MANUAL DE CALCULO ESTRUCTURAL EMMEDUE

(según el codigo ACI-318)

Hojas de cálculo:

1. *"Flex-rev01_spa";*
2. *"Muros";*
3. *"Flexo-compresión en el plano";*
4. *"Corte-rev02";*

Rev. 02 del 07/05/2015

EMMEDUE S.P.A.
Via Toniolo 39/BZ.I Bellocchi 6103 Fano (PU) Italy IT17W0103024303000000045857
www.mdue.it - info@mdue.it

Indice

1. INTRODUCCIÓN 3
2. METODO DE DISEÑO POR RESISTENCIA ULTIMA 4
3. HIPÓTESIS GENERALES DE COMPORTAMIENTO 5
4. FLEXIÓN 8
5. COMPRESIÓN 13
6. CORTE 20

EMMEDUE S.P.A.
Via Toniolo 39/BZ.I Bellocchi 6103 Fano (PU) Italy IT17W0103024303000000045857
www.mdue.it - info@mdue.it

1. INTRODUCCIÓN

Para el diseño de componentes estructurales conformados por paneles EMMEDUE, es necesario conocer el comportamiento que presentarán una vez se encuentren sometidos a distintas solicitaciones de cargas. Del registro de distintas pruebas de laboratorio se deducen las capacidades (resistencias) de elementos tales como muros, losas, vigas y conexiones típicas.

Dentro de la práctica profesional se encuentra adaptar los códigos de estructuras de concreto reforzado a la tecnología de paneles EMMEDUE, esto debido a la similitud del comportamiento observado en los resultados de ensayos de laboratorios y en la facilidad de aplicar las teorías de cálculo debido a que la tecnología EMMEDUE en esencia representa un panel reforzado típico (debido al uso de concreto y acero en las mallas de refuerzo).

Todos los componentes de un edificio pueden ser construidos con los paneles EMMEDUE. Este tipo de edificios se conciben como estructuras formadas por elementos verticales y horizontales que se constituyen al agruparse los paneles una vez en la obra.

La sucesión de paneles vinculados entre sí, materializa todos los planos de cerramiento de la construcción: paredes exteriores, muros interiores, losas de entrepiso o losas de cubierta de techo.

La proyección del micro concreto en capas sobre los paneles, convierte todos los cerramientos y losas, así como sus uniones en elementos rígidos y monolíticos. La estructura así lograda posee un altísimo grado de hiperestaticidad interna, a la par de una elevada ductilidad, por lo que su reserva de carga plástica es altamente significativa. Esta capacidad generalmente no se considera a la hora de evaluar las capacidades resistentes.

2. METODO DE DISEÑO POR RESISTENCIA ULTIMA

El método de diseño por resistencia última requiere que en cualquier sección la resistencia de diseño de un elemento sea mayor o igual que la resistencia requerida calculada mediante las combinaciones de cargas mayoradas especificadas en los reglamentos.

Resistencia de Diseño ≥ Resistencia Requerida

Dónde:

Resistencia de diseño = factor de reducción de la resistencia (Φ) × Resistencia Nominal

Φ = factor de reducción de la resistencia que toma en cuenta:

(1) la probabilidad de que la resistencia de un elemento sea menor que la supuesta debido a las variaciones en las resistencias de los materiales y sus dimensiones,

(2) las imprecisiones de las ecuaciones de diseño,

(3) el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida del elemento cargado,

(4) la importancia del elemento dentro de la estructura.

Resistencia Nominal = resistencia de un elemento o sección transversal calculada usando las hipótesis y ecuaciones de resistencia del “Método de diseño por resistencia”, antes de aplicar cualquier factor de reducción de la resistencia.

Resistencia Requerida = factores de carga × solicitaciones por cargas de servicio. La resistencia requerida se calcula de acuerdo con las combinaciones de cargas indicadas en los reglamentos.

3. HIPÓTESIS GENERALES DE COMPORTAMIENTO

El cálculo de la resistencia de un elemento o de una sección transversal mediante el "Método de diseño por resistencia" exige que se satisfagan dos condiciones básicas: equilibrio estático y compatibilidad de las deformaciones.

