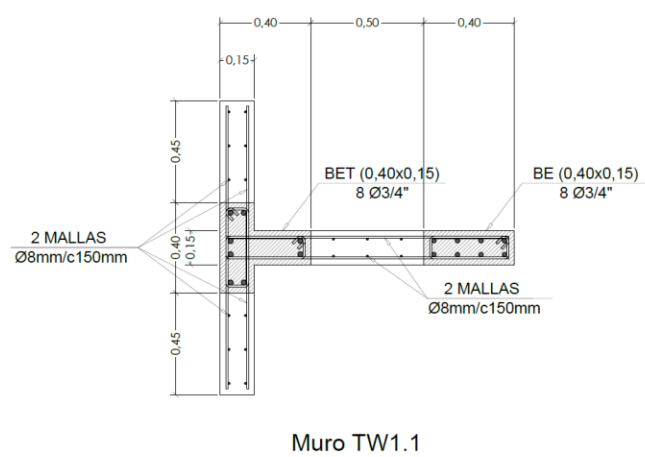


Ilustración 13. Curva de capacidad del muro TW1.1.

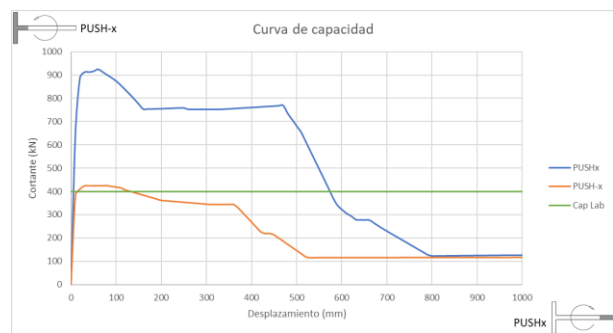


Ilustración 14. Curva de capacidad del muro TW1.2.

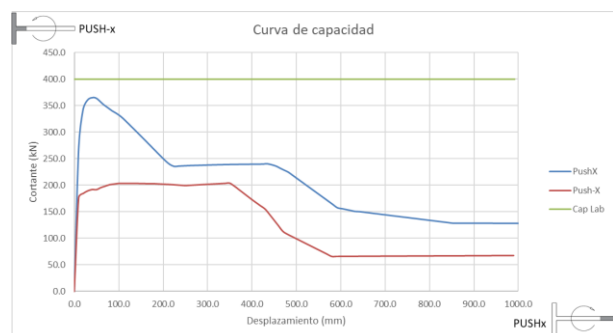
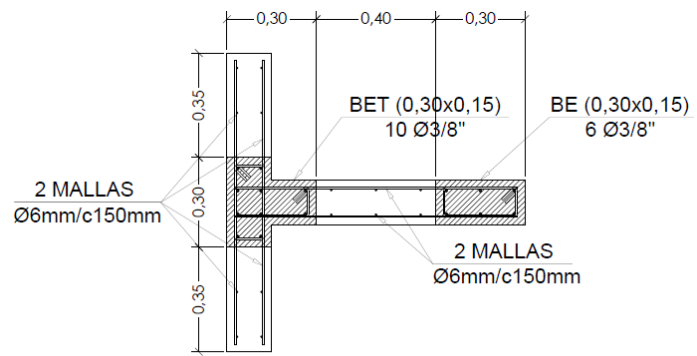


Ilustración 15. Distribución del refuerzo en planta del muro TW1.2.



Muro TW1.2

6. DISEÑO DE VIGAS

Luego de que se definió el diseño final del muro y su curva de capacidad, se procedió a realizar el diseño de las vigas. Para ello se tomó de la curva de capacidad, la carga máxima que soporta el muro. Esta carga se multiplicó por tres, como factor de seguridad. Para realizar este diseño se hizo un modelo en SAP2000, con el fin de hallar el momento máximo que soportan la viga de corona y la de cimentación. De este modelo se obtuvieron los diagramas de cortante y de momento, y de estos se obtuvieron el cortante y momento máximo de las vigas de corona (ver figura 21) y cimentación (ver figura 22). A partir de estos momentos y cortantes se procedió a realizar el diseño por flexión y por cortante de las vigas.

6.1 VIGA DE CORONA

El dimensionamiento de esta viga se realizó en colaboración con el Grupo INME, teniendo en cuenta las dimensiones del laboratorio y del muro TW1.2. Para esta viga se tomó como momento de diseño 408kN.m y cortante 818kN. La sección transversal de la viga fue de 50cmx50cm. En la figura 23 se muestra el detalle del refuerzo de esta viga.

