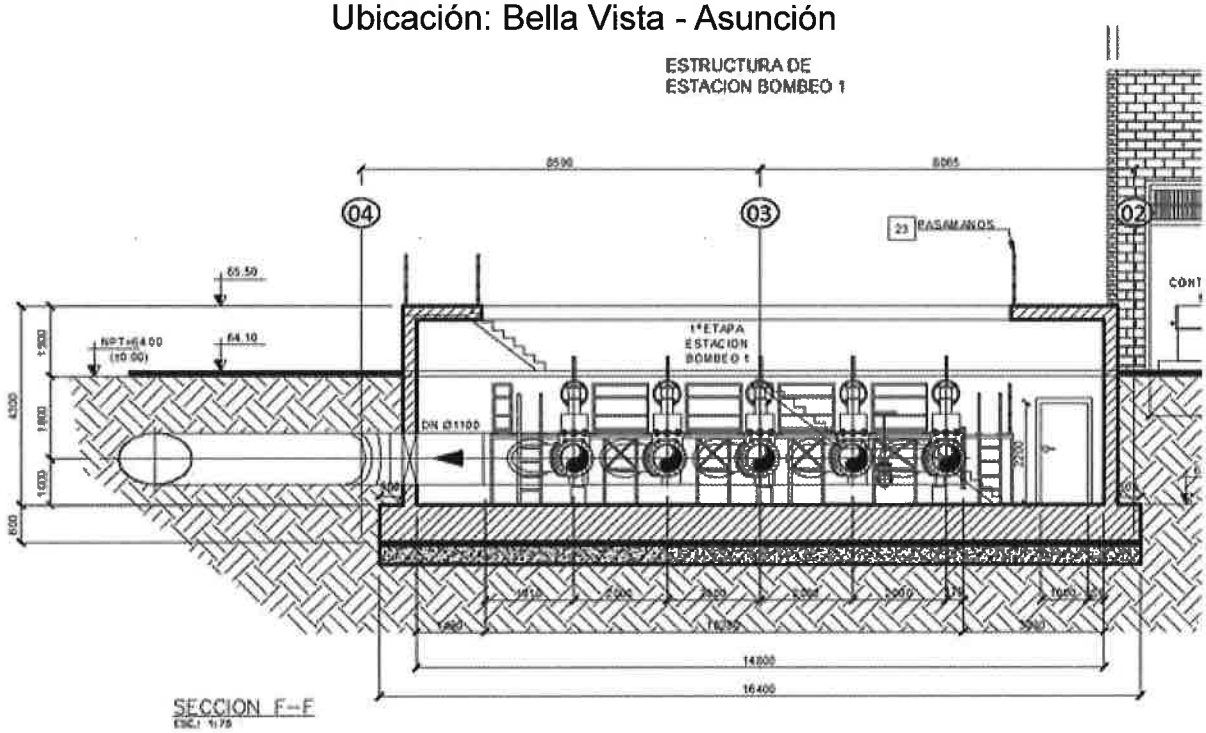
13/09/2020

# Memoria de Cálculo Estructural

## *"Cálculo de Pilotes Tipo Hélice Continua para la Fundación de Base de la Cámara de Colectores del EB1"*

## **Obra: PTAR**

Ubicación: Bella Vista - Asunción



*Setiembre-2020*
*Asunción - Paraguay*

acciona

*Calculado por:* ***Crea*** *Estructuras SRL*

*Ing. Yuji Samuel Yoshizaki, MSc.*

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0283

# INDICE

1. Objeto..... 3
2. Introducción..... 3
3. Antecedentes ..... 4
4. Cálculo de Fundación de la base de cámara de colectores EB1 ..... 6
5. Conclusiones ..... 10

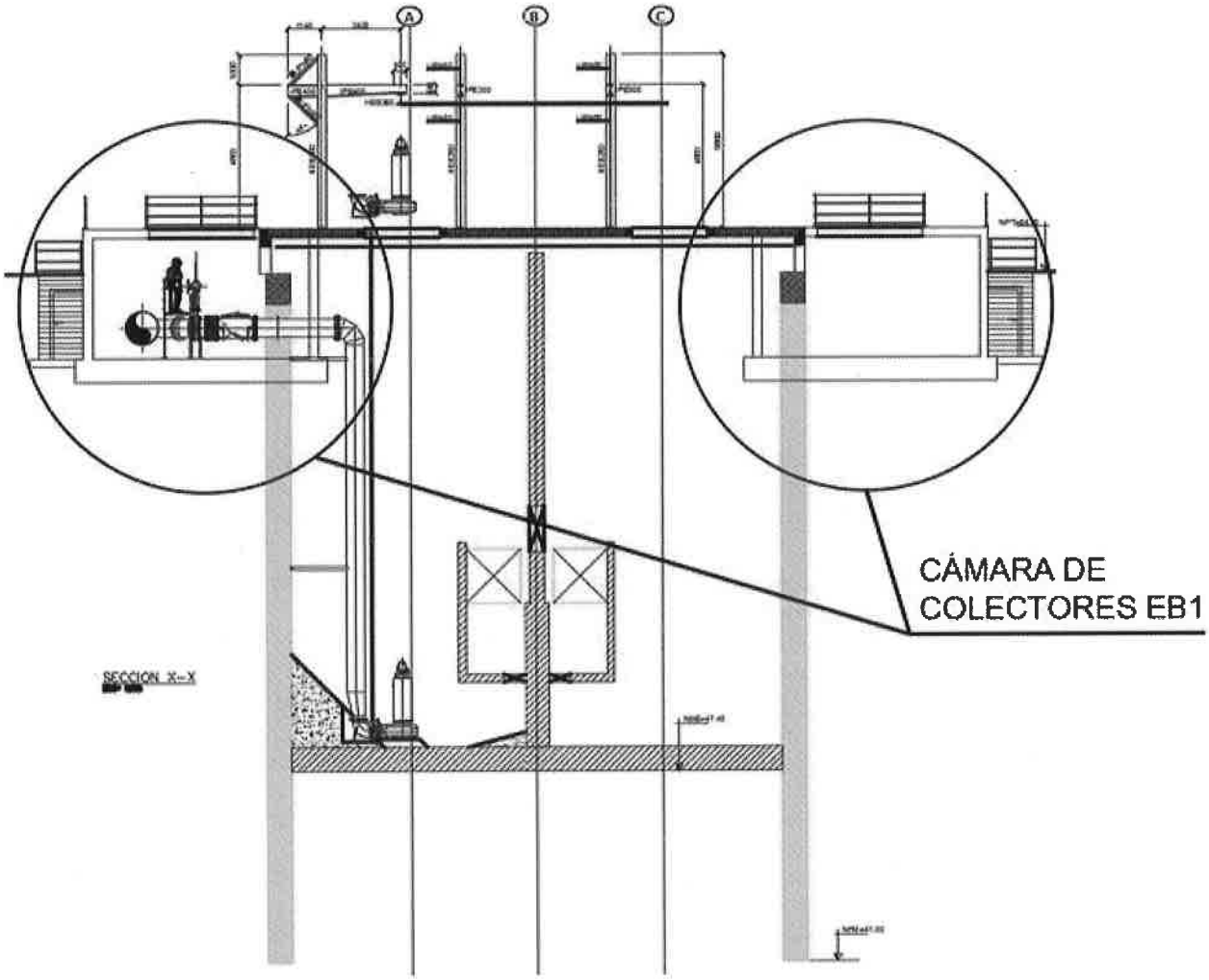
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 1. Objeto

La presente memoria tiene por objeto presentar los resultados del cálculo de pilotes de hélice continua de la fundación de la base de la **Cámara de Colectores de la EB1**, correspondiente a la Obra: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Bella Vista, de la ciudad de Asunción.

## 2. Introducción

El proyecto original contemplaba la ejecución de muros de contrafuerte como base para las cámaras colectoras de la Estación de bombeo 1. Debido al cambio en el sistema de ejecución de muros del recinto principal del la EB1, surge la necesidad de plantear la fundación de las dos cámaras que están contiguas a la misma.