La primera condición exige que las fuerzas de compresión y tracción que actúan en la sección transversal para la resistencia última estén en equilibrio, mientras que la segunda condición exige que también se satisfaga la compatibilidad entre las deformaciones del shotcrete y de la armadura bajo condiciones últimas dentro de las hipótesis de diseño.

Desde el punto de vista racional y práctico, la determinación de las resistencias nominales en elementos estructurales con paneles EMMEDUE, pueden basarse en las hipótesis generales establecidas para secciones de concreto reforzado.

3.1 HIPÓTESIS DE DISEÑO NO.1

"Las deformaciones específicas en la armadura y en el shotcrete se deben suponer directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro".

En otras palabras, se asume que las secciones planas normales al eje de flexión permanecen planas luego de la flexión.

3.2 HIPÓTESIS DE DISEÑO NO.2

"La máxima deformación utilizable en la fibra comprimida extrema del shotcrete se asumirá igual $\varepsilon_{cu} = 0.003$*"*

En la figura No.1 se ilustra la adaptación de las hipótesis de diseño número 1 y 2 a elementos estructurales de paneles EMMEDUE.

EMMEDUE S.P.A.
Via Toniolo 39/BZ.I Bellocchi 6103 Fano (PU) Italy IT17W0103024303000000045857
www.mdue.it - info@mdue.it

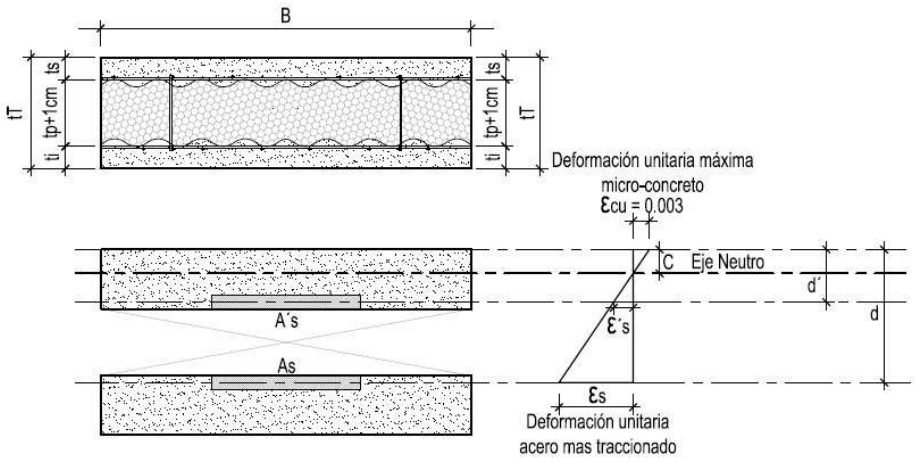


Fig. 1

3.3 HIPÓTESIS DE DISEÑO NO.3

"El esfuerzo en la armadura f_S por debajo del esfuerzo de fluencia, se tomará como E_S (módulo de elasticidad del acero) por la deformación específica del acero ε_S.

Para deformaciones específicas mayores que f_y/E_S, el esfuerzo en la armadura se considerará independiente de la deformación e igual a f_y".

La fuerza desarrollada en la armadura de tracción o de compresión es función de la deformación específica en la armadura ε_S, y se calcula de la siguiente manera:

Cuando $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ (deformación de fluencia): $f_s = E_s\,\varepsilon_s \;\rightarrow\; A_s\,f_s = A_s\,E_s\,\varepsilon_s$

Cuando $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ (deformación de fluencia): $f_s = E_s\,\varepsilon_s = f_y \;\rightarrow\; A_s\,f_y$

3.4 HIPÓTESIS DE DISEÑO NO.4

"En el diseño de los elementos de paneles EMMEDUE solicitados a flexión se deberá despreciar la resistencia a la tracción del shotcrete".

La resistencia a la tracción del shotcrete solicitado a flexión, conocida como módulo de rotura, es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión, y su valor es de aproximadamente 8% a 12% de la resistencia a la compresión.

