

4

DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.- CAPITULO 4 DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A continuación se desarrollará un ejemplo práctico de diseño y se hará uso de la información descrita en los capítulos anteriores.

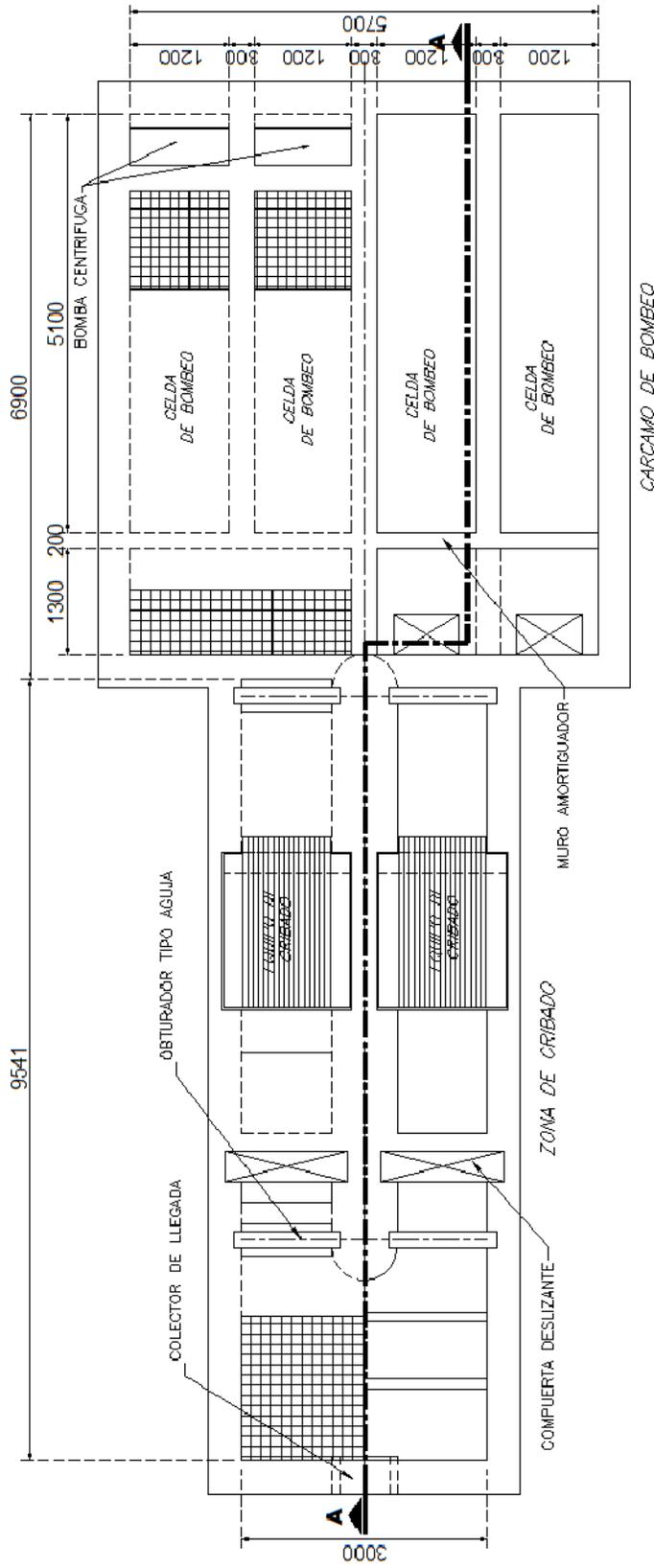
4.1.- EJEMPLO PRÁCTICO DE DISEÑO

Es necesario construir una planta de bombeo para retirar el agua residual de un municipio.

En la figura 15, se muestra en planta las dimensiones necesarias que deberá tener el cárcamo, se observa que las cotas están a paños interiores por lo que se da libertad de proponer los espesores de muro que se crean convenientes. También se observa los principales elementos que deberá llevar la planta de bombeo que son:

- Colector de llegada
- Obturador tipo aguja
- Compuerta deslizante
- Equipo de cribado
- Muro amortiguador
- Celda de bombeo
- Bomba centrífuga

En la figura 16 se muestra el Corte A-A' que muestra en elevación los principales elementos de la planta de bombeo.

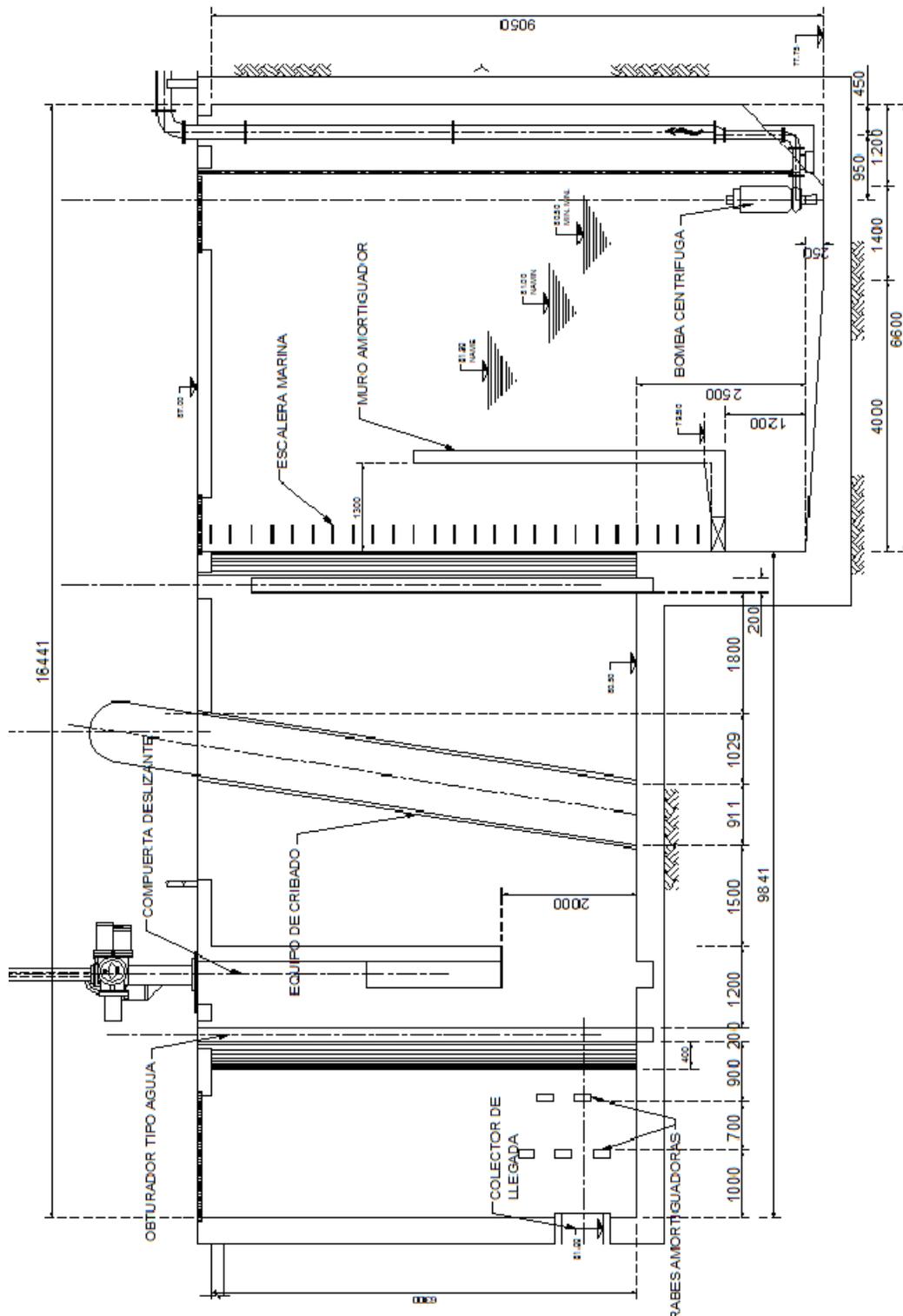


P L A N T A

ZONA CRIBADO Y CARCAMO DE BOMBEO

ACOT. MILIMETROS
NIV. METROS

FIGURA 15 EJEMPLO DE DISEÑO



C O R T E A - A

100% MIL METROS
100% METERS

FIGURA 16 ELEVACIÓN DEL EJEMPLO DE DISEÑO

A continuación se presenta una tabla con las propiedades del suelo.

Profundidad	Tipo de suelo	γ (ton/m ³)	C (ton/m ²)	ϕ (°)	Ka	PV (ton/m ²)	Pa teorico (Ton/m ²)	E.at (ton)
0	Arena Limosa (SM)	1.6	1	26	0.4	0	-1.25	1.25
0.25								
1								
1.25								
1.5								
1.75								
2								
2.75						4.4	1.25	
3	Arcilla de alta plasticidad (CH)	1.3	3	0	21		-1.6	6.3
3.25								
5								
5.25								
5.5								
6								
6.25								
7								
7.25	9.925	3.925						
7.5	Arena mal graduada (SP)	1.7	0	32	21		3.05	6.02
7.75								
8								
8.25								
8.5								
8.75								
9						12.48	3.833	
9.25	Arcilla color gris claro oscuro (SC)	1.33	3	19	19		2.067	8.9
....								
12						16.13	3.928	

Figura 15 Presión activa teórica en el suelo del cárcamo

En la figura 17 la segunda columna de la tabla contiene el símbolo de la clasificación de cada estrato según el SUCS y los parámetros de las propiedades mecánicas promedio: peso volumétrico natural (γ), cohesión c y ángulo de fricción interna (ϕ) de cada suelo, determinados en pruebas triaxiales practicadas en especímenes de suelo inalterados. La tercera columna contiene el valor de K_a .