6.2 VIGA DE CIMENTACIÓN

El dimensionamiento de esta viga se realizó en colaboración con el grupo INME, teniendo en cuenta las dimensiones del laboratorio y del muro TW1.2. Para esta viga se tomó como momento de diseño 595kN.m y cortante 2533kN. Las dimensiones de la sección transversal fueron 80cmx50cm. En la figura 24 se muestra el detalle del refuerzo de esta viga.

Ilustración 16. Diagramas de momento y cortante de la viga corona del ala.

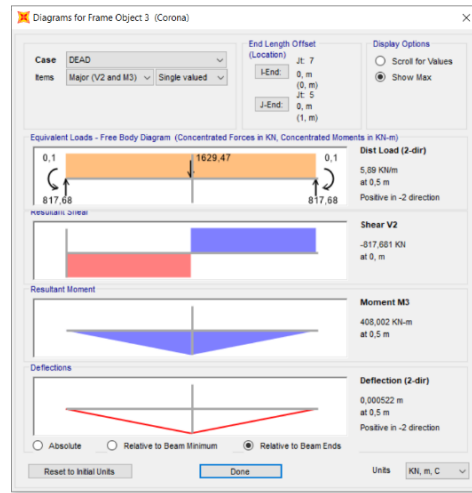


Ilustración 17. Diagramas de momento y cortante de la viga de cimentación del alma.

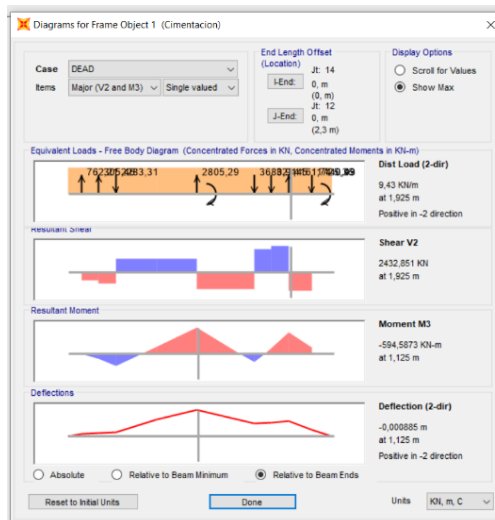


Ilustración 18. Planta y distribución del refuerzo a flexión y cortante de la viga corona del muro TW1.2.

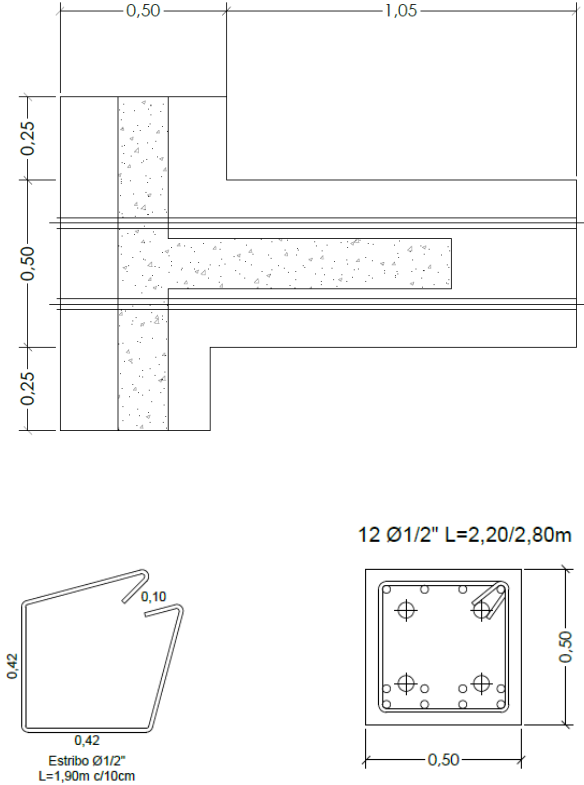
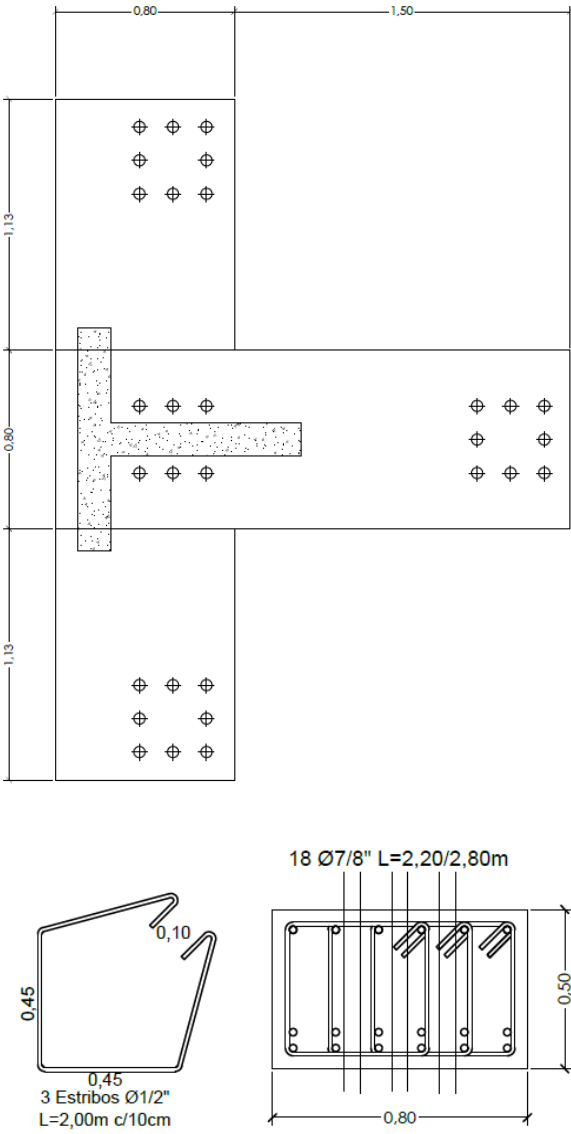