3.5 HIPÓTESIS DE DISEÑO NO.5

"Se asumirá un esfuerzo en el shotcrete de 0,85 $f'c$ uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente limitada por los bordes de la sección transversal y una recta paralela al eje neutro ubicada a una distancia $a = \beta_1 \, c$ a partir de la fibra con máxima deformación específica de compresión. La distancia "c" entre la fibra con máxima deformación específica de compresión y el eje neutro se deberá medir en dirección perpendicular a dicho eje. El factor β_1 se deberá tomar igual a 0,85 para resistencias $f'c$ de hasta 27 MPa y se deberá disminuir de forma progresiva en 0,05 por cada 7 MPa de resistencia en exceso de 27 MPa, pero β_1 no se deberá tomar menor que 0,65".

4. FLEXIÓN

Se presenta el método general de cálculo para elementos estructurales de paneles EMMEDUE sometidos a flexión tipo viga o tipo losa. Esta flexión se genera en un plano perpendicular al plano del panel en estudio5. Se expone el caso para losas conformadas con panel simple.

Se aplican las hipótesis planteadas en secciones anteriores, aplicando el principio de las deformaciones compatibles. La imagen siguiente (fig. n.2) muestra la aplicación de las disposiciones para el cálculo de las fuerzas de tensión y compresión que genera la resistencia a flexión del elemento.

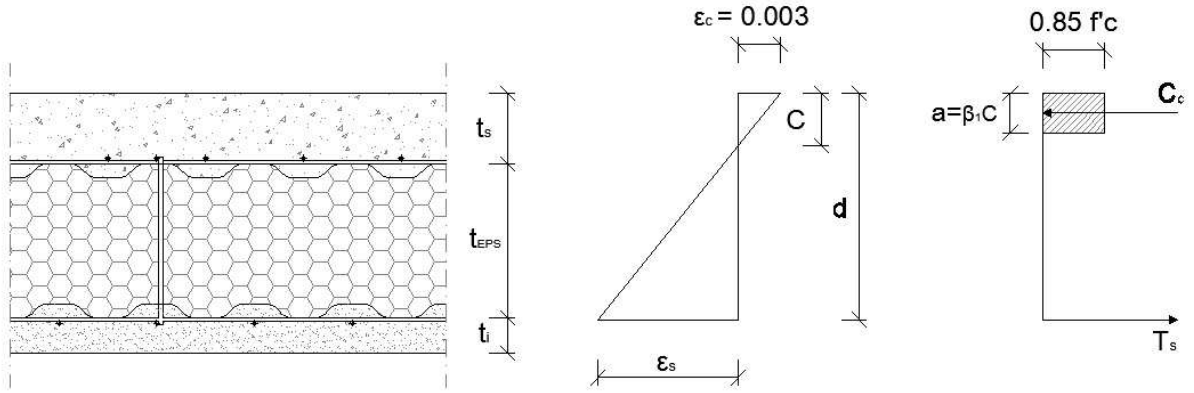


Fig. 2

4.1 Cálculo deformaciones unitarias

Se inicia considerando un valor arbitrario de "C" que representa la profundidad del eje neutro en la sección transversal. Por tanto, las deformaciones unitarias:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu}(d-C)}{C}$$

donde:

ε_{cu} = 0.003 deformación unitaria fibra extrema del concreto

ε_s deformación unitaria del acero de la malla inferior (traccionada)

d altura efectiva de la losa

C profundidad del eje neutro

t_s espesor de la capa superior de concreto

4.2 Esfuerzos de diseño en las mallas de acero

Si las deformaciones unitarias calculadas son mayores a la deformación de fluencia entonces los esfuerzos en el acero de refuerzo de las mallas serán:

$f_s = f_y$ if $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$

De lo contrario los esfuerzos en las mallas de acero se calcularan así:

$f_s = \varepsilon_s * E_s$

donde:

f_s = esfuerzo axial en el acero de la malla inferior

$\varepsilon_y = f_y/E_s$ deformación unitaria del acero de las mallas de los paneles

E_s = módulo de elasticidad del acero de las mallas de los paneles

4.3 Fuerzas de tensión y compresión

Una vez calculados los esfuerzos en las mallas de acero, se determinan las fuerzas de tensión en el acero de refuerzo superior e inferior, con las expresiones siguientes:

$$T_s = A_s * f_s$$

donde:

A_s = área de acero de la malla inferior en un ancho unitario de diseño

T_s = fuerza de tensión del acero de la malla superior

La fuerza de compresión resultante se calcula con la expresión siguiente:

$$C_c = 0{,}85 * f'_c * a * b$$

donde:

