

CONCEPTO ESTRUCTURAL

**PROYECTO
MURO DE CONTENCIÓN SEGUNDO SOTANO TORRE 4
CONJUNTO RESIDENCIAL NOGALES DE LA COLINA
CRA. 58 No. 138 - 40
Localidad SUBA
Bogotá D.C.**

**EDGARDO ROJAS SOTO
INGENIERO CIVIL**

BOGOTÁ D.C., JUNIO DE 2022

CONCEPTO ESTRUCTURAL MURO DE CONTENCION SOTANO TORRE 4 NOGALES DE LA COLINA

1. INTRODUCCION:

El presente estudio estructural se realiza a solicitud del consejo de administración del conjunto Nogales de la Colina, con el objeto de conocer el estado actual del muro de contención del segundo sótano de la torre 4, con el objeto de tomar medidas de mitigación si así se requiere.

El proyecto se encuentra localizado en la Carrera 58 No. 138 - 40, Conjunto Residencial Nogales de la Colina, en la ciudad de Bogotá, D.C. La estructura objeto de este estudio es un tramo del muro de contención del segundo sótano del parqueadero al frente de la torre 4.



El presente estudio contiene un análisis de la calidad del concreto del muro y un chequeo del comportamiento estructural por medio de un modelo elástico del muro de contención en el programa de computador ETABS 2016, para poder establecer si el muro es competente estructuralmente.

El consejo de administración del conjunto, tomo la decisión de efectuar una revisión del muro por cuanto la fuga de una tubería de aguas lluvias y negras, generaron acumulación de agua detrás del muro y esto genero dudas de su estado actual.

2. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES DEL MURO:

- **Glosario Técnico y Definiciones:**

P.S.I.=Unidad de presión, libra/pulgada²; sistema ingles de medidas.

Kg/cm²= Unidad de presión, Kilogramo/Centímetro²; Sistema Métrico.

Mpa= Unidad de presión, Newton/Metro²; Sistema internacional

f'c= Resistencia a la compresión del concreto, es el esfuerzo máximo de compresión del concreto; las unidades son de presión y este índice nos indica que tan resistente es el concreto.

f'y= Limite de fluencia del acero, máximo valor del esfuerzo que desarrolla el hierro antes que se deforme; se expresa normalmente en psi.

P.H.= Parámetro de acidez, va de 1 a 14 y el 7 es neutro

Núcleo de Concreto: Muestra de concreto extraída del muro para ser ensayada.

Esclerómetro: también se conoce como martillo de rebote de Schmidt, mide la dureza superficial del concreto.

P=Presión del suelo a la profundidad Z

Ka= Coeficiente de empuje activo del suelo

γ= Densidad del suelo en Tn/m³

Z= Profundidad en metros

- **LABORATORIO DE ENSAYOS:** Fue necesario efectuar una búsqueda de los planos estructurales de los sótanos de parqueo frente a la torre 4, para establecer los parámetros de diseño del muro como son calidad del concreto, espesor de los muros, refuerzos, pero no se encontró en el archivo de planeación de Bogotá los diseños estructurales, se encontraron planos no estructurales de los sótanos, planos de cimentación no completos de la torre 4, en estos planos que no son los de la zona de parqueo, se establecen dos calidades de concreto; el de cimentación con $f'c = 3500$ psi, y el de los muros de concreto tienen $f'c = 3000$ psi y también se establece el espesor del muro de contención en 20 centímetros. Se anexan planos encontrados.

Para poder establecer calidad del concreto su especificación técnica y su resistencia y dureza se estableció la necesidad de efectuar ensayos destructivos de compresión (tres núcleos) y dos ensayos no destructivos con esclerómetro para determinar la resistencia del concreto y la uniformidad del concreto respectivamente; por esta causa se contrató con el Laboratorio de ensayos E.I.E. ECHEVERRY, la toma de las muestras y la

realización de los ensayos de compresión, esclerómetro, P.H., Carbonatación y escáner.

- **Concreto:** En el informe presentado por el Laboratorio Echeverry; se presentan los resultados de compresión de los núcleos de concreto extraídos del muro de contención:



FOTO EXTRACCION DE NUCLEO

	Nucleos		
Resistencia	1	2	3
Mpa	27.6	33.1	29.6
Kg/cm2	281	338	302
P.S.I.	3990	4800	4300

También se realizaron ensayos no destructivos con esclerómetro y se obtuvieron los siguientes resultados de la resistencia del concreto:



	ESCLEROMETRO	
Resistencia	1	2
Mpa	33	30
Kg/cm ²	337	307
P.S.I.	4786	4358

También se realizó ensayo del P.H. del concreto, obteniéndose un valor de 6.45 y se realizó ensayo de sulfatos con un valor de 0.15.