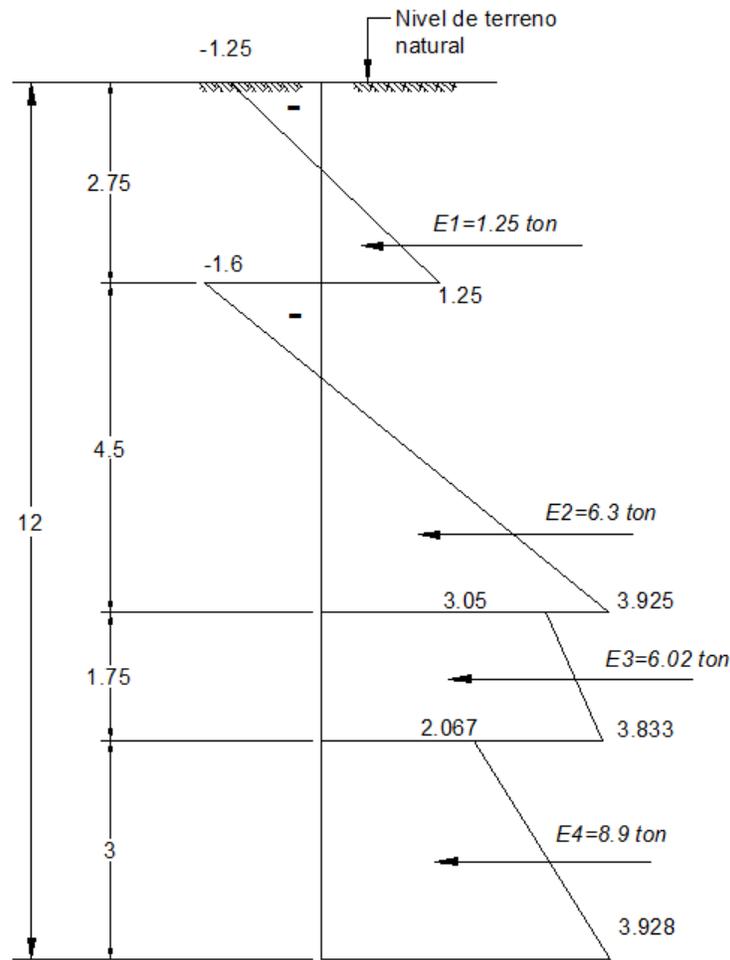


Figura 16 diagrama de presión activa

En la cuarta columna se presenta la presión vertical total (P_v) en los planos de contacto de cada dos estratos contiguos, debida al peso propio. La última columna contiene los valores teóricos calculados de P_a . En la figura 18 se han dibujado los diagramas de presión activa teórica, individuales para cada estrato, en los que se incluye el valor de la fuerza de empuje ($E_{1,2,3}$) correspondiente a cada uno de ellos, cuya sumatoria da el empuje teórico total:

$$E_1 := 1.25\text{ton} \quad E_2 := 6.3\text{ton} \quad E_3 := 6.02\text{ton} \quad E_4 := 8.9\text{ton}$$

$$E_{\text{at}} := E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 22.47\text{ton}$$

$$\rho_m := \frac{1.28 \cdot E_{\text{at}}}{0.775 \cdot H} = 4.124\text{ton}$$

$$E_r := 0.775 \cdot H \cdot \rho_m = 28.762\text{ton}$$

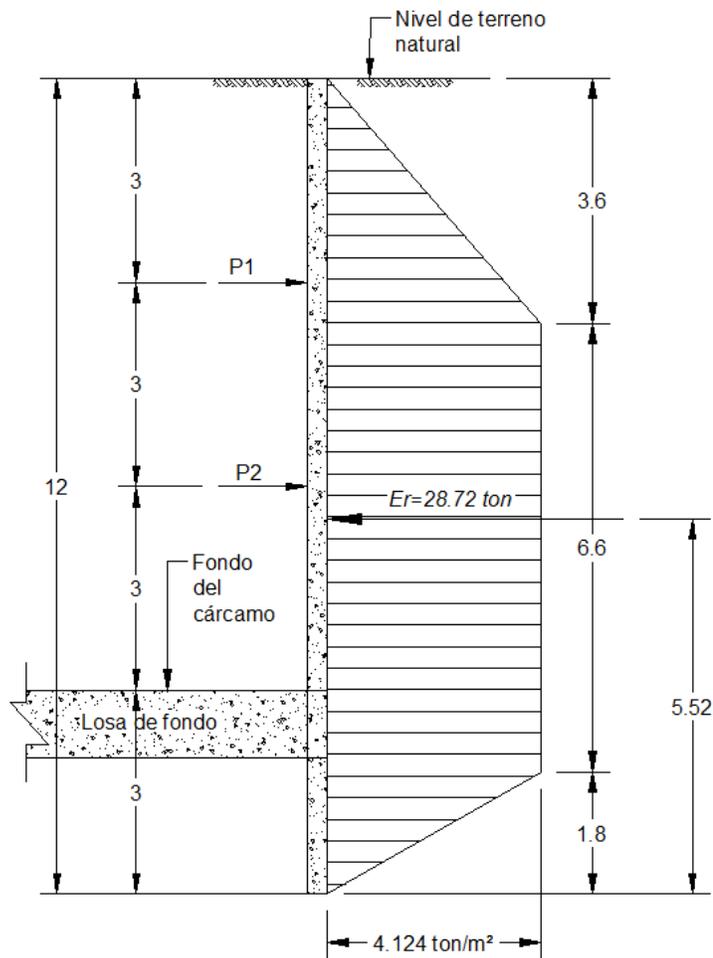


Figura 17 diagrama trapecial de presión lateral redistribuida para el diseño de las paredes del cárcamo y los puntales.

4.2.- PROFUNDIDAD DE LA PATA.

La profundidad hasta el paño de la losa del cárcamo es de 9 m, se propone una longitud adicional de 3 m. Se estima que el muro será de un espesor de 65 cm y con un armado mínimo de 1%.

De la ecuación (2.15) tenemos:

$$F_R := 0.7 \quad r := 5\text{cm} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad h := 65\text{cm}$$

$$b := 100\text{cm} \quad d := h - 2 \cdot r = 0.55\text{m}$$

$$A_s := 0.01 \cdot b \cdot d = 55\text{cm}^2$$

$$M_T := A_s \cdot F_R \cdot f_y \cdot (h - 2 \cdot r) = 88.935\text{ton} \cdot \text{m}$$

De la ecuación (2.17), (2.19) y (2.21) tenemos:

$$H_p := 3\text{m} \quad c_u := 3 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad B := 2\text{m} \quad \gamma := 1.33 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$P_s := \frac{2 \cdot c_u \cdot H_p}{B} = 9 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad h_m := 4\text{m} \quad L := 13.55\text{m} \quad H := 9\text{m}$$

$$FS_b := \frac{5.14 \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{H}{B}\right) \cdot c_u + 2 \cdot c_u \cdot \frac{H_p}{B} + \frac{2 \cdot M_T}{1 \text{m} h_m^2}}{\gamma \cdot H + P_s} = 2.398$$

Es recomendable un factor de seguridad mayor o igual a 2, para nuestro ejemplo se ha obtenido 2.39 por lo que se considera correcta la profundidad propuesta de la pata.

4.3.- CÁLCULO DE LA PRESIÓN HIDRODINÁMICA.

Se utilizará el método simplista que propone una distribución lineal de presiones con un valor máximo en la superficie del agua (Al revés de la distribución estática).

La estructura se localiza en el Distrito federal en la zona sísmica II.

A continuación se muestran las características del espectro de diseño.

Zona	c	ao	Ta1	Tb1	r
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33

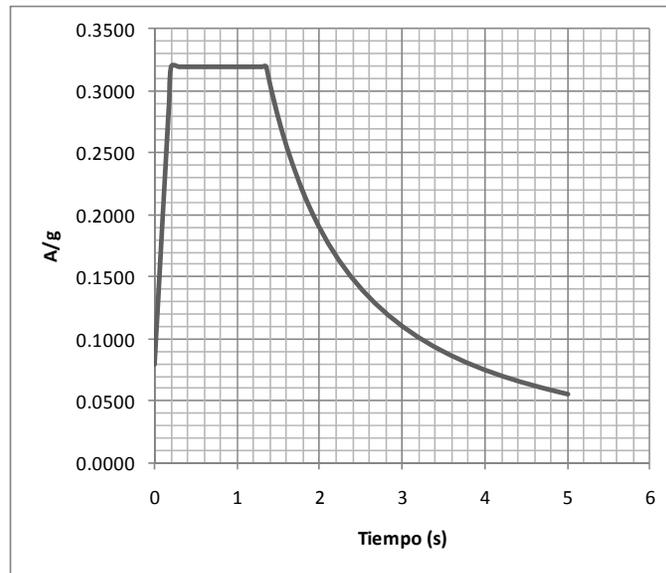


Figura 18 Espectro de diseño

Por ser una estructura tipo A el espectro se debe multiplicar por 1.5. El factor de reducción de fuerzas sísmicas para este tipo de estructuras es de $Q=1.5$.

De la ecuación (2.21) tenemos que;

$$\gamma_{\text{m}} := 1.0 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad L := 1\text{m} \quad H := 9\text{m} \quad C_s := 0.32$$

$$P := H \cdot L \cdot \gamma \cdot C_s = 2.88 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

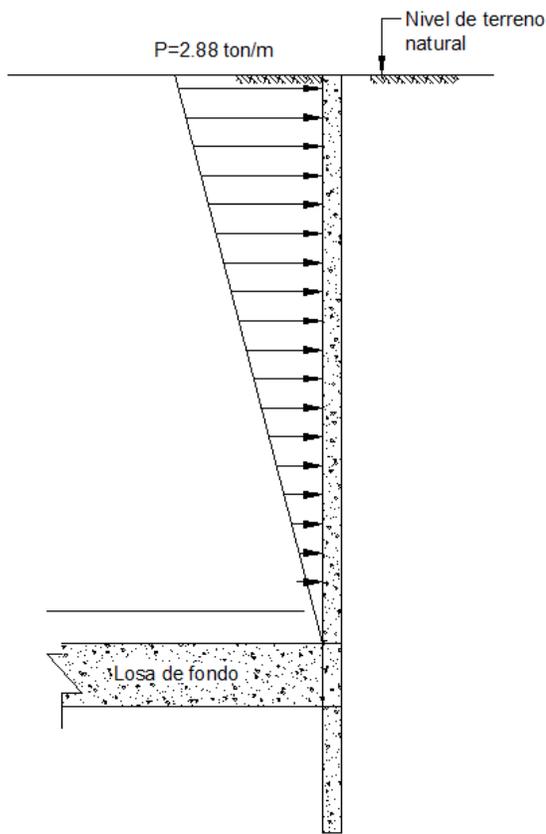


Figura 19 Distribución de presión hidrodinámica

4.4.- MODELACIÓN DEL CÁRCAMO EN EL SOFTWARE SAP 2000 V.14

Se realizaron dos modelos tridimensionales en el programa SAP 2000 en su versión 14. En el primer modelo se analiza las fuerzas debidas al procedimiento constructivo y en el segundo modelo se analiza las fuerzas debidas al funcionamiento de la planta de bombeo.