$a = \beta_1 * C$ profundidad del bloque de esfuerzo a compresión

β_1 = 0,85

b = ancho unitario de diseño

Las fuerzas resultantes de tensión y compresión deben estar en equilibrio, así que se debe cumplir que:

$$T_S = C_C$$

4.4 Momento nominal

Calculando el momento respecto al eje neutro en la sección transversal se obtiene la resistencia nominal a flexión:

$$M_n = A_s * f_y * (d - \frac{a}{2})$$

4.5 Resistencia última a flexión

Según el código ACI-318S-08, la resistencia nominal a flexión se debe multiplicar por un coeficiente que depende del valor de la deformación unitaria en el acero extremo a tracción.

$$\Phi M_n = \Phi\left\{A_s * f_y * (d - \frac{a}{2})\right\}$$

El valor de Φ se obtiene de la sección 9.3.2.2 del ACI-318S-08.

La imagen siguiente (fig.n.3) muestra los valores a utilizar según la sección esté controlada por tensión o por compresión.

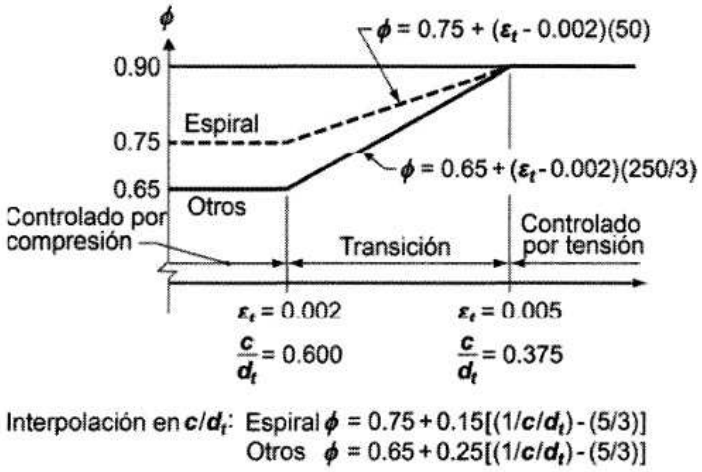


Fig. 3

Se utiliza la clasificación “otros” para determinar el valor de Φ correspondiente a las secciones estructurales con paneles EMMEDUE.

4.6 Condiciones para establecer la profundidad del eje neutro

Debido a que el módulo de elasticidad del poliestireno (E_{EPS}) es mucho menor que los módulos de elasticidad del concreto (E_c) y del acero (E_s), la relación modular "n" respecto a cada uno de ellos es demasiado pequeña, por tanto, resulta poco práctico utilizar una sección transformada para el poliestireno. Así que para efectos de estimar la resistencia a flexión se desprecia la contribución de la plancha de poliestireno.

Lo anterior establece que "C" debe estar obligado a un valor menor o igual que el espesor superior del concreto.

4.6 Ejemplo de calculo

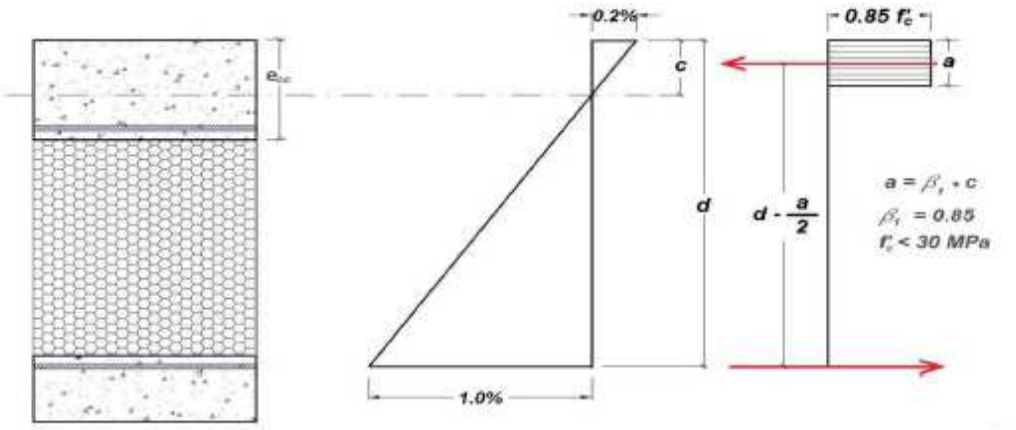
Para calcular la resistencia última a flexión de losas Emmedue es posible utilizar la hoja de calculo llamada "Flex-rev01" adjunta a continuación como un ejemplo:

