

Características de la sección de concreto armado	
L AB	6 m
L BC	8 m
Ancho tributario (B)	5 m
Ancho de la viga (b)	0.3 m
Peralte efectivo (d)	0.44 m
Altura de la viga (h=df)	0.5 m
f <sub>c</sub>	285.521 kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub>	255150.2 kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub>	4282.8 kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub>	2000000 kg/cm <sup>2</sup>

$$\begin{aligned}\epsilon_c &= 0.0011 \\ A_{s1} &= 6 \text{ cm}^2 \\ MDL &= 349762.66 \text{ kg.cm} \\ 10870.1 \\ 53469.8 & 64339.92132 \\ 64339.9 \\ 0.000827777\end{aligned}$$

Propiedades del sistema FRP a usar: Carbono 1	
Espesor por capa (tf)	0.1 cm
Resistencia ultima a la tensión *f fu	10054.4 kg/cm <sup>2</sup>
Deformación de rotura *ε fu	0.01
Modulo elástico laminado Ef	976888.1 kg/cm <sup>2</sup>

$$0.007$$

Zona	Momento
M. Dead (MDL)	24.5 kN-m
M. LIVE (MLL)	39.3 kN-m
Incremento de M. Dead	9.8 kN-m
Incremento de M. Live	9.8 kN-m
Servicio	83.4 kN-m
Límite sin refuerzo	74.555 kN-m
Carga ultima proyectada	119.72 kN-m
Momento resistente sin FRP	67.10 kN-m
Deficit de resistencia	52.62 kN-m

### 1. Cálculo de las propiedades de diseño del sistema FRP

$$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu}^*$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \cdot \epsilon_{fu}^*$$

$$\begin{aligned}CE &= 0.95 \\ f_{fu} &= 9551.68 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{fu} &= 0.0095 \text{ cm/cm}\end{aligned}$$

### 2. Calculos preliminares

#### Propiedades del concreto

$$\beta_1, \text{ según ACI 318-08.}$$

$$\beta_1 = 1.05 - 0.05 f_c^* / 70$$

$$E_c = 15,100 \sqrt{f_c}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 0.846056429 \\ E_c &= 255150 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

#### Propiedades del acero

$$\rho = A_s / b d$$

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 (f_c^* / f_y) (E_s \epsilon_c / E_s \epsilon_c + f_y)$$

$$\begin{aligned}g &= 0.0045 \\ g_b &= 0.016\end{aligned}$$

#### Propiedades del sistema FRP

$$A_f = n_f t_f b_f$$

$$\rho_f = A_f / b \cdot d$$

$$\begin{aligned}n_f &= 1 \\ b_f &= 30 \text{ cm} \\ A_f &= 3 \text{ cm}^2 \\ g_f &= 0.0023\end{aligned}$$

### 3. Determinar el estado de deformación existente en la superficie

$$\epsilon_{bi} = M_{DL} (d_f - K d) / I_{cr} E_c$$

Relacion de módulos

Cuántia de acero

Inercia agrietada

$$\begin{aligned}n &= 7.84 \\ g &= 0.0045 \\ k &= 0.23 \\ I_{cr} &= 64340 \text{ cm}^4 \\ \epsilon_{bi} &= 0.0008\end{aligned}$$

### 4. Determinar la deformación de diseño del FRP

$$\epsilon_{fd} = 0.132 \sqrt{f_c^* / (n E_f t_f)} \leq 0.9 \epsilon_{fu}$$

nf

Deformación de diseño  
FRP

$$\epsilon_{fd} = 0.0071$$

### 5. Estimar la altura del bloque de compresión c

Proceso iterativo: Comprobar con paso 6 al 9

$$c = 8.6617 \text{ cm}$$

**6. Determinar el nivel de deformación en FRP**

$\varepsilon_{fe} = 0.003(d_t - c)/c - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$	Suponiendo falla concreto	$\varepsilon_{fe} =$	0.0143
$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd}$	Suponiendo falla FRP	$\varepsilon_{fe} =$	0.0071
Si controla el FRP, $E_c$ debe calcularse	Entonces:	$\varepsilon_{fe} =$	0.0071
$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) c / (d_t - c)$ (falla FRP)	Luego:	$\varepsilon_c =$	0.0017

**7. Cálculo de la deformación en el acero de refuerzo****Falla FRP:**

$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) (d - c) / (d_t - c)$	Deformación en el acero durante la falla	$\varepsilon_s =$	0.0080
$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$	Nivel de esfuerzos	$f_s =$	16082 kg/cm <sup>2</sup> <= 4200 kg/cm <sup>2</sup>
$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$		$f_{fe} =$	6971 kg/cm <sup>2</sup>

**8. Cálculo de las características esfuerzo - deformación del concreto**

$\varepsilon'_c = 1.7 f'_c / E_c$	Deformación a $f'_c$	$\varepsilon'_c =$	0.0019
$\beta_1 = (4\varepsilon'_c - \varepsilon_c) / (6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c)$	Factores del concreto	$\beta_1 =$	0.74
$\alpha_1 = (3\varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2) / (3\beta_1 \varepsilon'^2_c)$		$\alpha_1 =$	0.84

**9. Cálculo de fuerzas internas y chequear el equilibrio interno de cargas**

$C_c = \alpha_1 f'_c \beta_1 c b$	Concreto	$C_c =$	46114 kg
$T_s = A_s \cdot f_s$	Acero	$T_s =$	25200 kg
$T_f = A_f \cdot f_{fe}$	Fibras FRP	$T_f =$	20914 kg
SUMATORIA			0
(Debe ser cero)			

**10. Calcular las contribuciones a la resistencia por flexión**

$Mn_s = A_s f_s (d - \beta_1 c / 2)$	Contribución del acero	$Mn_s =$	10.29 tn-m
$Mn_f = A_f f_{fe} (d_t - \beta_1 c / 2)$	Contribución del FRP	$Mn_f =$	9.79 tn-m