acciona

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

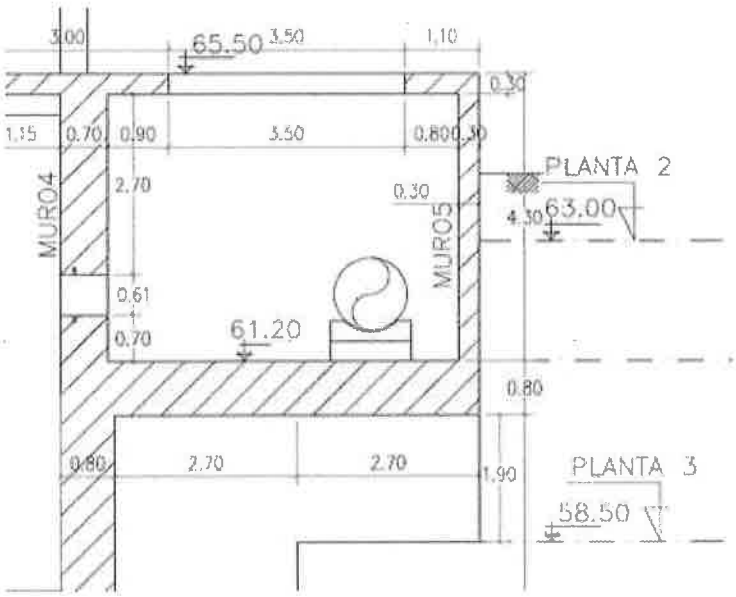
YSY



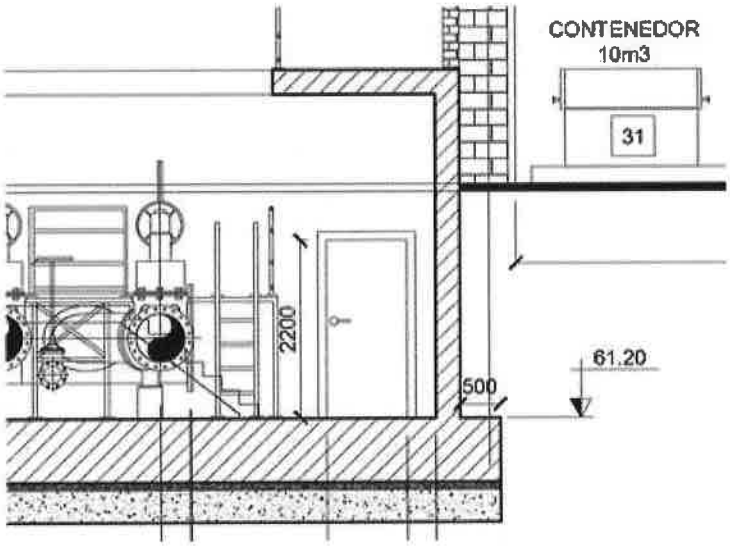
0281

## 3. Antecedentes

El nivel **+61.20** correspondiente al **nivel del fondo de las cámaras de colectores de EB1**, se mantienen en la propuesta de modificación del sistema de ejecución del muro del recinto principal. Además, siendo el espesor de la losa de fondo del mismo espesor que el proyecto original, la cota de inicio de la fundación se mantiene invariable.




Proyecto original




Proyecto modificado

Las características de los materiales utilizados para pilotes son:

$f_{ck} := 21MPa$ resistencia característica del hormigón

$f_{yk} := 500MPa$ resistencia característica del acero

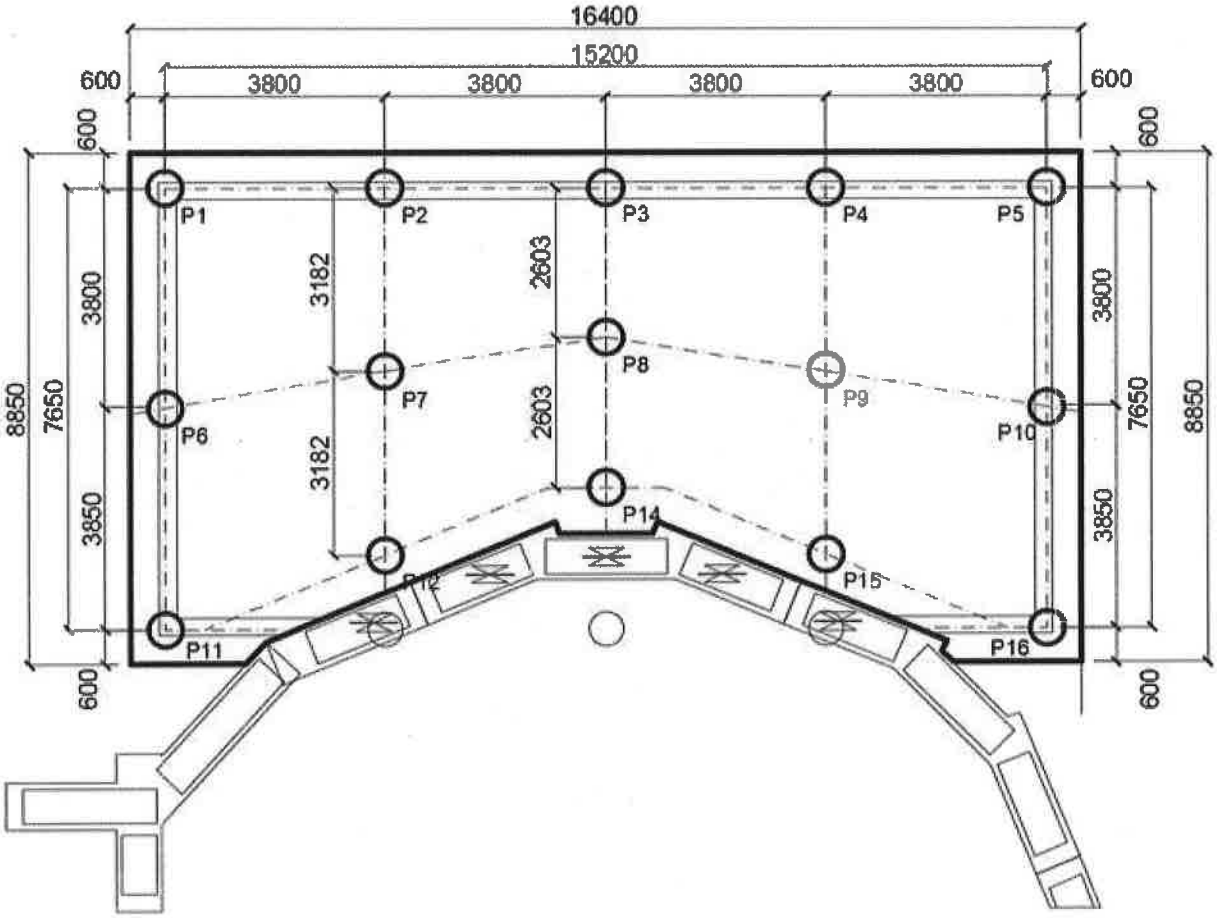
acciona



YSY

Ing. John Román 0286
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

En el esquema de fundación que se muestra en el dibujo de abajo, se indica la ubicación y la numeración de los pilotes de la fundación de la base de la **cámara de colectores de EB1** de la Obra PTAR.




Numeración de los nodos correspondientes a los pilotes.

**Cargas consideradas en el cálculo:**

CC1: Peso propio

CC2= 10kN/m2 Carga permanente dentro de la cámara

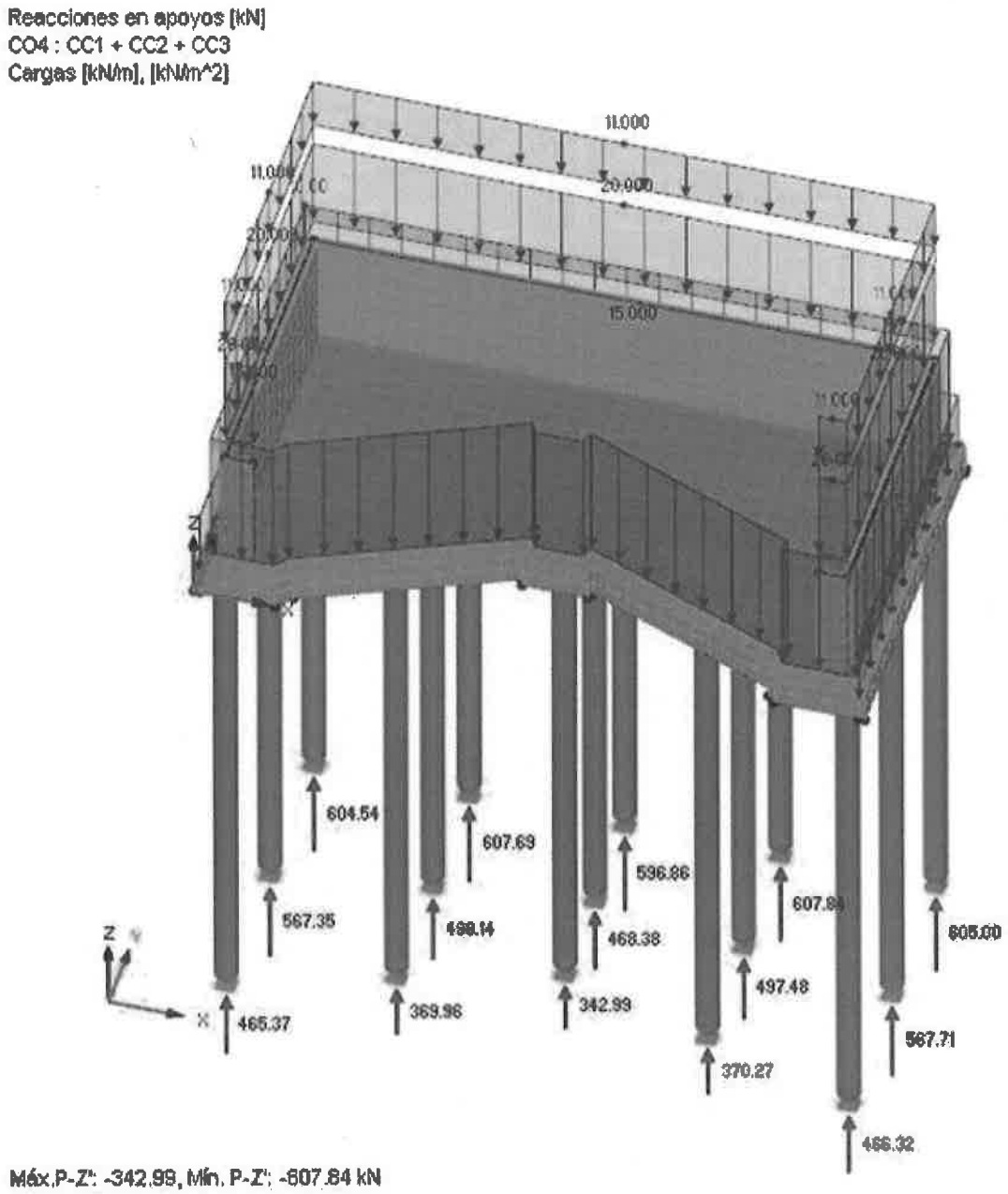
CC2: 18kN/m3 Peso del suelo sobre el perímetro exterior de la base

