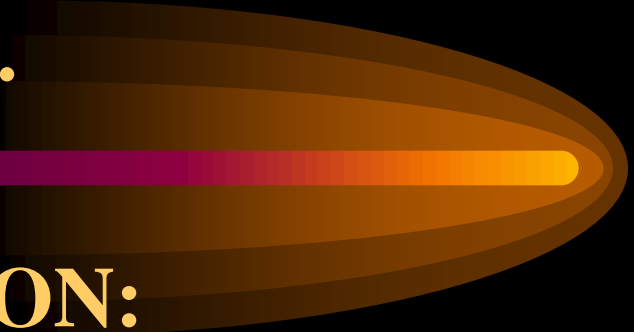


*CONFERENCIA SOBRE MUROS DE
CONTENCIÓN.*

ANTONIO BLANCO BLASCO

LOS MUROS DE CONTENCIÓN SON ELEMENTOS QUE SE USAN PARA CONTENER TIERRA, AGUA, GRANOS Y DIFERENTES MINERALES, CUANDO HAY DESNIVELES QUE CUBRIR.



LOS TIPOS MÁS USADOS SON:

EN VOLADIZO.

DE GRAVEDAD

CON CONTRAFUERTE

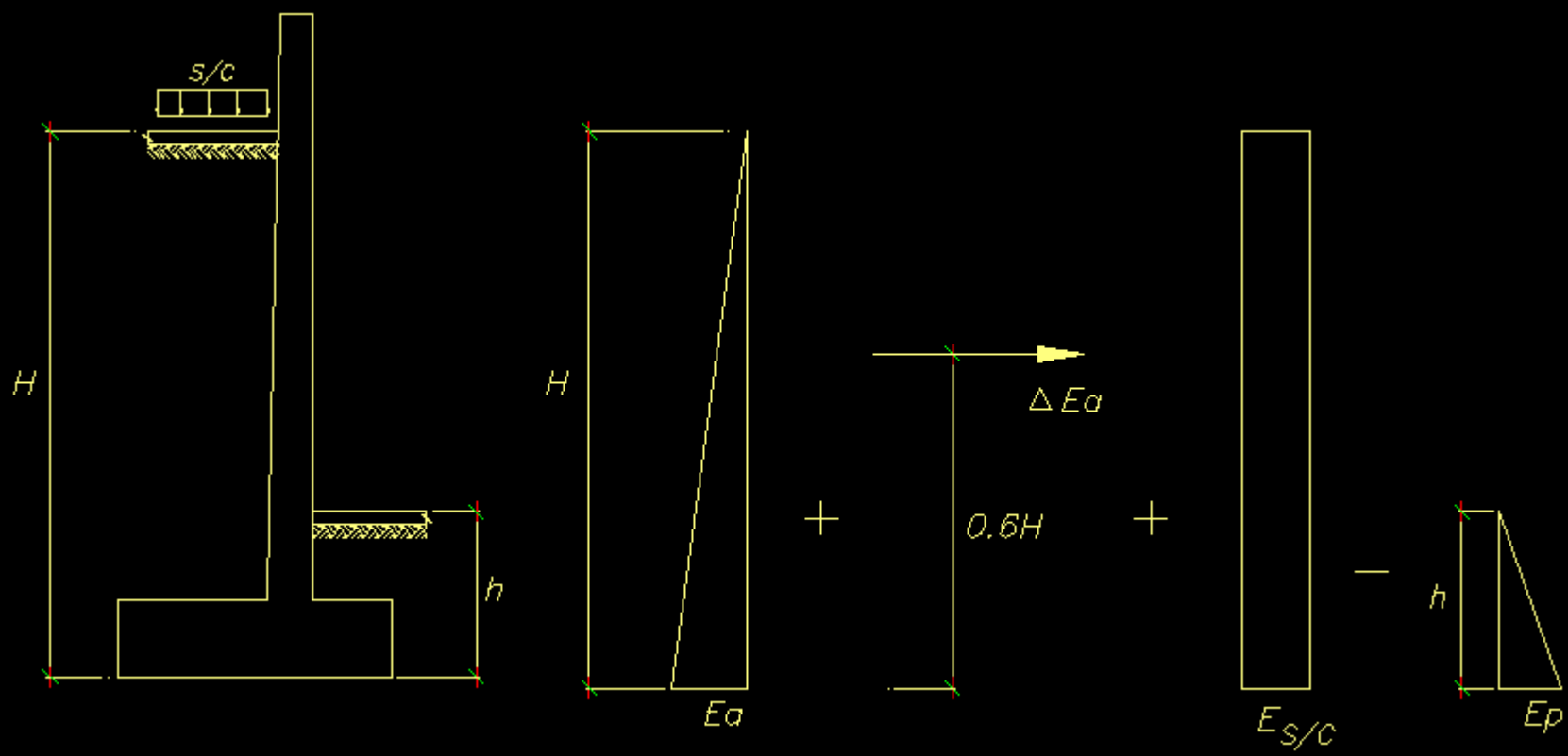
DE SÓTANO

**EN CADA UNO DE ELLOS SE TIENEN
VARIANTES.**

**EL CONCEPTO INICIAL ES QUE LA
TIERRA, LOS GRANOS O EL AGUA
PRODUCEN UN EMPUJE LATERAL SOBRE
LOS MUROS Y ESA CARGA PRODUCE
DIFERENTES EFECTOS EN EL ELEMENTO
ESTRUCTURAL, COMPORTÁNDOSE ESTE
COMO UN ELEMENTO SOMETIDO A
FLEXIÓN, CORTANTE Y
FLEXOCOMPRESIÓN.**

MUROS EN VOLADO





**EL MURO ES UN ELEMENTO EN VOLADO,
LIBRE EN SU PARTE SUPERIOR Y
EMPOTRADO EN SU BASE O ZAPATA.**

**EL EMPUJE ACTUANTE ES EL EMPUJE
ACTIVO DEL TERRENO (K_a).**

**EN SENTIDO CONTRARIO SE TIENE EL
EMPUE PASIVO (K_p) Y LA FUERZA DE
ROZAMIENTO QUE HAY ENTRE EL
TERRENO Y LA ZAPATA.**

K_a Y K_p SON DATOS DEL SUELO:

Donde: γ = Peso específico del terreno
 z = Altura desde la superficie
 ϕ = Ángulo de fricción interna del terreno
 K_a = Coeficiente de empuje activo del terreno
 K_p = Coeficiente de empuje pasivo del terreno
 c = Cohesión del terreno

s/c = sobrecarga actuante

$$N_{\phi} = \frac{1}{\tan^2\left(45^{\circ} - \frac{\phi}{2}\right)} = K_p = \frac{1}{K_a}$$

Fuerzas Distribuidas

$$Ea = \frac{\gamma z}{N_{\phi}} = \gamma z K_A$$

$$Es/c = \frac{s/c}{N_{\phi}} = s/c \times K_A$$

$$\text{Cohesión} = \frac{2c}{\sqrt{N_{\phi}}}$$

Fuerzas Totales

$$Ea = \frac{\gamma H^2}{2N_{\phi}} = \frac{\gamma H^2 K_A}{2}$$

$$Es/c = \frac{s/c}{N_{\phi}} H = \frac{s/c \times K_A \times H^2}{2}$$

$$\text{Cohesión} = \frac{2c}{\sqrt{N_{\phi}}} H$$

**EL CÁLCULO DE UN MURO EN
VOLADIZO CONSISTE EN EVALUAR
PRIMERO SU ESTABILIDAD:**



SUMA DE FUERZAS EN X-X:

**BUSCAR QUE LAS FUERZAS CONTRARIAS
AL EMPUJE SEAN MAYORES PARA
TENER UN FACTOR DE SEGURIDAD DE
1.5 AL DESLIZAMIENTO.**

SUMA DE FUERZAS EN Y-Y


BUSCAR QUE LAS CARGAS VERTICALES ACTUANTES PRODUZCAN PRESIONES SOBRE EL TERRENO QUE SEAN MENORES A LA CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO. EN ESTE CASO YA NO SE CONSIDERA UN FACTOR DE SEGURIDAD , PUES EN EL ESTUDIO DE SUELOS YA SE CONSIDERÓ

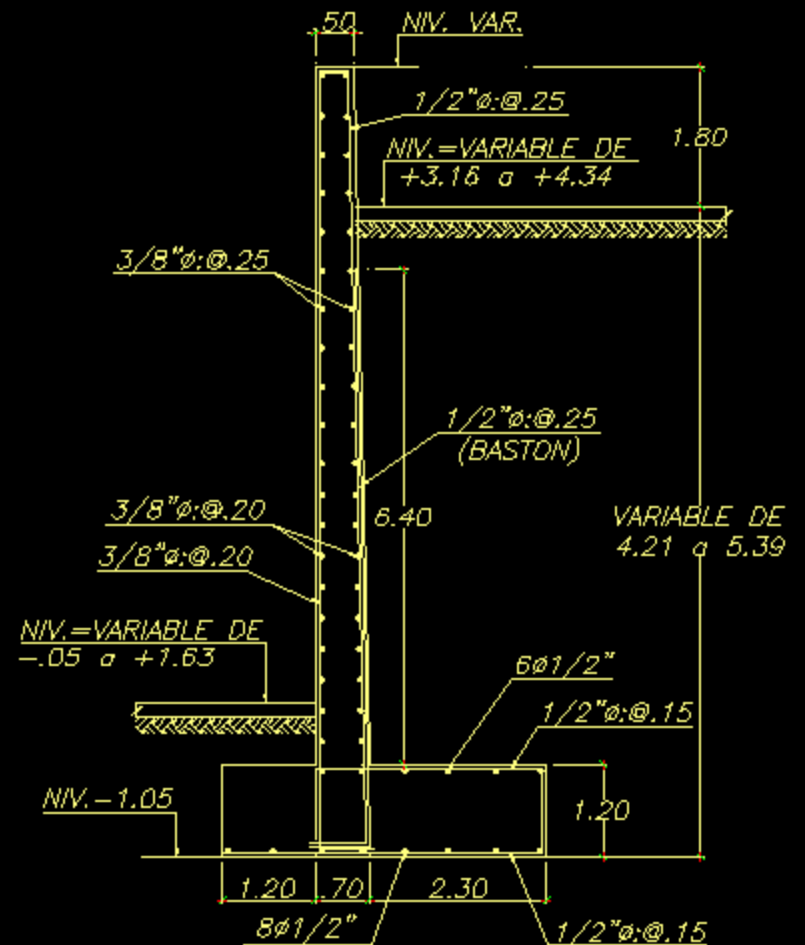
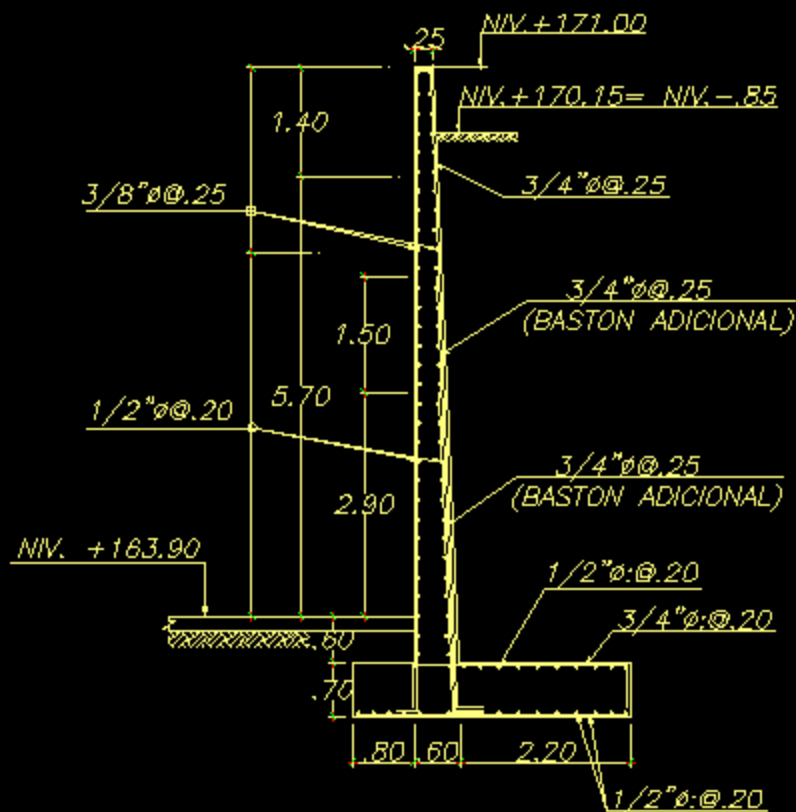
SUMA DE MOMENTOS

BUSCAREMOS QUE LOS MOMENTOS RESISTENTES SEAN MAYORES A LOS MOMENTOS ACTUANTES, DE MODO DE TENER UN FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLTEO DE 1.5.

**EXPLIQUEMOS LOS EMPUJES LATERALES
QUE SE PRESENTAN SOBRE UN MURO
DE CONTENCIÓN:**

**SE TIENE UN EMPUJE LATERAL DE
FORMA TRIANGULAR CUYA MAGNITUD
DEPENDE DE:**

- 
- **PESO UNITARIO DEL TERRENO,**
 - **ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO DEL
TERRENO,**
 - **COHESIÓN DEL TERRENO,**
 - **SOBRECARGA EN EL TERRENO
VECINO.**



- PARA CONSEGUIR QUE EL MURO NO SE DEZLICE, QUE NO SE VOLTEE Y QUE NO SE TENGAN PRESIONES MAYORES A LA CAPACIDAD DEL SUELO,

HAY QUE TENER UNA ZAPATA GRANDE, DE MODO DE CONSEGUIR PESO HACIA LA PARTE POSTERIOR Y DE ESA MANERA MEJORAR LA FUERZA DE ROZAMIENTO, LOGRAR MAYORES MOMENTOS RESISTENTES CONTRARIOS AL VOLTEO.

- LOS DIMENSIONAMIENTOS RECOMENDADOS SON LOS SIGUIENTES:
- LA ZAPATA DEBE TENER UNA LONGITUD DEL ORDEN DE 0.4 A 0.6 DE LA ALTURA DEL MURO.
- LA ZONA POSTERIOR (TALÓN) DEBE SER EL DOBLE DE LA ZONA ANTERIOR (PUNTA).
- LA PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN DEBE SER DE MÍNIMO 1m.
- EL PERALTE DE LA ZAPATA DEBE SER DEL ORDEN DE 0.1 LA ALTURA DEL MURO, RECOMENDÁNDOSE 60CM PARA MURO MAYORES A 3 o 4m.