4.5.- PRIMER MODELO; ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

En el capítulo 5 se tratará con más detalle el procedimiento constructivo. Una parte importante del procedimiento constructivo consiste en la excavación del núcleo central, para tal fin se utilizan excavadoras que van retirando el material y

conforme se va retirando el material se colocan *troqueles* para apuntalar y sostener la pared (muro Milán). Los puntales son fabricados a base de tubería de acero de entre 16" y 20" de diámetro y los de celosía generalmente son de sección cuadrada. Al colocar cada puntal es conveniente aplicarle una carga previa contra el muro Milán, igual a la carga de diseño. La colocación de los puntales es importante por dos cosas, la primera; evita que el muro Milán trabaje en voladizo, la segunda; la precarga de los puntales disminuye considerablemente la magnitud de los asentamientos de la superficie aledaña a la excavación como consecuencia de la restricción a los desplazamientos horizontales del suelo impuesta por los puntales precargados.

En la figura 21 se muestra el modelo tridimensional. A este modelo se le aplico la carga redistribuida a los muros y la presión vertical del suelo a la losa de fondo.

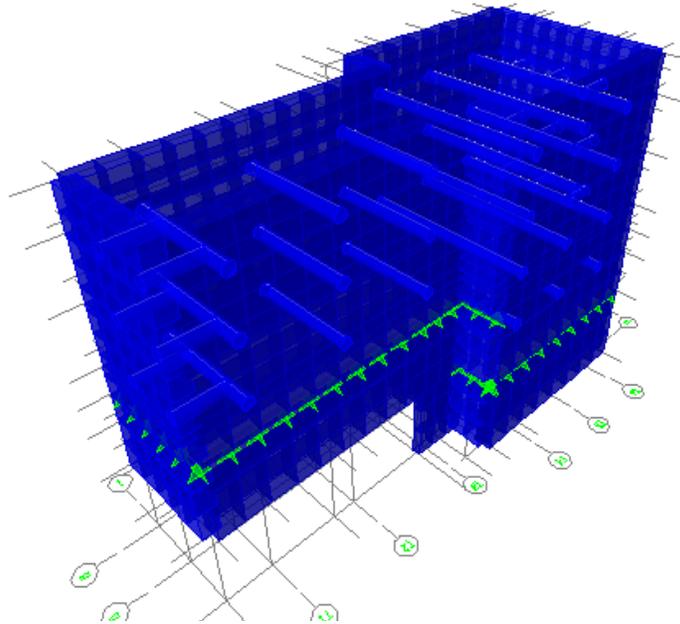


Figura 20 Modelo tridimensional en etapa constructiva

En la figura 21 se muestra una imagen de la forma que tiene el modelo en la etapa constructiva.

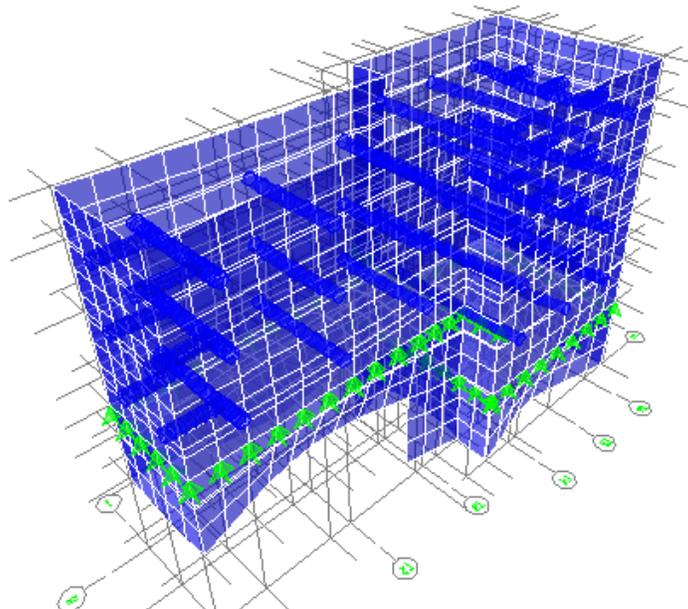


Figura 21 deformada del modelo numero 1

En la figura 22 se muestra la distribución de momentos en dirección vertical a través de contornos de colores en escala, en el eje 6 (Unidades en Ton-m).

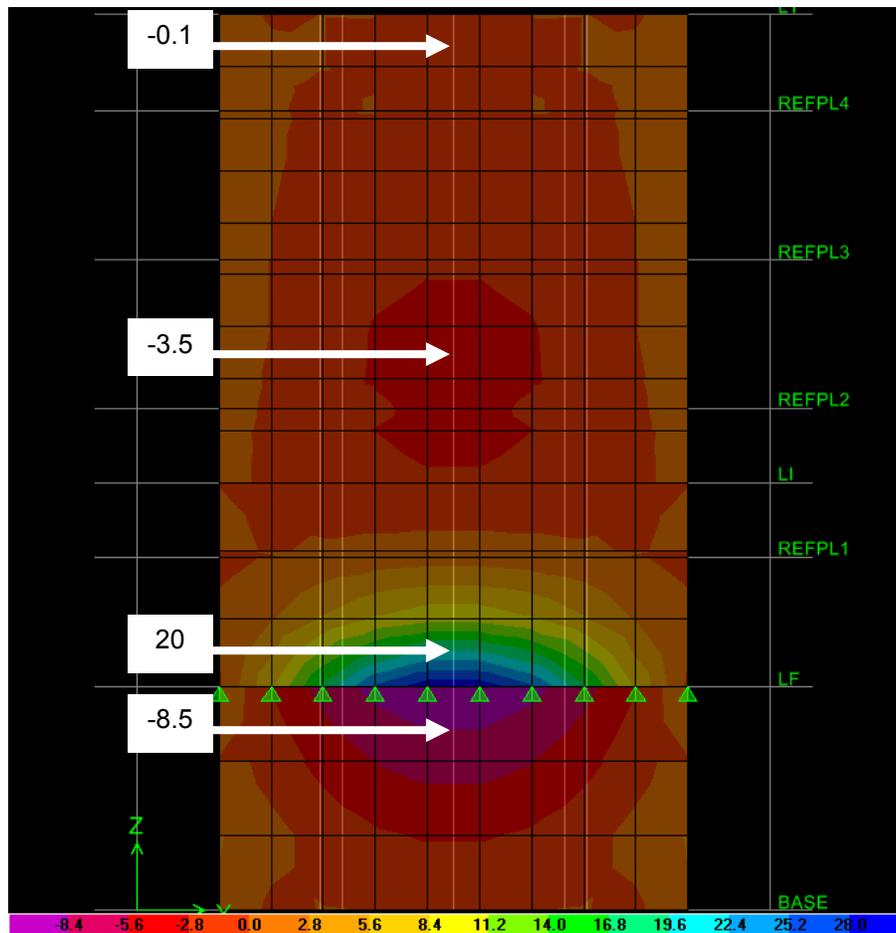


Figura 22 Momentos en dirección vertical en muro eje 6 (unidades ton-m)

Cálculo de acero por flexión para los elementos mecánicos de la Figura 22.

M	Mu	b	d	$q=p * (Fy)$	p	As	$As=(30*Mu)/d$	REF. MÁXIMO	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f'c	%	cm ²	cm ²	P	
0.00	0.00	100	55	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.0182 OK	100.18
3.50	3.50	100	55	0.0063	0.0003	1.69	1.91	0.0182 OK	100.18
20.00	20.00	100	55	0.0367	0.0018	9.80	10.91	0.0182 OK	100.18
8.50	8.50	100	55	0.0154	0.0007	4.12	4.64	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección vertical.

En la figura 23 se muestra la distribución de momentos en dirección horizontal a través de contornos de colores en escala, en el eje 6 (Unidades en Ton-m).

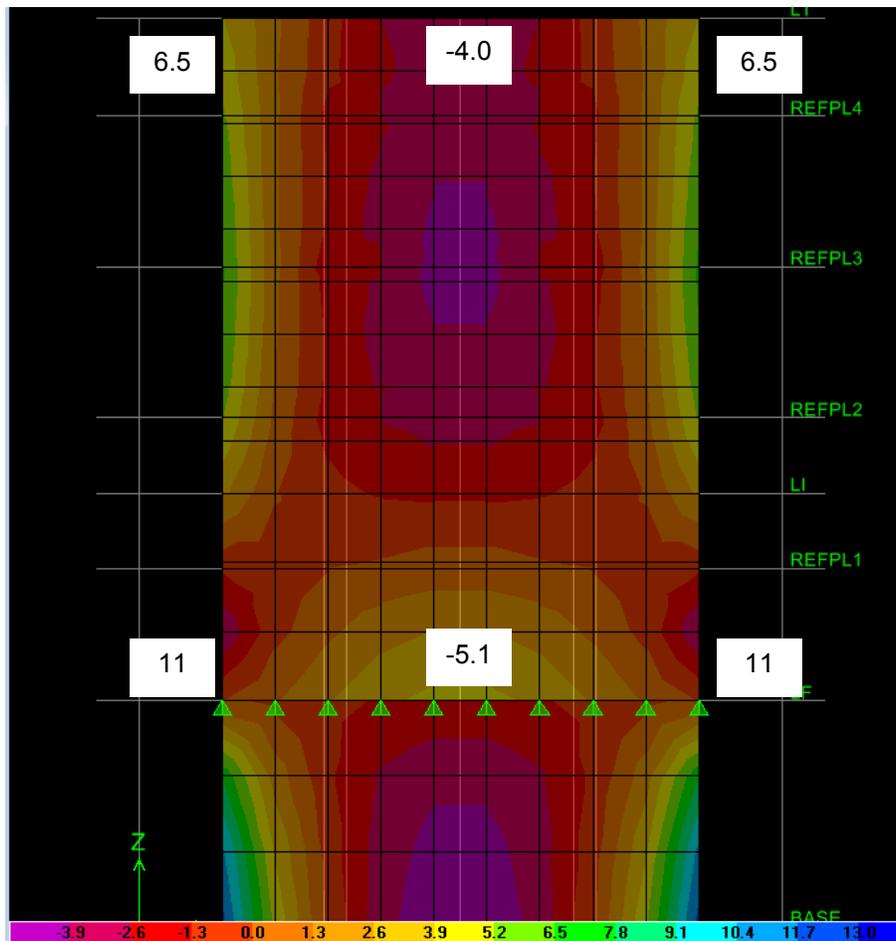


Figura 23 momentos en dirección horizontal en muro eje 6 (unidades ton-m).

