

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Santa Fe



Año 2016

## **Cátedra de Proyecto Integrador**

Docentes

**Ing. Juan Pablo Acuña**

**Ing. Oscar Eduardo Maggi**

**Ing. Hugo Ramb**

## **Proyecto Final de Carrera**

**Complejo Ambiental del *Consortio para la GIRSU del Área Metropolitana Corredor Ruta N° 1.-***

**-Tomo 3-**

Alumnos:

**DIEHL, Ayelén**

**MENDOZA, Gonzalo**

Director del Proyecto:

Ing. José Francisco Frutos

Codirectora del Proyecto:

Ing. Alejandra Prono

Carrera:

Ingeniería Civil

## **14. Anexos**

14.1. Cálculo y Diseño complementarios

14.2. Planos

14.3. Otros

14.4. Soporte Digital

## 14.1. Cálculo y Diseño complementarios

14.1.1.	Diseño de las naves metálicas.....	4
14.1.1.1.	Análisis Estructural.....	4
14.1.1.2.	Análisis estructural con software.....	5
14.1.1.3.	Cargas de viento.....	5
14.1.1.4.	Sobrecargas mínima para cubierta .....	10
14.1.1.5.	Viga Principal.....	10
14.1.1.6.	Columnas.....	37
14.1.1.7.	Correas .....	51
14.1.1.8.	Arriostramientos .....	55
14.1.1.9.	Secciones Finales.....	57
14.1.2.	Tornillo sin fin.....	58
14.1.3.	Cinta elevadora y transportadora .....	61
14.1.4.	Molino.....	63
14.1.5.	Bomba centrífuga 1 .....	65
14.1.6.	Tanque pulmón.....	70
14.1.7.	Bomba centrífuga 2.....	72
14.1.8.	Biodiscos .....	75

## Índice de Figuras

Figura 14.1   Viga Principal.- .....	10
Figura 14.2   Barra armada del Grupo II.- .....	11
Figura 14.3   Esquema de la sección adoptada.- .....	12
Figura 14.4   Esquema de la sección adoptada.- .....	16
Figura 14.5   Esquema de la sección adoptada.- .....	19
Figura 14.6   Esquema de la sección adoptada.- .....	23
Figura 14.7   Esquema de la chapa de nudo.- .....	26
Figura 14.8   Esquema de unión “Montante-Chapa de Nudo”.- .....	26
Figura 14.9   Esquema de unión “Diagonal-Chapa de Nudo”.- .....	31
Figura 14.10   Esquema de la unión “Cordón inferior-Chapa de nudo”.- .....	35
Figura 14.11   Esquema de la seccion adoptada.- .....	38
Figura 14.12   Esquema de la base.- .....	46
Figura 14.13   Detalle de Perno de Anclaje.- .....	49
Figura 14.14   Esquema de la sección adoptada.- .....	52
Figura 14.15   Distribucion de arriostramientos en cubierta.- .....	56
Figura 14.16   Molino de martillos.- .....	64
Figura 14.17   Trabajo a realizar por la Bomba centrífuga 1.- .....	65
Figura 14.18   Trabajo a realizar por la Bomba centrífuga 2.- .....	72
Figura 14.19   Esquema básico de funcionamiento del reactor de Biodiscos.- .....	76

## Índice de Tablas

Tabla 14.1   Presiones de viento.- .....	9
Tabla 14.2   Propiedades Perfil PNL “64x64x6,4”.- .....	12
Tabla 14.3   Propiedades Perfil PNL “57x57x6,4”.- .....	16
Tabla 14.4   Propiedades Perfil PNL “25x25x3,2”.- .....	19
Tabla 14.5   Propiedades Perfil PNL “25x25x3,2”.- .....	23
Tabla 14.6   Propiedades Perfiles PNL “89x89x12,7” y “29x29x3,2”.-.....	38
Tabla 14.7   Cargas en correas de techo.-.....	52
Tabla 14.8   Cargas en correas de pared.- .....	52
Tabla 14.9   Propiedades Perfil UPN 160.- .....	53
Tabla 14.10   Secciones Finales.- .....	57
Tabla 14.11   Valores de $ffo$ para distintos materiales.-.....	59
Tabla 14.12   Longitudes equivalentes de los accesorios.- .....	67
Tabla 14.13   Longitudes equivalentes de los accesorios.- .....	73

## 14.1.1. Diseño de las naves metálicas

### 14.1.1.1. Análisis Estructural

Se realizará un análisis elástico de primer orden de manera de lograr la mayor correspondencia posible entre la situación real y el modelo e hipótesis de análisis adoptadas.

Se utilizan las combinaciones de acciones para los estados límites últimos del reglamento CIRSOC 301.

Se resuelve la estructura con estas combinaciones de acciones en software de cálculo “RAM Advanse”.

#### Combinaciones de acciones

La resistencia requerida de la estructura, y de sus distintos elementos estructurales, se determinará en función de la combinación crítica.