Ilustración 19. Planta y distribución del refuerzo a flexión y cortante de la viga de cimentación del muro TW1.2.



7. CONCLUSIONES

- Se diseñó un muro de concreto reforzado con sección transversal en T, de acuerdo con las limitaciones del Laboratorio de Estructuras y los requerimientos de la NSR-10. Para esto, se determinó la capacidad del muro diseñado, por medio de un análisis *pushover*.
- Se diseñaron las vigas de corona y cimentación complementarias para el montaje experimental de un muro de concreto reforzado con sección transversal en T.
- A partir del análisis *pushover* se determinó que la capacidad del muro cuando el alma se encuentra a compresión es mucho mayor a la esperada, esto debido a la gran concentración de refuerzo en el ala.
- El comportamiento de las barras de acero de refuerzo ensayadas fue muy similar, a pesar de tener diferentes diámetros, mientras que la malla electrosoldada presentó un comportamiento con menor ductilidad, lo cual no es lo que se espera en este tipo de estructuras.

8. RECOMENDACIONES

Para la construcción y el ensayo del muro se recomienda documentar todo el proceso tanto de construcción como de ensayo, para poder contrastar la parte práctica con la parte numérica realizada en este ensayo, de igual forma se recomienda documentar ampliamente cualquier modificación a los diseños presentados en este artículo para poder contrastarlos con el muro que se construya.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIAR Roberto. “Análisis sísmico por desempeño”. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 2003, vol. 342.

BRICEÑO Adriana, CARRERAS Nelson. “Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011”. Tesis de pregrado de Ingeniería Civil. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, 2013.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto. Bogotá, 2019.

----- Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto. Bogotá. 2015.

----- Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Bogotá. 2017.

----- Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. Bogotá. 2000.

----- Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá. 2018

----- Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero. Bogotá. 2019.

-----Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino. Bogotá, 1995.

----- , ----- Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado grueso. Bogotá. 1995.

----- , ----- Método de ensayo para determinar la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados. Bogotá. 2019.

----- , ----- Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menor de 37,5 mm, utilizando la Máquina de Los Ángeles. Bogotá. 2012.

----- , ----- Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. Bogotá. 1994.

GONZÁLEZ Camilo Andrés. “Análisis estático no lineal (Pushover) de estructura aporticada de hormigón armado con diferentes grados de ductilidad. Aplicando la Norma Sismorresistente Colombiana 2010 (NSR-10)”. Tesis de Máster Universitario en Construcciones e Instalaciones Industriales. Universitat Politècnica de València. Valencia, 2018.

LOPEZ Jordy, MORENO Jorge. “Evaluación Experimental Del Comportamiento Biaxial De Muros En Concreto Reforzado”. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2017.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá, 2010.

SAN BARTOLOMÉ Ángel, QUIUN Daniel, SILVA Wilson. Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 2011, vol. 3, no 1, p. 36-48.