Cálculo de acero por flexión para los elementos mecánicos de la Figura 23.

M	Mu	b	d	$q=p * (F_y)$	p	As	$As=(30*Mu)/d$	REF. MÁXIMO p	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f'c	%	cm ²	cm ²		
6.50	6.50	100	55	0.0118	0.0006	3.15	3.55	0.0182 OK	100.18
4.00	4.00	100	55	0.0072	0.0004	1.93	2.18	0.0182 OK	100.18
11.00	11.00	100	55	0.0200	0.0010	5.34	6.00	0.0182 OK	100.18
5.10	5.10	100	55	0.0092	0.0004	2.46	2.78	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 25 cm en la dirección horizontal.

En la figura 24 se muestra la distribución de cortantes en dirección horizontal a través de contornos de colores en escala, en el eje 6 (Unidades en Ton).

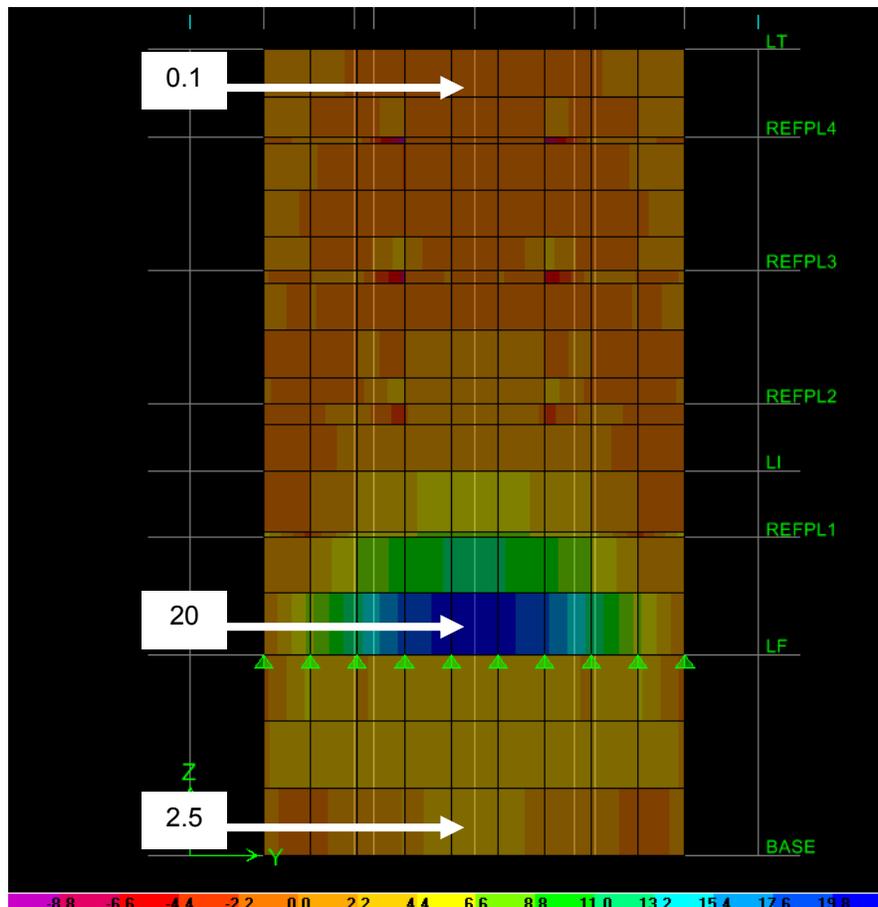


Figura 24 Cortante en dirección vertical en muro eje 6 (unidades ton).

Cálculo de acero por cortante para los elementos mecánicos de la Figura 24

Armado		Requisitos mínimos por resistencia							Requisitos mínimos RCDF 2004			
Corridas	Var. #	P	Vcr (kg)	Vu (kg)	Vu...ok?	Vsr (kg)	E#	S (cm)	E#	S	S	Sfinal
5	5	0.002	16085.988	100.00	OK	Req. Min	5	Req. Min	5	39.523956	27.5	28.000
5	5	0.002	16085.988	20000.00	OK	3914.012	5	186.908	5	39.523956	27.5	28.000
5	5	0.002	16085.988	2500.00	OK	-13585.988	5	Req. Min	5	39.523956	27.5	28.000

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 28 cm en la dirección vertical.

En la figura 25 se muestra la distribución de momentos en dirección horizontal a través de contornos de colores en escala, en el eje 6 (Unidades en Ton).

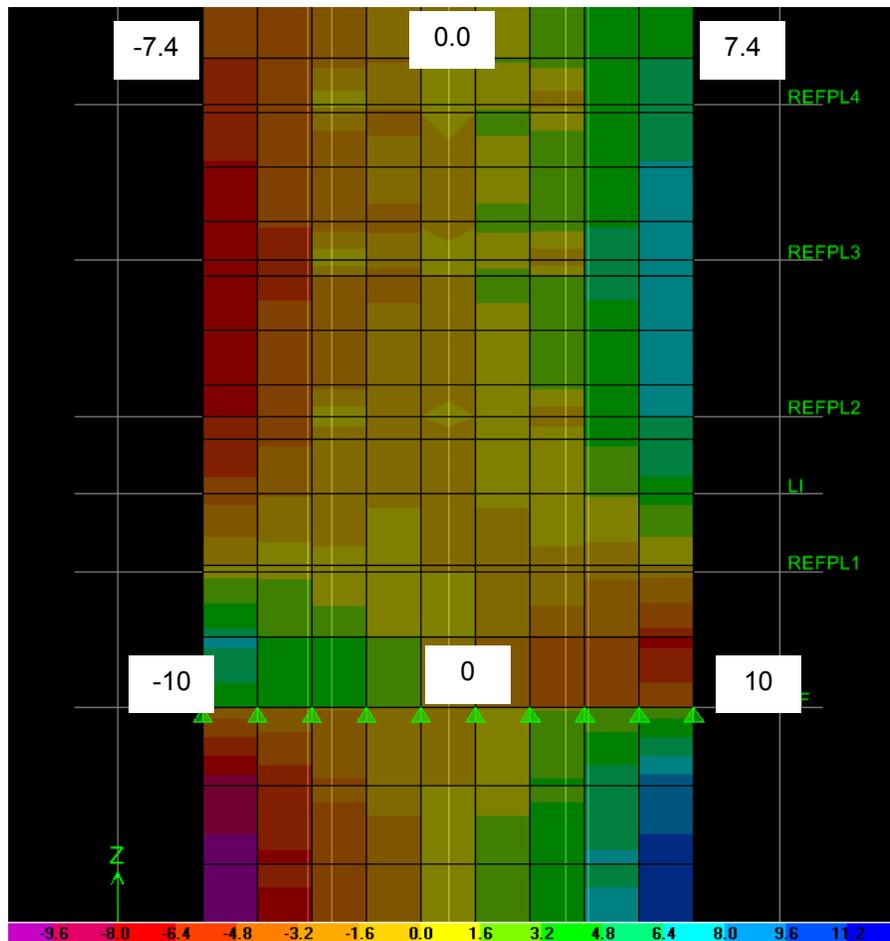


Figura 25 cortante en dirección horizontal en muro eje 6 (Unidades Ton).

Cálculo de acero por cortante para los elementos mecánicos de la Figura 25

Armado		Requisitos mínimos por resistencia							Requisitos mínimos RCDF 2004			
Corridas	Var. #	P	Vcr (kg)	Vu (kg)	Vu...ok?	Vsr (kg)	E#	S (cm)	E#	S	S	Sfinal
5	5	0.002	16085.988	7400.00	OK	Req. Min	5	Req. Min	5	39.523956	27.5	<u>28.000</u>
5	5	0.002	16085.988	10000.00	OK	-6085.988	5	Req. Min	5	39.523956	27.5	<u>28.000</u>

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 28 cm en la dirección horizontal.

En la figura 26 se muestra la distribución de momentos en dirección horizontal en la losa de fondo a través de contornos de colores en escala (Unidades en Ton-m).