Se analizan las siguientes combinaciones de acciones, con sus correspondientes factores de carga:

- $1,4 \times (D + F)$
- $1,2 \times (D + F + T) + 1,6(L + H) + (f_1 \times L_r \text{ ó } 0,5 \times S \text{ ó } 0,5 \times R)$
- $1,2 \times D + 1,6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (f_1 \times L \text{ ó } 0,8 \times W)$
- $1,2 \times D + 1,5 \times W + f_1 \times L + (f_1 \times L_r \text{ ó } 0,5 \times S \text{ ó } 0,5 \times R)$
- $1,2 \times D + 1,0 \times E + f_1 \times (L + L_r) + f_2 \times S$
- $0,9 \times D + (1,5 \times W \text{ ó } 1,0 \times E) + 1,6 \times H$

Donde:

**f<sub>1</sub>: 1,0** para áreas con concentración de público, áreas donde la sobrecarga sea mayor a 5,0 [kN/m<sup>2</sup>], garajes o playas de estacionamiento, cargas de puentes grúas y monorraíles y otras cargas concentradas mayores a 50 [kN].

**f<sub>1</sub>: 0,5** para otras sobrecargas.

**f<sub>2</sub>: 0,7** para configuraciones particulares de techos (tales como las de diente de sierra) que no permiten evacuar la nieve acumulada

**f<sub>2</sub>: 0,2** para otras configuraciones de techo.

#### Combinaciones de acciones aplicadas

Las cargas actuantes en la estructura son:

- **D:** peso propio.

- **L<sub>r</sub>**: sobrecarga de cubierta por metro cuadrado de proyección horizontal en [kN/m<sup>2</sup>].
- **W**: acción del viento, según CIRSOC 102:2005 (dirección X, -X, Z y -Z).

Y el factor  $f_1$  se adopta igual a 0,5.

Por lo tanto las combinaciones a evaluar serán:

- $1,4 \times D$
- $1,2 \times D + 0,5 \times L_r$
- $1,2 \times D + 1,6 \times L_r + 0,8 \times W_x$
- $1,2 \times D + 1,6 \times L_r + 0,8 \times W_{-x}$
- $1,2 \times D + 1,6 \times L_r + 0,8 \times W_z$
- $1,2 \times D + 1,6 \times L_r + 0,8 \times W_{-z}$
- $1,2 \times D + 0,5 \times L_r + 1,5 \times W_x$
- $1,2 \times D + 0,5 \times L_r + 1,5 \times W_{-x}$
- $1,2 \times D + 0,5 \times L_r + 1,5 \times W_z$
- $1,2 \times D + 0,5 \times L_r + 1,5 \times W_{-z}$
- $0,9 \times D + 1,5 \times W_x$
- $0,9 \times D + 1,5 \times W_{-x}$
- $0,9 \times D + 1,5 \times W_z$
- $0,9 \times D + 1,5 \times W_{-z}$

#### 14.1.1.2. Análisis estructural con software

En todos los elementos se utilizó acero con las siguientes características:

Material: Acero F-24.

- Coeficiente de Poisson: 0,3
- Peso unitario:  $0,000077 [N/mm^3]$
- Coeficiente de dilatación térmica:  $0,000012 [1/^\circ C]$
- Módulo de elasticidad:  $2 \times 10^5 [N/mm^2]$
- Tensión de fluencia del acero:  $F_y = 235 [N/mm^2]$
- Relación de tensiones de fluencia:  $R_y = 1,5$
- Resistencia última del acero:  $F_u = 370 [N/mm^2]$

Se cargaron todos los elementos estructurales con las secciones y dimensiones aproximadas que a continuación se muestran. Se utilizaron solo elementos lineales.

#### 14.1.1.3. Cargas de viento

Se realiza el cálculo de las cargas de viento según el Método Analítico del CIRSOC 102:2005.

#### Método Analítico

Para obtener la presión dinámica del viento sobre cada cerramiento, se utiliza el programa de cálculo Viento 1.0 que se basa en el reglamento CIRSOC 102:2005. A continuación plantean las consideraciones necesarias para trabajar con dicho programa, según el Reglamento.

### ***Categoría de exposición***

La categoría de exposición refleja las características del terreno en el cual se construye el edificio en cada dirección de viento considerada. En este caso, según el artículo 5.6 del reglamento, la categoría de exposición es la *C* que corresponde a terrenos abiertos con obstrucciones dispersas, con alturas generalmente menores que 10 [m]. Esta categoría incluye campo abierto plano y terrenos agrícolas.

### ***Factor de Importancia I***

En base a la categoría del edificio -la cual se determina según la Tabla A-1 del Apéndice A en función de la Naturaleza de la Ocupación- se obtiene el factor de importancia *I* de la Tabla 1.

