

CALZADURAS

ANTONIO BLANCO BLASCO

Ingenieros E.I.R.L.

EL TÉRMINO CALZADURA SE EMPLEA EN NUESTRO PAÍS PARA MUROS DE CONTENCIÓN, DE GRAVEDAD, HECHOS CON CARÁCTER PROVISIONAL, CUANDO SE HACE UNA EXCAVACIÓN EN UN TERRENO COLINDANTE CON ALGÚN VECINO O LA CALLE.

TAMBIÉN PARA EL CASO DE CALZAR UNA CIMENTACIÓN EXISTENTE, QUE HA SUFRIDO ALGÚN ASENTAMIENTO, CON EL OBJETO DE PODER TRASMITIR LAS CARGAS ACTUANTES A UN ESTRATO MEJOR MÁS PROFUNDO.

IMAGINEMOS QUE TENEMOS UNA CIMENTACIÓN DE UNA COLUMNA O MURO Y NECESITAMOS PROFUNDIZAR SU NIVEL.

TENDRÍAMOS QUE EXCAVAR POR LOS COSTADOS DE ESA CIMENTACIÓN E IR COLOCANDO CONCRETO POBRE, SEGMENTO POR SEGMENTO ,CREAR UNA SUBAZAPATA O FALSA ZAPATA, CON UN NIVEL INFERIOR MÁS PROFUNDO.

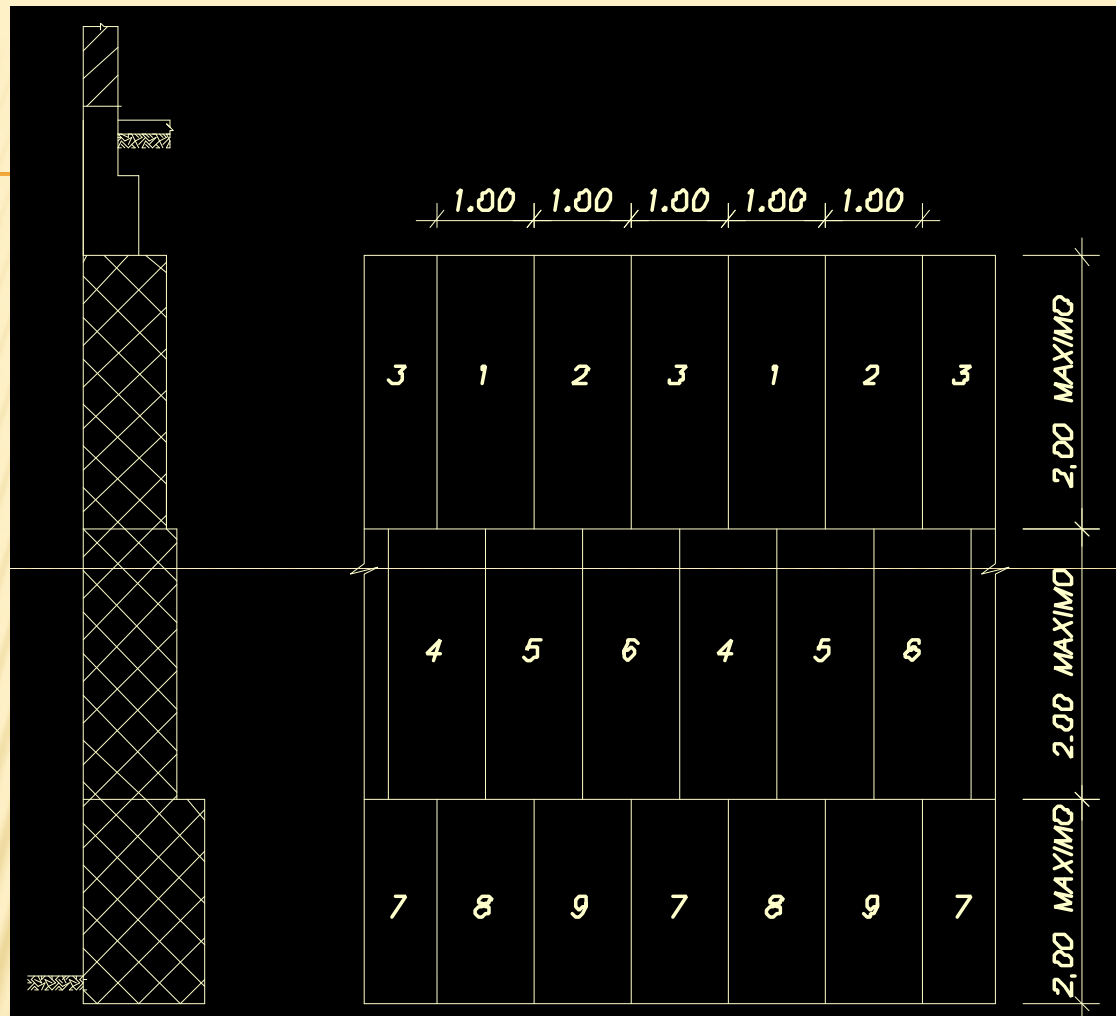
EN ESTE CASO NO HAY EMPUJE LATERAL SINO SÓLO CARGA VERTICAL.