Flexion

1) Cálculo del área de acero disponible en la malla (inferior) del panel

nr.long. =	20		(Cantidad de barras de acero en el lado longitudinal del panel)
B_{panel} =	120	cm	(Ancho del panel)
s =	6	cm	(Separación media entre las barras de acero longitudinales)
diam =	2,5	mm	(Diametro de la barra de acero)
r =	1,25	mm	(Radio de la barra de acero)
$A_{s(inf)}$ =	***0,818***	***cm²***	(Area del acero por metro lineal de ancho)

2) Cálculo de la profundidad del bloque rectangular equivalente



Panel :	PSS 120		
e_{EPS} =	12	cm	
e_{cc} =	5,5	cm	(Capa de compresion)
d =	19	cm	(Altura efectiva de la losa)
c =	3,17	cm	
a =	***2,69***	***cm***	

3) Cálculo del momento ultimo

$$\phi M_n = M_u = \phi A_{s(inf)} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

M_n			(Momento nominal)
$A_{s(inf)}$ =	0,818	cm²	
Panel :	PSS 120		
e_{EPS} =	12	cm	
e_{cc} =	5,5	cm	(Capa de compresion)
d =	19	cm	(Altura efectiva de la losa)
f_y =	6000	daN/cm²	(Esfuerzo de fluencia del acero)
Ø =	0,90		(Factor de reducción de resistencia)

$\phi M_n = M_u$ = 780 daNm/m

5. COMPRESIÓN

5.1 COMPRESIÓN CENTRADA EN ELEMENTOS CORTOS

Para el cálculo de la resistencia a compresión axial de elementos a base de paneles EMMEDUE se adoptan los requerimientos y principios básicos del ACI 318S-08(sección 10.2.71) el cual establece que el esfuerzo máximo soportado por el concreto o shotcrete será de 0.85 $f'C$. El código también establece (sección 10.3.6.2) que para miembros no pre-esforzados con refuerzo no helicoidal la resistencia de diseño se tomará igual a:

$$\Phi P_n = 0.80\Phi\left[0.85f'_c\left(A_g - A_s\right) + f_y A_s\right]$$

donde:

$\Phi P_n =$ resistencia a la compresión

$\Phi = 0.65$ factor de reducción de resistencia elementos controlados a compresión

$A_g =$ área de la sección transversal en la sección de diseño

$A_s =$ área de acero de las mallas de refuerzo en la sección de diseño

EMMEDUE S.P.A.
Via Toniolo 39/BZ.I Bellocchi 6103 Fano (PU) Italy IT17W0103024303000000045857
www.mdue.it - info@mdue.it

5.2 COMPRESIÓN CENTRADA EN ELEMENTOS ESBELTOS

Se considera un ancho unitario del muro para determinar la resistencia combinada a compresión y flexión. Se puede utilizar el método empírico de diseño propuesto en el código ACI-318S-08.La resistencia a compresión considerando una excentricidad de diseño de *e=h/6* queda expresada a través de la siguiente ecuación:

$$\Phi P_n = 0.55\,\Phi\, f'_c\, A_g \left[1 - \left(\frac{K\ l_c}{32\ t}\right)^2\right]$$

Donde:

0.55 = factor de excentricidad

Φ = 0.65 strength reduction factor

A_g = (t_s+t_i) 100 (cm^2) área total sección de diseño del muro

l = distancia vertical entre apoyos

h = t_s+$t_{i,}$ espesor total del muro

k = factor de longitud efectiva

Las imágenes siguientes muestran los valores típicos de factores K a utilizar en el análisis y diseño.