**11. Cálculo de la resistencia a la flexión de la sección**

Selección del factor de reducción

**Para  $\varepsilon_s \geq 0.005$** 

$$\Phi = 0.90$$

**Para  $\varepsilon_s < 0.005$** 

$$\Phi = 0.65 + 0.25 (\varepsilon_s - \varepsilon_y) / (0.005 - \varepsilon_y)$$

**Para  $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$** 

$$\Phi = 0.65$$

$$\Phi = 0.9$$

$$\psi_f = 0.85$$

$$\Phi Mn = 16.7 \text{ t-m}$$

**Respuesta:** Usar 1 capa de 30 cmSelección del factor  $\psi_f$ 

$$\psi_f = 0.85$$

$$\Phi Mn = \Phi (Mn_s + \psi_f Mn_f) :$$

Características de la sección de concreto armado	
L AB	6 m
L BC	8 m
Ancho tributario (B)	5 m
Ancho de la viga (b)	0.3 m
Peralte efectivo (d)	0.44 m
Altura de la viga (h=df)	0.5 m
f'c	214.14 kg/cm2
Ec	220966.2 kg/cm2
fy	4282.8 kg/cm2
Es	2000000 kg/cm2

$$\begin{aligned}\epsilon_c &= 0.0010 \\ A_s1 &= 11.36 \text{ cm}^2 \\ MDL &= 599593.13 \text{ kg.cm} \\ 29085.7989 \\ 90853.4382 & 119939.2372 \\ 119939.237 \\ 0.000827777\end{aligned}$$

Propiedades del sistema FRP a usar: Carbono 1	
Espesor por capa (tf)	0.1 cm
Resistencia ultima a la tensión *f fu	10054.4 kg/cm2
Deformación de rotura *ε fu	0.01
Modulo elástico laminado Ef	976888.1 kg/cm2

$$0.007$$

Zona	Momento
M. Dead (MDL)	24.5 kN-m
M. LIVE (MLL)	39.3 kN-m
Incremento de M. Dead	34.3 kN-m
Incremento de M. Live	39.2 kN-m
Servicio	137.3 kN-m
Limite sin refuerzo	123.555 kN-m
Carga ultima proyectada	196.16 kN-m
Momento resistente sin FRP	111.20 kN-m
Deficit de resistencia	84.96 kN-m

### 1. Cálculo de las propiedades de diseño del sistema FRP

$$\begin{aligned}f_{fu} &= C_E \cdot f_{fu}^* \\ \epsilon_{fu} &= C_E \cdot \epsilon_{fu}^* \\ CE &= 0.95 \\ f_{fu} &= 9551.68 \text{ kg/cm}^2 \\ \epsilon_{fu} &= 0.0095 \text{ cm/cm}\end{aligned}$$

### 2. Calculos preliminares

#### Propiedades del concreto

$$\begin{aligned}\beta_1, \text{ según ACI 318-08.} \\ \beta_1 &= 1.05 - 0.05 f'_c / 70 \\ Ec &= 15,100 \sqrt{f'_c} \\ \beta &= 0.897042857 \\ Ec &= 220966 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

#### Propiedades del acero

$$\begin{aligned}\rho &= A_s / b d \\ \rho_b &= 0.85 \beta_1 (f'_c / f_y) (E_s \epsilon_c / E_s \epsilon_c + f_y) \\ \rho &= 0.0086 \\ \rho_b &= 0.012\end{aligned}$$

#### Propiedades del sistema FRP

$$\begin{aligned}A_f &= n_f t_f b_f \\ \rho_f &= A_f / b \cdot d \\ n_f &= 2 \\ b_f &= 30 \text{ cm} \\ A_f &= 6 \text{ cm}^2 \\ \rho_f &= 0.0045\end{aligned}$$

### 3. Determinar el estado de deformación existente en la superficie

$$\begin{aligned}\epsilon_{bi} &= M_{DL} (d_f - K d) / I_{cr} E_c \\ \text{Relacion de módulos} & n = 9.05 \\ \text{Cuantia de acero} & \rho = 0.0086 \\ \text{Inercia agrietada} & I_{cr} = 119939 \text{ cm}^4 \\ \epsilon_{bi} &= 0.0008\end{aligned}$$

### 4. Determinar la deformación de diseño del FRP

$$\begin{aligned}\epsilon_{fd} &= 0.132 \sqrt{(f'_c / (n E_f t_f))} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \\ \text{Deformación de diseño} & \epsilon_{fd} = 0.0044 \\ \text{FRP} & n_f\end{aligned}$$

### 5. Estimar la altura del bloque de compresión c

$$\begin{aligned}\text{Proceso iterativo: Comprobar con paso 6 al 9} \\ c &= 21.0792 \text{ cm}\end{aligned}$$

#### 6. Determinar el nivel de deformación en FRP

$\varepsilon_{fe} = 0.003(d_t - c)/c - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$	Suponiendo falla concreto	$\varepsilon_{fe} =$	0.0041
$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd}$	Suponiendo falla FRP	$\varepsilon_{fe} =$	0.0044
Si controla el FRP, $\varepsilon_c$ debe calcularse	Entonces:	$\varepsilon_{fe} =$	0.0044
$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) c / (d_t - c)$ (falla FRP)	Luego:	$\varepsilon_c =$	0.0038

#### 7. Cálculo de la deformación en el acero de refuerzo

##### Falla FRP:

$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) (d - c) / (d_t - c)$	Deformación en el acero durante la falla	$\varepsilon_s =$	0.0052
$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$	Nivel de esfuerzos	$f_s =$	10387 kg/cm <sup>2</sup> <= 4200 kg/cm <sup>2</sup>
$f_{fe} = E_t \varepsilon_{fe}$		$f_{fe} =$	4269 kg/cm <sup>2</sup>

#### 8. Cálculo de las características esfuerzo - deformación del concreto

$\varepsilon'_c = 1.7 f'_c / E_c$	Deformación a $f'_c$	$\varepsilon'_c =$	0.0016
$\beta_1 = (4\varepsilon'_c - \varepsilon_c) / (6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c)$	Factores del concreto		
$\alpha_1 = (3\varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2) / (3\beta_1 \varepsilon_c^2)$		$\beta_1 =$	1.21
		$\alpha_1 =$	0.45

#### 9. Cálculo de fuerzas internas y chequear el equilibrio interno de cargas

$Cc = \alpha_1 f'_c \beta_1 c b$	Concreto	$Cc =$	73326 kg
$Ts = A_s f_s$	Acero	$Ts =$	47712 kg
$T_f = A_f f_{fe}$	Fibras FRP	$T_f =$	25614 kg
SUMATORIA			0
(Debe ser cero)			