IMAGINEMOS QUE TENEMOS QUE HACER UN SÓTANO EN UN TERRENO, PARA CONSTRUIR UN NUEVO INMUEBLE Y AL COSTADO SE TIENE UN VECINO SIN SÓTANO.

EN ESTE CASO TENEMOS QUE CALZAR EL CIMIENTO DEL VECINO E IR CONSTRUYENDO SEGMENTOS DE CONCRETO POBRE, CONSTITUYENDO UN MURO DE CONTENCIÓN, QUE DEBE SOPORTAR LOS EMPUJES LATERALES DEL TERRENO VECINO Y A LA VEZ, TRASMITIR LAS CARGAS VERTICALES DEL CIMIENTO EXISTENTE .

ESTE ÚLTIMO CASO ES EL QUE NOS INTERESA EXPLICAR, PUES CADA VEZ ES MÁS FRECUENTE QUE LOS EDIFICIOS TENGAN SÓTANOS Y QUE ESTOS SE CONSTRUYEN, AL COSTADO DE UN VECINO QUE NO TIENE SÓTANO.

LA CIUDAD DE LIMA, TIENE EN GRAN CANTIDAD DE SUS DISTRITOS UN SUELO CONSTITUIDO POR GRAVAS CON MATRIZ DE ARENAS, QUE TIENE MUY BUENA CAPACIDAD PORTANTE Y DONDE SE HACEN EXCAVACIONES SIN MAYORES PROBLEMAS.



ELEVACION TIPICA DE CALZADURA

NOTA: LOS NUMEROS INDICAN LA SECUENCIA DE CONSTRUCCION
DE LOS PAÑOS DE LA CALZADURA.