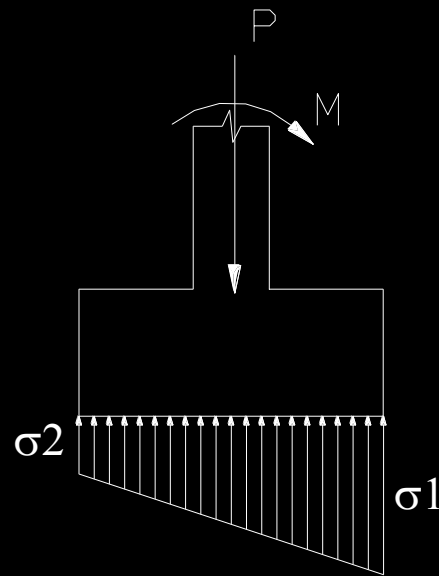
- EL ESPESOR DEL MURO ES DEL ORDEN DE 0.10 LA ALTURA DEL MURO.
- PARA 1.50m o MENOS 15cm
- PARA 2 o 2.5m 20 a 25cm
- PARA 3 o 3.5m 30 a 35cm.
- PARA 4 o 4.5m 40 a 45cm.
- PARA 5 o 6m 50 a 60cm

- PARA ALTURAS HASTA DE 3m, LO USUAL ES MANTENER CONSTANTE EL ESPESOR DEL MURO.
- PARA ALTURAS MAYORES, SE SUELE CONSIDERAR UN ESPESOR DEL MURO VARIABLE, CON 25cm EN LA CRESTA Y, EL ESPESOR RECOMENDADO EN EL CUADRO ANTERIOR, EN LA ZONA DE CONTACTO CON LA ZAPATA

- UNA VEZ PREDIMENSIONADO EL MURO Y LA ZAPATA, SE PROCEDE A CALCULAR LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL MURO, PARA PROCEDER A VERIFICAR VOLTEO, DESLIZAMIENTO Y PRESIONES.
- SE CONSIDERA EL PESO PROPIO DE CONCRETO DEL MURO Y LA ZAPATA, EL PESO DE LA TIERRA QUE ESTÁ ENCIMA DE LA ZAPATA, LA SOBRECARGA ACTUANTE, LOS EMPUJES ACTIVOS Y PASIVOS Y LA FUERZA DE ROZAMIENTO.

- INTERESA CONOCER LOS PUNTOS DE APLICACIÓN DE LAS CARGAS, PUES LUEGO SE PROCEDERÁ A TOMAR MOMENTOS RESPECTO AL PUNTO EXTREMO DE LA PUNTA Y OBTENER LA UBICACIÓN DE LA RESULTANTE.
- CONOCIDA ESTA Y SU VALOR TOTAL (N), SE PROCEDE A VERIFICAR PRESIONES EN EL TERRENO.

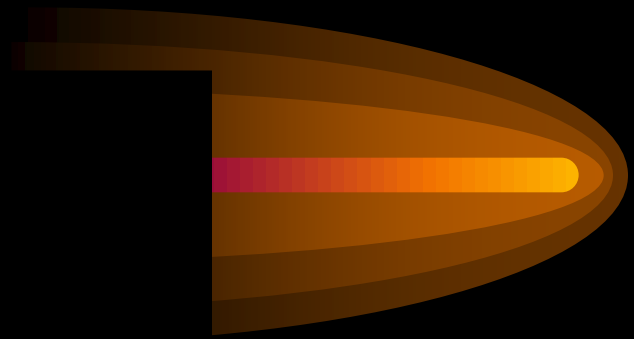
- SI HAY CARGA Y MOMENTO ACTUANTES, LAS PRESIONES EN EL TERRENO SERÁN:



$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{6M}{BL^2}$$

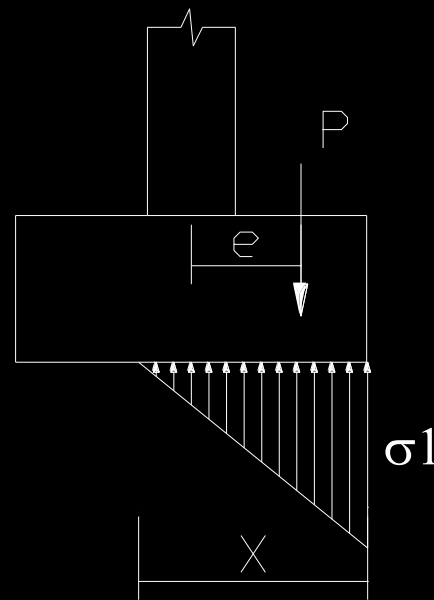
$$\sigma_2 = \frac{P}{A} - \frac{6M}{BL^2}$$

FIG.(1b)



- SI EL MOMENTO ES GRANDE EN RELACIÓN A LA CARGA, SE PUEDEN OBTENER TEÓRICAMENTE TRACCIONES EN σ_2 , LO CUAL FÍSICAMENTE ES IMPOSIBLE, PORQUE NO HAY NADA QUE UNA AL SUELO CON LA ZAPATA.
- EN ESTOS CASOS, LO QUE DEBE HACERSE ES TRABAJAR CON UN DIAGRAMA DE PRESIONES QUE SOLO TENGA COMPRESIONES (DIAGRAMA TRIANGULAR).

- SE UBICA LA RESULTANTE DE LAS CARGAS Y MOMENTO ACTUANTES Y SE HACE COINCIDIR ESTE PUNTO CON EL CENTRO DE GRAVEDAD DEL TRIÁNGULO, OBTENIÉNDOSE:



$$e = \frac{M}{P}$$

$$\sigma_1 = \frac{2P}{3B(L/2 - e)}$$

FIG.(1c)

- EL SIGUIENTE PASO ES VERIFICAR FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLTEO Y AL DESLIZAMIENTO.
- PARA DESLIZAMIENTO:
SE SUMAN TODAS LAS FUERZAS EN X-X:
 - $E_a + E_a(s/c)$ (ACTUANTES)
 - $E_p + F_{\text{rozamiento}}$ (RESISTENTES).
- LAS RESISTENTES DEBEN SER MAYORES (1.5 MAYORES A LAS ACTUANTES).

- PARA VERIFICAR VOLTEO HAY QUE TOMAR MOMENTOS EN EL EXTREMO DE LA PUNTA E IMAGINARSE QUE EL MURO SE ESTARÍA VOLTEANDO. ES EN ESE MOMENTO, EL MURO SOLO SE APOYARÍA EN EL EXTREMO DE LA PUNTA.
- Se suman los momentos actuantes: $M_{Ea} + M_{Es/c}$
- Momentos resistentes: $M(W1)+M(W2)+..M(Wn)+M_{Ep}+M(S/C)$.
- LA REACCIÓN DEL TERRENO Y LA FUERZA DE ROZAMIENTO NO PRODUCEN MOMENTOS.

- AL VERIFICARSE LA ESTABILIDAD DEL MURO SE PROCEDE A LA SEGUNDA PARTE DEL DISEÑO:

DISEÑO EN CONCRETO ARMADO.

EL MURO SERÁN TRES LOSAS EN VOLADIZO:

MURO, PUNTA Y TALÓN.