CC3: 5.0kN/m2 Sobrecarga de techo

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay



0279




$P_z := 607.84 \cdot kN$ carga máxima sobre pilotes (Carga Vertical; Unidades en kilo Newton)

$tf := 1000 \cdot kgf$ conversión de unidades: tonelada fuerza a kilogramo fuerza

## 4. Cálculo de Fundación de la base de cámara de colectores de EB1

### 4.1. Carga máxima en la fundación

De la planilla de arriba, se obtiene la carga máxima sobre los pilotes

$P_z = 62 \cdot tf$ carga máxima del pilote



YSY 027

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 4.2. Cálculo de Pilotes a cargas verticales

(Método de Decourt-Quaresma para Pilotes de Hélice Continua)

### 4.2.1 Cálculo de la capacidad portante del pilote (Cargas Verticales)

**Datos generales del terreno y del pilote**

$\gamma_c := 2.50 \frac{tf}{m^3}$ peso específico del hormigón

$L_p := 13 \cdot m$ longitud total del Pilote

$D_p := 0.60 \cdot m$ diámetro del pilote

$A_p := \pi \cdot \frac{D_p^2}{4} = 0.2827 \cdot m^2$ área de punta

$\psi := \pi \cdot D_p = 1.88\, m$

$W_{pp} := A_p \cdot L_p \cdot \gamma_c = 9.19 \cdot tf$ peso del pilote

**Carga de servicio del pilote**

$Q_{servicio} := P_z = 62 \cdot tf$ carga de servicio del Pilote

**CÁLCULO DE PILOTE POR EL MÉTODO DE DÉCOURT - QUARESMA (1996)**

Obra: PTAR BELLA VISTA
Proyecto: PILOTE BASE CÁMARA DE COLECTORES
Fecha: 13/09/2020

**Datos del Pilote**

| | | |
|---|---|---|
| Diámetro pilote (D): | 0.60 | m |
| Area de punta (Ap): | 0.2827 | $m^2$ |
| Perímetro (U): | 1.88 | m |

| TABLA DE COEFICIENTES "C", "α" y "β" (DÉCOURT-QUARESMA) 1996 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| SUELO N° | TIPO DE SUELO | C (T/m²) | α | β |
| 1 | ARCILLOSO | 12 | 0.25 | 0.90 |
| 2 | LIMO ARCILLOSO | 20 | 0.25 | 0.90 |
| 3 | LIMO ARENOSO | 25 | 0.25 | 0.90 |
| 4 | ARENOSO | 40 | 0.25 | 0.90 |
| Tipo de Pilote | Hélice Contínua | | | |

**Resistencia por Punta**

| CAPA | SUELO N° | TIPO DE SUELO | α | C (T/m²) | Nspt.punta | rp (T/m²) | Ap (m²) | Qpunta (T) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 3 | LIMO ARENOSO | 0.25 | 25 | 36 | 225 | 0.2827 | 64 |

**Resistencia por Fricción** **SONDEO 1**

| CAPA | SUELO N° | TIPO DE SUELO | Nspt REAL | Nspt MODIFICADO | rl (T/m²) | β | ΔL (m) | U (m) | ΔRl (T) | ESQUEMA DE PILOTE | DATOS ADICIONALES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | ARENOSO | 12 | | | | | | | | |
| 2 | 4 | ARENOSO | 24 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | | |
| 3 | 4 | ARENOSO | 28 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | | |
| 4 | 4 | ARENOSO | 34 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | | COTA: +60.40 |
| 5 | 4 | ARENOSO | 42 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | 1 | |
| 6 | 4 | ARENOSO | 9 | 9 | 4.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 6.79 | 2 | |
| 7 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 10 | 10 | 4.33 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 7.35 | 3 | |
| 8 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 11 | 11 | 4.67 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 7.92 | 4 | |
| 9 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 4 | 4 | 2.33 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 3.96 | 5 | |
| 10 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 4 | 4 | 2.33 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 3.96 | 6 | |
| 11 | 3 | LIMO ARENOSO | 6 | 6 | 3.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 5.09 | 7 | |
| 12 | 3 | LIMO ARENOSO | 27 | 15 | 6.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 10.18 | 8 | |
| 13 | 3 | LIMO ARENOSO | 21 | 15 | 6.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 10.18 | 9 | |
| 14 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 25 | 15 | 6.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 10.18 | 10 | |
| 15 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 23 | 15 | 6.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 10.18 | 11 | |
| 16 | 2 | LIMO ARCILLOSO | 32 | 15 | 6.00 | 0.90 | 1.0 | 1.88 | 10.18 | 12 | |
| 17 | 3 | LIMO ARENOSO | 36 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | 13 | COTA FUNDACIÓN |
| 18 | 3 | LIMO ARENOSO | 40 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | | +47.40 |
| 19 | 3 | LIMO ARENOSO | 43 | 15 | 6.00 | 0.90 | | | | | |
| | | | | | | | 11.0 | Qfricción (T) | 86 | | |

**Carga Admisible del Pilote**

| Qpunta (T) | Qfricción (T) | Fs.punta | Fs.fricción | Qadm (T) | σ (kgf/cm²) | σ.adm (kgf/cm²) | Qadm (T) | Qadm (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 64 | 86 | 4.0 | 1.5 | 73 | 25.9 | 50 | 73 | 718 |



Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0277

$Q_{adm} := 73 \cdot tf$ Capacidad portante del **Pilote de Hélice Continua Ø60cm y L=13m**

### 4.2.2 Verificación de la capacidad portante del pilote

$Q_{adm} = 73.00 \cdot tf$ carga admisible a la compresión del **Pilote**

$Q_{servicio} = 62 \cdot tf$ carga de servicio Pilote

$Eval_{pilote} := if(Q_{adm} \geq Q_{servicio}, "El\ Pilote\ Verifica!!", "NO\ Verifica!!")$

$Eval_{pilote} = "El\ Pilote\ Verifica!!"$

### 4.2.3 Verificación a Flexión Compuesta de la sección

a) Solicitaciones de servicio:

$P_z = 61.98 \cdot tf$ fuerza axial máxima del sistema

$e_p := 5 \cdot cm$ excentricidad mínima adoptada

$M_{pilote} := e_p \cdot P_z = 3.10 \cdot tf \cdot m$ momento en la cabeza del pilote

$F_H := 0 \cdot tf$ fuerza horizontal sobre el pilote

b) Solicitaciones de cálculo:

$\gamma_f := 1.6$ coeficiente de mayoración de cargas

$F_d := \gamma_f \cdot P_z = 972.54 \cdot kN$ carga vertical de diseño sobre el pilote

$M_d := \gamma_f \cdot M_{pilote} = 48.63 \cdot kN \cdot m$ momento de diseño en la cabeza del pilote

$F_{H.d} := \gamma_f \cdot F_H = 0.00 \cdot kN$ fuerza horizontal sobre el pilote

$n_{varilla} := 12$ cantidad de varillas en el pilote

$\phi_s := 16mm$ diámetro de la varilla

$A_s := n_{varilla} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_s^2}{4} = 24.13 \cdot cm^2$ armadura total

$A_c := \pi \cdot \frac{(D_p)^2}{4} = 2827.43 \cdot cm^2$ sección bruta del pilote

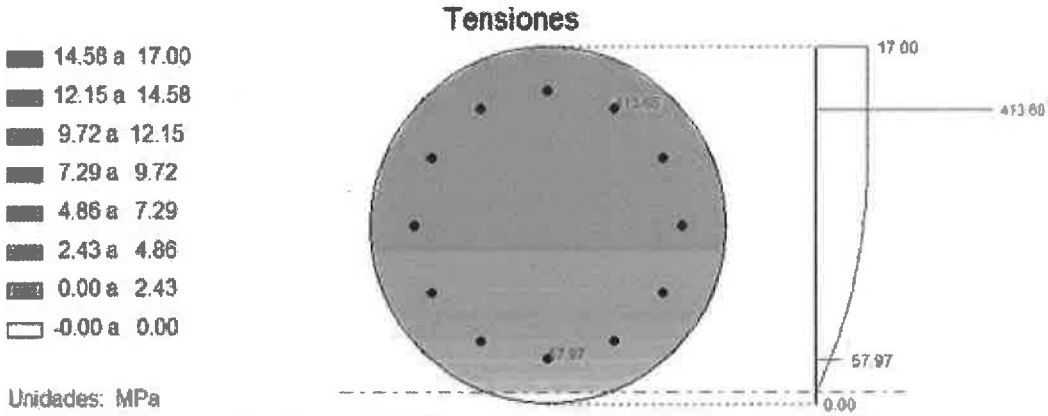
$\rho := \frac{A_s}{A_c} = 0.85 \cdot \%$ cuantía de acero

| | Esfuerzos totales de cálculo | | | Esfuerzos resistentes mayorados | | | F.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_u$ (kN) | $M_{ux}$ (kNm) | $M_{uy}$ (kNm) | $N_r$ (kN) | $M_{rx}$ (kNm) | $M_{ry}$ (kNm) | |
| Hipótesis 1 | 973.0 | 49.0 | 0.0 | 3313.7 | 166.9 | 0.0 | 3.41 |



Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Ecuador

0276




**Esfuerzos de rotura :** Nr = 3313.7 kN, Mr,x = 166.9 kNm, Mr,y = 0.0 kNm

**Factor de seguridad :** FS = 3.406

**Factor de resistencia :** FR = 0.750

Tensiones en rotura. Cálculo realizado con CivilEstudio, módulo de sección simple

Armadura adoptada: 12ϕ16 ($A_s$= 24,12cm$^2$) y Estribos ϕ10-c/20

Coeficiente de seguridad sobre cargas mayoradas $CSCM := 4.14$



YSY

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0275

## 5. Conclusiones

Conforme al análisis realizado, se tienen las siguientes conclusiones:

1. **La longitud y diámetro del pilote de hélice continua** requerida:

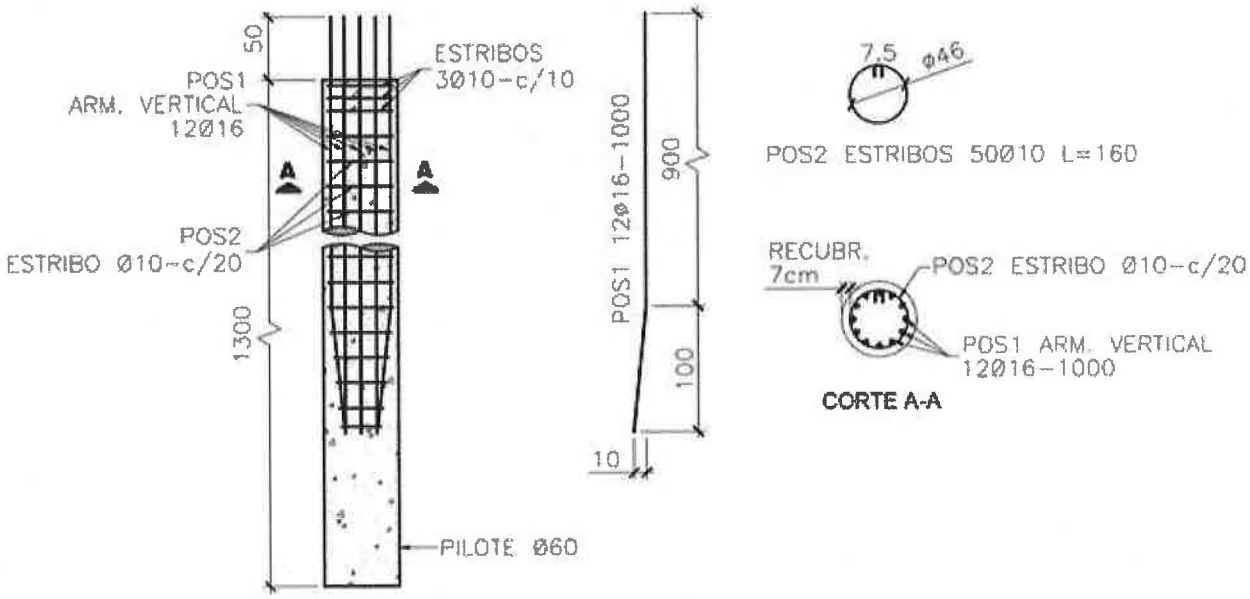
   a. Diámetro del Pilote: **Ø60cm**
   b. Longitud del Pilote de Hélice Continua: **L=13m**

2. Se adopta como armadura de Pilotes: **12Ø16 y Estribos Ø10-c/20,** teniendo en cuenta las armaduras obtenidas para el resto de las unidades de esta planta.

3. Materiales:

   - fck>=21MPa
   - fyk= 500MPa

**DETALLE DE ARMADURAS. BASE CÁMARA DE COLECTORES EB1**
**PILOTES DE HÉLICE CONTINUA**
ESC.: 1:50




----------o-O-o----------



Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0274

| acciona | SOLETANCHE BACHY PARAGUAY | PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BELLA VISTA<br>ASUNCION<br>PARAGUAY | |
|---|---|---|---|
| **INFORME TÉCNICO**<br>**PUNTALES TEMPORALES DE ACERO** | | Documento Nº<br>**SBPY-PTAR-DING-IT 02** | PAGINA<br>**1/42** |
| | | Contrato Nº<br>---------- | REV.<br>**0** |

**REVISIONES**

IT: TYPE — ISSUE: A - PRELIMINARY; B - FOR APPROVAL; C - FOR INFORMATION; D - FOR QUOTATION; E - FOR CONSTRUCTION; F - AS PURCHASED; G - AS BUILT; H - CANCELED

| Rev. | IT | Description | By | Chec | Appr. | Aut. | Date |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | B | PRIMERA EMISIÓN | PM | | | MF | 04/2020 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0273

## ÍNDICE


| | | |
|---|---|---|
| 1.0 | OBJETIVO | 3 |
| 2.0 | GENERALIDADES | 3 |
| 3.0 | INFORMACIÓN DE REFERENCIA | 4 |
| 4.0 | NORMATIVAS Y BIBLIOGRAFÍA | 4 |
| 5.0 | HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO | 4 |
| 6.0 | MATERIALES Y GEOMETRIA | 5 |
| 7.0 | SOLICITACIONES | 6 |
| 8.0 | VERIFICACIÓN | 7 |
| 9.0 | RESULTADO DE LA VERIFICACIÓN | 7 |
| 10.0 | PLACA DE CONEXIÓN | 8 |
| 11.0 | CONCLUSIONES | 9 |
| 12.0 | ANEXO I | 10 |
| 13.0 | ANEXO II | 40 |


acciona
Ing. John Roman
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 1.0 OBJETIVO

El objeto del presente informe es presentar la verificación estructural de los puntales metálicos que complementarán el sistema de contención de los paneles del muro colado en estación de rejas gruesas (RG) que se muestran en la figura1.

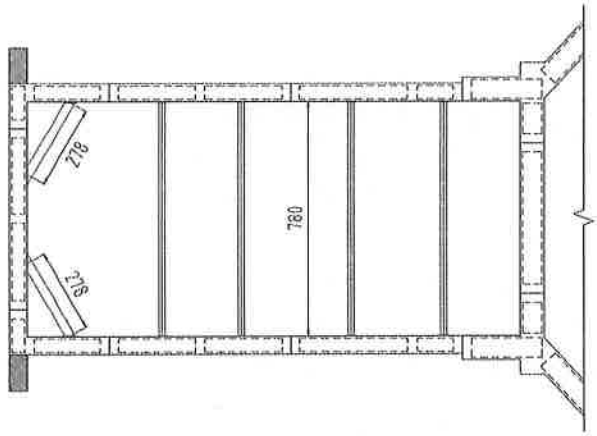



Figura 1. Planta de ubicación de puntales.

## 2.0 GENERALIDADES

El sistema de puntales está compuesto por perfiles metálicos tipo UPN soldados longitudinalmente en las alas a fin de disponer una sección rectangular cerrada, dichos perfiles metálicos están unidos a placas metálicas extremas, dichas placas se encontrarán vinculadas por medio de barras ADN a los paneles de hormigón en el sector de las esquinas. Para este proyecto particularmente, se dispusieron de dos puntales de esquina y cuatro puntales rectos por nivel siendo en total tres niveles de apuntalamiento

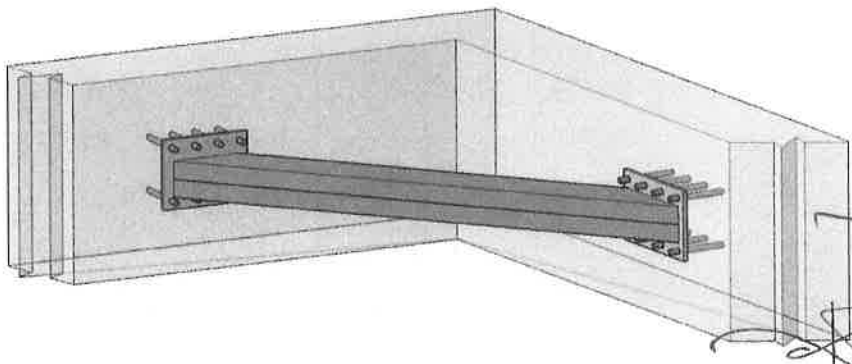


Figura 2. Geometría de puntal metálico.

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0271

## 2.1 ALCANCE

El alcance del presente documento se limita a la determinación de la capacidad estructural de los puntales metálicos y de las placas de vinculación con los paneles de muro colado.