En el presente estudio se entrega en el ANEXO 1 el informe del laboratorio Echeverry con gráficos, ensayos, comentarios.

- **ACERO DE REFUERZO:** En el proceso de la toma de las muestras de los núcleos se estableció por medio de un escáner que la separación de varillas es de 20 cm por 20 cm, el equipo no estableció que diámetro de varilla es, tampoco como ya se dijo se pudo encontrar diseños y planos estructurales de los muros, se pudo establecer por los planos existentes del diseño de los muros en concreto que el f' y es de las mallas y grafiles es de 60.000 psi y el espesor del muro de 20 Centímetros.

3. ANALISIS ESTRUCTURAL:

Se utilizo el programa ETABS V.16 donde se modelo y parametrizo el muro de contención de los dos sótanos. Las cargas por efecto del empuje del suelo se calcularon de acuerdo con el estudio de suelos elaborado por la firma AREAS LTDA; en la página 20 y 21 nos recomienda con qué criterios se debe calcular esta fuerza de empuje **"deberán diseñarse para una presión de tierras triangular del tipo activa dada por $P=ka$ y Z ".**

$P=ka$ y Z

P = presión a la profundidad Z

Ka = 0.30

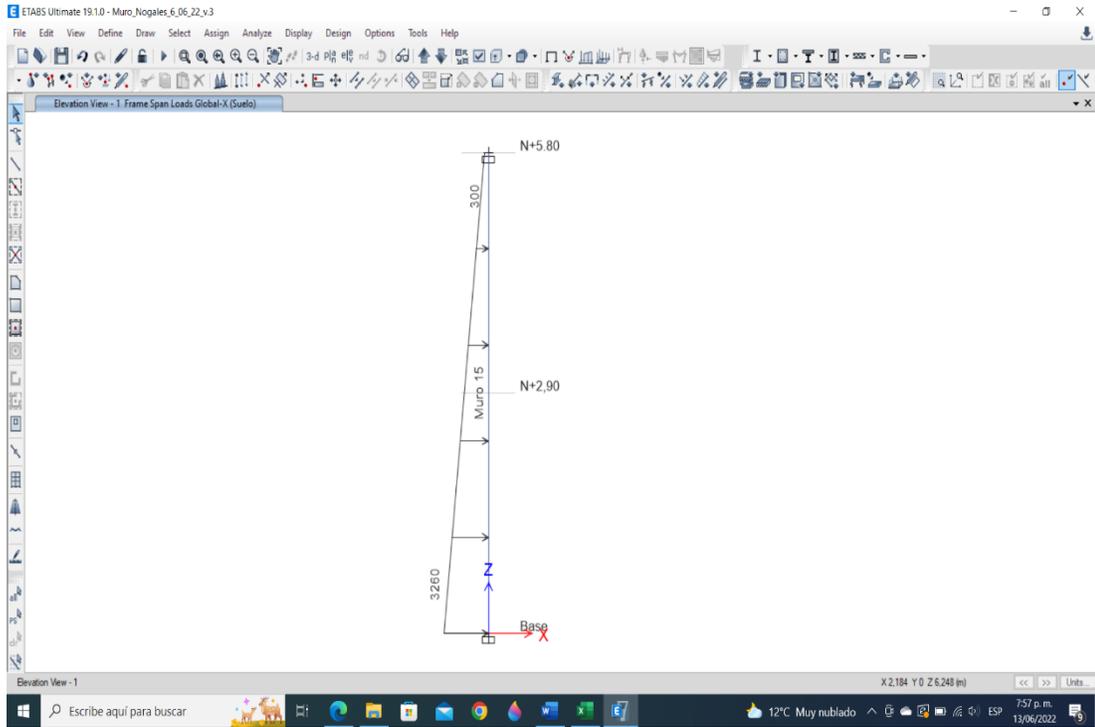
Z =profundidad

γ = 1.70 Tn/m³

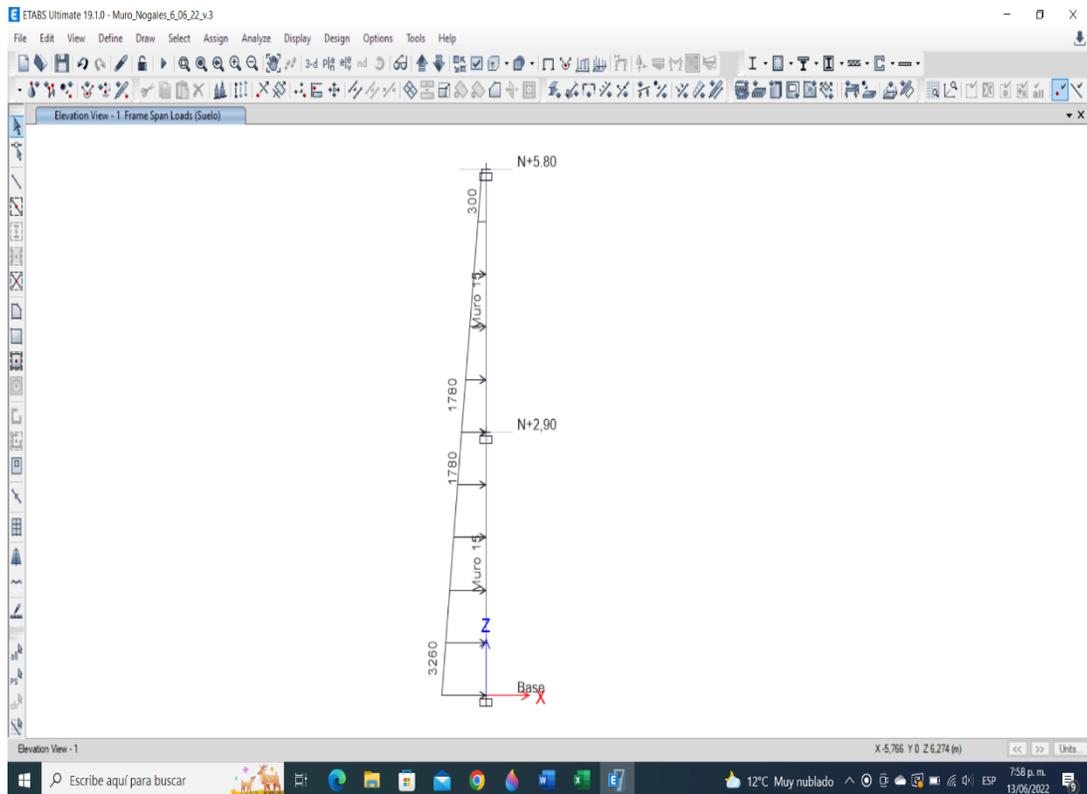
$$P= 0.3 \times 1.70 \times 5.80 = 2.96 \text{ tn/ml}$$

Se asumió una sobrecarga de 1 tn/m², para una presión de 0.300 tn/ml

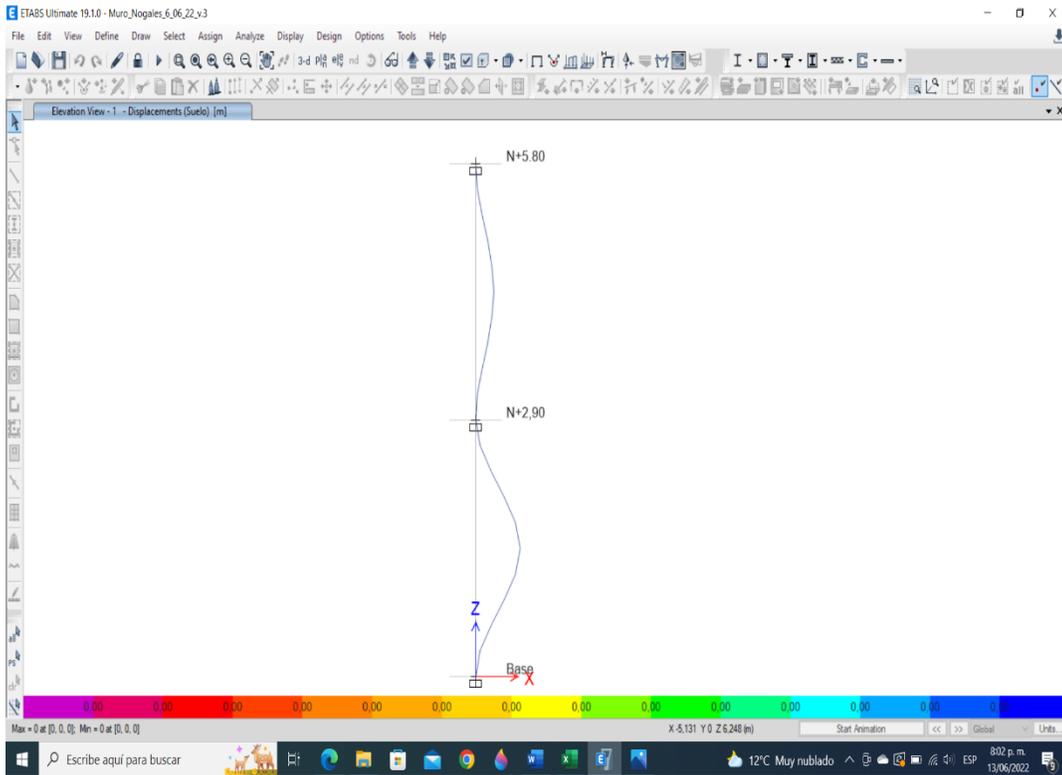
La carga triangular del suelo más la sobrecarga nos da 3.26 Tn/ml a la profundidad de 5.80 metros de profundidad.