#### 10. Calcular las contribuciones a la resistencia por flexión

$Mn_s = A_s f_s (d - \beta_1 c / 2)$	Contribución del acero	$Mn_s =$	14.93 tn-m
$Mn_f = A_f f_{fe} (d_t - \beta_1 c / 2)$	Contribución del FRP	$Mn_f =$	9.55 tn-m

#### 11. Cálculo de la resistencia a la flexión de la sección

Selección del factor de reducción

Para  $\varepsilon_s \geq 0.005$

$$\Phi = 0.90$$

Para  $\varepsilon_y < \varepsilon_s < 0.005$

$$\Phi = 0.65 + 0.25 (\varepsilon_s - \varepsilon_y) / (0.005 - \varepsilon_y)$$

Para  $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$

$$\Phi = 0.65$$

$\Phi =$	0.9
$\psi_f =$	0.85
$\Phi Mn =$	20.7 t-m

**Respuesta:** Usar 2 capa de 30 cm

Selección del factor  $\psi_f$

$$\psi_f = 0.85$$

$$\Phi Mn = \Phi (Mn_s + \psi_f Mn_f) :$$

## 1er CASO

### FIBRA DE CARBONO 2

```
In [ ]: from sympy import *

# Datos Generales (CARBONO 2)

b = .3 # m
h = .5 # m
hef = h - 0.08 # m
dsup = 0.08 # m
Lab = 6 # m
Lbc = 8 # m

# Concreto
fc = 280 # kg/cm2
Ec = 15100 * (fc) ** .5 # kg/cm2
ecu = 0.003 # Deformacion ultima del concreto
fy = 4200 # kg/cm2
Es = 2 * 10 ** 6 # kg/cm2
esu = 0.0021 # Deformacion ultima del acero
nrm = Es / Ec
# FRP : Son brindados por el fabricante Ojo !
ffu = 31000 # kg/cm2 : Tension de ruptura del FRP
efu = 0.017 # Deformacion de ruptura del FRP
Efrp = 1650000 # kgf/cm2 Modulo de elasticidad del FRP
tf = .0012 # m : Espesor de La Lamina de FRP
nrmfrp = Efrp / Ec

wd = .500 # kgf/m2 : Carga Muerta de La Viga
sco = .250 # kgf/m2 : Sobrecarga de uso de La Viga (Inicial)
scn = .650 # kgf/m2 : Sobrecarga de uso de La Viga (Nueva)
anch_t = 5 # m : Ancho Tributario

Mwd1 = [-3.5] # 1er Paño : Carga Muerta
Mcs = [-8.5] # 1er Paño : Cargas de Servicio

n = 3
diam = 5 / 8 # pulg
Adiam1 = pi * (diam * 2.54) ** 2 / 4 # cm2
As11 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
n = 0
diam = 3 / 4 # pulg
As12 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
rho1 = As11 / (b * hef) # Cuantia de Refuerzo
w = rho1 * fy / fc
phi = 0.9 # Coeficiente de Reduccion para Flexion
phiMn1 = phi * (b * hef ** 2 * w * fc * 10 * (1 - 0.59 * w)) # tnf-m
print("phiMn1=", round(phiMn1, 2), "tnf-m")

CE = 0.95
```

```

ffuef = CE * ffu
efuef = CE * efu
print("ffuef=", round(ffuef, 2), "kg/cm2")
print("efuef=", round(efuef, 2))

beta1 = 0.85
rhob = 0.85 * fc * beta1 / fy * (6117 / (fy + 6117)) # Segun Teodoro Harmsen es La Cuantia Balanceada
print("rhob=", round(rhob, 5))

nf = 1 # Numero de Capas de FRP
bf = .25 # m : Ancho de La Lamina de FRP
Af = nf * bf * tf # m2 : Area de FRP
rhof = Af / (b * hef) # Cuantia de FRP
print('Af =', round(Af, 4), 'm2')
print('rhof =', round(rhof, 4))

k = -rho1 * nrm + sqrt((rho1 * nrm) ** 2 + 2 * rho1 * nrm)
Icr = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2
print('k =', round(k, 2))
print("Icr=", round(Icr, 5), "m4")

df = h + tf / 2 # m : Distancia al centroide de La fibra
ebi = -Mwdl[0] * (df - k * hef) / (Icr * Ec * 10) # m : Deformacion por Flexion
print("ebi=", round(ebi, 5))

efd = .41 * (fc / (nrm * Efrp * tf * 100)) ** .5
if efd < 0.9 * efuef:
    print('efd < 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '<', round(0.9 * efuef, 5))
    print('OK')
else:
    print('efd > 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '>', round(0.9 * efuef, 5))
    print('NO OK')

c = 0.10089 # m : Distancia del eje neutro

# Suponemos falla del concreto, entonces ecu=0.003
efe = ecu * (df - c) / c - ebi
if efe > efd:
    print('efe > efd', '::~', round(efe, 5), '>', round(efd, 5))
    print('El concreto aun no ha fallado')
    efe = efd
    ec = (efe + ebi) * c / (df - c)
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
else:
    print('efe < efd', '::~', round(efe, 5), '<', round(efd, 5))
    print('El concreto ha fallado')
    ec = ecu
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
es = (efe + ebi) * (hef - c) / (df - c)
if es > esu:
    print('es > esu', '::~', round(es, 5), '>', round(esu, 5))
    print('El acero ha fallado')
    print('fs=fy')
    fs = fy * 10
ffe = Efrp * 10 * efe