## 3.0 INFORMACIÓN DE REFERENCIA

**Informes técnicos**

- SBPY-PTAR-DING-IT 01 / Sistema de contención; Rejas Gruesas y Estación de Bombeo I

**Planos**

- SBPY-PTAR-DING-PL 300 / Puntales Temporales de Metálicos
- SBPY-PTAR-DING-PL 301 / Detalles de Puntales Temporales de Metálicos

## 4.0 NORMATIVAS Y BIBLIOGRAFÍA

**Normativas**

CIRSOC 301 – 2005: "Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para edificios"
AISC 360-2010: " Specification for Structural Steel Buildings"
AISC Design Guide 01: "Base Plate and Anchor Rod Design" Art. 3.1

## 5.0 HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La verificación de la capacidad a compresión de los elementos se realizó mediante una hoja de cálculo que considerando las características geométricas, mecánicas, materiales y solicitaciones permite conocer los valeres de fuerzas axiales actuantes y resistentes. Con esto se verifica el factor de demanda-capacidad de los perfiles metálicos asignados, dicho factor no debe exceder en ningún momento el valor de la unidad.

El diseño de las placas de vinculación se hará también de manera analítica de acuerdo con los requerimientos normativos vigentes.

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 6.0 MATERIALES Y GEOMETRIA

### 6.1 MATERIALES

Acero estructural ADN500 (Barras de anclajes)

| | |
|---|---|
| Tensión de fluencia | $F_y$ = 500 MPa |
| Tensión de rotura | $F_u$ = 550 MPa |
| Peso específico | $\gamma_a$ = 7850 kgf/m$^3$ |
| Módulo de elasticidad | E = 2.1x10$^6$ MPa |

Acero estructural A-36 (Perfiles metálicos y Placas extremas)

| | |
|---|---|
| Tensión de fluencia | $F_y$ = 250 MPa |
| Peso específico | $\gamma_a$ = 7850 kg/m$^3$ |
| Módulo de elasticidad | E = 2.1x10$^6$ MPa |

### 6.2 DISPOSICIÓN DE PERFILES

Por conveniencia los puntales fueron ubicados lo más cerca posible del centro de las jaulas siempre y cuando no interfiera con el adecuado funcionamiento de la cámara, en función de la ubicación de los puntales fueron nombrados, siendo los de esquina del Tipo 1 y 2, los rectos Tipo 3 a 6 como se muestra en figura 3. Esta disposición se repite en los tres niveles y en función de la carga en servicio se utilizaron perfiles metálicos de sección 2xUPN300, 320 y 400, en la Tabla 1 se muestra que sección se utilizó en cada posición y en cada nivel.

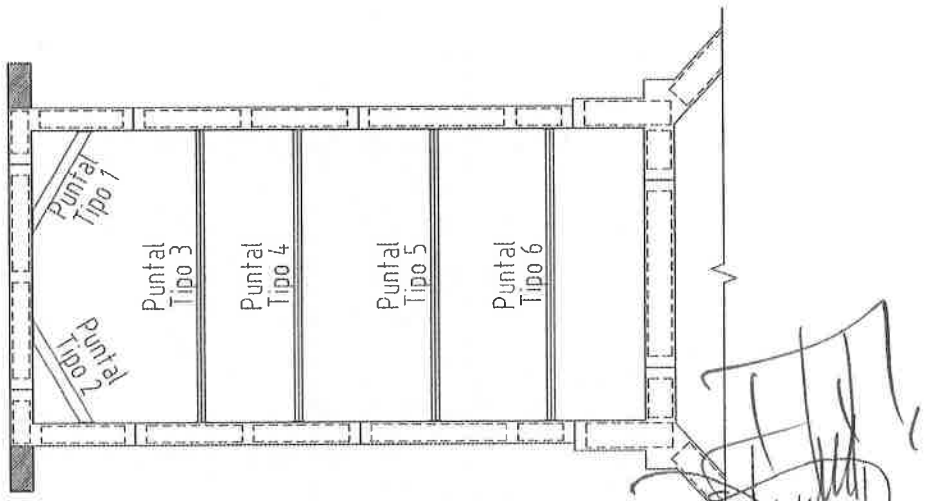



Figura 3. Nombre de posiciones para puntales.

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0269

| Nivel del puntal | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5 | Tipo 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nivel 1 | 2xUPN300 | 2xUPN300 | 2xUPN300 | 2xUPN300 | 2xUPN300 | 2xUPN300 |
| Nivel 2 | 2xUPN400 | 2xUPN320 | 2xUPN320 | 2xUPN320 | 2xUPN400 | 2xUPN300 |
| Nivel 3 | 2xUPN400 | 2xUPN320 | 2xUPN320 | 2xUPN320 | 2xUPN400 | 2xUPN300 |
| Nivel 3a y 3b | | 2xUPN320 | | | | |

Tabla 1. Secciones de puntales utilizadas.

## 7.0 SOLICITACIONES

El elemento a proyectar debe resistir la carga axial originada por el muro colado de lado a lado debido al empuje del terreno. Para los puntales de esquina (Tipos 1 y 2) dependiendo del ángulo de rotación del puntal (α) se descompone la carga de servicio ($P_{serv}$) en una fuerza cortante en la placa (V) y en una carga axial sobre el puntal (N).

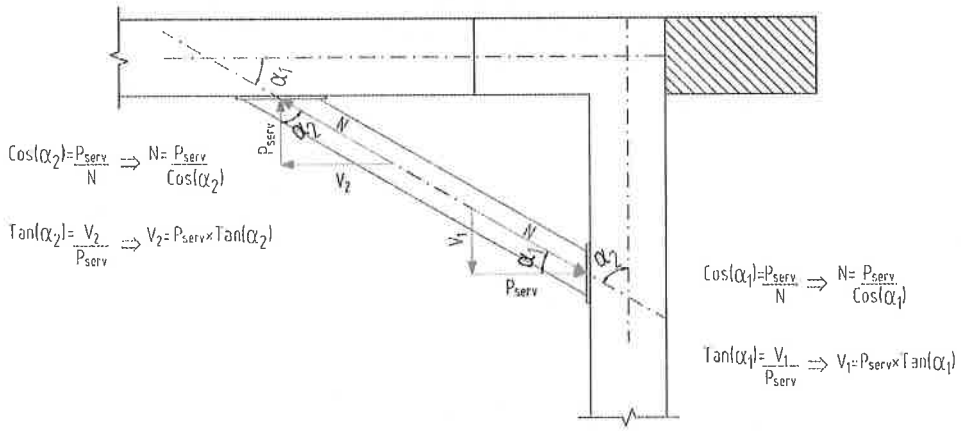



Figura 4. Solicitaciones en puntales de esquina.

Tomando las cargas de servicio del informe técnico del sistema de contención se calculan las solicitaciones en los puntales (N).

| Nivel del puntal | Tipo 1 (kN) | Tipo 2 (kN) | Tipo 3 (kN) | Tipo 4 (kN) | Tipo 5 (kN) | Tipo 6 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1er nivel | 960 | 900 | 840 | 840 | 1120 | 470 |
| 2do nivel | 2340 | 900 | 1470 | 1470 | 1570 | 800 |
| 3er nivel | 2460 | 1800 | 1590 | 1590 | 1700 | 870 |
| 4to nivel | | 1800 | | | | |

Tabla 1. Carga axial en servicio (N).

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0268

## 8.0 VERIFICACIÓN

Para cada puntal, en primer caso se verifica el pandeo local en las alas y almas para determinar si el elemento es compacto o esbelto. Posteriormente se calcula la resistencia a la flexión y a la compresión, para esto se calcula la esbeltez del elemento que toma en cuenta la longitud y el empotramiento en el muro. Como último paso se obtiene el factor demanda-capacidad (D/C) siendo este la relación entre las resistencias minoradas ($\Phi P_n$) y las solicitaciones mayoradas ($P_{ult}$). Donde $P_{ult}$ es la carga axial en servicio del puntal ($N_{ult}$) multiplicada por 1,6. Para dar por aceptada la sección dispuesta, el factor demanda-capacidad debe ser menor a la unidad.

## 9.0 RESULTADO DE LA VERIFICACIÓN

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de la verificación para cada puntal, para detalle de la verificación ver Anexo I.

| Puntales Nivel 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntal | Long. (m) | $N_{serv}$ (kN) | Sección | $\Phi P_n$ (kN) | $N_{ult}$ (kN) | Factor D/C |
| Tipo 1 | 2,78 | 960 | 2xUPN300 | 2600,71 | 1536 | 0,591 |
| Tipo 2 | 2,78 | 900 | 2xUPN300 | 2600,71 | 1440 | 0,554 |
| Tipo 3 | 7,80 | 840 | 2xUPN300 | 2309,73 | 1344 | 0,582 |
| Tipo 4 | 7,80 | 840 | 2xUPN300 | 2309,73 | 1344 | 0,582 |
| Tipo 5 | 7,80 | 1120 | 2xUPN300 | 2309,73 | 1792 | 0,776 |
| Tipo 6 | 7,80 | 470 | 2xUPN300 | 2309,73 | 752 | 0,326 |

| Puntales Nivel 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntal | Long. (m) | $N_{serv}$ (kN) | Sección | $\Phi P_n$ (kN) | $N_{ult}$ (kN) | Factor D/C |
| Tipo 1 | 2,78 | 2340 | 2xUPN400 | 4021,66 | 3744 | 0,931 |
| Tipo 2 | 2,78 | 900 | 2xUPN300 | 2600,71 | 1440 | 0,554 |
| Tipo 3 | 7,80 | 1470 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2352 | 0,795 |
| Tipo 4 | 7,80 | 1470 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2352 | 0,795 |
| Tipo 5 | 7,80 | 1570 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2512 | 0,849 |
| Tipo 6 | 7,80 | 800 | 2xUPN300 | 2309,73 | 1280 | 0,554 |

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

| Puntales Nivel 3a y 3b | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntal | Long. (m) | $N_{serv}$ (kN) | Sección | $\Phi P_n$ (kN) | $N_{ult}$ (kN) | Factor D/C |
| Tipo 2 | 1,81 | 1800 | 2xUPN320 | 3346,89 | 2880 | 0,861 |
| **Puntales Nivel 3** | | | | | | |
| Puntal | Long. (m) | $N_{serv}$ (kN) | Sección | $\Phi P_n$ (kN) | $N_{ult}$ (kN) | Factor D/C |
| Tipo 1 | 2,78 | 2460 | 2xUPN400 | 4021,66 | 3936 | 0,979 |
| Tipo 3 | 7,80 | 1590 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2544 | 0,860 |
| Tipo 4 | 7,80 | 1590 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2544 | 0,860 |
| Tipo 5 | 7,80 | 1700 | 2xUPN320 | 2957,97 | 2720 | 0,920 |
| Tipo 6 | 7,80 | 870 | 2xUPN300 | 2309,73 | 1392 | 0,603 |

Tabla 2. Fuerzas internas en puntales.