Para este caso, se tiene una ocupación *Tipo II* a la cual corresponde un valor de:

$$I = 1,00$$

### ***Velocidad básica del viento V***

De acuerdo con el artículo 5.4 del reglamento, la velocidad básica del viento se obtiene de la Tabla Figura 1 B. Allí se indica que para la ciudad de Santa Fe:

$$V = 51,0[m/s]$$

### ***Factor de direccionalidad $K_d$***

Por su parte, el factor de direccionalidad  $K_d$  se obtiene de la Tabla 6 en función del Tipo de estructura, siendo  $K_d = 0,85$  el valor correspondiente para *Sistema principal resistente a la fuerza de viento de edificios*.

### ***Factor topográfico $K_{zt}$***

Por no presentar la zona grandes depresiones o salientes, no se presentan efectos topográficos en la velocidad del viento.

Por lo tanto el factor topográfico  $K_{zt} = 1,0$ .

### ***Factor de Efecto de Ráfaga G***

De acuerdo con los comentarios al CIRSOC 102:2005, la mayoría de las estructuras rígidas tienen una relación de altura respecto a su ancho mínimo menor que 4. Esto implica que la estructura es rígida y la frecuencia natural de la misma es mayor o igual a 1 Hz y, según el artículo 5.8.1 del Reglamento:

$$G = 0,85$$



Para las dimensiones planteadas, se verifica:

$$\frac{h}{a_{min}} = \frac{6,80 [m]}{21,00 [m]} = 0,32 < 4 \therefore \text{estructura rígida}$$

### **Clasificación del cerramiento**

El artículo 5.9 establece la clasificación de cerramientos en edificios cerrados, parcialmente cerrado, o abiertos, en función de la relación de superficies de aberturas respecto a las superficies de cada envolvente.

La estructura propuesta tiene una envolvente lateral ciega, una frontal y una trasera con un portón de 5 [m] de ancho por 4 [m] de alto cada una, y la otra envolvente lateral con un portón de 5 [m] de ancho por 4 [m] de alto, una puerta de 1 [m] de ancho por 2,10 [m] de alto, y una ventana de 2 [m] de ancho por 1 [m] de alto. Por lo tanto, se clasifica como “cerrada” por no cumplir con ninguna de las siguientes condiciones establecidas para edificios abiertos o parcialmente cerrados.

- Edificio abierto: Un edificio que tiene cada pared abierta al menos en un 80%. Esta condición se expresa para cada pared mediante la expresión

$$A_0 \geq 0,8 \times A_g$$

Donde:

- $A_0$  el área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva en [m<sup>2</sup>].
- $A_g$  el área total de aquella pared con la cual  $A_0$  está asociada, en [m<sup>2</sup>].

Este edificio no posee todas sus paredes abiertas, por lo que no cumple con las condiciones para clasificar como “abierto”.

- Edificio parcialmente cerrado: Un edificio que cumple con las dos condiciones siguientes:
  - 1) El área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva excede la suma de las áreas de aberturas en el resto de la envolvente del edificio (paredes y cubierta) en más del 10%.
  - 2) El área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva excede el valor menor entre 0,4 [m<sup>2</sup>] ó el 1% del área de dicha pared, y el porcentaje de aberturas en el resto de la envolvente del edificio no excede el 20%.

Estas condiciones están expresadas por las siguientes expresiones:

- 1)  $A_0 > 1,10 A_{0i}$
- 2)  $A_0 > 0,4 m^2$  ó  $> 0,01 A_g$ , el que sea menor, y  $\frac{A_{0i}}{A_{gi}} \leq 0,20$

Siendo:

- $A_0$  el área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva, en [m<sup>2</sup>].

- $A_g$  el área total de aquella pared con la cual  $A_0$  está asociada, en  $[m^2]$ .
- $A_{0i}$  la suma de las áreas de aberturas en la envolvente del edificio (paredes y cubiertas) no incluyendo  $A_0$ , en  $[m^2]$ .
- $A_{gi}$  la suma de las áreas totales de superficie de la envolvente del edificio (paredes y cubierta) no incluyendo  $A_g$ , en  $[m^2]$ .

En este caso, para las paredes frontal y trasera:

- $A_0 = 20[m^2]$
- $A_{0i} = 44,10[m^2]$
- $A_g = 210[m^2]$
- $A_{gi} = 1694[m^2]$

Por lo tanto:

$$20[m^2] < 1,10 \times 44,10[m^2] = 48,51[m^2] \rightarrow \text{No verifica}$$

Y para la pared lateral que posee aberturas:

- $A_0 = 24,10[m^2]$
- $A_{0i} = 40[m^2]$
- $A_g = 350[m^2]$
- $A_{gi} = 1553[m^2]$

Por lo tanto:

$$24,10[m^2] < 1,10 \times 40[m^2] = 44[m^2] \rightarrow \text{No verifica}$$

Al no cumplir con todas las condiciones, no clasifica como “parcialmente cerrado”, por lo que se concluye en consecuencia que se trata de un Edificio Cerrado.