```

```

if ffe > ffuef * 10:
    print('ffe > ffuef', '::', round(ffe, 2), '>', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP ha fallado')
    print('ffe=ffuef')
    ffe = ffuef
else:
    print('ffe < ffuef', '::', round(ffe, 2), '<', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP aun no ha fallado')
ecef = 1.7 * fc / Ec
beta1 = (4 * ecef - ec) / (6 * ecef - 2 * ec)
alpha1 = (3 * ecef * ec - ec ** 2) / (3 * beta1 * ecef ** 2)
print('ecef =', round(ecef, 5))
print('beta1 =', round(beta1, 4))
print('alpha1 =', round(alpha1, 4))
cc = alpha1 * fc * 10 * beta1 * c * b
Ts = As11 * fs
Tf = Af * ffe
print('cc =', round(cc, 2), 'tnf')
print('Ts =', round(Ts, 2), 'tnf')
print('Tf =', round(Tf, 2), 'tnf')
print('Error =', round(cc - (Ts + Tf), 5), 'tnf')

print('c =', round(c, 8))

Mns = As11 * fs * (hef - beta1 * c / 2)
Mnf = Af * ffe * (df - beta1 * c / 2)

print('Mns =', round(Mns, 2), 'tnf-m')
print('Mnf =', round(Mnf, 2), 'tnf-m')

if es > 0.005:
    phi = 0.9
else:
    phi = 0.65 + 0.25 * (es - esu) / (0.005 - esu)
sif = 0.85
phiMn = phi * (Mns + sif * Mnf)
print('phiMn =', round(phiMn, 2), 'tnf-m')

Icrn = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2 + nrm * As12 * (k * hef - dsup) ** 2 + nrmfrp * Af * (
    df - k * hef) ** 2
print('Icrn =', round(Icrn, 5), 'm4')

fss = nrm * -Mcs[0] * (hef - k * hef) / Icrn
ffs = nrmfrp * -Mcs[0] * (df - k * hef) / Icrn - ebi * Efrp * 10
print('fss =', round(fss, 2), 'tnf/m2')
print('ffs =', round(ffs, 2), 'tnf/m2')

if fss / (fy * 10) < .8:
    print('fss/fy < 0.8', '::', round(fss / (fy * 10), 2), '<', .8)
    print('OK')
else:
    print('fss/fy > 0.8', '::', round(fss / (fy * 10), 2), '>', .8)
    print('NO OK')

if ffs / (ffuef * 10) < .55:

```

```
    print('ffs/ffuef < 0.55', '::', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '<', .55)
    print('OK')
else:
    print('ffs/ffuef > 0.55', '::', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '>', .55)
    print('NO OK')

fcs = -Mcs[0] * k * hef / Icrn
print('fcs =', round(fcs, 2), 'tnf/m2')

if fcs / (fc * 10) < .45:
    print('fcs/fc < 0.45', '::', round(fcs / (fc * 10), 2), '<', .45)
    print('OK')
else:
    print('fcs/fc > 0.45', '::', round(fcs / (fc * 10), 2), '>', .45)
    print('NO OK')

print('-----')
```



```

phiMn1= 9.03 tnf-m
ffuef= 29450.0 kg/cm2
efuef= 0.02
rhob= 0.02856
Af = 0.0003 m2
rhof = 0.0024
k = 0.24
Icr= 0.00058 m4
ebi= 0.00095
efd < 0.9*efuef :: 0.00548 < 0.01454
OK
efe > efd :: 0.01093 > 0.00548
El concreto aun no ha fallado
El valor ec = 0.00162 :: efe=efd
es > esu :: 0.00514 > 0.0021
El acero ha fallado
fs=fy
ffe < ffuef :: 90422.64 < 294500.0
El FRP aun no ha fallado
ecef = 0.00188
beta1 = 0.7339
alpha1 = 0.8372
cc = 52.07 tnf
Ts = 24.94 tnf
Tf = 27.13 tnf
Error = -4.e-5 tnf
c = 0.10089
Mns = 9.55 tnf-m
Mnf = 12.58 tnf-m
phiMn = 18.22 tnf-m
Icrn = 0.00090 m4
fss = 24033.49 tnf/m2
ffs = 9077.06 tnf/m2
fss/fy < 0.8 :: 0.57 < 0.8
OK
ffs/ffuef < 0.55 :: 0.03 < 0.55
OK
fcs = 950.29 tnf/m2
fcs/fc < 0.45 :: 0.34 < 0.45
OK

```

### **FIBRA DE VIDRIO**

```

In [ ]: from sympy import *

# Datos Generales (VIDRIO)

b = .3 # m
h = .5 # m
hef = h - 0.08 # m
dsup = 0.08 # m

# Concreto

```

```

fc = 280 # kg/cm2
Ec = 15100 * (fc) ** .5 # kg/cm2
ecu = 0.003 # Deformacion ultima del concreto
fy = 4200 # kg/cm2
Es = 2 * 10 ** 6 # kg/cm2
esu = 0.0021 # Deformacion ultima del acero
nrm = Es / Ec
# FRP : Son brindados por el fabricante Ojo !
ffu = 5750 # kg/cm2 : Tension de ruptura del FRP
efu = 0.022 # Deformacion de ruptura del FRP
Efrp = 26.1 * 10 ** 4 # kgf/cm2 Modulo de elasticidad del FRP
tf = .0013 # m : Espesor de La lamina de FRP
nrmfrp = Efrp / Ec

Mwdl = [-3.5] # 1er Paño : Carga Muerta
Mcs = [-8.5] # 1er Paño : Cargas de Servicio

n = 3
diam = 5 / 8 # pulg
Adiam1 = pi * (diam * 2.54) ** 2 / 4 # cm2
As11 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
n = 0
diam = 3 / 4 # pulg
As12 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
rho1 = As11 / (b * hef) # Cuantia de Refuerzo
w = rho1 * fy / fc
phi = 0.9 # Coeficiente de Reduccion para Flexion
phiMn1 = phi * (b * hef ** 2 * w * fc * 10 * (1 - 0.59 * w)) # tnf-m
print("phiMn1=", round(phiMn1, 2), "tnf-m")

CE = 0.75
ffuef = CE * ffu
efuef = CE * efu
print("ffuef=", round(ffuef, 2), "kg/cm2")
print("efuef=", round(efuef, 2))

beta1 = 0.85
rhob = 0.85 * fc * beta1 / fy * (6117 / (fy + 6117)) # Segun Teodoro Harmsen es La Cuantia Balanceada
print("rhob=", round(rhob, 5))

nf = 2 # Numero de Capas de FRP
bf = .25 # m : Ancho de La Lamina de FRP
Af = nf * bf * tf # m2 : Area de FRP
rhof = Af / (b * hef) # Cuantia de FRP
print('Af =', round(Af, 4), 'm2')
print('rhof =', round(rhof, 4))

k = -rho1 * nrm + sqrt((rho1 * nrm) ** 2 + 2 * rho1 * nrm)
Icr = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2
print('k =', round(k, 2))
print("Icr=", round(Icr, 5), "m4")

df = h + tf / 2 # m : Distancia al centroide de La fibra
ebi = -Mwdl[0] * (df - k * hef) / (Icr * Ec * 10) # m : Deformacion por Flexion
print("ebi=", round(ebi, 5))