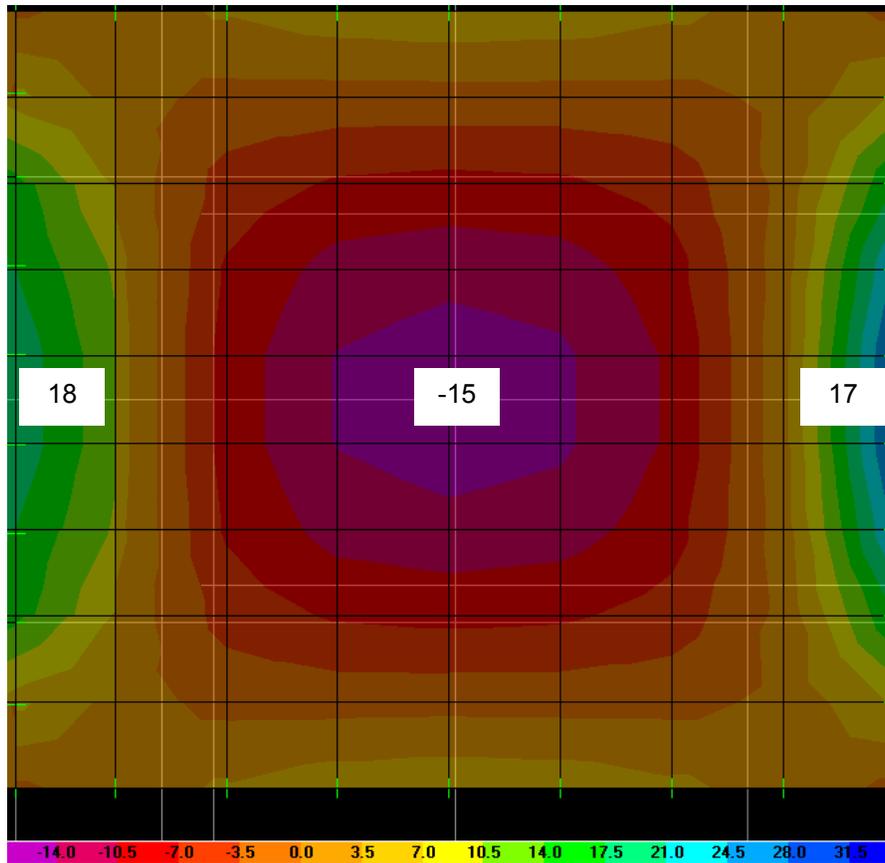


Figura 26 momentos en losa de fondo dirección horizontal (Unidades ton-m).

Cálculo de acero por flexión para los elementos mecánicos de la Figura 26.

M	Mu	b	d	$q=p * (\frac{F_y}{f'c})$	p	As	$As=(30 * Mu)/d$	REF. MÁXIMO P	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f'c	%	cm ²	cm ²		
18.00	18.00	100	55	0.0330	0.0016	8.80	9.82	0.0182 OK	100.18
15.00	15.00	100	55	0.0274	0.0013	7.32	8.18	0.0182 OK	100.18
17.00	17.00	100	55	0.0311	0.0015	8.31	9.27	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección horizontal.

En la figura 27 se muestra la distribución de momentos en dirección vertical en la losa de fondo a través de contornos de colores en escala (Unidades en Ton-m).

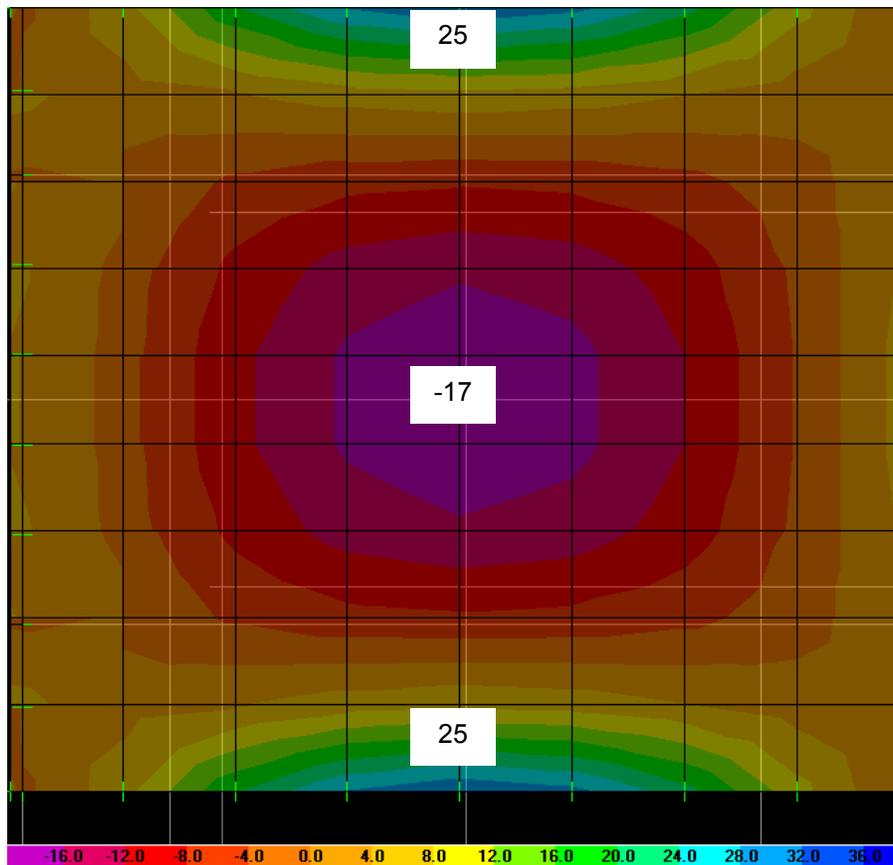


Figura 27 momentos en losa de fondo dirección vertical (Unidades ton-m).

Cálculo de acero por flexión para los elementos mecánicos de la Figura 27.

M	Mu	b	d	$q=p * (\frac{F_y}{f''c})$	p	As	$As=(30 * Mu)/d$	REF. MÁXIMO p	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f''c	%	cm ²	cm ²		
25.00	25.00	100	55	0.0461	0.0022	12.31	13.64	0.0182 OK	100.18
17.00	17.00	100	55	0.0311	0.0015	8.31	9.27	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección vertical.

En la figura 28 se muestra la distribución de cortantes en dirección horizontal en la losa de fondo a través de contornos de colores en escala (Unidades en Ton).

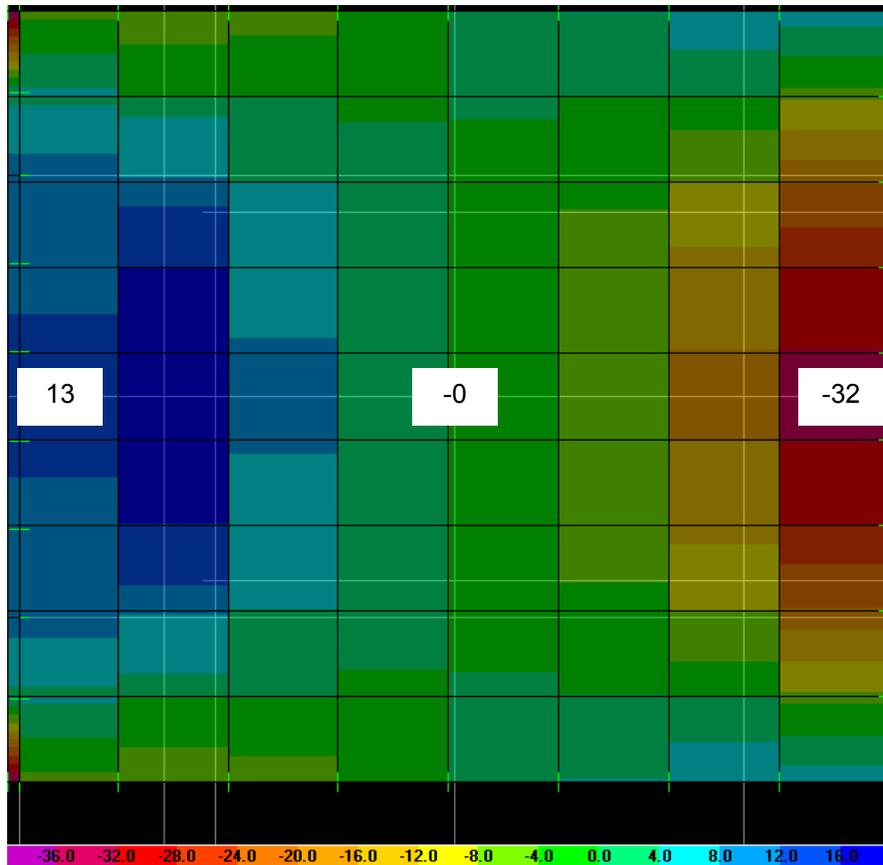


Figura 28 Diagrama de cortantes dirección horizontal en losa de fondo (Unidades Ton).

Cálculo de acero por cortante para los elementos mecánicos de la Figura 27.

Armado		Requisitos mínimos por resistencia							Requisitos mínimos RCDF 2004			
Corridas	Var. #	P	Vcr (kg)	Vu (kg)	Vu...ok?	Vsr (kg)	E#	S (cm)	E#	S	S	Sfinal
5	5	0.002	16085.988	13000.00	OK	Req. Min	5	Req. Min	5	39.52396	27.5	28.000
5	5	0.002	16085.988	32000.00	OK	15914.012	5	45.969	5	39.52396	27.5	28.000

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección horizontal.

En la figura 29 se muestra la distribución de cortante en dirección vertical en la losa de fondo a través de contornos de colores en escala (Unidades en Ton).