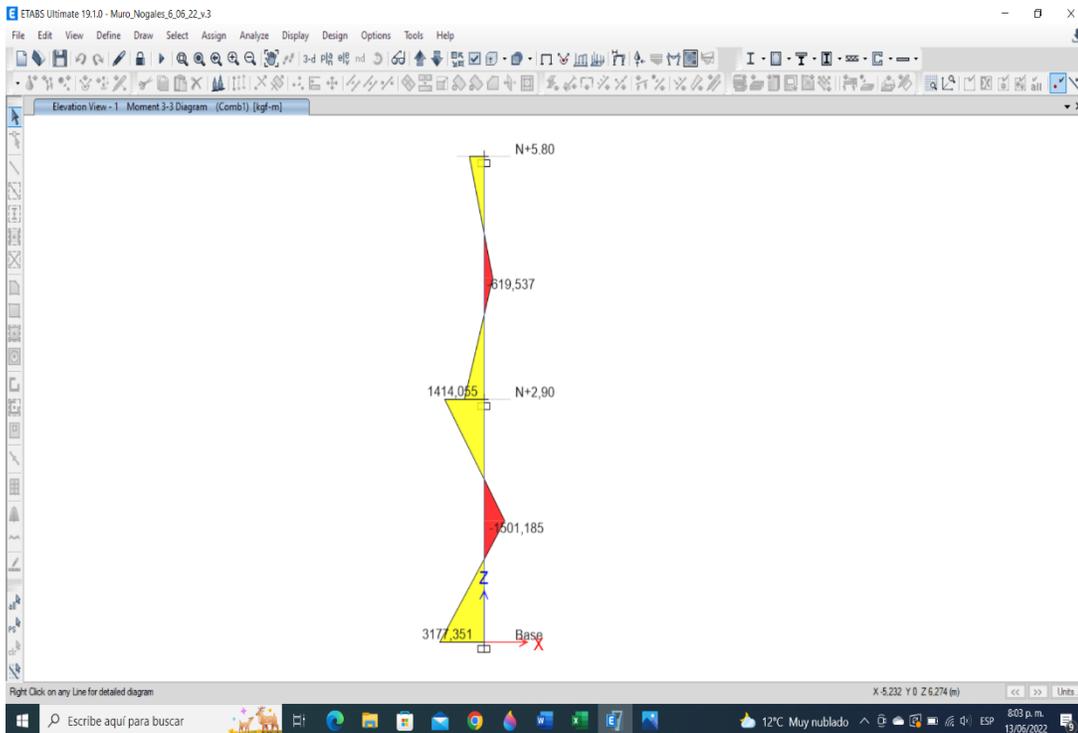
Carga triangular Total



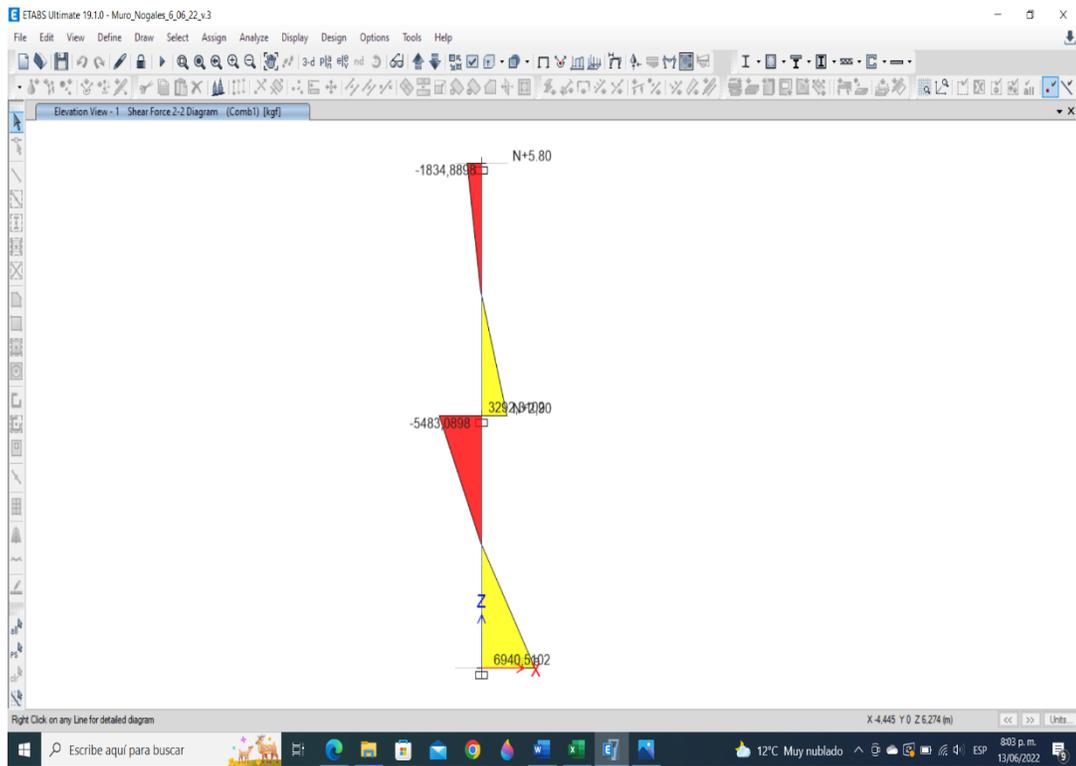
Carga triangular incluyendo apoyo primer apoyo