```

```

efd = .41 * (fc / (nrm * Efrp * tf * 100)) ** .5
if efd < 0.9 * efuef:
    print('efd < 0.9*efuef', '::', round(efd, 5), '<', round(0.9 * efuef, 5))
    print('OK')
else:
    print('efd > 0.9*efuef', '::', round(efd, 5), '>', round(0.9 * efuef, 5))
    print('NO OK')

c = 0.0760103 # m : Distancia del eje neutro

# Suponemos falla del concreto, entonces ecu=0.003 ## Parece ser una suposicion Obligatoria !!
efe = ecu * (df - c) / c - ebi
if efe > efd:
    print('efe > efd', '::', round(efe, 5), '>', round(efd, 5))
    print('El concreto aun no ha fallado')
    efe = efd
    ec = (efe + ebi) * c / (df - c)
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::', 'efe=efd')
else:
    print('efe < efd', '::', round(efe, 5), '<', round(efd, 5))
    print('El concreto ha fallado')
    ec = ecu
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::', 'efe=efd')
es = (efe + ebi) * (hef - c) / (df - c)
if es > esu:
    print('es > esu', '::', round(es, 5), '>', round(esu, 5))
    print('El acero ha fallado')
    print('fs=fy')
    fs = fy * 10
else:
    print('es < esu', '::', round(es, 5), '<', round(esu, 5))
    print('El acero no ha fallado')
    print('fs=Es*es')
    fs = (Es * es) * 10
ffe = Efrp * 10 * efe
if ffe > ffuef * 10:
    print('ffe > ffuef', '::', round(ffe, 2), '>', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP ha fallado')
    print('ffe=ffuef')
    ffe = ffuef
else:
    print('ffe < ffuef', '::', round(ffe, 2), '<', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP aun no ha fallado')
ecef = 1.7 * fc / Ec
beta1 = (4 * ecef - ec) / (6 * ecef - 2 * ec)
alpha1 = (3 * ecef * ec - ec ** 2) / (3 * beta1 * ecef ** 2)
print('ecef =', round(ecef, 5))
print('beta1 =', round(beta1, 4))
print('alpha1 =', round(alpha1, 4))
cc = alpha1 * fc * 10 * beta1 * c * b
Ts = As11 * fs
Tf = Af * ffe
print('cc =', round(cc, 2), 'tnf')
print('Ts =', round(Ts, 2), 'tnf')

```

```

print('Tf =', round(Tf, 2), 'tnf')
print('Error =', round(cc - (Ts + Tf), 5), 'tnf')

print('c =', round(c, 8))

Mns = As11 * fs * (hef - beta1 * c / 2)
Mnf = Af * ffe * (df - beta1 * c / 2)

print('Mns =', round(Mns, 2), 'tnf-m')
print('Mnf =', round(Mnf, 2), 'tnf-m')

if es > 0.005:
    phi = 0.9
else:
    phi = 0.65 + 0.25 * (es - esu) / (0.005 - esu)
sif = 0.85
phiMn = phi * (Mns + sif * Mnf)
print('phiMn =', round(phiMn, 2), 'tnf-m')

Icrn = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2 + nrm * As12 * (k * hef - dsup) ** 2 + nrmfrp * Af * (
    df - k * hef) ** 2
print('Icrn =', round(Icrn, 5), 'm4')

fss = nrm * -Mcs[0] * (hef - k * hef) / Icrn
ffs = nrmfrp * -Mcs[0] * (df - k * hef) / Icrn - ebi * Efrp * 10
print('fss =', round(fss, 2), 'tnf/m2')
print('ffs =', round(ffs, 2), 'tnf/m2')

if fss / (fy * 10) < .8:
    print('fss/fy < 0.8', '::. ', round(fss / (fy * 10), 2), '<', .8)
    print('OK')
else:
    print('fss/fy > 0.8', '::. ', round(fss / (fy * 10), 2), '>', .8)
    print('NO OK')

if ffs / (ffuef * 10) < .55:
    print('ffs/ffuef < 0.55', '::. ', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '<', .55)
    print('OK')
else:
    print('ffs/ffuef > 0.55', '::. ', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '>', .55)
    print('NO OK')

fcs = -Mcs[0] * k * hef / Icrn
print('fcs =', round(fcs, 2), 'tnf/m2')

if fcs / (fc * 10) < .45:
    print('fcs/fc < 0.45', '::. ', round(fcs / (fc * 10), 2), '<', .45)
    print('OK')
else:
    print('fcs/fc > 0.45', '::. ', round(fcs / (fc * 10), 2), '>', .45)
    print('NO OK')

print('-----')

```

```

phiMn1= 9.03 tnf-m
ffuef= 4312.5 kg/cm2
efuef= 0.02
rhob= 0.02856
Af = 0.0006 m2
rhof = 0.0052
k = 0.24
Icr= 0.00058 m4
ebi= 0.00095
efd < 0.9*efuef :: 0.01324 < 0.01485
OK
efe > efd :: 0.01581 > 0.01324
El concreto aun no ha fallado
El valor ec = 0.00254 :: efe=efd
es > esu :: 0.01150 > 0.0021
El acero ha fallado
fs=fy
ffe < ffuef :: 34552.1 < 43125.0
El FRP aun no ha fallado
ecef = 0.00188
beta1 = 0.8028
alpha1 = 0.9247
cc = 47.40 tnf
Ts = 24.94 tnf
Tf = 22.46 tnf
Error = -1.e-5 tnf
c = 0.0760103
Mns = 9.71 tnf-m
Mnf = 10.56 tnf-m
phiMn = 16.82 tnf-m
Icrn = 0.00069 m4
fss = 31236.23 tnf/m2
ffs = 2612.95 tnf/m2
fss/fy < 0.8 :: 0.74 < 0.8
OK
ffs/ffuef < 0.55 :: 0.06 < 0.55
OK
fcs = 1235.09 tnf/m2
fcs/fc < 0.45 :: 0.44 < 0.45
OK

```

## 2do CASO

### FIBRA DE CARBONO 2

```

In [ ]: from sympy import *

# Datos Generales (CARBONO 2)

b = .3 # m
h = .5 # m
hef = h - 0.08 # m
dsup = 0.08 # m