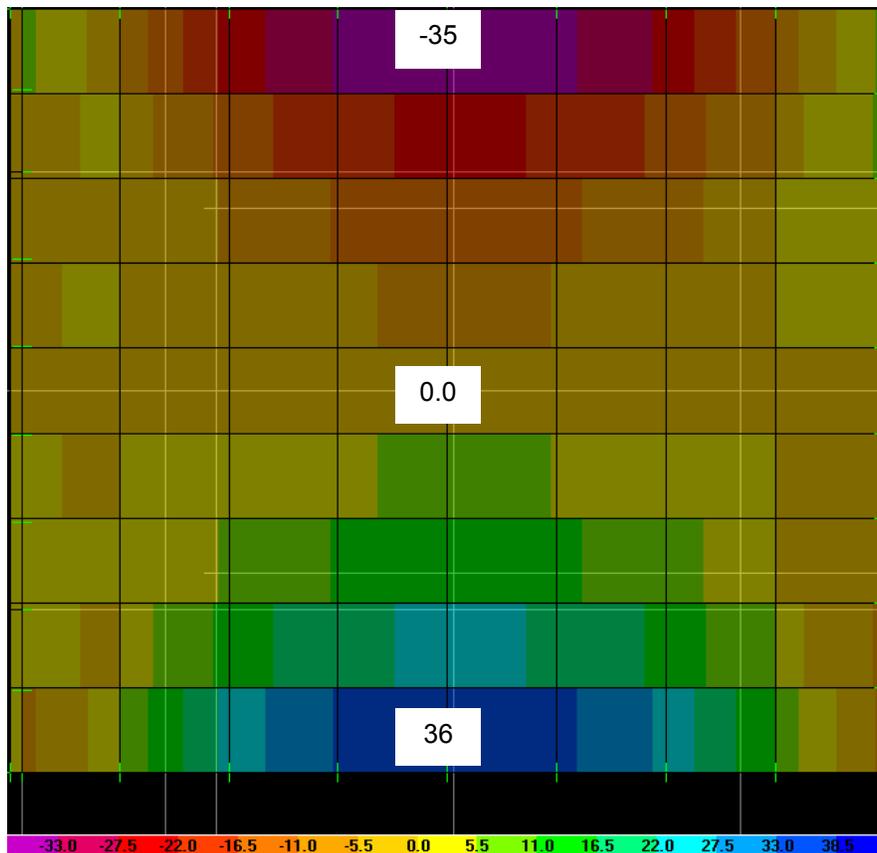


Figura 29 momentos en losa de fondo dirección vertical (Unidades ton-m).

Cálculo de acero por cortante para los elementos mecánicos de la Figura 27.

Refuerzo transversal												
Armado		Requisitos mínimos por resistencia							Requisitos mínimos RCDF			
Corridas	Var. #	P	Ver (kg)	Vu (kg)	Vu...ok?	Vsr (kg)	E#	S (cm)	E#	S	S	Sfinal
5	5	0.002	16085.988	35000.00	OK	18914.012	5	38.678	5	39.52395558	27.5	28.000
5	5	0.002	16085.988	36000.00	OK	19914.012	5	36.736	5	39.52395558	27.5	28.000

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección vertical.

4.5.1.- *Calculo del troquel*

Es común en la práctica diseñar todos los puntales (troquel) iguales, con la máxima carga, para que puedan ser colocados en cualquier posición y, con ello, evitar posibles confusiones de trabajo.

La máxima carga para un puntal central es de 18 toneladas. Con esta carga se revisará el perfil propuesto que se utilizo en el modelo.

El perfil propuesto fue un troquel de 16" (40.64 cm) de 3/8" (0.953 cm) de espesor.

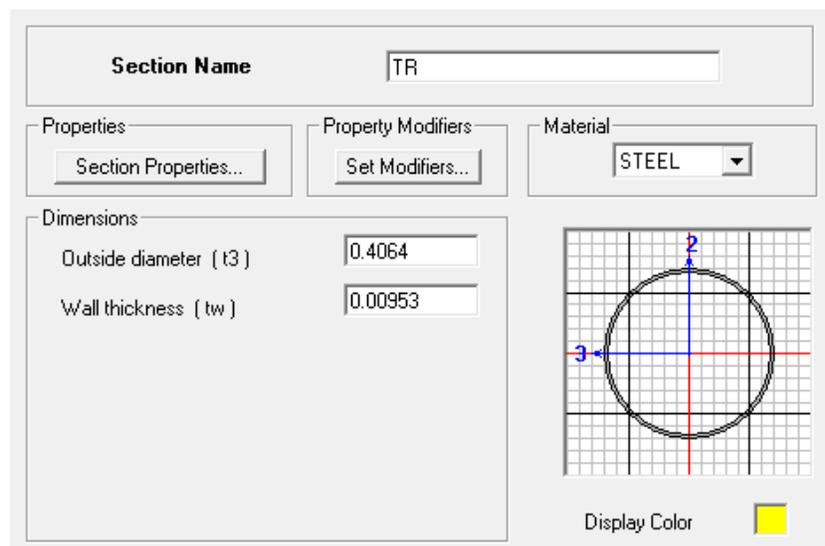


Figura 30 troquel propuesto

Debido a que en columnas circulares huecas no es crítico el pandeo por torsión o flexotorsión, no se considera el estado límite de inestabilidad por flexión. La resistencia de diseño R_u de un elemento estructural de eje recto y de sección transversal constante se determina en la siguiente pagina. Para que se cumpla el diseño el factor B debe ser al menos igual o mayor que el factor C.

$$F_y := \frac{36}{g} \text{ksi} \quad \text{ton} := 1000 \text{kg} \quad F_R := 0.9$$

$$F_y = 2531.05049 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad E := 2038901.92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad n := 1.4$$

$$A_t := 157.07 \text{cm}^2 \quad r := 13.9266 \quad K := 1 \quad L := 700$$

$$\lambda := \frac{K \cdot L}{r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 \cdot E}} = 0.56371 \quad \frac{K \cdot L}{r} = 50.26352$$

$$B := F_y \cdot A_t \cdot F_R = 357.79689 \text{ ton}$$

$$C := \frac{F_y}{\left(1 + \lambda^{2 \cdot n} - 0.15^{2 \cdot n}\right)^{\frac{1}{n}}} \cdot A_t \cdot F_R = 314.86595 \text{ ton}$$

La resistencia última del troquel es mayor a la requerida por lo que el perfil propuesto es correcto.

4.6.- SEGUNDO MODELO; PLANTA DE BOMBEO EN FUNCIONAMIENTO.

En el segundo modelo se agregó la losa tapa, se retiraron los troqueles de acero, se agregó la fuerza hidrodinámica, la fuerza hidrostática, las cargas debidas a la maquinaria y a las personas.

En la figura 31 se muestra el modelo con los elementos arriba mencionados.

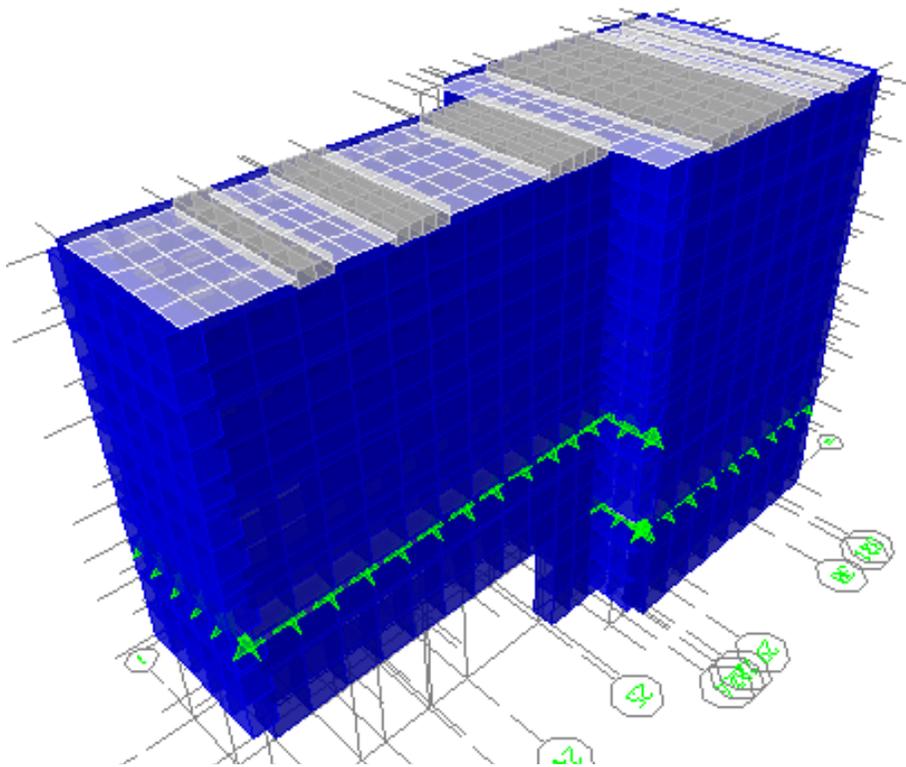


Figura 31 Modelo tridimensional de la planta de bombeo en funcionamiento

Al igual que para el primero modelo se hizo un análisis de todos y cada uno de los elementos mecánicos para cada condición de carga.

En las siguientes figuras se muestran la envolvente de momentos máximos y mínimos en dirección horizontal y vertical. Esto servirá para poder determinar el acero de refuerzo a colocar en el muro Milán.

Es recomendable estandarizar el acero de refuerzo para evitar posibles confusiones durante el procedimiento constructivo.