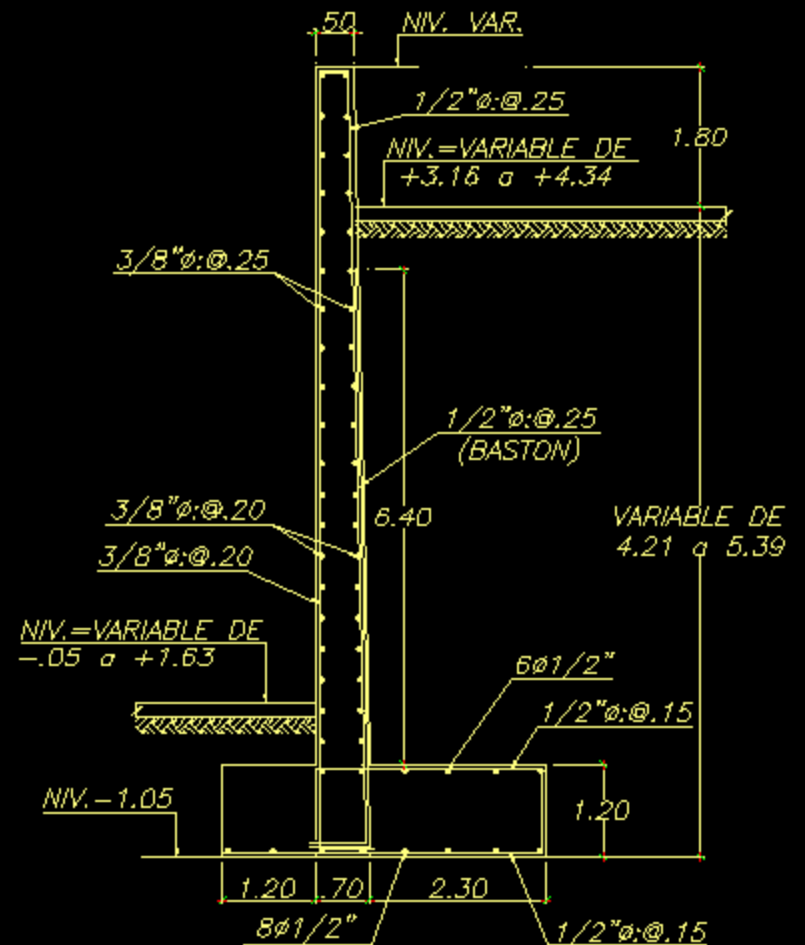
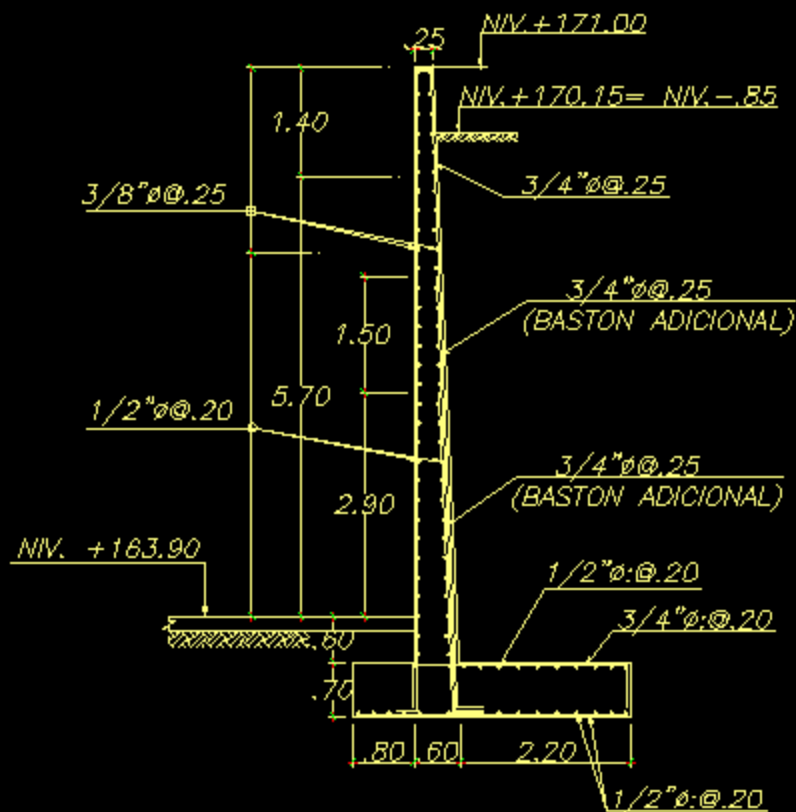
- PARA DISEÑAR ESTAS LOSAS DE CONCRETO ARMADO HAY QUE TRABAJAR CON CARGAS AMPLIFICADAS.
- UN CAMINO ES COMENZAR DE NUEVO AMPLIFICANDO CARGAS Y VOLVIENDO A TOMAR MOMENTOS Y DETERMINANDO LA PRESIÓN ÚLTIMA DEL SUELO ACTUANTE SOBRE LA ZAPATA.
- OTRO CAMINO, APROXIMADO, ES SIMPLEMENTE AMPLIFICAR LA PRESIÓN ACTUANTE EN EL TERRENO Y LAS CARGAS.

- LAS TRES LOSAS EN VOLADIZO TENDRÁN QUE DISEÑARSE POR CORTE Y POR FLEXIÓN
- PARA CORTANTE LA IDEA ES QUE NO SE NECESITE ESTRIBOS, ES DECIR QUE V_u SEA MENOR A V_c (\emptyset).
- CON EL DIMENSIONAMIENTO RECOMENDADO SUELE CUMPLIRSE CON ESTE REQUISITO.
- PARA FLEXIÓN SE CALCULA EL MOMENTO EN LA CARA DE LA PUNTA, DEL TALÓN Y DEL MURO Y , SI SE VA A CONSIDERAR BASTONES, EN UNO O DOS PUNTOS ADICIONALES.

- EN EL MURO SE TENDRÁ UN DIAGRAMA DE MOMENTOS CON PARÁBOLA CÚBICA PARA EL EMPUJE ACTIVO Y EL PASIVO, UNA PARÁBOLA CUADRÁTICA PARA EL EMPUJE DE LA SOBRECARGA.
- MUCHAS VECES SE DESPRECIA EL MOMENTO DEL EMPUJE PASIVO.
- EL FIERRO A CALCULAR SERÁ EL UBICADO EN LA CARA DEL TERRENO (TRACCIÓN POR FLEXIÓN).

- SIN EMBARGO LOS MUROS TIENEN GENERALMENTE DOS MALLAS.
- HAY UN FIERRO VERTICAL EN LA CARA EXTERIOR (CARA EN COMPRESIÓN) Y HAY FIERROS HORIZONTALES EN LAS DOS CARAS.
- LA NORMA PERUANA E060 INDICA :
- FIERRO MÍNIMO HORIZONTAL 0.002 BT
- FIERRO MÍNIMO VERTICAL 0.0015 BT.
- SE PUEDE COLOCAR MÁS FIERRO EN LA CARA EXTERIOR.

- PARA LA PUNTA Y TALÓN ES LO MISMO QUE DISEÑAR UNA ZAPATA AISLADA. EL CORTE SE VERIFICA A “d” DE LA CARA Y EL MOMENTO EN LA CARA.
- PARA EL TALÓN HAY QUE TENER CUIDADO QUE MUCHAS VECES LA TIERRA COLOCADA ENCIMA DE LA ZAPATA GANA A LA PRESIÓN DEL TERRENO.
- EN LA PUNTA SÍ GOBIERNA LA PRESIÓN DEL TERRENO.



- HAY QUE RECORDAR QUE EN EL DISEÑO DE ZAPATAS “d” ES H-10CM.
- EN EL MURO EL RECUBRIMIENTO EN LA CARA EN CONTACTO CON LA TIERRA ES DE 4CM PARA FIERROS HASTA DE 5/8” Y DE 5CM PARA FIERROS DE 3/4” O MÁS, POR LO QUE “d” SERÁ H-5 O H-6cm.
- PARA EL FIERRO SUPERIOR DEL TALÓN SERÁ IGUAL QUE EN EL MURO.