## 10.0 PLACA DE CONEXIÓN

Para vincular el puntal con el muro colado, este se soldará a una placa metálica, la soldadura será de tipo filete de 10 mm de espesor en las alas y en las almas, dicha placa se une a una serie de barras del tipo ADN500 de 20 y 25mm de diámetro según corresponda, finalmente estas se empotran al muro colado por medio de un anclaje químico tipo Hilti o similar.

En los puntales de esquina (1 y 2) se calcula la fuerza horizontal cortante (V) que debe ser absorbida por las barras de anclaje, en los puntales rectos (2, 3, 4, 5 y 6) al no poseer fuerza cortante, la función de las barras de anclaje será únicamente de soportar el peso propio de los puntales antes de entrar en servicio durante la etapa constructiva.

A efectos de practicidad, se verifica la placa más solicitada por flexión, anclaje al muro y de la soldadura a fin de garantizar el correcto comportamiento de la conexión puntal/muro. La placa más solicitada es la Tipo 1, utilizada con el puntal Tipo 1 (2xUPN400) en el nivel 3, a continuación se muestran los resultados del diseño de la placa de empotramiento

| Puntal Tipo 1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fuerza Normal (kN) | Fuerza Horizontal (kN) | Ancho (cm) | Alto (cm) | Espesor (mm) | Cant. Barras anc. |
| 4920 | 1420 | 90 | 34 | 88,1 | 12 Φ 25 |

Para detalles del diseño ver Anexo II, en el plano SBPY-PTAR-DING-PL-301 se figuran los detalles de todos los tipos de placas a utilizas.

acciona
Director de Obra
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0266

## 11.0 CONCLUSIONES

Del análisis y diseño presentado, se concluye que el elemento proyectado conformado por los perfiles 2xUPN300, 2xUPN320 y 2xUPN400 satisface los requerimientos estructurales de acuerdo con las solicitaciones correspondientes.

Los puntales se conectan al muro colado por medio de placas de acero cuyas dimensiones varían según el nivel y la zona ya que depende del ángulo del puntal respecto al muro colado, la placa se vincula al muro por medio de barras ADN500 de 25 mm de diámetro correctamente empotradas usando anclaje químico.

Ver detalles en los planos SBPY-PTAR-DING-PL 300 y SBPY-PTAR-DING-PL 301.

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0265

# 12.0 ANEXO I

## 12.1 PUNTAL P1 – NIVEL 1

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 2,78 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 960 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

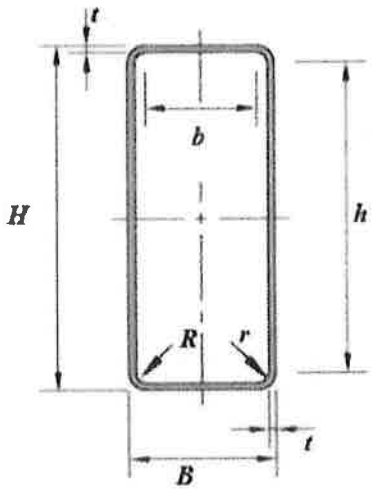
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

**Perfil** **2xUPN300**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay
0264

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

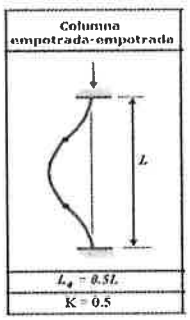
**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 1,39 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 11,87 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 18,05 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 18,05 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 245,72 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2889,68 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2600,71** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |

**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

**$P_{ult}/ØP_n$:** **0,591** ($P_{ult}$ =1.6 · $P_{serv}$)

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.2 PUNTAL P2 – NIVEL 1

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 2,78 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 900 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

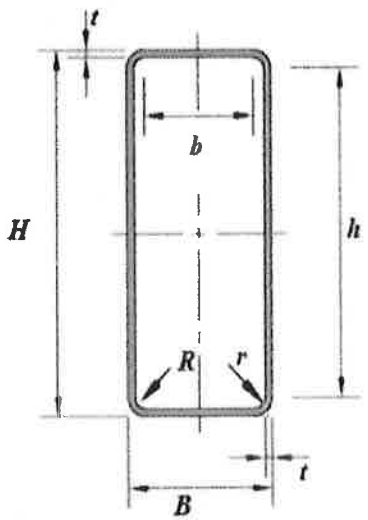
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

**Perfil 2xUPN300**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

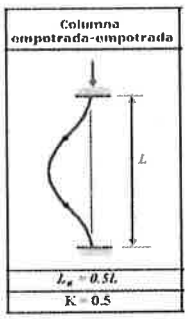
**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 1,39 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 11,87 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 18,05 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 18,05 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 245,72 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2889,68 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2600,71** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |

**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,554

acciona
Ing. John Roman
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.3 PUNTALES P3 Y P4 – NIVEL 1

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 840 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

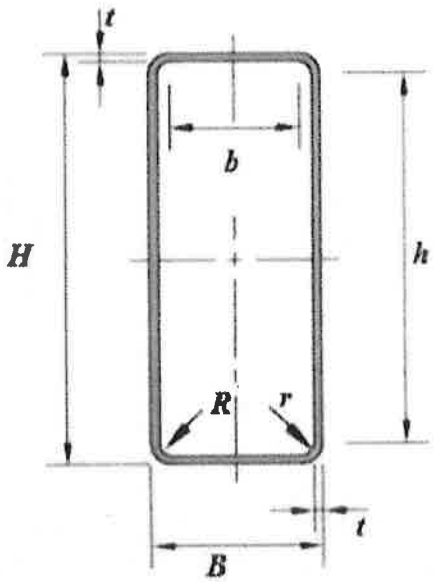
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

**Perfil** 2xUPN300

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0260

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

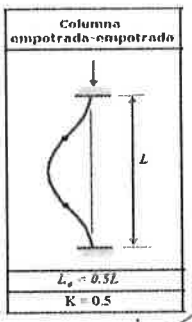
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 33,30 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 50,64 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 50,64 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 218,23 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2566,37 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2309,73** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,582

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.4 PUNTAL P5 – NIVEL 1

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 1120 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

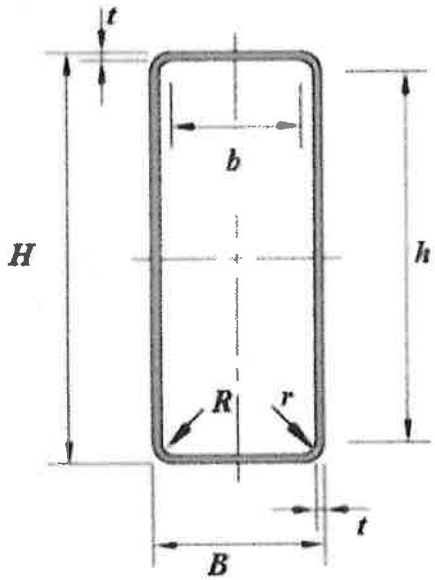
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

**Perfil** **2xUPN300**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

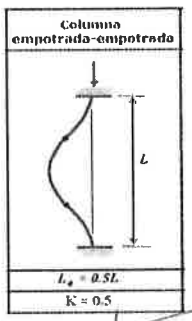
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 33,30 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 50,64 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 50,64 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max}$ < $E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 218,23 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2566,37 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2309,73** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,776

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.5 PUNTAL P6 – NIVEL 1

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 470 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

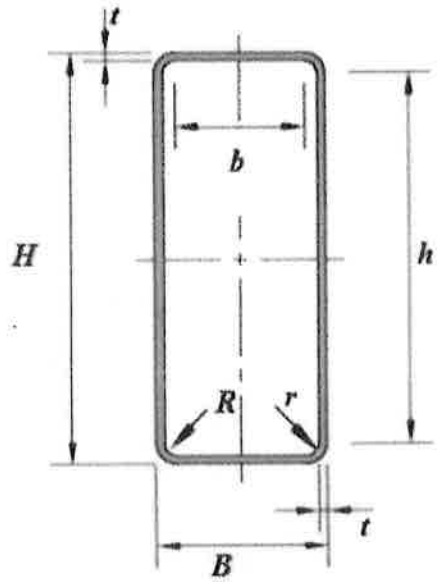
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