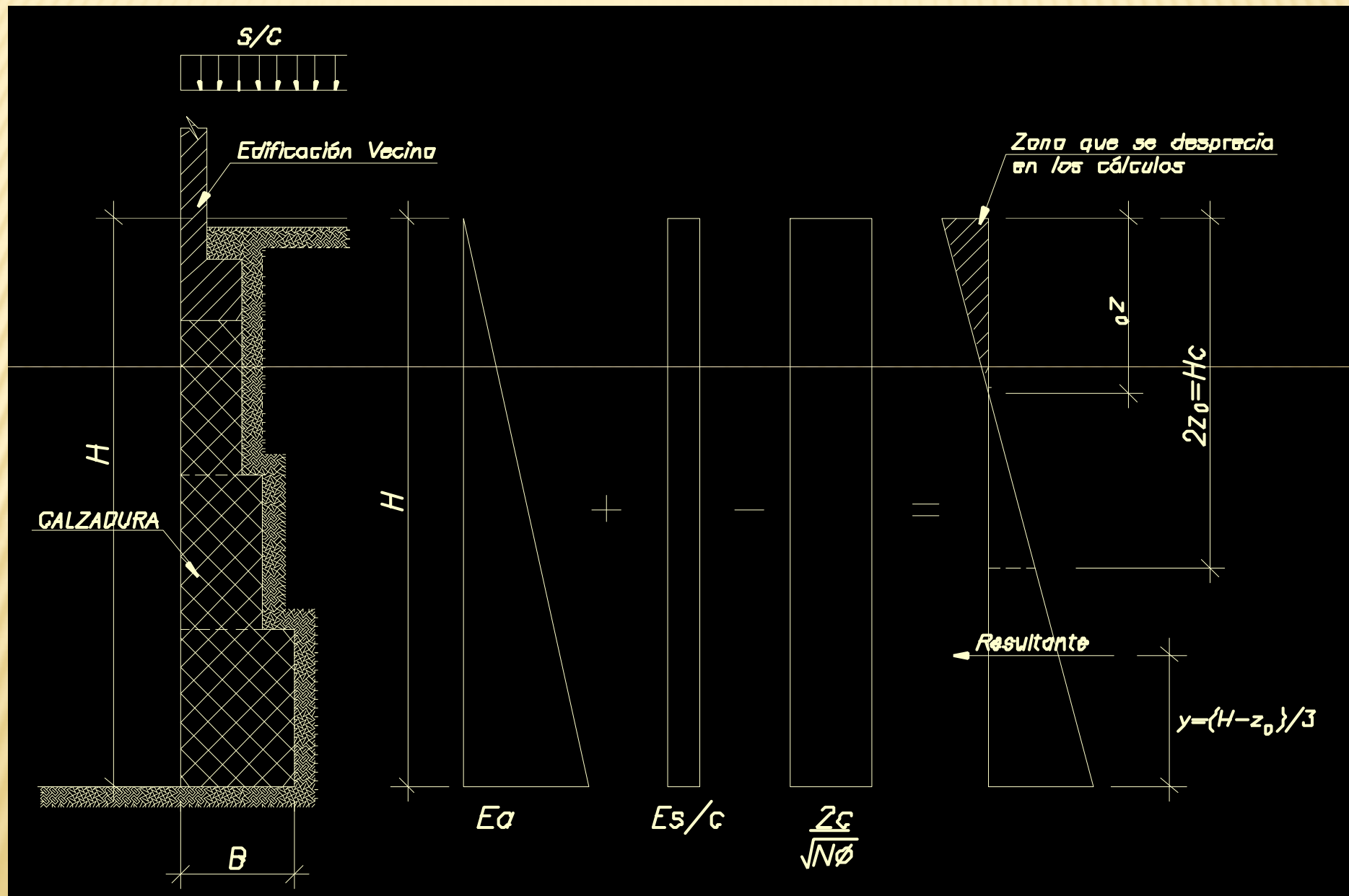
EN TERRENOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE, GENERALMENTE SUELTOS, NO ES FÁCIL HACER UNA EXCAVACIÓN Y CONSTRUIR CALZADURAS TRADICIONALES, COMO LAS QUE SÍ HACEMOS EN LA GRAVA DE LIMA.

LA RAZÓN FUNDAMENTAL ES QUE LA CALZADURA TRABAJA COMO UN MURO DE CONTENCIÓN, GENERALMENTE EN VOLADIZO, Y LOS EMPUJES LATERALES SON MAYORES EN TERRENOS SUELTOS.

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.**



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
 H_c = Altura en donde se tiene una fuerza horizontal resultante nula
 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

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

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

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

SI EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ES MENOR, LOS EMPUJES SON MAYORES.

SI NO HAY COHESIÓN, TAMBIÉN EL EMPUJE ES MAYOR.

EL SUELO GRAVOSO DE LIMA, ES GRANULAR Y NO DEBIERA TENER COHESIÓN. SIN EMBARGO TIENE UNA COHESIÓN APARENTE, QUE ES LA QUE FACILITA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CALZADURAS.

SI HAY FILTRACIONES DE AGUA, ESTA COHESIÓN SE PIERDE.

$$\text{Fuerza Total en zona que se desprecia} = \frac{(2c\sqrt{N_\phi} - q)^2}{2\gamma N_\phi}$$

$$\text{Fuerza Total Resultante } F_{ACT} = \frac{\gamma H^2}{2N_\phi} + \frac{s/c}{N_\phi} H - \frac{(2c\sqrt{N_\phi} - q)^2}{2\gamma N_\phi}$$

$$\text{Altura de aplicación de la Resultante } y = \frac{y - z_0}{3}$$

$$\text{Donde } z_0 = \frac{2c\sqrt{N_\phi} - q}{\gamma}$$

Se tendría que el momento actuante de los empujes sería igual a:

$$M_{ACT} = F_{ACT} \times y$$

Para la calzadura, se tendrían los siguientes efectos que contrarrestan el volteo:

$$M_{CALZ} = \frac{(\gamma' BH + s/c \times B) \times B}{2} \quad F_{CALZ} = (\gamma' BH + s/c \times B) \times \mu$$

Donde γ' = Peso específico promedio de la calzadura y el terreno encima

Finalmente, usando los factores de seguridad al volteo y deslizamiento se puede obtener el ancho necesario para la calzadura:

Factor de seguridad al volteo (FS_v) = M_{calz} / M_{act}

Obteniendo:
$$B = \sqrt{\frac{FS_V \times M_{ACT} \times 2}{\gamma' H + s/c}}$$

Factor de seguridad al deslizamiento (FSD) = E_{calz} / Fact

Obteniendo:
$$B = \frac{FS_D \times F_{ACT}}{\mu \times (\gamma' H + s/c)}$$

CONSTRUCCIÓN DE UNA CALZADURA

SE HACE UNA PRIMERA EXCAVACIÓN POR DEBAJO DEL CIMIENTO DEL VECINO, CON UN ANCHO DEL ORDEN DE 1M.