```

```

Lab = 6 # m
Lbc = 8 # m

# Concreto
fc = 280 # kg/cm2
Ec = 15100 * (fc) ** .5 # kg/cm2
ecu = 0.003 # Deformacion ultima del concreto
fy = 4200 # kg/cm2
Es = 2 * 10 ** 6 # kg/cm2
esu = 0.0021 # Deformacion ultima del acero
nrm = Es / Ec
# FRP : Son brindados por el fabricante Ojo !
ffu = 31000 # kg/cm2 : Tension de ruptura del FRP
efu = 0.017 # Deformacion de ruptura del FRP
Efrp = 1650000 # kgf/cm2 Modulo de elasticidad del FRP
tf = .0012 # m : Espesor de La Lamina de FRP
nrmfrp = Efrp / Ec

wd = .500 # kgf/m2 : Carga Muerta de La Viga
sco = .250 # kgf/m2 : Sobrecarga de uso de La Viga (Inicial)
scn = .650 # kgf/m2 : Sobrecarga de uso de La Viga (Nueva)
anch_t = 5 # m : Ancho Tributario

Mwd1 = [-6] # 1er Paño : Carga Muerta
Mcs = [-14] # 1er Paño : Cargas de Servicio

n = 4
diam = 3 / 4 # pulg
Adiam1 = pi * (diam * 2.54) ** 2 / 4 # cm2
As11 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
n = 0
diam = 3 / 4 # pulg
As12 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
rho1 = As11 / (b * hef) # Cuantia de Refuerzo
w = rho1 * fy / fc
phi = 0.9 # Coeficiente de Reduccion para Flexion
phiMn1 = phi * (b * hef ** 2 * w * fc * 10 * (1 - 0.59 * w)) # tnf-m
print("phiMn1=", round(phiMn1, 2), "tnf-m")

CE = 0.95
ffuef = CE * ffu
efuef = CE * efu
print("ffuef=", round(ffuef, 2), "kg/cm2")
print("efuef=", round(efuef, 2))

beta1 = 0.85
rhob = 0.85 * fc * beta1 / fy * (6117 / (fy + 6117)) # Segun Teodoro Harmsen es La Cuantia Balanceada
print("rhob=", round(rhob, 5))

nf = 2 # Numero de Capas de FRP
bf = .25 # m : Ancho de La Lamina de FRP
Af = nf * bf * tf # m2 : Area de FRP
rhof = Af / (b * hef) # Cuantia de FRP
print('Af =', round(Af, 4), 'm2')
print('rhof =', round(rhof, 4))

```

```

k = -rho1 * nrm + sqrt((rho1 * nrm) ** 2 + 2 * rho1 * nrm)
Icr = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2
print('k =', round(k, 2))
print("Icr=", round(Icr, 5), "m4")

df = h + tf / 2 # m : Distancia al centroide de la fibra
ebi = -Mwdl[0] * (df - k * hef) / (Icr * Ec * 10) # m : Deformacion por Flexion
print("ebi=", round(ebi, 5))

efd = .41 * (fc / (nrm * Efrp * tf * 100)) ** .5
if efd < 0.9 * efuef:
    print('efd < 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '<', round(0.9 * efuef, 5))
    print('OK')
else:
    print('efd > 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '>', round(0.9 * efuef, 5))
    print('NO OK')

c = 0.1615195 # m : Distancia del eje neutro

# Suponemos falla del concreto, entonces ecu=0.003
efe = ecu * (df - c) / c - ebi
if efe > efd:
    print('efe > efd', '::~', round(efe, 5), '>', round(efd, 5))
    print('El concreto aun no ha fallado')
    efe = efd
    ec = (efe + ebi) * c / (df - c)
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
else:
    print('efe < efd', '::~', round(efe, 5), '<', round(efd, 5))
    print('El concreto ha fallado')
    ec = ecu
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
es = (efe + ebi) * (hef - c) / (df - c)
if es > esu:
    print('es > esu', '::~', round(es, 5), '>', round(esu, 5))
    print('El acero ha fallado')
    print('fs=fy')
    fs = fy * 10
ffe = Efrp * 10 * efe
if ffe > ffuef * 10:
    print('ffe > ffuef', '::~', round(ffuef, 2), '>', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP ha fallado')
    print('ffe=ffuef')
    ffe = ffuef
else:
    print('ffe < ffuef', '::~', round(ffuef, 2), '<', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP aun no ha fallado')
ecef = 1.7 * fc / Ec
beta1 = (4 * ecef - ec) / (6 * ecef - 2 * ec)
alpha1 = (3 * ecef * ec - ec ** 2) / (3 * beta1 * ecef ** 2)
print('ecef =', round(ecef, 5))
print('beta1 =', round(beta1, 4))
print('alpha1 =', round(alpha1, 4))
cc = alpha1 * fc * 10 * beta1 * c * b

```

```

Ts = As11 * fs
Tf = Af * ffe
print('cc =', round(cc, 2), 'tnf')
print('Ts =', round(Ts, 2), 'tnf')
print('Tf =', round(Tf, 2), 'tnf')
print('Error =', round(cc - (Ts + Tf), 5), 'tnf')

print('c =', round(c, 8))

Mns = As11 * fs * (hef - beta1 * c / 2)
Mnf = Af * ffe * (df - beta1 * c / 2)

print('Mns =', round(Mns, 2), 'tnf-m')
print('Mnf =', round(Mnf, 2), 'tnf-m')

if es > 0.005:
    phi = 0.9
else:
    phi = 0.65 + 0.25 * (es - esu) / (0.005 - esu)
sif = 0.85
phiMn = phi * (Mns + sif * Mnf)
print('phiMn =', round(phiMn, 2), 'tnf-m')

Icrn = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2 + nrm * As12 * (k * hef - dsup) ** 2 + nrmfrp * Af * (
    df - k * hef) ** 2
print('Icrn =', round(Icrn, 5), 'm4')

fss = nrm * -Mcs[0] * (hef - k * hef) / Icrn
ffs = nrmfrp * -Mcs[0] * (df - k * hef) / Icrn - ebi * Efrp * 10
print('fss =', round(fss, 2), 'tnf/cm2')
print('ffs =', round(ffs, 2), 'tnf/cm2')

if fss / (fy * 10) < .8:
    print('fss/fy < 0.8', ':::', round(fss / (fy * 10), 2), '<', .8)
    print('OK')
else:
    print('fss/fy > 0.8', ':::', round(fss / (fy * 10), 2), '>', .8)
    print('NO OK')

if ffs / (ffuef * 10) < .55:
    print('ffs/ffuef < 0.55', ':::', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '<', .55)
    print('OK')
else:
    print('ffs/ffuef > 0.55', ':::', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '>', .55)
    print('NO OK')

fcs = -Mcs[0] * k * hef / Icrn
print('fcs =', round(fcs, 2), 'tnf/cm2')

if fcs / (fc * 10) < .45:
    print('fcs/fc < 0.45', ':::', round(fcs / (fc * 10), 2), '<', .45)
    print('OK')
else:
    print('fcs/fc > 0.45', ':::', round(fcs / (fc * 10), 2), '>', .45)
    print('NO OK')