Muros de gravedad



- LOS MUROS DE GRAVEDAD SON MUROS EN VOLADO HECHOS CON CONCRETO CICLÓPEO O CONCRETO SIMPLE.
- AL NO TENER FIERRO NI CONCRETO DE CALIDAD, EL ESPESOR DEL MURO ES MUY IMPORTANTE Y VARIABLE.
- EL TALÓN YA NO EXISTE Y LA PUNTA DEBE SER PEQUEÑA.

- LA NORMA PERUANA DE CONCRETO ARMADO TIENE UN CAPÍTULO DE CONCRETO SIMPLE Y EN ÉL SE MENCIONA:
- EL CONCRETO CICLÓPEO SE COLOCA CONJUNTAMENTE CON PIEDRA DESPLAZADORA, DEBE TENER UN MÍNIMO DE 100KG/CM² DE RESISTENCIA EN COMPRESIÓN ($f'c$) Y LA PIEDRA NO EXCEDERÁ EL 30% DEL VOLUMEN TOTAL.

- LA MAYOR DIMENSIÓN DE LA PIEDRA DESPLAZADORA NO EXCEDERÁ DE LA MITAD DE LA MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO NI SERÁ MAYOR DE 25cm.
- EL USO DE CONCRETO CICLÓPEO ESTÁ LIMITADO A CIMIENTOS, SOBRECIMIENTOS ,FALSAS ZAPATAS Y MUROS DE CONTENCIÓN DE GRAVEDAD.

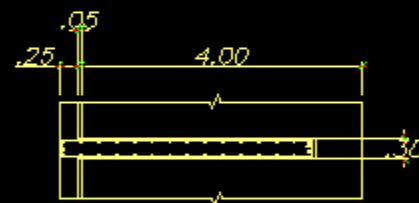
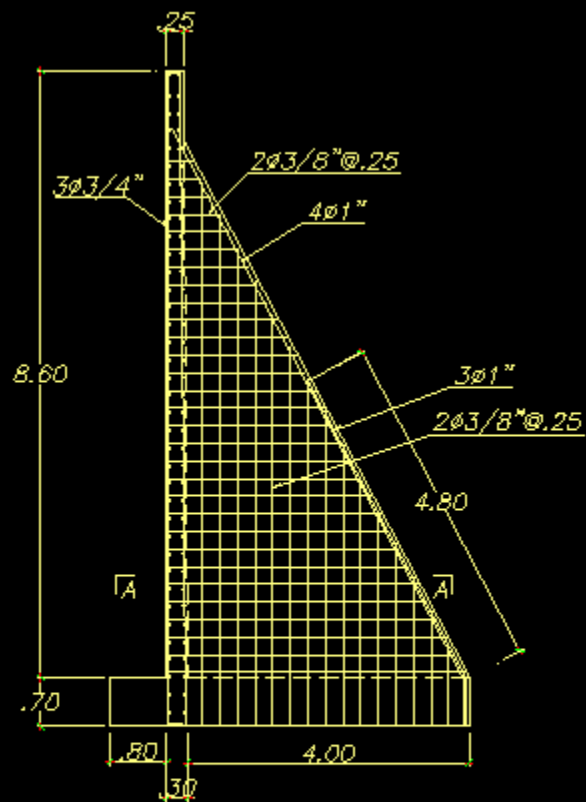
- LA PUNTA DEBE TENER UN VOLADO PEQUEÑO.
- LA IDEA ES QUE EL VOLADO SEA MENOR A LA MITAD DEL PERALTE DE LA PUNTA Y DE ESA MANERA USAMOS CONCRETO CICLÓPEO SIN VERIFICAR CORTE NI FLEXIÓN.
- CUANDO NO SEA ASÍ HAY QUE USAR CONCRETO SIMPLE Y NO CICLÓPEO.

- EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE GRAVEDAD ES SIMILAR AL DE UN MURO EN VOLADIZO.
- EN LUGAR DE TENER MURO Y TALÓN, TODO SE CONVIERTE EN UNA MASA DE CONCRETO (MURO DE ESPESOR VARIABLE).
- SE HACEN LAS MISMAS VERIFICACIONES DE PRESIONES, VOLTEO Y DESLIZAMIENTO .

- EL DISEÑO EN CONCRETO CONSISTE EN VERIFICAR LOS ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN DISTINTAS ALTURAS DEL MURO.
- SE TOMA MOMENTOS A UNA ALTURA “X”. A ESA ALTURA SE CALCULA LA COMPRESIÓN Y LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN DEBIDOS AL MOMENTO.
- LA IDEA ES QUE NO HAYAN TRACCIONES O QUE ESTAS SEAN MÍNIMAS.

MUROS CON CONTRAFUERTES

- CUANDO LOS MUROS EN VOLADIZO TIENEN ALTURAS SUPERIORES A 6m, SE USAN CONTRAFUERTES, CON EL OBJETO DE CAMBIAR EL COMPORTAMIENTO DEL MURO PROPIAMENTE DICHO Y REDUCIR EL FIERRO Y ESPESOR DEL MURO O PARED.
- LOS CONTRAFUERTES ESTÁN ESCONDIDOS EN LA TIERRA Y UNEN AL MURO CON EL TALÓN



CORTE A-A

DETALLE DE CONTRAFUERTE
DE MURO1

- EL COMPORTAMIENTO EXTERIOR DE UN MURO CON CONTRAFUERTE ES PRÁCTICAMENTE IGUAL AL MURO EN VOLADIZO.
- SE PUEDE VOLTEAR, SE PUEDE DESLIZAR Y SE PUEDE HUNDIR O SUPERAR LAS PRESIONES DEL TERRENO.
- EL CONTRAFUERTE CAMBIA EL COMPORTAMIENTO INTERIOR DEL MURO O PARED Y DEL TALÓN.

- BAJO ESTA PREMISA, LAS DIMENSIONES DE LA ZAPATA SON LAS MISMAS.
- EL ESPESOR DEL MURO SÍ DISMINUYE PUES YA NO ES UN VOLADO, SINO AHORA SE COMPORTARÁ COMO UNA LOSA APOYADA EN TRES BORDES, LIBRE ARRIBA.
- SI LOS CONTRAFUERTE ESTÁN MUY JUNTOS, EL MURO TENDRÁ UN COMPORTAMIENTO COMO LOSA HORIZONTAL.
- SI ESTÁN SEPARADOS UNA DISTANCIA IGUAL A LA ALTURA DEL MURO, SE COMPORTARÁ COMO UNA LOSA EN DOS DIRECCIONES, APOYADA EN TRES BORDES.

- SI LOS CONTRAFUERTE ESTÁN SEPARADOS UNA DISTANCIA IGUAL A LA MITAD DE LA ALTURA DEL MURO, EL DISEÑO DE LA PARED SE HARÁ COMO UNA LOSA CONTINUA TRABAJANDO EN LA DIRECCIÓN HORIZONTAL.
- LOS MOMENTOS SERÁN $1/11$, $1/10$, $1/16WL^2$, AL IGUAL QUE LOSAS CONTINUAS POR EL MÉTODO DE COEFICIENTES, YA QUE LAS LUCES SON IGUALES.
- HAY QUE DISEÑAR VARIAS FRANJAS HORIZONTALES, PUES ARRIBA HAY MENOS EMPUJE Y ABAJO MÁS.
- SIN EMBARGO LA ZONA INFERIOR TRABAJARÁ EN DOS DIRECCIONES DEBIDO A LA RESTRICCIÓN DE LA ZAPATA.