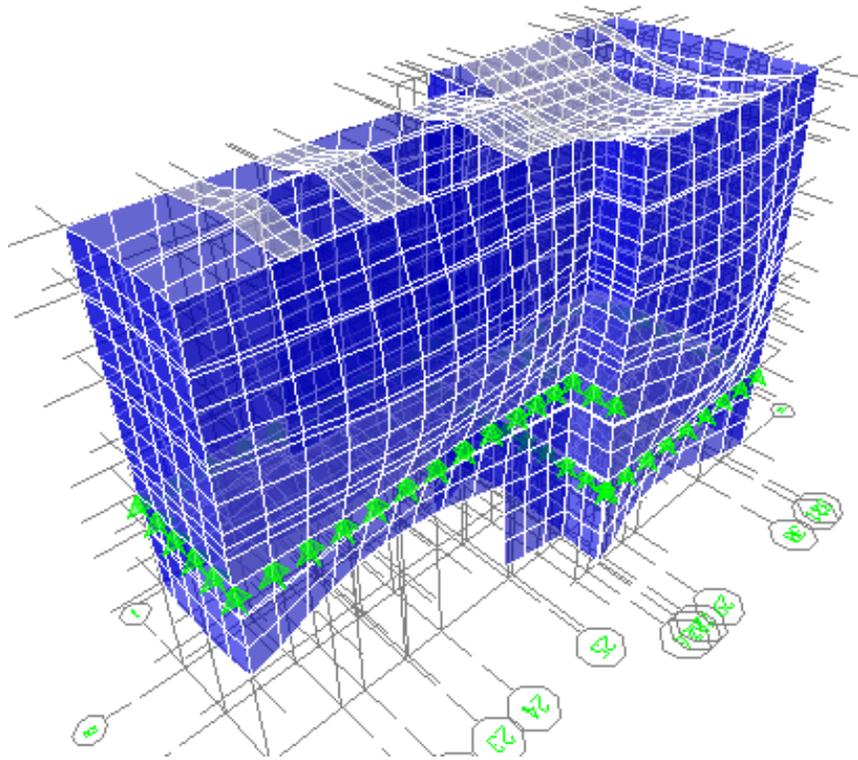
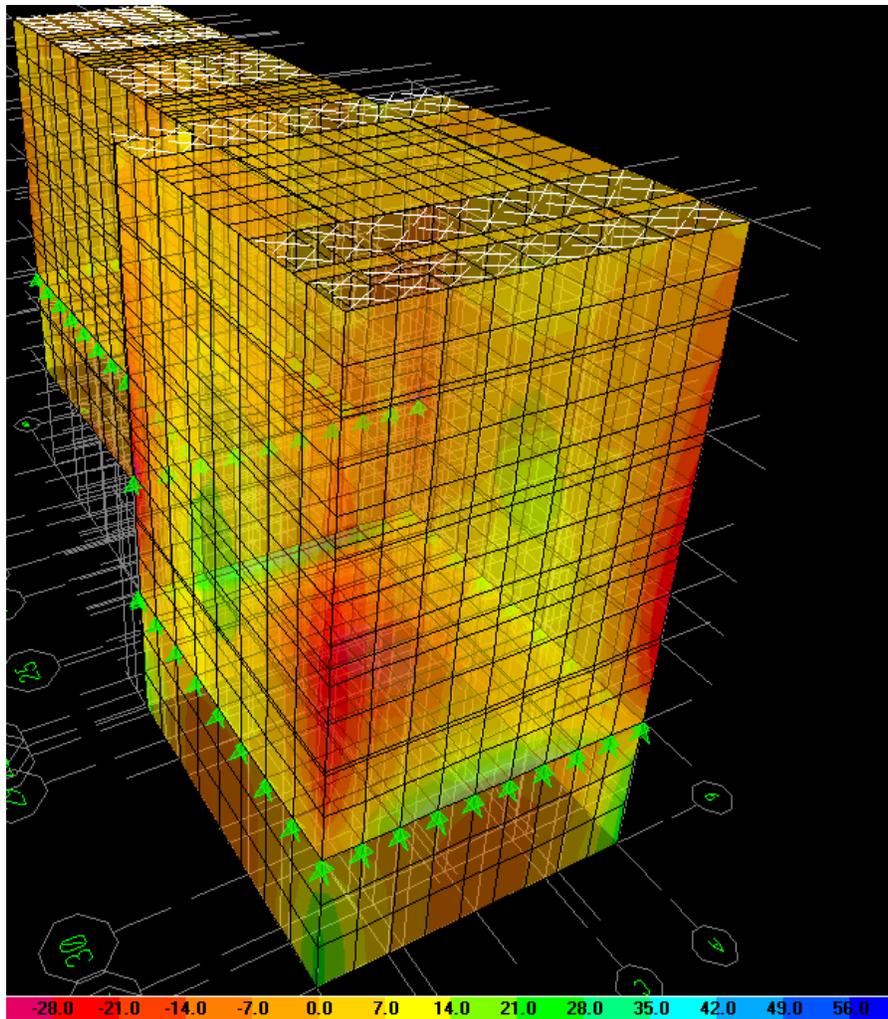


Figura 32 Deformada del modelo numero 2

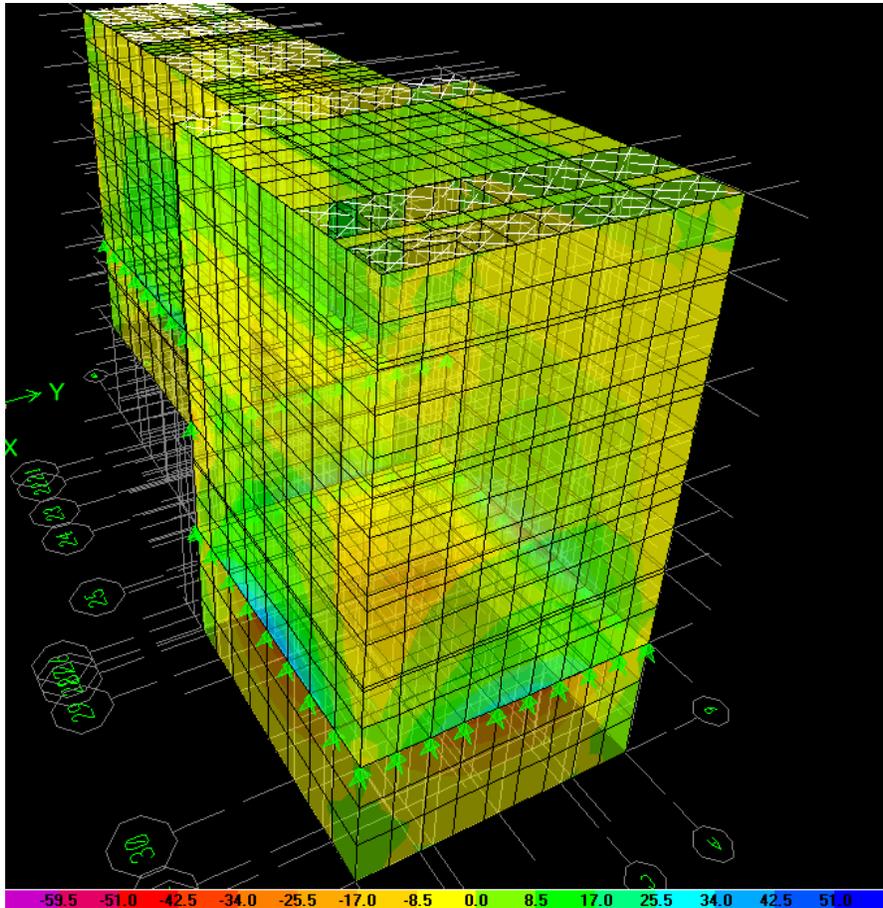


**Figura 33 Envolvente de momentos dirección horizontal en modelo 2
(unidades ton-m)**

En la figura 33 se muestra la envolvente de momentos en dirección horizontal que se presentan en el modelo 2, se puede apreciar la concentración de momentos negativos en las esquinas y en la parte central el momento máximo positivo.

M	Mu	b	d	$q=p * (F_y)$	p	As	$As=(30 * Mu)/d$	REF. MÁXIMO p	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f''c	%	cm ²	cm ²		
25.00	25.00	100	55	0.0461	0.0022	12.31	13.64	0.0182 OK	100.18
25.00	25.00	100	55	0.0461	0.0022	12.31	13.64	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección horizontal.



**Figura 34 Envoltura de momentos en dirección vertical en modelo 2
(unidades ton-m)**

En la figura 34 se muestra a través de contornos de colores en escala la envoltura de momentos en dirección vertical que se presentan en el modelo 2, se puede apreciar la concentración de momentos positivos en el fondo. El acero de refuerzo vertical deberá ser calculado con los valores obtenidos de esta figura.

M	Mu	b	d	$q=p * (F_y)$	p	As	$As=(30*Mu)/d$	REF. MÁXIMO p	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f'c	%	cm ²	cm ²		
18.00	18.00	100	55	0.0330	0.0016	8.80	9.82	0.0182 OK	100.18
25.00	25.00	100	55	0.0461	0.0022	12.31	13.64	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 5 a cada 20 cm en la dirección vertical.

De igual manera para el cálculo del acero de refuerzo de la losa de fondo se obtienen los siguientes elementos mecánicos.

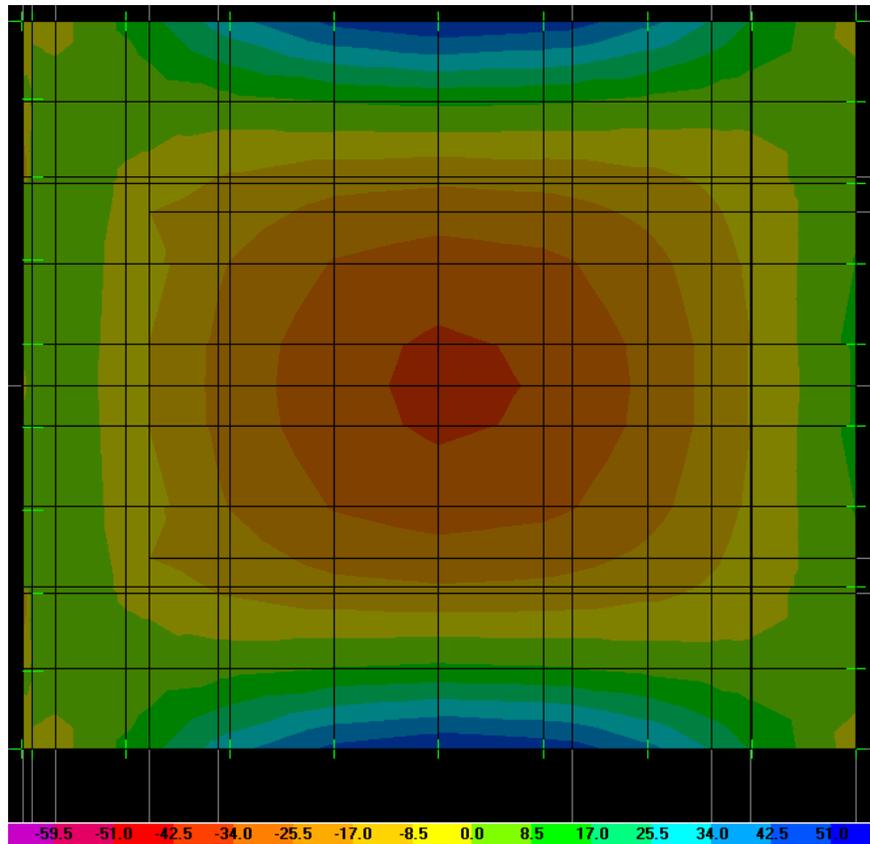


Figura 35 Envolvente de momentos en losa de fondo, dirección vertical en modelo 2 (unidades ton-m)

En la figura 35 se muestra a través de contornos de colores en escala la envolvente de momentos en dirección vertical que se presentan en el modelo 2 en la losa de fondo, se puede apreciar la concentración de momentos positivos en la parte superior e inferior y en la parte central el momento máximo negativo.