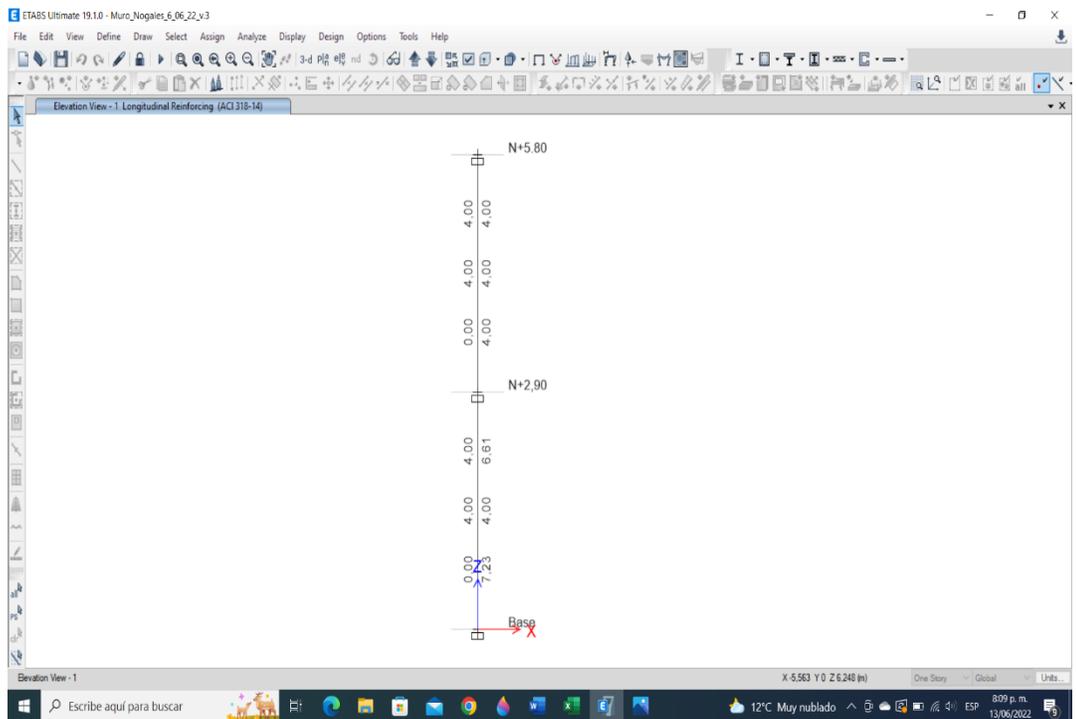
Deformada



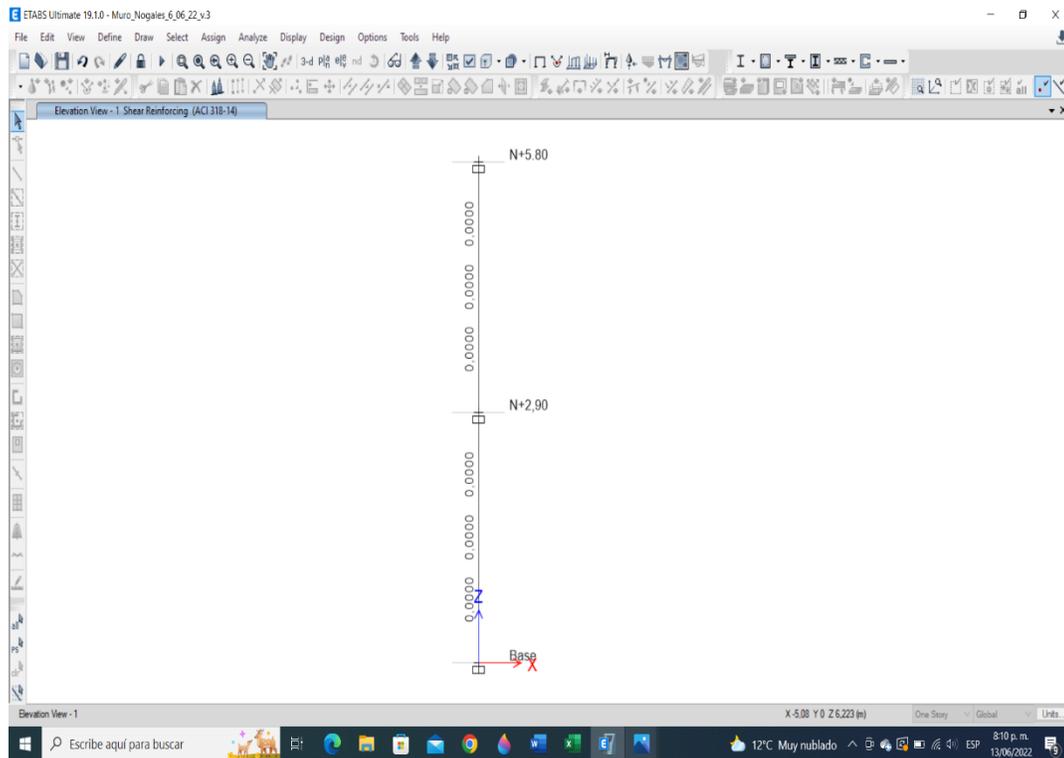
Momento 3-3



Cortante 2-2



Refuerzo Longitudinal



Refuerzo Corte

Para el análisis se trabajó con una resistencia del concreto de 4300 p.s.i. tomada del promedio de los núcleos del concreto, acero de refuerzo de 60.000 p.s.i. y con las cargas de empuje de tierras de 300 y 3260 kg/ml, espesor del muro de 15 cm, que resulto de la toma de las muestras o núcleos del concreto.

4. CONCLUSIONES:

- **Núcleos de concreto:** los resultados de los ensayos de compresión de las muestras que se extrajeron del muro nos dan en promedio una resistencia a la compresión de 4300 psi, es una resistencia alta, no tuvimos en cuenta los resultados con esclerómetro para promediar, pero los valores correlacionados nos dan valores muy parecidos incluso mayores indicando que el valor asumido está bien. Es bueno aclarar que el esclerómetro nos mide la dureza del concreto principalmente obteniendo valores muy buenos, podemos decir que a mayor dureza mayor resistencia del concreto, **entonces tenemos un concreto con buena dureza superficial y buena resistencia a la compresión.**

- Desafortunadamente no se encontraron planos estructurales de los muros de contención y sus memorias de diseño estructural para poder comparar el resultado obtenido con el de diseño, pero se observa un concreto sano y con muy buena dureza.

La resistencia del concreto nos da una luz de la calidad del concreto, tiene un buen agregado y creo que la relación A/C del concreto no es muy alta lo que lo hace bajo de porosidad o no muy permeable, y esta condición nos favorece.

- **Carbonatación del concreto:** También se realizó ensayo de P.H. y se utilizó un químico para determinar qué tan avanzado está el frente de carbonatación en el concreto. La evaluación del frente de carbonatación se realiza mediante el reactivo denominado fenolftaleína, que es el indicador utilizado con más frecuencia para determinar los valores de pH. Su rango de viraje está entre 8,2 y 9,8, variando su tonalidad de incoloro a violeta rojizo.