### **Presiones dinámicas del viento**

Los datos obtenidos se vuelcan en el programa de cálculo Viento 1.0, que se basa en el reglamento CIRSOC 102:2005, y se obtienen los valores de la presión dinámica del viento sobre cada cerramiento.

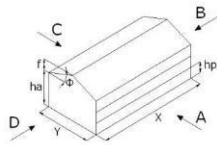
Los “pisos” del edificio se establecen como la separación vertical entre correas de paredes, distancia fijada en 1 [m].

### **Resultados aplicados**

Se resumen en la *Tabla 14.1* las presiones de viento obtenidas con el programa para el sistema principal resistente a la fuerza de viento.

En el *Anexo 14.2.5* se incluyen las planillas obtenidas de dicho programa.

Resumen de Presiones Dinámicas del Viento



Z			Lado A		Lado B		Lado C		Lado D		
			Presión (+Gcpi)	Presión (-Gcpi)	Presión (+Gcpi)	Presión (-Gcpi)	Presión (+Gcpi)	Presión (-Gcpi)	Presión (+Gcpi)	Presión (-Gcpi)	
			[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	[N/m <sup>2</sup> ]	
ZONA 1	Presiones en pared a barlovento		0	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
			1	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
			2	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
			3	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
			4	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
			5	586,31	1008,45	1015,94	578,82	1008,45	586,31	1015,94	578,82
ZONA 2	Presiones en pared a sotavento			-709,43	-287,29	-596,98	-159,87	-709,43	-287,29	-596,98	-159,87
ZONA 3	Presiones en paredes laterales			-908,78	-486,64	-941,00	-503,89	-908,78	-486,64	-941,00	-503,89
ZONA 4	Presiones en cubiertas	Presión entre 0 y h/2	-1108,13	-685,98	-1147,42	-710,31	-1108,13	-685,98	-1147,42	-710,31	
		Presión entre h/2 y h	-1108,13	-685,98	-1147,42	-710,31	-1108,13	-685,98	-1147,42	-710,31	
		Presión entre h y 2h	-709,43	-287,29	-734,59	-297,48	-709,43	-287,29	-734,59	-297,48	
		Presión entre >2h	-510,09	-87,95	-528,18	-91,06	-510,09	-87,95	-528,18	-91,06	
ZONA 5	Presiones en cubiertas	Presión positiva	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
		Presión negativa	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
ZONA 6	Presiones en cubiertas	Presión	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	

Tabla 14.1 | Presiones de viento.-

#### 14.1.1.4. Sobrecargas mínima para cubierta

La cubierta con pendiente a dos aguas debe ser diseñada, según el reglamento, para soportar las sobrecargas especificadas por la siguiente expresión:

$$L_r = 0,96 \times R_1 \times R_2 \quad \text{siendo} \quad 0,58 \leq L_r \leq 0,96$$

Los factores de reducción  $R_1$  y  $R_2$  se determinarán como sigue:

$$\begin{aligned} R_1 &= 1 && \text{para } A_t \leq 19 \text{ m}^2 \\ R_1 &= 1,2 - 0,01076 \times A_t && \text{para } 19 \text{ m}^2 < A_t < 56 \text{ m}^2 \\ R_1 &= 0,6 && \text{para } A_t \geq 56 \text{ m}^2 \\ \\ R_2 &= 1 && \text{para } F \leq 4 \\ R_2 &= 1,2 - 0,05 \times F && \text{para } 4 < F < 12 \\ R_2 &= 0,6 && \text{para } F \geq 12 \end{aligned}$$

Donde:

- $A_t$  área tributaria en metros cuadrados soportada por cualquier elemento estructural.
- Para una cubierta con pendiente,  $F = 0,12 \times$  pendiente, con la pendiente expresada en porcentaje.

Entonces:

$$A_t = 7[m] \times \frac{21[m]}{2} = 73,50 [m^2] \rightarrow 73,50[m^2] > 56[m^2] \Rightarrow R_1 = 0,6$$

$$F = 0,12 \times 17\% = 2,04 \rightarrow 2,04 < 4 \Rightarrow R_2 = 1$$

$$L_r = 0,96 \times 0,6 \times 1 = 0,576 [kN/m^2]$$

Se procede a la selección, dimensionamiento y verificación de los elementos estructurales y de sus uniones.

#### 14.1.1.5. Viga Principal

Se adopta el diseño de una viga reticulada plana, tal como se muestra en la *Figura 14.1*.