- SI LOS CONTRAFUERTE ESTÁN SEPARADOS MÁS DE LA MITAD DE LA ALTURA, LA PARED TRABAJA COMO UNA LOSA EN DOS DIRECCIONES, EMPOTRADA HACIA LOS COSTADOS Y EMPOTRADA EN LA BASE, CON EL BORDE SUPERIOR LIBRE.
- HAY QUE RECURRIR A TABLAS DE LOSAS DE LIBROS COMO KALMANOK Y BARES.
- HAY QUE DISTINGUIE EL TRAMO EXTREMO, QUE PUEDE CONSIDERARSE ARTICULADO EN EL PRIMER CONTRAFUERTE.

- EL CONTRAFUERTE PUEDE SER ANALIZADO COMO UNA VIGA EN VOLADIZO, DE PERALTE VARIABLE.
- TENDRÁ MOMENTO Y CORTANTE, PRODUCTO DE LOS EMPUJES DEL TERRENO, PARA UNA DISTANCIA IGUAL A LA QUE HAY ENTRE CONTRAFUERTE Y CONTRAFUERTE, COMO ANCHO TRIBUTARIO.
- SI EL MURO TRABAJA COMO LOSA EN DOS DIRECCIONES, HABRÁ QUE OBTENER LAS REACCIONES DE LAS TABLAS DE LOSAS.

- AL TENER LOS FIERROS TRACCIONADOS INCLINADOS EN RELACIÓN A LA CARA INTERIOR EN COMPRESIÓN, LA EVALUACIÓN DEL ÁREA REQUERIDA SERÁ MAYOR A LA QUE NORMALMENTE UNO CALCULA, PARA EL CASO NORMAL DONDE EL FIERRO Y LA COMPRESIÓN SON PARALELAS.
- ESTE FIERRO PUDE TENER BASTONES.
- PARA CORTANTE HAY QUE CALCULAR ESTRIBOS.
- HAY QUE COLOCAR ADEMÁS FIERRO VERTICAL REPARTIDO, DADO EL GRAN PERALTE DE ESTA VIGA.

Tabla 1.92

$$\mu = 0,15$$

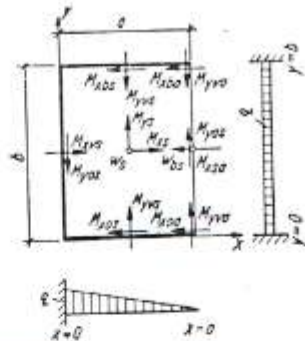
$$\gamma = \frac{a}{b}$$

$$M_{x0z} = M_{z0x} = \mu M_{yuz}$$

$$M_{x0a} = M_{z0a} = \mu M_{yua}$$

$$M_{y0z} = \mu M_{xuz}$$

$$M_{xza} = -\mu M_{yza}$$



γ	w_x	w_{zx}	M_{xz}	M_{xuz}	M_{yz}	M_{yuz}	M_{yza}	M_{yza}
0,3	0,1158	0,2461	-0,0089	-0,1369	0,0007	0,0024	-0,0048	-0,0083
0,4	0,0733	0,1374	0,0025	-0,1147	0,0021	0,0048	-0,0079	-0,0131
0,5	0,0469	0,0825	0,0080	-0,0916	0,0038	0,0068	-0,0117	-0,0158
0,6	0,0353	0,0516	0,0114	-0,0728	0,0059	0,0083	-0,0160	-0,0166
0,7	0,0264	0,0293	0,0122	-0,0565	0,0081	0,0092	-0,0202	-0,0164
0,8	0,0192	0,0165	0,0122	-0,0453	0,0104	0,0099	-0,0241	-0,0156
0,9	0,0132	0,0102	0,0110	-0,0390	0,0119	0,0099	-0,0272	-0,0138
1,0	0,0095	0,0062	0,0091	-0,0345	0,0129	0,0095	-0,0301	-0,0119
1,2	0,0058	0,0026	0,0060	-0,0260	0,0148	0,0082	-0,0347	-0,0100
1,5	0,0027	0,0008	0,0030	-0,0187	0,0169	0,0063	-0,0382	-0,0074
2,0	0,0009	0,0002	0,0012	-0,0112	0,0191	0,0041	-0,0412	-0,0046
F. m.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	qa^2	qa^2	qb^2	qb^2	qb^2	qb^2

Tabla 1.35

$$\mu = 0,15$$

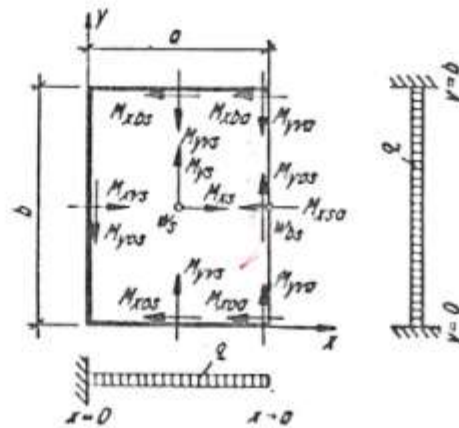
$$\gamma = \frac{a}{b}$$

$$M_{xsa} = -\mu M_{ax}$$

$$M_{x0s} = M_{xbs} = \mu M_{yus}$$

$$M_{x0a} = M_{xba} = \mu M_{yva}$$

$$M_{y0s} = \mu M_{xvs}$$



γ	w_s	w_{bs}	M_{xs}	M_{xvs}	M_{ys}	M_{yas}	M_{yvs}	M_{yva}
0,3	0,3764	0,9700	-0,0489	-0,3833	0,0019	0,0078	-0,0131	-0,0333
0,4	0,2565	0,5909	-0,0025	-0,2783	0,0068	0,0173	-0,0242	-0,0545
0,5	0,1613	0,3433	0,0132	-0,2004	0,0120	0,0268	-0,0335	-0,0709
0,6	0,1031	0,1981	0,0192	-0,1476	0,0177	0,0333	-0,0416	-0,0798
0,7	0,0674	0,1211	0,0190	-0,1106	0,0217	0,0384	-0,0493	-0,0837
0,8	0,0452	0,0753	0,0173	-0,0865	0,0247	0,0413	-0,0561	-0,0848
0,9	0,0315	0,0484	0,0154	-0,0691	0,0270	0,0426	-0,0616	-0,0850
1,0	0,0226	0,0324	0,0125	-0,0559	0,0288	0,0435	-0,0664	-0,0851
1,2	0,0124	0,0159	0,0086	-0,0387	0,0327	0,0443	-0,0734	-0,0848
1,5	0,0055	0,0066	0,0047	-0,0248	0,0370	0,0449	-0,0793	-0,0846
2,0	0,0018	0,0021	0,0021	-0,0139	0,0406	0,0450	-0,0830	-0,0845
Fact. de mult.	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	$\frac{qa^4}{Eh^3}$	qa^2	qa^2	qb^2	qb^2	qb^2	qb^2

EMPUJE SÍSMICO DE TIERRA

MÉTODO DE MONONOBE-OKABE

- El método desarrollado por Mononobe-Okabe (1926) es el usado con más frecuencia para el cálculo de las fuerzas sísmicas del empuje sobre un muro de contención. Se consideran las siguientes hipótesis:
 - 1) La cimentación se desplaza lo suficiente para que se desarrollen las condiciones de presión activa del suelo
 - 2) El relleno es granular, con un ángulo de fricción ϕ
 - 3) El relleno no está saturado.