M	Mu	b	d	$q=p * (F_y)$	p	As	$As=(30 * Mu)/d$	REF. MÁXIMO P	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f''c	%	cm ²	cm ²		
45.00	45.00	100	55	0.0846	0.0041	22.60	24.55	0.0182 OK	100.18
25.00	25.00	100	55	0.0461	0.0022	12.31	13.64	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 8 a cada 20 cm en la dirección vertical.

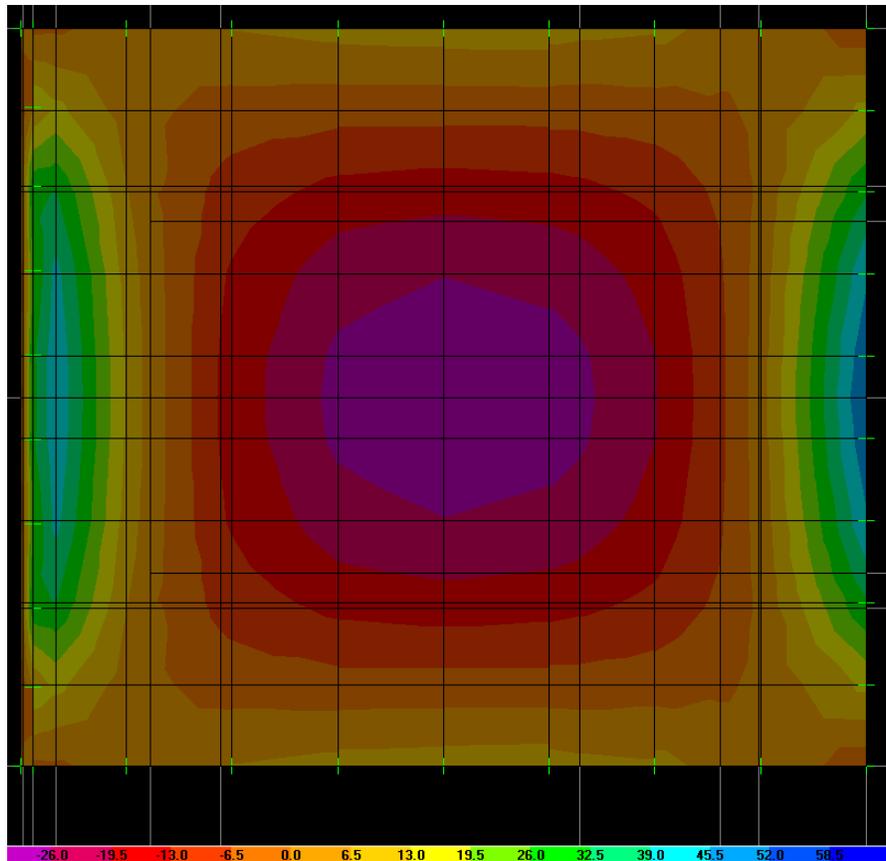


Figura 36 Envolvente de momentos en losa de fondo, dirección horizontal en modelo 2 (unidades ton-m)

En la figura 36 se muestra a través de contornos de colores en escala la envolvente de momentos en dirección horizontal que se presentan en el modelo 2 en la losa de fondo, se puede apreciar la concentración de momentos positivos en la parte izquierda y derecha y en la parte central el momento máximo negativo.

M	Mu	b	d	$q=p * (Fy)$	p	As	$As=(30*Mu)/d$	REF. MÁXIMO	Area de Pb
ton.m	ton.m	cm	cm	f''c	%	cm ²	cm ²	P	
30.00	30.00	100	55	0.0556	0.0027	14.84	16.36	0.0182 OK	100.18
35.00	35.00	100	55	0.0651	0.0032	17.40	19.09	0.0182 OK	100.18

El armado propuesto en base al cálculo es de Varillas del número 8 a cada 25 cm en la dirección horizontal.

Con los valores obtenidos en el análisis estructural se hace el siguiente resumen con el cual se calculará el acero de refuerzo en los muros, losa de fondo y en la losa tapa.

Elemento mecánico	Muro Milán	Losa de Fondo	Losa Tapa
Momento horizontal máximo negativo (Unidades ton-m)	-25	-15	-4
Momento horizontal máximo positivo (Unidades ton-m)	25	15	2.5
Momento vertical máximo negativo (Unidades ton-m)	-18	-45	-1
Momento vertical máximo positivo (Unidades ton-m)	25	35	1
Cortante horizontal máximo negativo (Unidades ton)	-25	-63	-0.5
Cortante horizontal máximo positivo (Unidades ton)	25	63	0.5
Cortante vertical máximo negativo (Unidades ton)	-0	-35	-3.2
Cortante vertical máximo positivo (Unidades ton)	15	35	3.2

4.6.1.- Cálculo de acero de refuerzo

Es recomendable uniformizar el armado del muro y colocar el acero de refuerzo igual en ambos lechos. A continuación se calcula el acero necesario en los muros:

$$\text{ton} := 1000\text{kg}$$

$$M_{\text{max}} := 25\text{ton}\cdot\text{m}$$

$$V_{\text{máx}} := 25\text{ton}$$

$$FR_{\text{flexion}} := 0.9$$

$$FR_{\text{cortante}} := 0.8$$

$$f'_c := 300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$b := 100\text{cm}$$

$$d := 55\text{cm}$$

$$f_y := 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\gamma_{\text{acero}} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$f_{\text{astC}} := 0.8 \cdot f'_c = 240 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f''_c := f_{\text{astC}} \cdot 0.85 = 204 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Sustituyendo y dejando a q como incógnita:

$$r := FR_{\text{flexion}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f''_c = 555390 \text{m}\cdot\text{kg}$$

$$M_{\text{max}} = 25000 \text{m}\cdot\text{kg}$$

$$\text{Funcion}(a_1, b_1, c_1) := a_1 \cdot x_1^2 + b_1 \cdot x_1 + c_1 \text{ solve, } x_1 \rightarrow \left(\begin{array}{c} \frac{\frac{b_1}{2} - \sqrt{\frac{b_1^2}{4} - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2} \\ a_1 \\ \frac{\frac{b_1}{2} + \sqrt{\frac{b_1^2}{4} - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2} \\ a_1 \end{array} \right)$$

$$\text{Roots} := \text{Funcion}\left(0.5, -1, \frac{M_{\text{max}}}{r}\right)$$

$$\text{Roots} = \begin{pmatrix} 1.954 \\ 0.046 \end{pmatrix}$$

$$\text{Roots}_2 = 0.046$$

$$q := \text{Roots}_2$$

$$\rho := \frac{q \cdot f''_c}{f_y} = 2.238 \times 10^{-3}$$

$$A_s := \rho \cdot b \cdot d = 12.309 \cdot \text{cm}^2$$

$$\beta_1 := 0.5$$

Revisión de limitaciones de acero

$$A_{s\text{min}} := \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \text{kg}^{0.5}}{f_y} \cdot b \cdot d \cdot \left(\frac{1}{\text{cm}}\right) = 15.877 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s\text{max}} := \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{6000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \beta_1}{f_y + 6000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \cdot b \cdot d = 78.571 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s_{\text{vertical}}} := \begin{cases} A_s \cdot 1.33 & \text{if } A_s < A_{s_{\text{min}}} \\ \text{"Revisar secciones"} & \text{if } A_s > A_{s_{\text{max}}} \\ A_s & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{s_{\text{vertical}}} = 16.37 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rho_c := \frac{A_{s_{\text{vertical}}}}{b \cdot d} = 2.976 \times 10^{-3} \quad q_c := \frac{\rho_c \cdot f_y}{f'_c} = 0.061$$

$$\text{Comprobación} \quad M_R := FR_{\text{flexion}} \cdot b \cdot d^2 \cdot f'_c \cdot q_c \cdot (1 - 0.5 \cdot q) = 33.25 \cdot \text{ton} \cdot \text{m}$$

Armado propuesto **Varilla del numero 6 @ 20 cm**

Resistencia a cortante

Por ser un elemento ancho y el espesor no mayor de 600 mm la fuerza resistente a cortante se calcula de la siguiente manera, independientemente de la cuantía de refuerzo.

$$F_R := 0.8$$

$$V_{cr} := 0.5 \cdot F_R \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f_{astC} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 34.082 \text{ ton}$$

Debido a que el momento máximo en dirección vertical y horizontal son iguales el armado propuesto se utilizará en ambas direcciones y en ambos lechos.

En la figura 37 se muestra el armado del muro Milán. Como se ha venido mencionando es muy recomendable que el armado de los muros sea lo más simple posible, uniformizando el diámetro de varillas y la separación de cada una de ellas.

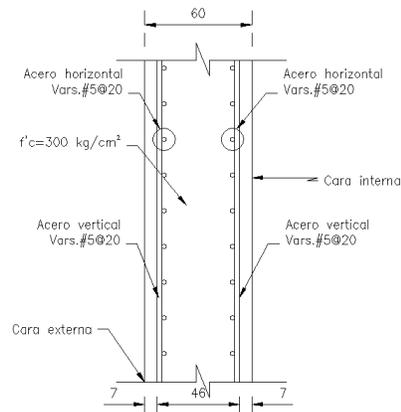


Figura 37 Armado de muro Milán

A través de este ejemplo se obtuvo los principales elementos mecánicos con que diseñaran los elementos estructurales que conformarán el cárcamo de bombeo. Se obtuvo el armado que deberá llevar las parrillas del muro Milán así como la losa de fondo y la losa tapa.

Con los resultados obtenidos es suficiente para que la estructura se construya.

En el siguiente capítulo se explicará de manera general el procedimiento constructivo para poder construir el muro Milán así como los demás elementos que componen el cárcamo de bombeo.

Al final de esta tesis se encuentran planos que resumen de forma general la estructuración del cárcamo aquí analizado.