```



```
print('-----')
```

```
phiMn1= 16.65 tnf-m
ffuef= 29450.0 kg/cm2
efuef= 0.02
rhob= 0.02856
Af = 0.0006 m2
rhof = 0.0048
k = 0.31
Icr= 0.00098 m4
ebi= 0.00090
efd < 0.9*efuef :: 0.00548 < 0.01454
OK
efe < efd :: 0.00540 < 0.00548
El concreto ha fallado
El valor ec = 0.003 :: efe=efd
es > esu :: 0.00480 > 0.0021
El acero ha fallado
fs=fy
ffe < ffuef :: 89144.61 < 294500.0
El FRP aun no ha fallado
ecef = 0.00188
beta1 = 0.8552
alpha1 = 0.8736
cc = 101.37 tnf
Ts = 47.88 tnf
Tf = 53.49 tnf
Error = -2.e-5 tnf
c = 0.1615195
Mns = 16.80 tnf-m
Mnf = 23.08 tnf-m
phiMn = 32.16 tnf-m
Icrn = 0.00151 m4
fss = 21133.81 tnf/cm2
ffs = 7538.26 tnf/cm2
fss/fy < 0.8 :: 0.50 < 0.8
OK
ffs/ffuef < 0.55 :: 0.03 < 0.55
OK
fcs = 1219.67 tnf/cm2
fcs/fc < 0.45 :: 0.44 < 0.45
OK
-----
```

### **FIBRA DE VIDRIO**

```
In [ ]: from sympy import *

# Datos Generales (VIDRIO)

b = .3 # m
h = .5 # m
hef = h - 0.08 # m
dsup = 0.08 # m
```

```

# Concreto
fc = 280 # kg/cm2
Ec = 15100 * (fc) ** .5 # kg/cm2
ecu = 0.003 # Deformacion ultima del concreto
fy = 4200 # kg/cm2
Es = 2 * 10 ** 6 # kg/cm2
esu = 0.0021 # Deformacion ultima del acero
nrm = Es / Ec
# FRP : Son brindados por el fabricante Ojo !
ffu = 5750 # kg/cm2 : Tension de ruptura del FRP
efu = 0.022 # Deformacion de ruptura del FRP
Efrp = 26.1 * 10 ** 4 # kgf/cm2 Modulo de elasticidad del FRP
tf = .0013 # m : Espesor de La lamina de FRP
nrmfrp = Efrp / Ec

Mwd1 = [-6] # 1er Paño : Carga Muerta
Mcs = [-14] # 1er Paño : Cargas de Servicio

n = 4
diam = 3 / 4 # pulg
Adiam1 = pi * (diam * 2.54) ** 2 / 4 # cm2
As11 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
n = 0
diam = 3 / 4 # pulg
As12 = (n * Adiam1) * 10 ** -4 # m2
rho1 = As11 / (b * hef) # Cuantia de Refuerzo
w = rho1 * fy / fc
phi = 0.9 # Coeficiente de Reduccion para Flexion
phiMn1 = phi * (b * hef ** 2 * w * fc * 10 * (1 - 0.59 * w)) # tnf-m
print("phiMn1=", round(phiMn1, 2), "tnf-m")

CE = 0.75
ffuef = CE * ffu
efuef = CE * efu
print("ffuef=", round(ffuef, 2), "kg/cm2")
print("efuef=", round(efuef, 2))

beta1 = 0.85
rhob = 0.85 * fc * beta1 / fy * (6117 / (fy + 6117)) # Segun Teodoro Harmsen es La Cuantia Balanceada
print("rhob=", round(rhob, 5))

nf = 12 # Numero de Capas de FRP
bf = .25 # m : Ancho de La Lamina de FRP
Af = nf * bf * tf # m2 : Area de FRP
rhof = Af / (b * hef) # Cuantia de FRP
print('Af =', round(Af, 4), 'm2')
print('rhof =', round(rhof, 4))

k = -rho1 * nrm + sqrt((rho1 * nrm) ** 2 + 2 * rho1 * nrm)
Icr = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2
print('k =', round(k, 2))
print("Icr=", round(Icr, 5), "m4")

df = h + tf / 2 # m : Distancia al centroide de La fibra

```

```

ebi = -Mwdl[0] * (df - k * hef) / (Icr * Ec * 10) # m : Deformacion por Flexion
print("ebi=", round(ebi, 5))

efd = .41 * (fc / (nrm * Efrp * tf * 100)) ** .5
if efd < 0.9 * efuef:
    print('efd < 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '<', round(0.9 * efuef, 5))
    print('OK')
else:
    print('efd > 0.9*efuef', '::~', round(efd, 5), '>', round(0.9 * efuef, 5))
    print('NO OK')

c = 0.162773 # m : Distancia del eje neutro

# Suponemos falla del concreto, entonces ecu=0.003 ## Parece ser una suposicion Obligatoria !!
efe = ecu * (df - c) / c - ebi
if efe > efd:
    print('efe > efd', '::~', round(efe, 5), '>', round(efd, 5))
    print('El concreto aun no ha fallado')
    efe = efd
    ec = (efe + ebi) * c / (df - c)
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
else:
    print('efe < efd', '::~', round(efe, 5), '<', round(efd, 5))
    print('El concreto ha fallado')
    ec = ecu
    print('El valor ec =', round(ec, 5), '::~', 'efe=efd')
es = (efe + ebi) * (hef - c) / (df - c)
if es > esu:
    print('es > esu', '::~', round(es, 5), '>', round(esu, 5))
    print('El acero ha fallado')
    print('fs=fy')
    fs = fy * 10
else:
    print('es < esu', '::~', round(es, 5), '<', round(esu, 5))
    print('El acero no ha fallado')
    print('fs=Es*es')
    fs = (Es * es) * 10
ffe = Efrp * 10 * efe
if ffe > ffuef * 10:
    print('ffe > ffuef', '::~', round(ffuef, 2), '>', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP ha fallado')
    print('ffe=ffuef')
    ffe = ffuef
else:
    print('ffe < ffuef', '::~', round(ffuef, 2), '<', round(ffuef * 10, 2))
    print('El FRP aun no ha fallado')
ecef = 1.7 * fc / Ec
beta1 = (4 * ecef - ec) / (6 * ecef - 2 * ec)
alpha1 = (3 * ecef * ec - ec ** 2) / (3 * beta1 * ecef ** 2)
print('ecef =', round(ecef, 5))
print('beta1 =', round(beta1, 4))
print('alpha1 =', round(alpha1, 4))
cc = alpha1 * fc * 10 * beta1 * c * b
Ts = As11 * fs
Tf = Af * ffe