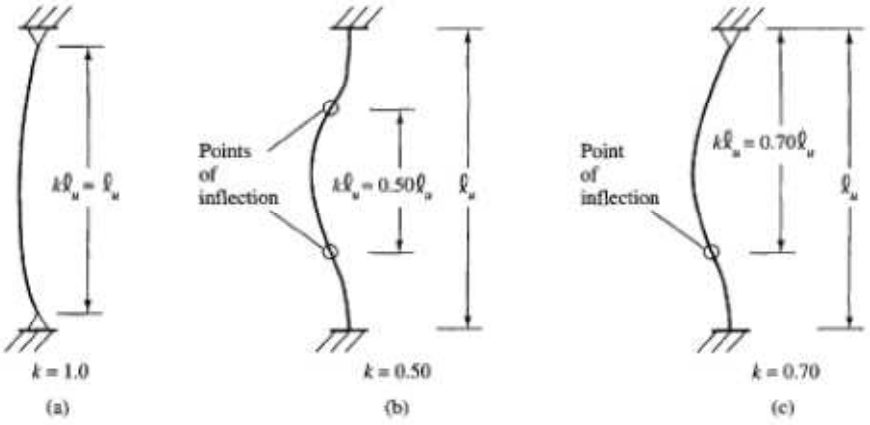


Fig. 4

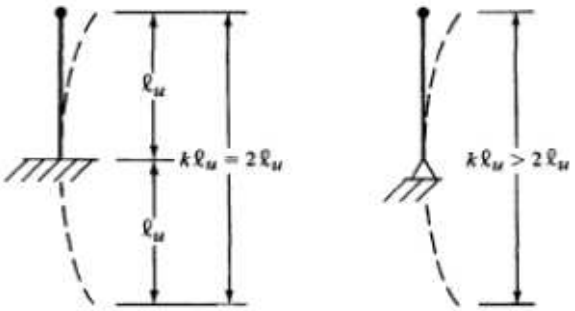


Fig. 5

Se recomienda una relacion de esbeltez **(H/t) ≤ 30**

donde:

H = altura del muro t = espesor total del muro

Para calcular la resistencia a compresion de diseño de paneles Emmedue, es posible utilizar la hoja de calculo llamada "Muros" adjunta a continuación como un ejemplo:

Elementos comprimidos

Compresion centrada en elementos cortos y esbeltos - Datos

t =	15	cm		(Espesor total del panel)
Panel :	PSM 80			
e_{EPS} =	8	cm		(Espesor EPS del panel)
h_m =	7	cm	$h_m = t - e_{EPS}$	(Espesor efectivo del mortero)
k =	1			(Factor de longitud efectiva)
l_c =	270	cm		(Altura del muro)
n^{ro} long. =	20			(Cantidad de aceros en el sentido longitudinal por panel)
B_{panel} =	120	cm		(Ancho del panel - para calcular la distancia del refuerzo)
s =	6	cm		(Separación promedio entre aceros longitudinales)
$diam$ =	2,5	mm		(Diametro de los aceros)
r =	1,25	mm		(Radio de los aceros)
A_s =	1,636	cm²	$As = 2\,(100/s)\ \pi\ r^2$	(Area del acero por metro lineal)
f_y =	6000	daN/cm²		(Esfuerzo de fluencia del acero)
f'_c =	250	daN/cm²		(Resistencia a compresion del mortero)
b =	100	cm		(Ancho del panel - para calcular la resistencia)
$\emptyset$ =	0,65			

Compresion centrada en elementos cortos

$$\Phi P_n = 0.80\Phi\left[0.85 f'_c\left(A_g - A_s\right) + f_y A_s\right]$$

A_g =	700	cm²	$A_c = b * h_m$	(Area de mortero)
n =	33,33		$n = b / s$	(Cantidad de aceros en la seccion)
A_s =	0,049	cm²	$As = \pi\ r^2$	(Area de un acero)

$\emptyset P_n$ =	82455 daN	(por metro linear)

Compresion centrada en elementos esbeltos

$$\Phi P_n = 0.55\,\Phi\, f'_c\, A_g\left[1 - \left(\frac{K\ l_c}{32\ t}\right)^2\right]$$

$\emptyset P_n$ =	42767 daN	(por metro linear)

5.3 FLEXOCOMPRESIÓN EN EL PLANO DEL MURO

Para evaluar la resistencia a flexocompresión en el plano del muro, es necesario realizar un análisis por deformaciones compatibles. Se puede considerar una ecuación simplificada que involucra las variables de análisis: acero de las mallas de refuerzo (área, separación, esfuerzo de fluencia), la carga axial que debe ser soportada y la resistencia última a compresión del shotcrete.