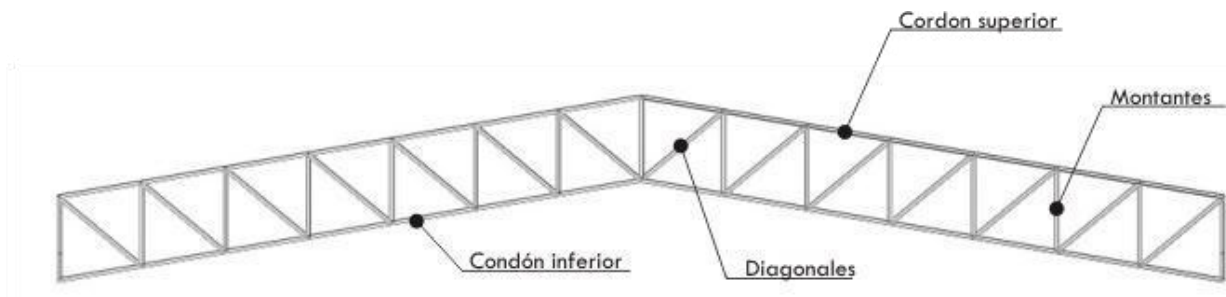


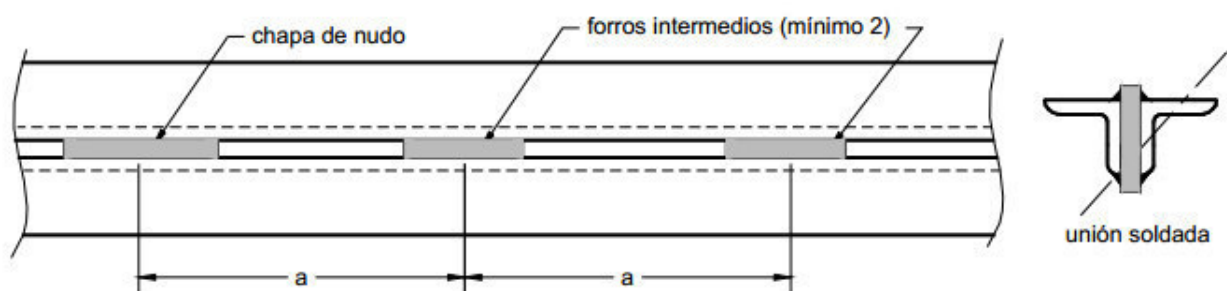
Figura 14.1 | Viga Principal.-

Los cordones son pasantes y a ellos se unen los montantes y diagonales. Se utiliza la misma sección en toda su longitud. Las diagonales y montantes se unen a los cordones indirectamente a través de chapas de nudo.

### Cordón inferior

Para el cordón inferior se propone una barra armada del Grupo II de la sección 4.1, Capítulo E del Reglamento CIRSOC 301 – 2005. En este grupo, los cordones están unidos con forros discontinuos de pequeño espesor. Además se encuentra arriostrado con tornapuntas para lograr la esbeltez necesaria fuera del plano. Se dimensionará a tracción y se verificará a compresión. El dimensionado se realiza de acuerdo al capítulo D.

En la *Figura 14.2* se muestra un esquema de la barra.



*Figura 14.2 | Barra armada del Grupo II.-*

A partir del análisis en software de cálculo, se obtienen los esfuerzos en barras para cada combinación de cargas y se seleccionan los valores máximos para el dimensionamiento y verificación.

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 283,52 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -165,42 [kN]

### Dimensionamiento a tracción

La resistencia de diseño  $R_d$  según la Sección D.1 del Reglamento CIRSOC 301 para *fluencia en la sección bruta* es:

$$R_d = \phi_t \times P_n = \phi_t \times F_y \times A_g$$

Con  $\phi_t = 0,9$

Igualando al esfuerzo máximo de tracción  $N_u$ , se obtiene el área bruta de la sección:

$$N_u = \phi_t \times F_y \times A_g \rightarrow A_g = \frac{N_u}{\phi_t \times F_y} = \frac{283,52 \text{ [kN]}}{0,90 \times 235 \text{ [MPa]}} = 13,41 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Se adopta una barra armada (Grupo II) formada por 2 perfiles L “64x64x6,4”. En la *Figura 14.3* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en la *Tabla 14.2* las propiedades del perfil PNL elegido.

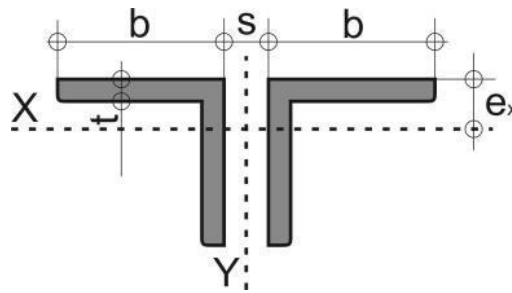


Figura 14.3 | Esquema de la sección adoptada.-

Dimensiones				Sección	Valores estáticos				
b	T	s	e <sub>x</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>ib</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]
63,5	6,4	7,9	1,80	15,74	58,86	134,70	1,93	2,92	1,93

Tabla 14.2 | Propiedades Perfil PNL "64x64x6,4".-

### Verificación a compresión

Pandeo dentro del plano: alrededor de x

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k_x = 1$ , Caso 1 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{px} = k_x \times l_x = 1 \times 1,5152[m] = 1,5152[m]$$