```

```

print('cc =', round(cc, 2), 'tnf')
print('Ts =', round(Ts, 2), 'tnf')
print('Tf =', round(Tf, 2), 'tnf')
print('Error =', round(cc - (Ts + Tf), 5), 'tnf')

print('c =', round(c, 8))

Mns = As11 * fs * (hef - beta1 * c / 2)
Mnf = Af * ffe * (df - beta1 * c / 2)

print('Mns =', round(Mns, 2), 'tnf-m')
print('Mnf =', round(Mnf, 2), 'tnf-m')

if es > 0.005:
    phi = 0.9
else:
    phi = 0.65 + 0.25 * (es - esu) / (0.005 - esu)
sif = 0.85
phiMn = phi * (Mns + sif * Mnf)
print('phiMn =', round(phiMn, 2), 'tnf-m')

Icrn = b * (k * hef) ** 3 / 3 + nrm * As11 * (hef - k * hef) ** 2 + nrm * As12 * (k * hef - dsup) ** 2 + nrmfrp * Af * (df - k * hef)**2
print('Icrn =', round(Icrn, 5), 'm4')

fss = nrm * -Mcs[0] * (hef - k * hef) / Icrn
ffs = nrmfrp * -Mcs[0] * (df - k * hef) / Icrn - ebi * Efrp * 10
print('fss =', round(fss, 2), 'tnf/m2')
print('ffs =', round(ffs, 2), 'tnf/m2')

if fss / (fy * 10) < .8:
    print('fss/fy < 0.8', '::. ', round(fss / (fy * 10), 2), '<', .8)
    print('OK')
else:
    print('fss/fy > 0.8', '::. ', round(fss / (fy * 10), 2), '>', .8)
    print('NO OK')

if ffs / (ffuef * 10) < .55:
    print('ffs/ffuef < 0.55', '::. ', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '<', .55)
    print('OK')
else:
    print('ffs/ffuef > 0.55', '::. ', round(ffs / (ffuef * 10), 2), '>', .55)
    print('NO OK')

fcs = -Mcs[0] * k * hef / Icrn
print('fcs =', round(fcs, 2), 'tnf/m2')

if fcs / (fc * 10) < .45:
    print('fcs/fc < 0.45', '::. ', round(fcs / (fc * 10), 2), '<', .45)
    print('OK')
else:
    print('fcs/fc > 0.45', '::. ', round(fcs / (fc * 10), 2), '>', .45)
    print('NO OK')

print('-----')

```

```

phiMn1= 16.65 tnf-m
ffuef= 4312.5 kg/cm2
efuef= 0.02
rhob= 0.02856
Af = 0.0039 m2
rhof = 0.031
k = 0.31
Icr= 0.00098 m4
ebi= 0.00090
efd < 0.9*efuef :: 0.01324 < 0.01485
OK
efe < efd :: 0.00533 < 0.01324
El concreto ha fallado
El valor ec = 0.003 :: efe=efd
es > esu :: 0.00474 > 0.0021
El acero ha fallado
fs=fy
ffe < ffuef :: 13916.26 < 43125.0
El FRP aun no ha fallado
ecef = 0.00188
beta1 = 0.8552
alpha1 = 0.8736
cc = 102.16 tnf
Ts = 47.88 tnf
Tf = 54.27 tnf
Error = 3.e-5 tnf
c = 0.162773
Mns = 16.78 tnf-m
Mnf = 23.39 tnf-m
phiMn = 32.18 tnf-m
Icrn = 0.00153 m4
fss = 20923.77 tnf/m2
ffs = 1157.50 tnf/m2
fss/fy < 0.8 :: 0.50 < 0.8
OK
ffs/ffuef < 0.55 :: 0.03 < 0.55
OK
fcs = 1207.55 tnf/m2
fcs/fc < 0.45 :: 0.43 < 0.45
OK

```

### COMPARACIONES

Fibra	CE	nf	tf(m)	bf(m)	Af(m2)	c	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_{fe}$	$\varepsilon_s$
<b>Caso 1</b>									
Carbono 1	0.95	1	0.0012	0.3	0.00036	0.086617	0.0017	0.0071	0.008
Carbono 2	0.95	1	0.0012	0.25	0.0003	0.10089	0.0016	0.0054	0.0051
Vidrio	0.75	2	0.0013	0.25	0.00065	0.0760103	0.0025	0.013	0.012
<b>Caso 2</b>									
Carbono 1	0.95	2	0.0012	0.3	0.00072	0.210792	0.0038	0.0044	0.0052
Carbono 2	0.95	2	0.0012	0.25	0.0006	0.1615195	0.003	0.0054	0.0048
Vidrio	0.75	12	0.0013	0.25	0.0039	0.162773	0.003	0.0053	0.0047

Comentarios:

- Como se puede revisar en la tabla claramente emplear fibras de carbono resulta mas conveniente, ya que no solo ofrece seguridad sino tambien un menor precio para su colocacion despues de un analisis y diseño.
- El caso 2 para la fibra de vidrio no es factible debido al numero de capas que se necesitan (12) para poder satisfacer las condiciones de diseño.
- Se puede rescatar el hecho de que la fibra en todos los casos no alcanza su deformacion ultima, pero los demas componentes como el acero y el concreto si lo hacen. Importante !
- Cuanto mayor es la nueva demanda mayores son los requerimientos para la fibra, para los 2 casos de carbono el incremento de carga significo la adicion de una nueva capa.