Coeficientes de Aceleración Horizontal y Vertical

- Para utilizar este método se define un coeficiente de aceleración horizontal (k_h) y un coeficiente de aceleración vertical (k_v).
- El valor de k_h puede tomarse como la aceleración de diseño / 2.
- Esta aceleración horizontal de diseño " k_h " es el mismo factor de Zona " Z " considerado en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente dividido entre 2 (0.4, 0.3 ó 0.15 para las zonas 3, 2 y 1)
- Este método considera que la aceleración vertical actúa en contra de la gravedad, disminuyendo la estabilidad ante volteo y deslizamiento proporcionada por el peso del muro y el relleno.
- La aceleración vertical de diseño " k_v " puede tomarse como $2/3 k_h$.

Coeficientes Activo y Pasivo de Empuje Sísmico

Con los valores de k_h y k_v definidos, se hallan los coeficientes de empuje sísmico K_{AE} y K_{PE} . Estos valores son similares a los factores K_a y K_p hallados para calcular los empujes en condición estática.

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta)} \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^{-2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta + \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta)} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta + i)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^{-2}$$

- $\phi =$ Ángulo de fricción del terreno
- $\theta =$ $\arctan(k_h/(1-k_v))$
- $\delta =$ Ángulo de fricción entre terreno y muro
- $i =$ Pendiente del relleno
- $\beta =$ Pendiente de pantalla con la vertical

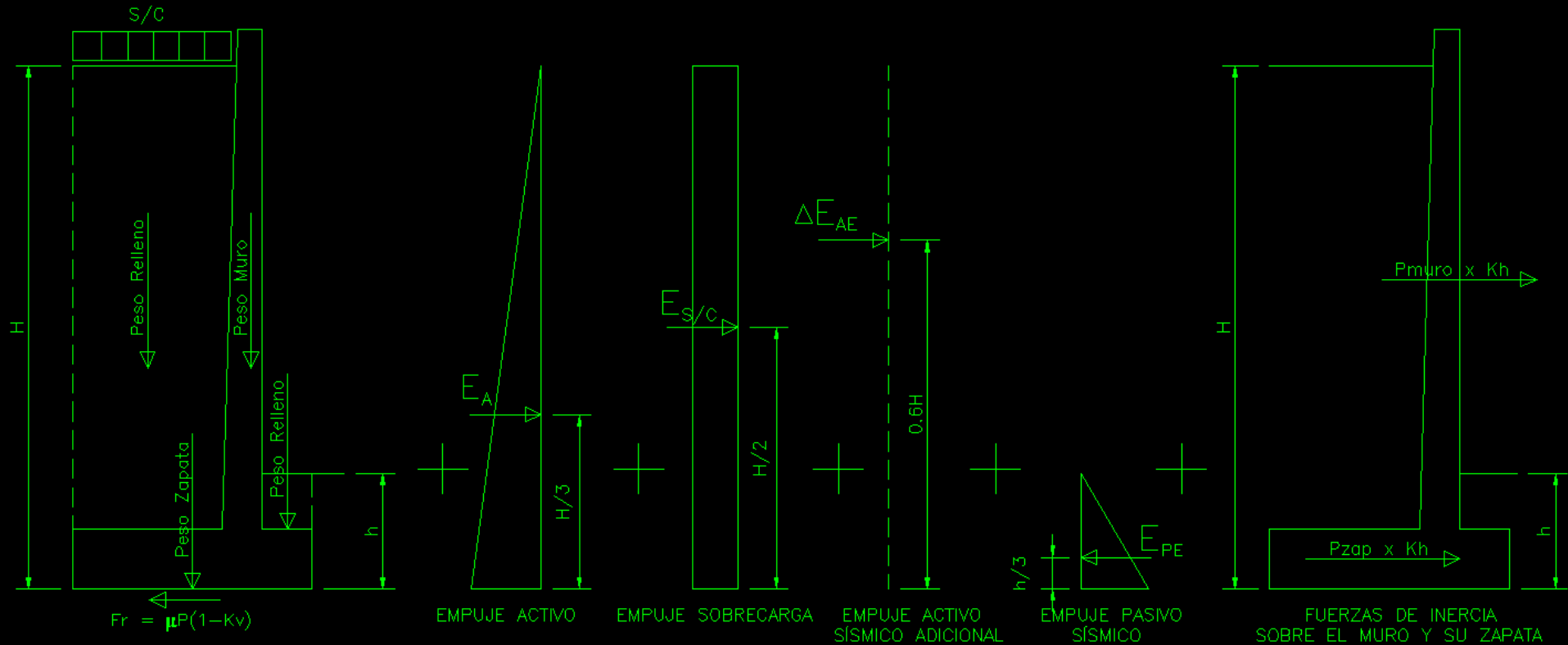
Estas fórmulas son iguales a las que se utilizan para hallar K_a y K_p , pero añadiendo el factor θ que tiene que ver con las aceleraciones sísmicas.

Coeficientes Activo y Pasivo de Empuje Sísmico

- Para hallar los valores de K_a y K_p , normalmente se desprecian los valores de β (pendiente de la pantalla con la vertical) y δ (ángulo de fricción entre el terreno y el muro), y considerando un relleno horizontal ($i=0^\circ$), se obtienen los valores de K_a y K_p dependiendo solamente del valor ϕ del terreno. Lo mismo puede aplicarse para hallar los valores de K_{AE} y K_{PE} .
- Para valores típicos de ϕ , considerando $kh=0.2$ y $k_v=2/3kh$, se obtienen los siguientes valores:

ϕ	K_a	K_p	K_{AE}	K_{PE}
30	0.333	3.00	0.434	2.57
33	0.295	3.39	0.390	2.94

Esquema mostrando todas las fuerzas aplicadas sobre el muro para la condición sísmica



Considerando estas fuerzas se procede a la verificación de factores de seguridad al volteo y deslizamiento, presiones sobre el terreno y luego al diseño del muro y zapata.

Empuje Sísmico Activo y Pasivo

- Los empujes activo y pasivo en condiciones sísmicas se calculan de manera similar a los empujes en condición estática:

Condición Sísmica

Condición Estática

- $E_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1-kv)$ $E_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2$
- $E_{PE} = \frac{1}{2} K_{PE} \gamma h^2 (1-kv)$ $E_P = \frac{1}{2} K_P \gamma h^2$

Conocido el total de E_{ae} y E_a , se halla la diferencia entre estas fuerzas resultantes