La superficie de concreto que cambie de color hacia color morado es la que se considera sana, y la que mantiene el color original del concreto, indica el avance del frente de carbonatación.

Carbonatación: La carbonatación se caracteriza por ser un proceso fisicoquímico en la que una serie de reacciones químicas se producen en la presencia de dióxido de carbono (CO₂), que promueve la reducción del pH en el hormigón. El CO₂ penetra en el concreto a través de un mecanismo de difusión el cual se produce gradualmente, dando lugar a una capa carbonatada (llamada frente de carbonatación) que aumenta en espesor con el tiempo. (Silva, Neves, & Brito, Statistical modelling of carbonation in reinforced concrete, 2013).

En otras palabras, La carbonatación es una reacción de neutralización en el que inicialmente el alto pH de la pasta de cemento (típicamente en un intervalo de 13-14) disminuye a un pH de 8,4 (Sullivan Green, Hime, & Dowding, 2007).

La alta alcalinidad del hormigón, que funda la formación de una capa de óxidos pasivantes sobre el acero, es debida principalmente a la portlandita formada durante la hidratación de los compuestos anhidros del cemento y a los hidróxidos de sodio y potasio presentes. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa del hormigón contenido en los poros en valores entre 12,6 y 14, en la escala de pH. El descenso de la alcalinidad se produce principalmente por reacción de los compuestos de carácter básico de la fase acuosa del hormigón, hidróxidos de sodio, potasio y calcio, con dióxido de carbono (CO₂) y de azufre (SO₂), para formar carbonatos, sulfatos y agua donde el CO₂ se encuentra en mayor proporción en el aire que el SO₂. (Galán, 2011).