LA ALTURA DE LA EXCAVACIÓN DEBE SER DEL ORDEN DE 2M, AÚN CUANDO SE PODRÍA HACER CON MENOS ALTURA.

EL ESPESOR DE LA EXCAVACIÓN SERÁ DE 40 A 60CM, PARA LA PRIMERA FILA.

SIMULTÁNEAMENTE SE PUEDE HACER OTRA EXCAVACIÓN SIMILAR, SEPARADA DE LA PRIMERA, DE MANERA QUE EL CIMIENTO DEL VECINO NO PIERDA SU SUSTENTO Y QUEDE LIBRE EN SEGMENTOS DE MÁXIMO 1M.

SI LO QUE HAY QUE CALZAR ES UNA ZAPATA AISLADA, LA SITUACIÓN ES MÁS COMPLEJA, Y MUY PROBABLEMENTE SE DEBA TRABAJAR CON ANCHOS MENORES A 1M, DEPENDIENDO DEL ANCHO DE LA ZAPATA EXISTENTE.

EL CONCRETO QUE SE USA ES UN CONCRETO POBRE, CICLÓPEO, EN PROPORCIÓN 1 DE CEMENTO POR 10 DE HORMIGÓN, CON UN AÑADIDO DE LA DENOMINADA PIEDRA GRANDE, TRATANDO DE QUE EL VOLUMEN DE ÉSTA REPRESENTA UN 30% DEL VOLUMEN TOTAL DE LA MEZCLA.

EL LLENADO DEL ESPACIO EXCAVADO, DEBE HACERSE ASEGURANDO QUE LA MEZCLA HAYA LLEGADO A LA PARTE SUPERIOR DEL HUECO, DE MODO QUE CONSTITUYA SUSTENTO PARA EL CIMIENTO EXISTENTE.

GENERALMENTE SE USA UN ENCOFRADO CON LA PARTE SUPERIOR INCLINADA, DE MODO QUE EL NIVEL SUPERIOR DE ÉSTA ESTÉ MÁS ALTO QUE EL NIVEL SUPERIOR DEL ESPACIO A RELLENAR, DE MODO DE EJERCER PRESIÓN.(CACHIMBA).

A PESAR DE ESTA CONSIDERACIÓN, DEBE RECORDARSE QUE EL CONCRETO TIENE UNA RETRACCIÓN DE SECADO, POR LO QUE DEBE CONSIDERARSE LA INYECCIÓN DE UN MORTERO EN LA ZONA SUPERIOR.

**TERMINADA UNA PRIMERA FILA DE
SEGMENTOS, SE COMIENZA CON UNA FILA
INFERIOR.**

**EN ESTA CALZAREMOS A NUESTRA PRIMERA
FILA YA VACIADA.**

**SE RECOMIENDA QUE LOS SEGMENTOS DE LA
SEGUNDA FILA, ESTÉN DESFASADOS CON
LOS SEGMENTOS DE LA PRIMERA FILA Y ASÍ
SUCESIVAMENTE PARA LAS FILAS UBICADAS
EN PROFUNDIDADES MAYORES.**

CADA FILA DEBE TENER UN ESPESOR O PROFUNDIDAD DIFERENTE, DE MANERA QUE SE VAYA AUMENTANDO EL ESPESOR.

RECORDAMOS QUE UN MURO DE CONTENCIÓN, HECHO SIN REFUERZO DE ACERO (MUROS DE GRAVEDAD), TIENEN UN ESPESOR VARIABLE, PUDIENDO LLEGAR A UN ANCHO EQUIVALENTE AL 50% DE LA ALTURA DEL MURO.

EN EL CASO DE LAS CALZADURAS, EL MURO SE CONSTRUYE EN FORMA INDEPEDIENTE, SEGMENTO POR SEGMENTO Y DENTRO DE UNA ALTURA MANTENEMOS UN ESPESOR.