**Perfil 2xUPN300**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

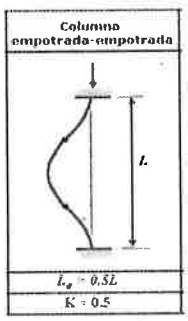
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 33,30 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 50,64 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 50,64 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 218,23 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2566,37 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2309,73** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

**DC: 0,326**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.6 PUNTAL P1 – NIVEL 2

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 2,78 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 2340 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

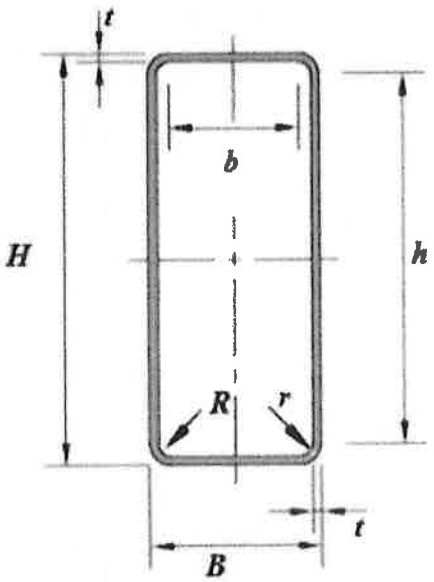
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil 2xUPN400

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 400 | mm | Altura |
| B: | 220 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 18 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 181,12 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 40167,66 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 14027,40 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 2008,38 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1922,30 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 14,89 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 8,80 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 372,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 184,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,22 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. Javier Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 26,57 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

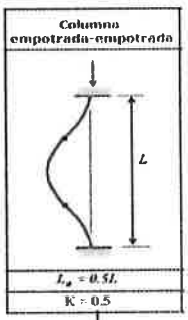
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 480,58 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -50,28 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 234,28 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 24772,10 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 1238,60 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 480,575 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 422,26 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 309,65 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 469,488706 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 480,575 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **432,52** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | |
|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva |
| $L_{efec}$: | 1,39 | m | Longitud efectiva del puntal |
| $E_x$: | 9,33 | | Esbeltez en X ($E_x=K\cdot L/r_x$) |
| $E_y$: | 15,79 | | Esbeltez en Y ($E_y=K\cdot L/r_y$) |
| $E_{max}$: | 15,79 | | Esbeltez máxima del puntal |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico |
| $F_{cr}$: | 246,72 | Mpa | Factor crítico (E3-4) |
| $P_n$: | 4468,51 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) |
| **$ØP_n$:** | **4021,66** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

| | |
|---|---|
| $P_{ult}/ØP_n$: | 0,931 |

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0253

## 12.7 PUNTAL P2 – NIVEL 2

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 2,78 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 900 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

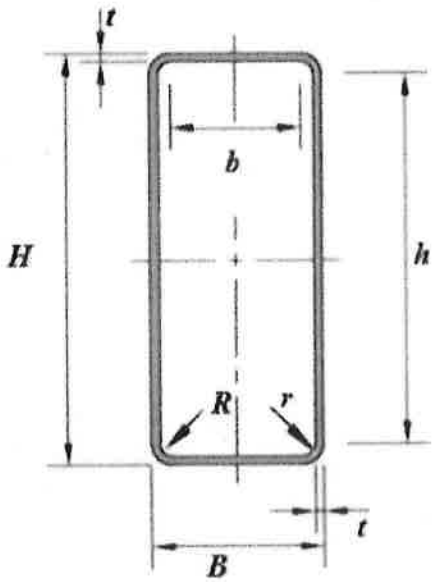
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil 2xUPN300

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

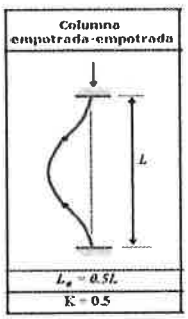
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 1,39 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 11,87 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 18,05 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 18,05 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 245,72 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2889,68 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2600,71** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,554

acciona
Ing. Juan Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.8 PUNTALES P3 Y P4 – NIVEL 2

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 1470 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

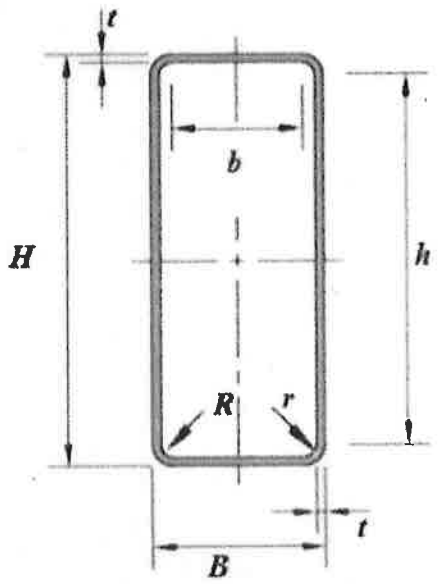
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil **2xUPN320**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 320 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 17,5 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 149,80 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 21432,92 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 9251,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1339,56 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1627,33 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,96 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,86 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 292,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 165,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 9,43 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 20,86 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

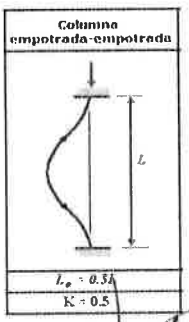
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 406,83 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -132,99 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 297,99 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 9489,73 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 593,11 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 406,83 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 148,28 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 406,8325 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **366,15** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 32,60 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 49,63 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 49,63 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 219,40 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 3286,64 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2957,97** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,795

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.9 PUNTAL P5 – NIVEL 2

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 1570 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

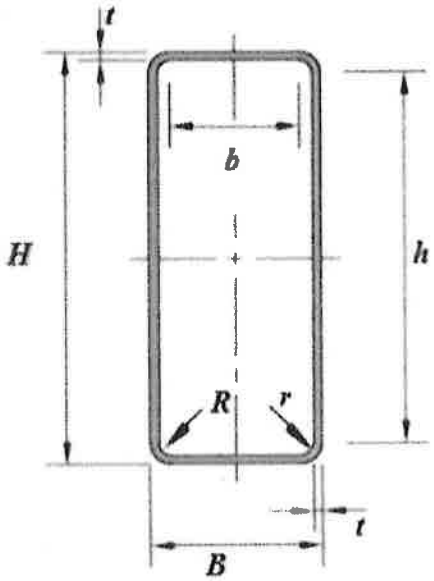
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil 2xUPN320

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 320 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 17,5 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 149,80 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 21432,92 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 9251,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1339,56 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1627,33 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,96 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,86 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 292,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 165,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 9,43 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 20,86 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

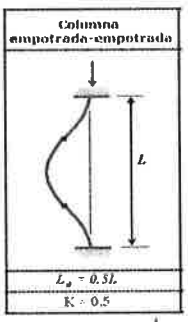
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 406,83 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -132,99 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 297,99 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 9489,73 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 593,11 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 406,83 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 148,28 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 406,8325 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **366,15** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 32,60 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 49,63 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 49,63 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 219,40 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 3286,64 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2957,97** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,849

Ingeniero Residente
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0247

## 12.10 PUNTAL P6 – NIVEL 2

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 800 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

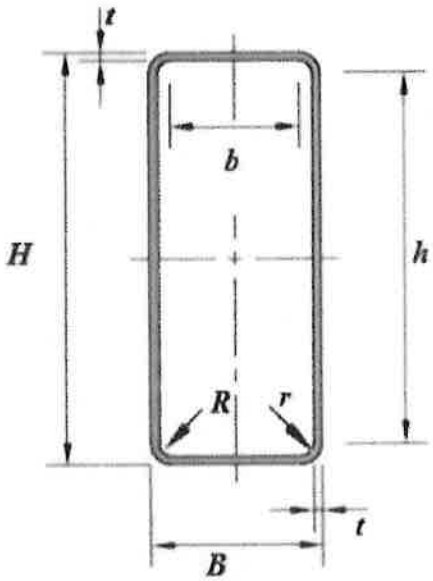
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil **2xUPN300**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 300 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 10 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 16 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 117,60 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 16126,75 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 6976,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1075,12 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1267,92 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,71 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,70 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 280,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 168,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,50 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona - Sol - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 28,00 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

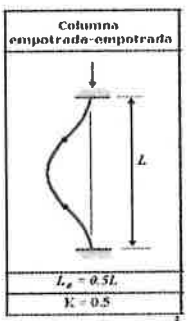
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 316,98 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -20,52 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 188,52 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 10038,07 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 669,20 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 167,30 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 316,98 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 316,98 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **285,28** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 33,30 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 50,64 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 50,64 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 218,23 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 2566,37 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **2309,73** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,554

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.11 PUNTAL P1 – NIVEL 3

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 2,78 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 2460 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