En nuestras muestras que tomo el laboratorio Echeverry lo hizo sobre las muestras falladas de concreto y roció el químico sobre el núcleo fracturado, pero no sobre toda la superficie fracturada, solo en la sitios donde se ve morado intenso y este color nos muestra que el concreto en su interior está libre de carbonatación, pero la manera como lo hicieron no es lo convencional, lo que se debe hacer es rociar la fenolftaleína sobre es toda la muestra para poder ver el frente de carbonatación de acuerdo con los tonos que da el químico.

La carbonatación es un proceso de deterioro normal del concreto, la calidad del concreto y el recubrimiento del acero del concreto pueden demorar su avance hacia la oxidación del acero , y si protegemos su superficie en los sitios donde este expuesto a un medio ambiente más agresivo, le daremos más durabilidad en el tiempo a nuestro concreto, en nuestro caso la prueba del esclerómetro de dureza y la resistencia alta del concreto 302 Kg/cm² y muy seguramente una baja relación de A/C, favorece que el frente de carbonatación aumente lentamente. Es importante señalar que las muestras se tomaron sobre la superficie que mostraba evidencia de escurrimientos y filtraciones de agua.

Para establecer la longitud del frente de carbonatación. se utilizo la ecuación de disolución de **Fick: $X_{CO_2} = K_{CO_2} \times \sqrt{t}$**

X_{CO_2} = espacio recorrido por el frente de carbonatación, en mm

K_{CO_2} = constante que depende de la clase de concreto y del medio ambiente.

t = tiempo, en años.

$$K_{CO_2} = 72 \left[\frac{1}{\left(\frac{F'c}{10} \right)^{0.5}} - 0.126 \right]$$

Para nuestro caso $K_{CO_2} = 3.85$

$X_{CO_2} = 17.21$ mm

Si tomamos en cuenta el frente de 5mm esta muy por debajo el concreto esta competente para recibir y transmitir cargas.

- **P.H. (Alcalinidad): El P.H. (6.7) obtenido nos muestra que está cerca del neutro comenzando a acidificarse y esto puede ser indicativo del inicio de un proceso de oxidación del concreto por su exposición a las filtraciones de agua.**

- **Sulfatos:** el resultado obtenido en el concreto es de 0,15, la NSR 10 en el capítulo 4 establece los criterios y clase de exposición para los sulfatos. Tabla C.4.2.1., establece 4 grados de exposición del S0 al S3, dependiendo la cantidad de sulfatos solubles en agua en el suelo, la tabla C.4.5.1. establece valores máximos para definir qué tipo de cementante se usa con muestras falladas a 6,12 y 18 meses y da como máximo valor 0,10 para cambiar diseño de mezcla.

En nuestro caso la tabla C.4.3.1 establece requisitos del concreto dependiendo de la clase de exposición, la resistencia a compresión del concreto varía del grado 0 al 3 de $f'c$ de 17 mpa a 31 mpa, nuestro promedio está en 29,6 mpa, consideramos que cumple para la exposición más agresiva que es de 2 S204 y en la práctica se ha visto que en los más de 18 años los muros de contención se han comportado bien. Resaltamos que como indica la norma para la resistencia del concreto que tenemos muy seguramente nuestra relación a/c es menor de 0.50.

- **Cortante del Concreto:** *El esfuerzo cortante lo podemos definir como una fuerza que actúa paralela a un plano que contiene dos partes que se deslizan entre sí.*
- En el presente estudio se efectuó un chequeo estructural del muro de contención por medio de un modelo parametrizado en un software estructural, buscando determinar si el espesor del muro de 15 cm es capaz de resistir el empuje lateral del terreno, el modelo elástico en Etabs no muestra la fuerza cortante y evalúa la capacidad de ese concreto y en los resultados nos muestra que **no necesita refuerzo adicional por lo que es competente**, sin embargo es bueno señalar que el espesor que aparece en planos es de 20 cm y lo encontrado en la inspección del muro fue 15 cm..
- **Momento Flector:** *es una fuerza que actúa en un plano normal a una sección del material y que hace que se flexione.*
- El resultado del programa nos muestra que el efecto de flexo compresión del concreto requiere un refuerzo en los vanos del muro refuerzo positivo de 4.0 cm² en el sótano 1 y 6 en el sótano 2. Cuatro centímetros es del orden de 0.8 cm² por cada 20 cm, con 7 cm² tendremos 1.4 cm² por cada 20 cm, el refuerzo existente se estableció que esta cada 20 x 20, es decir en cuadrados de 20 cm, pero no se estableció el diámetro, es probable que el refuerzo que este embebido en el muro sea de 1/2" si es así estaría bien porque su cuantía sería del orden de 1.27 cm² cada 20 cm.