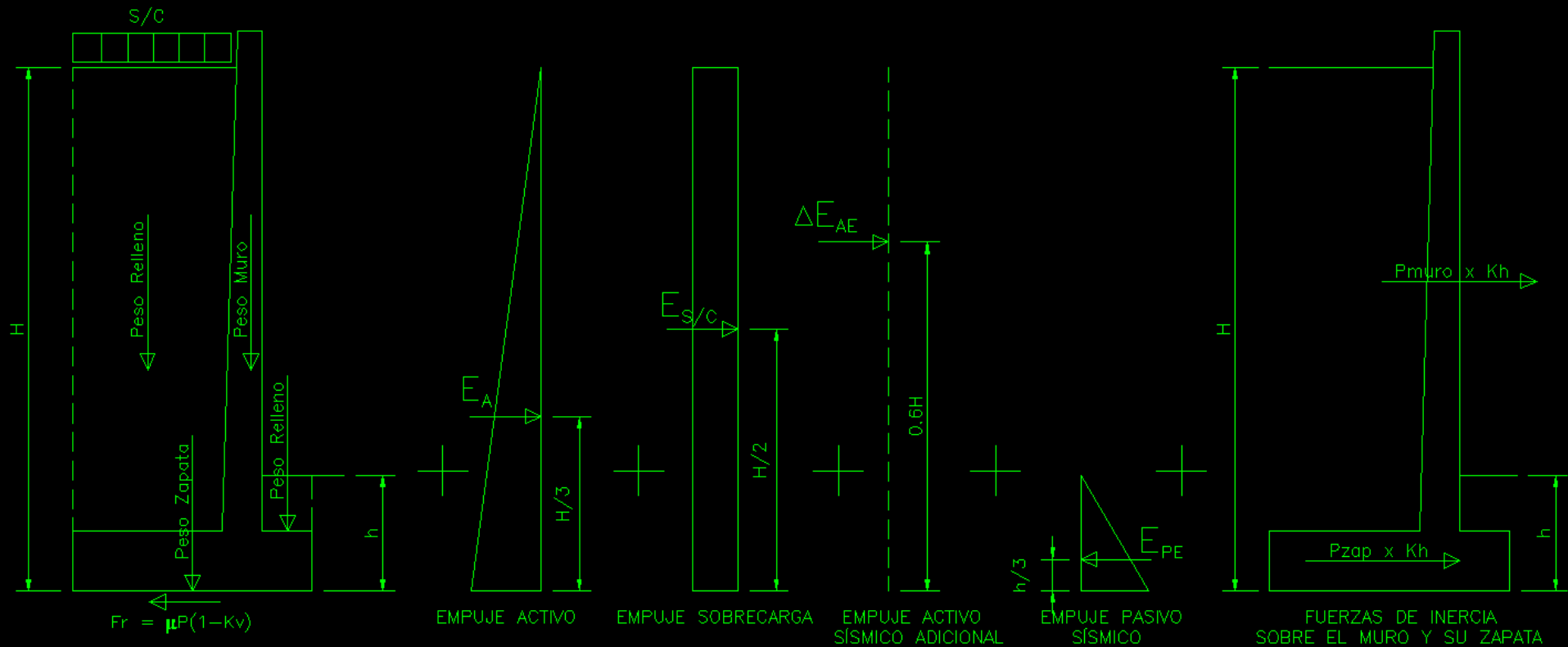
Donde:

γ = peso específico del terreno

H = altura total del relleno que empuja desde la base del cimientto

h = altura total del relleno que contiene el empuje desde la base del cimientto

Esquema mostrando todas las fuerzas aplicadas sobre el muro para la condición sísmica



Considerando estas fuerzas se procede a la verificación de factores de seguridad al volteo y deslizamiento, presiones sobre el terreno y luego al diseño del muro y zapata.

Empuje Sísmico Activo y Pasivo – Puntos de Aplicación

- El punto de aplicación del empuje pasivo sísmico se puede considerar como 1/3 de la altura del relleno.
- Para el empuje activo sísmico, este debe dividirse en dos partes:
- $E_{AE} = E_A + \Delta E_{AE}$ $\Delta E_{AE} = E_{AE} - E_A$

E_A es el empuje estático y actúa a $H/3$

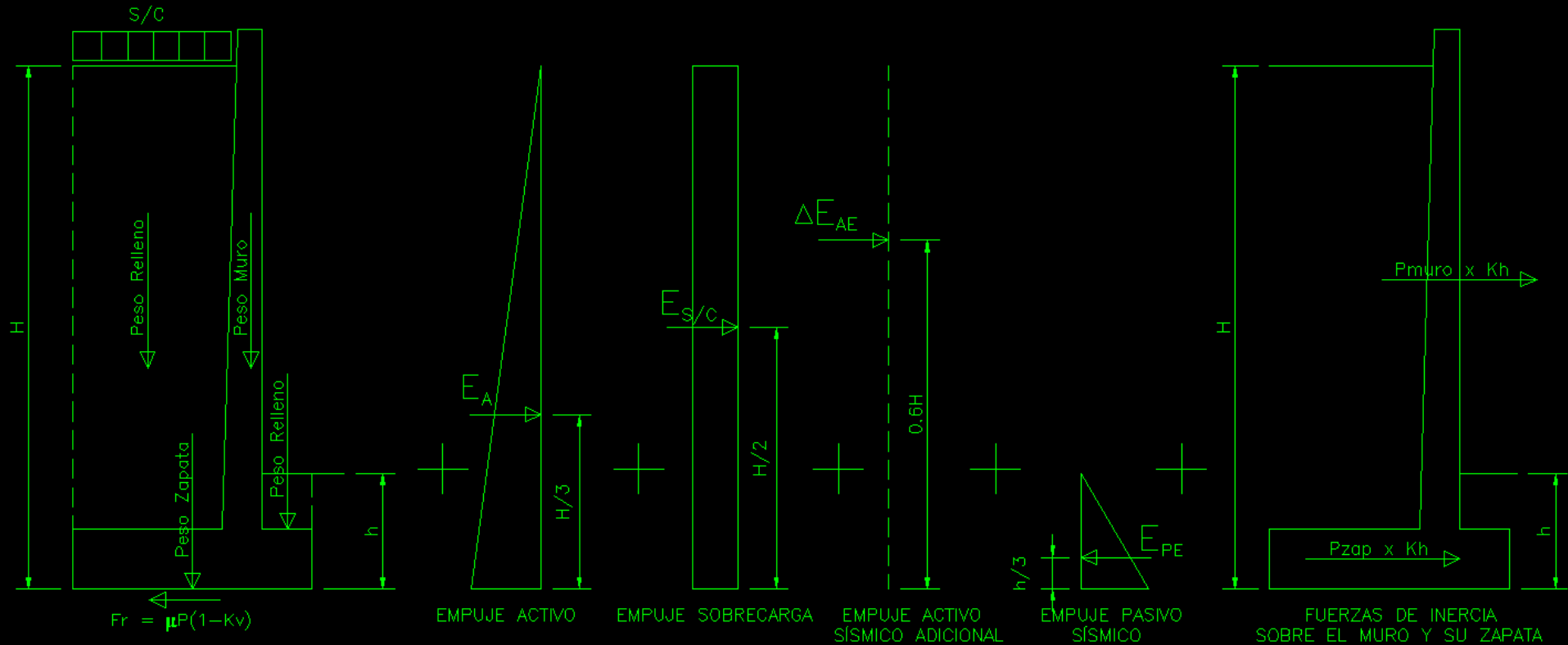
ΔE_{AE} es el empuje adicional ocasionado por la condición sísmica y actúa a $0.6H$

Consideraciones Adicionales

Rozamiento y Fuerzas de Inercia

- También se deben considerar las fuerzas sísmicas adicionales generadas por peso propio del muro y su zapata. Estas fuerzas pueden estimarse como $k_h \times \text{Peso}$, aplicadas a la mitad de la altura del muro o zapata
- Para la verificación del factor de seguridad al deslizamiento, se debe considerar en el cálculo de la fuerza de rozamiento que el peso del muro y su relleno es reducido por el coeficiente k_v .
Fuerza de rozamiento = $\mu P (1 - k_v)$, donde P es el peso considerado.

Esquema mostrando todas las fuerzas aplicadas sobre el muro para la condición sísmica



Considerando estas fuerzas se procede a la verificación de factores de seguridad al volteo y deslizamiento, presiones sobre el terreno y luego al diseño del muro y zapata.