LOS COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA EL VOLTEO Y DESLIZAMIENTO, SON MENORES A LOS QUE USAMOS EN EL DISEÑO DE UN MURO NORMAL, POR EL HECHO DE SER UNA OBRA PROVISIONAL.

EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CALZADURA, NO SÓLO DEBE VERIFICAR EL FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLTEO Y AL DESLIZAMIENTO, SINO EL VALOR DE LAS PRESIONES SOBRE EL SUELO.

EL MURO TIENDE A GIRAR Y POR TANTO LAS PRESIONES SON VARIABLES, SIENDO COMÚN CONSIDERAR UNA DISTRIBUCIÓN TRAPEZOIDAL O TRIANGULAR, QUE ORIGINA VALORES ALTOS EN EL EXTREMO .

EL CONSTRUCTOR DEBE OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO Y LA PRESENCIA DE ALGUNA FILTRACIÓN, PUES GENERALMENTE LAS CALZADURAS SE DISEÑAN CON FACTORES DE SEGURIDAD BAJOS Y CONSIDERANDO EL EFECTO BENEFICIOSO DE LA COHESIÓN DEL TERRENO.

DEBE CONSIDERARSE APUNTALAMIENTOS QUE PUEDAN CONTROLAR CUALQUIER IMPREVISTO.

DAÑOS EN LOS INMUEBLES VECINOS

LAS CALZADURAS, SON MUROS DE CONTENCIÓN EN VOLADIZO Y COMO TALES, TIENEN DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN LA PARTE SUPERIOR (GIRO).

ESTOS GIROS Y DEFORMACIONES SON LAS QUE ACTIVAN EL EMPUJE (CUÑA DE FALLA) Y SON LOS QUE ORIGINAN UNA FISURA O GRIETA DE TRACCIÓN EN EL PISO DEL VECINO, PARALELA A LA CALZADURA.

TAMBIÉN ES FACTIBLE LA OCURRENCIA DE ASENTAMIENTOS VERTICALES, SEA POR LOS EFECTOS DE RETRACCIÓN DEL CONCRETO DE LA CALZADURA, O POR UN MAL LLENADO DE ALGUNOS DE LOS SEGMENTOS.

ESTO PRODUCE QUE EN LOS MUROS DEL INMUEBELE VECINO, UBICADOS PERPENDICULARMENTE A LA CALZADURA, SE PUEDAN PRODUCIR FISURAS DIAGONALES, QUE INDICAN QUE EL EXTREMO MÁS CERCANO A LA CALZADURA SE HA ASENTADO.

SI LA CALZADURA ESTÁ BIEN DISEÑADA Y SI ESTÁ BIEN CONSTRUIDA, ESTAS FISURAS SON MÍNIMAS Y NO REPRESENTAN DAÑO ESTRUCTURAL, DEBIENDO SER REPARADAS POR EL CONTRATISTA DE LA OBRA.

LOS DAÑOS IMPORTANTES O LAS FALLAS OCURRIDAS HAN COINCIDIDO SIEMPRE CON ANCHOS O ESPESORES DE CALZADURA INSUFICIENTES Y/O CON FILTRACIONES DE AGUA.

EXPERIENCIAS DE CALZADURAS EN LIMA.

ANTES DE 1996, NO SE USABA EN LIMA, EL SISTEMA DE MUROS CON ANCLAJES, QUE HOY ES PRÁCTICA COMÚN PARA EXCAVACIONES DE MÁS DE DOS O TRES SÓTANOS.

SIN EMBARGO HAY EDIFICIOS DE 4 Y 5 SÓTANOS QUE SE HAN HECHO CON EL SISTEMA TRADICIONAL DE CALZADURAS.

PARA CITAR ALGUNOS EJEMPLOS, PUEDO INDICAR LA OBRA DEL BANCO CENTRAL DE RESERVA, EN EL AÑO 1972, EN EL CENTRO DE LIMA, CON EXCAVACIONES VECINAS A LA IGLESIA DE SAN PEDRO (ADOBE Y QUINCHA) Y AL ANTIGUO LOCAL DE LA BIBLIOTECA NACIONAL.

EN ESA OBRA SE HICIERON CALZADURAS DE 14M DE PROFUNDIDAD, CON APUNTALAMIENTOS IMPORTANTES.