Es importante señalar que el conjunto tiene aproximadamente 18 años de construido y hasta la fecha no ha habido problemas estructurales con los muros, el señor Administrador Adolfo Castillo me informo que en esta época de invierno el muro de contención no ha presentado filtraciones de agua, los problemas de filtraciones de agua por tuberías sanitarias y por filtraciones de las materas ya se resolvieron, **por lo que considero que el muro continua trabajando adecuadamente y realizar intervenciones estructurales no es conveniente.**

El muro presenta fisuras a lo largo del ancho de las mallas de refuerzo, se observan diferentes coloraciones por filtraciones de agua, pero no se observa abultamiento o grietas que amenacen la estabilidad del muro.

5. RECOMENDACIONES:

- ✓ **Se recomienda colocar una capa de pintura en vinilo acrílica de muy buena calidad, para generar protección contra el ambiente del parqueadero abundante en dióxido de carbono perjudicial para el concreto por que puede favorecer la carbonatación.**
- ✓ **También se puede colocar una pintura de protección SIKA GARD 760W, que genera una película mucho mejor que la acrílica y nos garantiza mayor protección a agentes externos y proporcionalmente mayor durabilidad.**
- ✓ **Monitorear periódicamente la fisuración de los muros para detectar problemas estructurales y actuar oportunamente.**
- ✓ **Para mantener un P.H. NEUTRO se debe continuar con la rapidez y oportunidad de resolver prontamente las filtraciones de agua que se puedan presentar en los muros para evitar procesos de oxidación en el acero.**



Ing. EDGARDO ROJAS SOTO
M.P. 25202-26448 CND
Cel. 311-2231836
Email: Edgardo.icivil@gmail.com

RESULTADOS DEL PROGRAMA

ETABS Concrete Frame Design _ Resultado Sótano 2

ACI 318-14 Beam Section Design

Beam Element Details



(Summary)

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (m)	LLRF	Type
N+5.80	C1	5	Muro 15	Comb1	2,9	2,9	1	Sway Special

Section Properties

b (m)	h (m)	b _r (m)	d _s (m)	d _{ct} (m)	d _{cb} (m)
1	0,15	1	0	0,03	0,03

Material Properties

E _c (kgf/cm ²)	f' _c (kgf/cm ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _y (kgf/cm ²)	f _{ys} (kgf/cm ²)
253909,34	302	1	4218,42	4218,42

Design Code Parameters

φ _T	φ _{CTied}	φ _{CSpiral}	φ _{Vns}	φ _{Vs}	φ _{Vjoint}
0,9	0,65	0,75	0,75	0,6	0,85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

	Design Moment kgf-m	Design P _u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	0	-731,6434	0,1	0	4	4
Bottom (-2 Axis)	1064,092	-731,6434	0,1	2,49	4	4

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

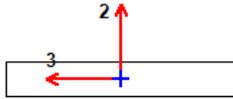
Shear V _{u2} kgf	Shear φV _c kgf	Shear φV _s kgf	Shear V _p kgf	Rebar A _v /S cm ² /m
1834,8898	8294,2122	0	0	0

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T _u kgf-m	φT _{th} kgf-m	φT _{cr} kgf-m	Area A _o m ²	Perimeter, p _h m	Rebar A _t /s cm ² /m	Rebar A _t cm ²
0	333,576	1334,304	4,732E-02	1,944	0	0

ETABS Concrete Frame Design_Resultado sótano 1

ACI 318-14 Beam Section Design



Beam Element Details (Summary)

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (m)	LLRF	Type
N+2,90	C1	4	Muro 15	Comb1	0	2,9	1	Sway Special

Section Properties

b (m)	h (m)	b _f (m)	d _s (m)	d _{ct} (m)	d _{cb} (m)
1	0,15	1	0	0,03	0,03

Material Properties

E _c (kgf/cm ²)	f' _c (kgf/cm ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _y (kgf/cm ²)	f _{ys} (kgf/cm ²)
253909,34	302	1	4218,42	4218,42

Design Code Parameters

φ _T	φ _{CTied}	φ _{CSpiral}	φ _{Vns}	φ _{Vs}	φ _{Vjoint}
0,9	0,65	0,75	0,75	0,6	0,85

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{u3}

	Design Moment kgf-m	Design P _u kgf	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	0	0	0	0	0	0
Bottom (-2 Axis)	3177,351	731,6434	0	7,23	4	7,23

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{u2}

Shear V _{u2} kgf	Shear φV _c kgf	Shear φV _s kgf	Shear V _p kgf	Rebar A _v /S cm ² /m
6940,5102	8294,2122	0	0	0

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_u

T _u kgf-m	φT _{th} kgf-m	φT _{cr} kgf-m	Area A _o m ²	Perimeter, p _h m	Rebar A _t /S cm ² /m	Rebar A _t cm ²
0	342,523	1370,094	4,732E-02	1,944	0	0