La resistencia a momento queda expresada a través de:

$$\Phi M_n = \Phi \left[\left(0.5\, A_{st}\, f_y\, l_w\right) \left(1 + \frac{P_u}{A_{st}\, f_y}\right) + \left(1 - \frac{c}{l_w}\right) \right]$$

donde:

$A_{st} = A_v\, l_w / s$ área total del refuerzo vertical del muro

$l_w =$ longitud horizontal del muro

$s =$ espaciamiento del refuerzo vertical del muro

$P_u =$ carga axial compresiva factorada

$\frac{c}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + \beta_1}$

β_1 = 0,85 dado que f'_c < 27 MPa

$\alpha = \frac{P_u}{l_w\, h\, f'_c}$

$h =$ t_s+t_i, espesor total del muro

$\Phi = 0.90$

Para calcular la resistencia a compresion de diseño de paneles Emmedue, es posible utilizar la hoja de calculo llamada “Flexocompresión en el plano” adjunta a continuación como un ejemplo:

Flexo-compresion en el plano del muro

t =	15	cm	(Espesor total del muro)
Panel =	PSM 80		
e_{EPS} =	8	cm	(Espesor EPS)
l_w =	100	cm	(Londitud del muro)
diam =	2,5	mm	(Diametro de la barra de acero)
A_v =	0,098	cm2	(Area de dos barras horizontales de acero de la malla)
nr. Long. =	20		(Cantidad de barras de acero en el lado longitudinal del panel)
B_{panel} =	120	cm	(Ancho del panel - para calcular la distancia del refuerzo)
s =	6	cm	(Separación media entre las barras de acero longitudinales)
A_{st} =	1,636	cm2	(Area total del refuerzo vertical del muro)
P_u =	10000	daN	(Carga axial compresiva factorada)
f_y =	6000	daN/cm^2	(Esfuerzo de fluencia del acero de las mallas)
$f'c$ =	250	daN/cm^2	(Resistencia ultima a la compresion del shotcrete)
w =	0,0561		
α =	0,0571		
h =	7	cm	(Espesor shotcrete)
β_1 =	0,85		(Coefficient para la altura de stress block - ACI 10.2.7.1-3)
c/l_w =	0,1357		
ϕ =	0,9		(Factor de reducción)

M_n =	8564	daNm
ϕM_n =	7708	daNm

EMMEDUE S.P.A.
Via Toniolo 39/BZ.I Bellocchi 6103 Fano (PU) Italy IT17W0103024303000000045857
www.mdue.it - info@mdue.it

6. CORTE

Se adaptan las disposiciones establecidas en el código ACI-318S-08 para el diseño de muros de cortante.