VARIOS EDIFICIOS RELATIVAMENTE MODERNOS, COMO EL ACTUAL LOCAL DE LA SUNAT EN LA AV. BENAVIDES, LA OBRA DEL HOTEL MARRIOT, EL LOCAL DEL BANCO DE LA NACIÓN EN LA ESQUINA DE AV. AREQUIPA CON JAVIER PRADO, TIENEN 5 SÓTANOS Y HAN SIDO HECHAS CON CALZADURAS QUE HAN TENIDO ESPESORES EN LA BASE DEL ORDEN DE 3.6 A 4M Y HAN TENIDO UN BUEN COMPORTAMIENTO.

**INDICAMOS EN LAS SIGUIENTES VISTAS
CÁLCULOS QUE HEMOS REALIZADO PARA
DIFERENTES ALTURAS, SOBRECARGAS, CON
EL OBJETO DE MOSTRAR ANCHOS
REQUERIDOS PARA LAS CALZADURAS.**

**DEBEMOS RECORDAR QUE NO SON APLICABLES
PARA OTROS TERRENOS, DIFERENTES A
LIMA.**

1. DIMENSIONES DE CALZADURAS (m) PARA DIFERENTES EFECTOS

H (m)	VOLTEO	DESLIZAM.	ESF. TERR.
5	0.04	0.01	0.04
6	0.23	0.12	0.22
7	0.47	0.31	0.46
8	0.75	0.54	0.75
9	1.04	0.81	1.07
10	1.34	1.10	1.42
11	1.65	1.41	1.81
12	1.97	1.74	2.24

Datos

$q =$ 2.00Ton/m²

$\mu =$ 0.45

$\phi =$ 37°

$\gamma =$ 2.20Ton/m³

FSvolteo = 1.50

FSdesliz = 1.50

wadm = 60Ton/m²

$c =$ 3.0Ton/m²

2. TABLA COMPARANDO EFECTOS DE SOBRECARGA

H (m)	1 Ton/m ²	2 Ton/m ²	3 Ton/m ²
5		0.04	0.12
6	0.13	0.23	0.34
7	0.36	0.47	0.59
8	0.62	0.75	0.89
9	0.92	1.07	1.22
10	1.26	1.42	1.60
11	1.63	1.81	2.00
12	2.04	2.24	2.44

Datos

q =	Ver Tabla
$\mu =$	0.45
$\phi =$	37 °
$\gamma =$	2.20 Ton/m ³
FSvolteo =	1.50
FSdesliz =	1.50
wadm =	60 Ton/m ²
c =	3.0 Ton/m ²

3. TABLA COMPARANDO VALORES DE COHESIÓN

H (m)	0.2 Kg/cm ²	0.3 Kg/cm ²	0.4 Kg/cm ²
5	0.49	0.04	
6	0.78	0.23	
7	1.09	0.47	0.06
8	1.41	0.75	0.24
9	1.79	1.07	0.48
10	2.19	1.42	0.77
11	2.63	1.81	1.10
12	3.11	2.24	1.47

Datos

$q =$ 2.00 Ton/m²

$\mu =$ 0.45

$\phi =$ 37 °

$\gamma =$ 2.20 Ton/m³

FSvolteo

= 1.50

FSdesliz

= 1.50

wadm = 60 Ton/m²

c = Ver Tabla

4. TABLA COMPARANDO FACTORES DE SEGURIDAD

H (m)	FS=1.25	FS=1.50	FS=1.75
5	0.04	0.04	0.05
6	0.22	0.23	0.25
7	0.46	0.47	0.51
8	0.75	0.75	0.81
9	1.07	1.07	1.12
10	1.42	1.42	1.45
11	1.81	1.81	1.81
12	2.24	2.24	2.24

Datos

$q =$ 2.00 Ton/m²

$\mu =$ 0.45

$\phi =$ 37 °

$\gamma =$ 2.20 Ton/m³

FSvolteo
= Ver Tabla

FSdesliz
= Ver Tabla

wadm = 60 Ton/m²

$c =$ 3.0 Ton/m²

5. TABLA COMPARANDO ESFUERZOS ADMISIBLES DEL TERRENO

H (m)	4 Kg/cm ²	6 Kg/cm ²	8 Kg/cm ²
5	0.04	0.04	0.04
6	0.24	0.23	0.23
7	0.52	0.47	0.47
8	0.86	0.75	0.75
9	1.27	1.07	1.04
10	1.76	1.42	1.34
11	2.34	1.81	1.65
12	3.07	2.24	2.01

Datos

q =	2.00	Ton/m ²
μ =	0.45	
φ =	37	°
γ =	2.20	Ton/m ³
FSvolteo =	1.50	
FSdesliz =	1.50	
wadm =	Ver Tabla	
c =	3.0	Ton/m ²