- Esbeltez

$$\lambda_x = \frac{l_{px}}{r_x} = \frac{151,52[cm]}{1,93[cm]} = 78,51$$

Pandeo fuera del plano: alrededor de y

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k_y = 1$ , Caso 1 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301

- Longitud efectiva para pandeo

Siendo  $l$  la distancia máxima entre tornapuntas:

$$l_{py} = k_y \times l_y = 1 \times 3,0304[m] = 3,0304[m]$$

Según la sección E.4.2 (b) la esbeltez modificada de la barra armada resulta:

$$\lambda_m = \left( \frac{k \times L}{r} \right)_m = \sqrt{\left( \frac{k \times L}{r} \right)_0^2 + 0,82 \times \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \times \left( \frac{a}{r_{ib}} \right)^2}$$

Donde:

$\lambda_m$  es la esbeltez modificada de la barra armada.

$\left(\frac{k \times L}{r}\right)_0$  es la esbeltez de la barra armada actuando como una unidad.

$$\left(\frac{k \times L}{r}\right)_0 = \frac{1 \times 303,04[cm]}{2,92[cm]} = 103,78$$

$\frac{a}{r_i}$  es la mayor esbeltez de una barra componente.

$\frac{a}{r_{ib}}$  es la esbeltez de una barra componente relativa a su eje baricéntrico paralelo al eje de pandeo.

$a$  es la distancia entre ejes de forros.

Considerando el mínimo número de forros a colocar, es decir 2 forros, y sabiendo que la longitud de la barra es de 1,5152 [m]:

$$a = \frac{1,5152[m]}{3} = 0,505[m] = 50,5[cm]$$

$r_i$  es el radio de giro mínimo de una barra componente, en [cm].

$r_{ib}$  es el radio de giro de una barra componente respecto a su eje baricéntrico paralelo al eje de pandeo analizado de la barra armada, en [cm].

$\alpha$  es la relación de separación  $= \frac{h}{2 \times r_{ib}}$ .

$h$  es la distancia entre centros de gravedad de las barras (o conjuntos de barras) medida perpendicularmente al eje de pandeo analizado de la barra armada, en [cm].

$$\alpha = \frac{h}{2 \times r_{ib}} = \frac{2 \times 1,80[cm] + 0,79[cm]}{2 \times 1,93[cm]} = 1,14$$

Reemplazando:

$$\lambda_{my} = \sqrt{103,78^2 + 0,82 \times \frac{1,14^2}{(1 + 1,14^2)} \times \left(\frac{50,5[cm]}{1,93[cm]}\right)^2} = 105,30$$

### Resistencia de diseño a la compresión para pandeo flexional

Comparando la esbeltez en cada uno de los ejes resulta que  $\lambda_{max} = \lambda_{my}$ , por lo tanto predomina el pandeo fuera del plano.

- Factor de esbeltez adimensional

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda_{max} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \times 105,30 \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 1,15$$

La resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional según el inciso E.2 del CIRSOC 301 se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c \times P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_g$$

Donde:

- $\phi_c = 0.85$
- La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_c \leq 1.5$ :

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \times F_y = 0.658^{1.15^2} \times 235[MPa] = 135,25[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño al pandeo flexional resulta:

$$P_d = \phi_c \times F_{cr} \times A_g = 0,85 \times 135,25[MPa] \times 15,74[cm^2] = 180,95[kN]$$

$$P_d = 180,95[kN] > N_u = 165,42[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Dimensionamiento de la soldadura**

La soldadura deberá resistir el esfuerzo de corte generado por la máxima sollicitación axial de la barra. Para ello se considera como área efectiva la formada por un plano a 45° aproximadamente a través de la garganta.

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{V_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $V_u$  es la resistencia requerida.

Para el caso de barras armadas del Grupo II, el CIRSOC 301 establece:

*Los bulones, remaches o cordones de soldadura que unan los cordones de la barra armada a las chapas de nudo o a los forros intermedios deberán ser dimensionadas para transmitir las sollicitaciones requeridas resultantes de un esfuerzo de corte ideal:*

$$V_u = 0,02 \times \phi_c \times P_n$$

Siendo:

- $P_n = 283,52[kN]$
- $\phi_c = 0,85$

$$V_u = 0,02 \times 0,85 \times 283,52[kN] = 4,82[kN]$$

- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:



- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 6,4[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{4,82[kN]}{6,11[kN]} = 0,79[cm]$$

La longitud mínima efectiva establecida por el reglamento se fija como:

- $L_{min_1} = 4 \times d = 4 \times 0,5[cm] = 2[cm]$
- $L_{min_2} = 4[cm]$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

### **Cordón superior**

El cordón superior se encuentra arriostrado fuera del plano por los tensores de la viga de contraviento. Se dimensionará a tracción según el capítulo D del CIRSOC 301, y se verificará a compresión.