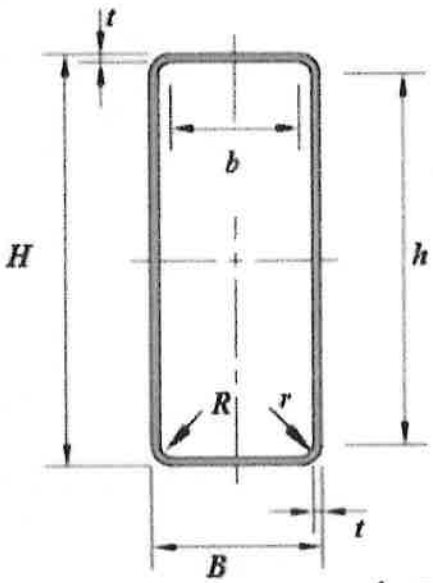
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil **2xUPN400**

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 400 | mm | Altura |
| B: | 220 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 18 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 181,12 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 40167,66 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 14027,40 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 2008,38 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1922,30 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 14,89 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 8,80 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 372,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 184,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 10,22 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Aseguramiento de Calidad
Asunción - Paraguay

0244

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 26,57 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |
| **Las almas de la sección son:** | | | **Compactas** |

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

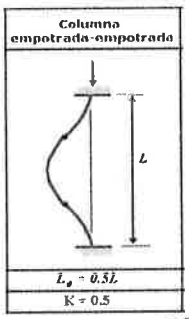
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 480,58 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -50,28 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 234,28 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 24772,10 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 1238,60 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 480,575 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 422,26 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 309,65 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 469,488706 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 480,575 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **432,52** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 1,39 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 9,33 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 15,79 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 15,79 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 246,72 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 4468,51 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **4021,66** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,979

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0243

## 12.12 PUNTAL P2 – NIVEL 3A Y 3B

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 1,81 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 1800 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

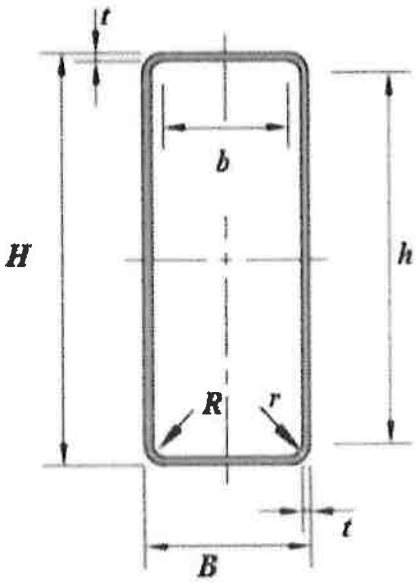
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil 2xUPN320

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 320 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 17,5 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 149,80 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 21432,92 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 9251,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1339,56 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1627,33 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,96 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,86 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 292,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 165,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 9,43 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 20,86 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

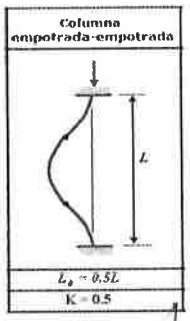
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 406,83 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -132,99 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 297,99 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 9489,73 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 593,11 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 406,83 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 148,28 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 406,8325 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **366,15** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva | |
| $L_{efec}$: | 0,91 | m | Longitud efectiva del puntal | |
| $E_x$: | 7,57 | | Esbeltez en X | ($E_x$=K·L/$r_x$) |
| $E_y$: | 11,52 | | Esbeltez en Y | ($E_y$=K·L/$r_y$) |
| $E_{max}$: | 11,52 | | Esbeltez máxima del puntal | |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) | |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico | |
| $F_{cr}$: | 248,25 | Mpa | Factor crítico (E3-4) | |
| $P_n$: | 3718,76 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) | |
| **$ØP_n$:** | **3346,89** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** | |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

| | |
|---|---|
| $P_{ult}/ØP_n$: | 0,861 |

acciona
Ing. Juan Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

## 12.13 PUNTALES P3 Y P4 – NIVEL 3

**1) Datos Generales**

| | | | |
|---|---|---|---|
| L: | 7,80 | m | Longitud del puntal |
| $P_{serv}$: | 1590 | kN | Carga axial a compresión en servicio |
| $M_{serv}$: | 0 | kN·m | Momento flector en servicio |

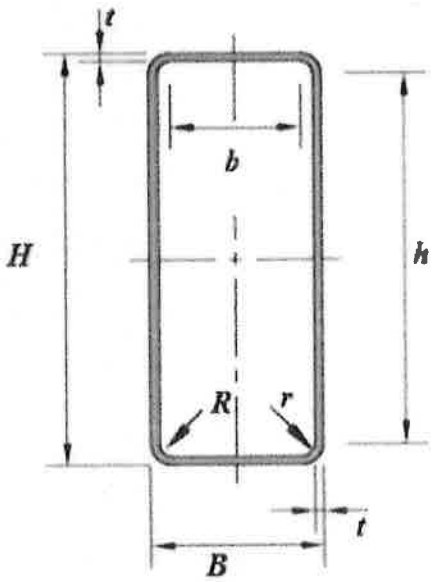
**2) Tipo de material**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acero | A36 | $F_y$: | 250 | Mpa | Tensión de fluencia |
| | | E: | 200 | GPa | Módulo de elasticidad |

**3) Parámetros del perfil a utilizar**

Perfil 2xUPN320

| | | | |
|---|---|---|---|
| H: | 320 | mm | Altura |
| B: | 200 | mm | Ancho |
| $t_{alma}$: | 14 | mm | Espesor del alma |
| $t_{ala}$: | 17,5 | mm | Espesor del ala |
| $A_g$: | 149,80 | $cm^2$ | Área bruta |
| $I_x$: | 21432,92 | $cm^4$ | Inercia en X |
| $I_y$: | 9251,20 | $cm^4$ | Inercia en Y |
| $S_x$: | 1339,56 | $cm^3$ | Módulo elástico en X |
| $Z_x$: | 1627,33 | $cm^3$ | Módulo plástico en X |
| $r_x$: | 11,96 | cm | Radio de giro en X |
| $r_y$: | 7,86 | cm | Radio de giro en Y |
| h: | 292,00 | mm | Altura libre del alma |
| b: | 165,00 | mm | Altura libre del ala |




**4) Verificación a flexión**

**a) Pandeo local del ala (Tabla B4.1b / Caso 17)**

| | | |
|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 9,43 | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 31,68 | Límite entre alas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 39,60 | Límite entre alas no compactas y esbeltas |

**Las alas de la sección son: Compactas**

acciona
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay

0240

**b) Pandeo local del alma (Tabla B4.1b / Caso 19)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\lambda_{ala}$: | 20,86 | | Esbeltez del ala |
| $\lambda_{p_ala}$: | 68,45 | | Límite entre almas compactas y no compactas |
| $\lambda_{r_ala}$: | 161,22 | | Límite entre almas no compactas y esbeltas |

**Las almas de la sección son: Compactas**

**4.2) Resistencia a la flexión**

**a) Cálculo del momento plástico y módulo de sección efectivo**

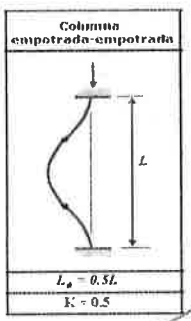
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_p$: | 406,83 | kN·m | Momento plástico (F2-1) |
| $b_{efec}$: | -132,99 | mm | Ancho efectivo (F7-4) |
| $b-b_{efec}$: | 297,99 | mm | Ancho no efectivo |
| $I_{efec}$: | 9489,73 | $cm^4$ | Inercia efectiva |
| $S_{efec}$: | 593,11 | $cm^3$ | Módulo de sección efectivo |

**b) Cálculo de la resistencia a flexión (Mn) en función de la esbeltez**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{n_1}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las alas son compactas (F7-1) |
| $M_{n_2}$: | 406,83 | kN·m | Aplica si las alas son no compactas (F7-2) |
| $M_{n_3}$: | 148,28 | kN·m | Aplica si las alas son esbeltas (F7-3) |
| $M_{n_4}$: | 406,8325 | kN·m | Aplica si las almas son no compactas o esbeltas (F7-5) |
| $M_n$: | 406,8325 | kN·m | Resistencia nominal a la flexión |
| **$ØM_n$:** | **366,15** | **kN·m** | **Resistencia minorada a la flexión (Con Ø=0.9)** |

**5) Resistencia a la compresión**

| | | | |
|---|---|---|---|
| K: | 0,50 | | Factor de longitud efectiva |
| $L_{efec}$: | 3,90 | m | Longitud efectiva del puntal |
| $E_x$: | 32,60 | | Esbeltez en X ($E_x=K\cdot L/r_x$) |
| $E_y$: | 49,63 | | Esbeltez en Y ($E_y=K\cdot L/r_y$) |
| $E_{max}$: | 49,63 | | Esbeltez máxima del puntal |
| $E_{limite}$: | 133,22 | | Esbeltez límite (E3-2/3) |
| **Pandeo** | **inelástico** | | Si $E_{max} < E_{limite}$ ocurre pandeo inelástico |
| $F_{cr}$: | 219,40 | Mpa | Factor crítico (E3-4) |
| $P_n$: | 3286,64 | kN | Resistencia nominal a la compresión (E3-1) |
| **$ØP_n$:** | **2957,97** | **kN** | **Resistencia minorada a la compresión (Con Ø=0.9)** |




**6) Factor demanda/Capacidad (Interacción flexo-compresión)**

$P_{ult}/ØP_n$: 0,860

acciona
Ing. John Román
Director de Obra PTAR Bella Vista
Acciona Agua S.A. - Sucursal Paraguay