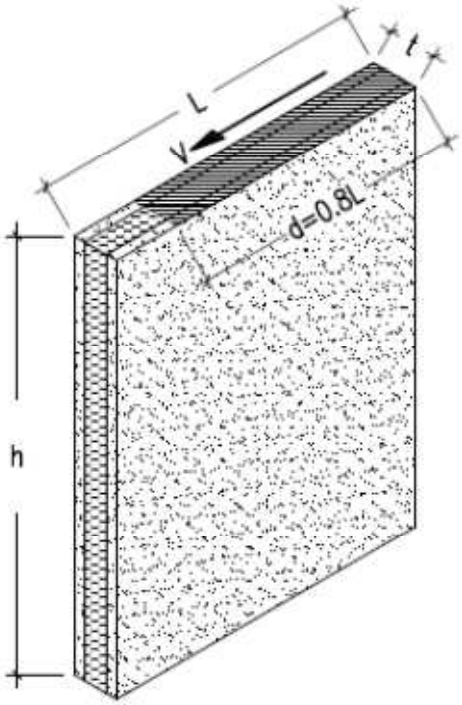


Fig. 6

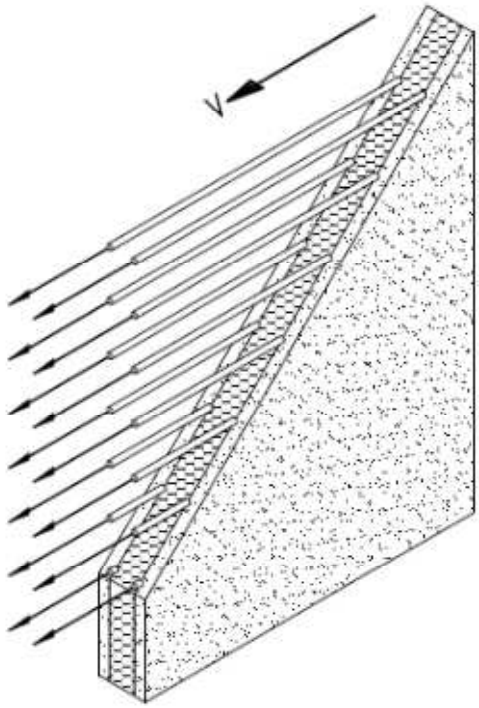


Fig. 7

Figure n. 6 ilustra las variables para el cálculo de la resistencia al corte.

In Figure n.7 ilustra la distribución propuesta del cortante en las varillas de acero horizontales de las mallas de refuerzo del panel EMMEDUE.

La resistencia a fuerza cortante es:

$$\Phi V_n = \Phi V_c + \Phi V_s$$

donde:

$V_c =$ resistencia al corte del shotcrete

$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d$; en sistema SI (MPa)

$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$; en sistema mks (Kgf/cm^2)

$V_c = 2\sqrt{f'_c} b_w d$; en sistema ingles (psi)

$f'_c =$ resistencia ultima a la compresion del shotcrete

$t =$ espesor del shotcrete

$d = 0.8\ l$

$$V_s = \frac{A_{vh}\ f_y\ d}{s_v}$$

$V_s =$ resistencia al corte del acero

$A_{vh} =$ área de dos varillas horizontales de la malla de refuerzo

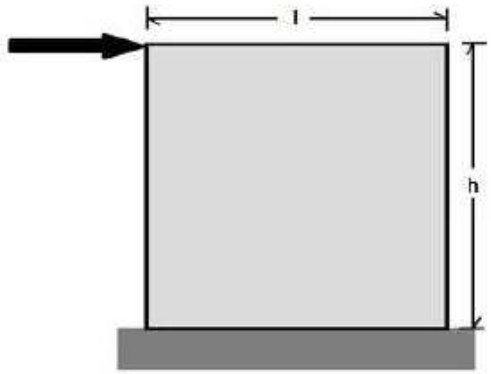
$f_y =$ esfuerzo de fluencia del acero de las mallas

$S_v =$ distancia de separación vertical del acero horizontal

$\Phi = 0.75$ factor de reducción de resistencia al cortante

Para calcular la resistencia a compresion de diseño de paneles Emmedue, es posible utilizar la hoja de calculo llamada "Corte-rev02" adjunta a continuación como un ejemplo:

Corte



$$V_n = V_c + V_s$$

Sistema SI esfuerzos en MPa	*Sistema mks esfuerzos en kgf/cm²*	*Sistema Ingles esfuerzos en libras por pulgada cuadrada (psi)*
$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d$	$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}\, b_w d$	$V_c = 2\sqrt{f'_c}\, b_w d$

$$V_s = A_v / s \; f_{yt} \; d$$

Where:	V_c =	Resistencia nominal del cortante del mortero		
	Rck =	Resistencia cubica compresion del mortero	*Rck* =	250
	f'_c =	Resistencia cilindrica compresion del mortero	f'_c =	207,5
	l =	Longitud pared	l =	100,00
	d =	0,8 * l	*d* =	80,00
	b_w =	Espesor del mortero	b_w =	7,00
	V_s =	Resistencia nominal del cortante del acero		
	diam =	Diametro del acero	*diam* =	2,5
	A_{vh} =	Area del refuerzo del cortante	A_v =	0,098175
	S_v =	Separacion entre refuerzos	*s* =	7,00
	f_{yt} =	Resistencia especifica a la fluencia fy	f_{yt} =	6000
	Φ =	Factor de reduccion	Φ =	0,75

$$V_n = 11007 \text{ daN}$$

$$\Phi V_n = 8256 \text{ daN}$$