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 181,81 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -303,81 [kN]

### **Dimensionamiento a tracción**

La resistencia de diseño  $R_d$  según la Sección D.1 del Reglamento CIRSOC 301 para *fluencia en la sección bruta* es:

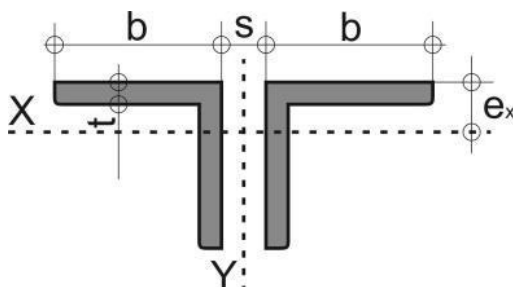
$$R_d = \phi_t \times P_n = \phi_t \times F_y \times A_g$$

Con  $\phi_t = 0,9$

Igualando al esfuerzo máximo de tracción  $N_u$ , se obtiene el área bruta de la sección:

$$N_u = \phi_t \times F_y \times A_g \rightarrow A_g = \frac{N_u}{\phi_t \times F_y} = \frac{181,81[kN]}{0,90 \times 235 [MPa]} = 8,60[cm^2]$$

Se adopta una barra armada (Grupo II) formada por 2 perfiles L “57x57x6,4”. En la *Figura 14.4* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en la *Tabla 14.3* las propiedades del perfil PNL elegido.



*Figura 14.4 | Esquema de la sección adoptada.-*

Dimensiones				Sección	Valores estáticos				
b	t	s	e <sub>x</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>ib</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]
57,1	6,4	7,9	1,63	13,92	40,98	98,06	1,72	2,65	1,72

*Tabla 14.3 | Propiedades Perfil PNL “57x57x6,4”.-*

### **Verificación a compresión**

#### Pandeo dentro del plano: alrededor de x

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$$k_x = 1, \text{ Caso 1 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.}$$

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{px} = k_x \times l_x = 1 \times 1,5219[m] = 1,5219[m]$$

- Esbeltez

$$\lambda_x = \frac{l_{px}}{r_x} = \frac{152,19[cm]}{1,72[cm]} = 88,48$$

#### Pandeo fuera del plano: alrededor de y

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$$k_y = 1, \text{ Caso 1 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301}$$

- Longitud efectiva para pandeo

Siendo  $l$  la distancia máxima entre los puntos arriostrados por tensores:

$$l_{py} = k_y \times l_y = 1 \times 6,0875[m] = 6,0875[m],$$

Según la sección E.4.2 (b) la esbeltez modificada de la barra armada resulta:

$$\lambda_m = \left(\frac{k \times L}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{k \times L}{r}\right)_o^2 + 0.82 \times \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \times \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

Donde:

$$\left(\frac{k \times L}{r}\right)_o = \frac{1 \times 608,75[cm]}{2,65[cm]} = 229,72$$

$$\alpha = \frac{h}{2 \times r_{ib}} = \frac{2 \times 1,63[cm] + 0,79[cm]}{2 \times 1,72[cm]} = 1,18$$

Considerando el mínimo número de forros a colocar, es decir 2 forros, y sabiendo que la longitud de la barra es de 1,5219 [m]:

$$a = \frac{1,5219[m]}{3} = 0,5073[m] = 50,73[cm]$$

Reemplazando:

$$\lambda_{my} = \sqrt{229,72^2 + 0.82 \times \frac{1,18^2}{(1 + 1,18^2)} \times \left(\frac{50,73[cm]}{1,72[cm]}\right)^2} = 230,62$$

#### Resistencia de diseño a la compresión para pandeo flexional

Comparando la esbeltez en cada uno de los ejes resulta que  $\lambda_{max} = \lambda_{my}$ , por lo tanto predomina el pandeo fuera del plano.

- Factor de esbeltez adimensional

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda_{max} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \times 230,62 \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 2,52$$

La resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional según el inciso E.2 del CIRSOC 301 se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c \times P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_g$$

Donde:

- $\phi_c = 0.85$
- La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_c > 1.5$ :

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right] \times F_y = \left[\frac{0,877}{2,52^2}\right] \times 235[MPa] = 32,55[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño al pandeo flexional resulta:

$$P_d = \phi_c \times F_{cr} \times A_g = 0,85 \times 32,55[MPa] \times 13,92[cm^2] = 385,14[kN]$$

$$P_d = 385,14[kN] > N_u = 303,81[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Dimensionamiento de la soldadura**

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{V_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $V_u$  es la resistencia requerida.

$$V_u = 0,02 \times \phi_C \times P_n$$

Siendo:

- $P_n = 303,81[kN]$
- $\phi_C = 0,85$

$$V_u = 0,02 \times 0,85 \times 303,81[kN] = 5,17[kN]$$

- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 6,4[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{5,17[kN]}{6,11[kN]} = 0,85[cm]$$

La longitud mínima efectiva establecida por el reglamento se fija como:

- $L_{min_1} = 4 \times d = 4 \times 0,5[cm] = 2[cm]$

▪  $L_{min_2} = 4[cm]$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

**Montantes**

Los montantes se dimensionarán a tracción según el capítulo D del CIRSOC 301, y se verificará a compresión.

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 89,11 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -88,94 [kN]

**Dimensionamiento a tracción**

La resistencia de diseño  $R_d$  según la Sección D.1 del Reglamento CIRSOC 301 para fluencia en la sección bruta es:

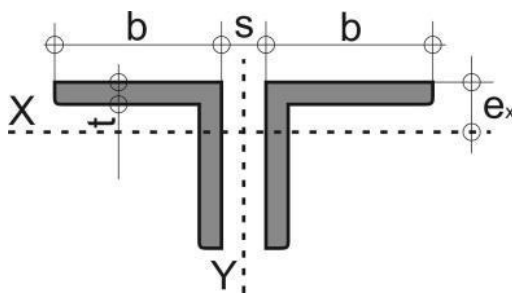
$$R_d = \phi_t \times P_n = \phi_t \times F_y \times A_g$$

Con  $\phi_t = 0,9$

Igualando al esfuerzo máximo de tracción  $N_u$ , se obtiene el área bruta de la sección:

$$N_u = \phi_t \times F_y \times A_g \rightarrow A_g = \frac{N_u}{\phi_t \times F_y} = \frac{89,11[kN]}{0,90 \times 235 [MPa]} = 0,42[cm^2]$$

Se adopta una barra armada (Grupo II) formada por 2 perfiles L “25x25x3,2”. En la *Figura 14.5* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en la *Tabla 14.4* las propiedades del perfil PNL elegido.



*Figura 14.5 | Esquema de la sección adoptada.-*

Dimensiones				Sección	Valores estáticos				
b	t	s	e <sub>x</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>ib</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]
25,4	3,2	7,9	0,73	3,02	1,68	1,93	0,75	0,80	0,75

*Tabla 14.4 | Propiedades Perfil PNL “25x25x3,2”.-*

**Verificación a compresión**

Pandeo dentro del plano: alrededor de x

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k_x = 0,90$ , Caso 3 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{px} = k_x \times l_x = 0,90 \times 1,80[m] = 1,62[m]$$

- Esbeltez

$$\lambda_x = \frac{l_{px}}{r_x} = \frac{162[cm]}{0,75[cm]} = 216$$

Pandeo fuera del plano: alrededor de y

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k_y = 0,90$ , Caso 3 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{py} = k_y \times l_y = 0,90 \times 1,80[m] = 1,62[m]$$

Según la sección E.4.2 (b) la esbeltez modificada de la barra armada resulta:

$$\lambda_m = \left(\frac{k \times L}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{k \times L}{r}\right)_o^2 + 0,82 \times \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \times \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

Donde:

$$\left(\frac{k \times L}{r}\right)_o = \frac{0,90 \times 180[cm]}{0,80[cm]} = 202,5$$

$$\alpha = \frac{h}{2 \times r_{ib}} = \frac{2 \times 0,73[cm] + 0,79[cm]}{2 \times 0,75[cm]} = 1,50$$

Considerando el mínimo número de forros a colocar, es decir 2 forros, y sabiendo que la longitud de la barra es de 1,80 [m]:

$$a = \frac{1,80[m]}{3} = 0,60[m] = 60[cm]$$

Reemplazando:

$$\lambda_{my} = \sqrt{202,50^2 + 0,82 \times \frac{1,50^2}{(1 + 1,50^2)} \times \left(\frac{60[cm]}{0,75[cm]}\right)^2} = 211,28$$

Resistencia de diseño a la compresión para pandeo flexional

Comparando la esbeltez en cada uno de los ejes resulta que  $\lambda_{max} = \lambda_{mx}$ , por lo tanto predomina el pandeo en el plano.

- Factor de esbeltez adimensional

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda_{max} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \times 216 \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 2,36$$

La resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional según el inciso E.2 del CIRSOC 301 se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c \times P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_g$$

Donde:

- $\phi_c = 0.85$
- La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_c > 1.5$ :

$$F_{cr} = \left[ \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] \times F_y = \left[ \frac{0,877}{2,36^2} \right] \times 235[MPa] = 37,10[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño al pandeo flexional resulta:

$$P_d = \phi_c \times F_{cr} \times A_g = 0,85 \times 37,10[MPa] \times 3,02[cm^2] = 95,25[kN]$$

$$P_d = 95,25[kN] > N_u = 88,94[kN] \quad \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Dimensionamiento de la soldadura**

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{V_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $V_u$  es la resistencia requerida.

$$V_u = 0,02 \times \phi_c \times P_n$$

Siendo:

- $P_n = 89,11[kN]$
- $\phi_c = 0,85$

$$V_u = 0,02 \times 0,85 \times 89,11[kN] = 1,52[kN]$$

- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 3,2[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{1,52[kN]}{6,11[kN]} = 0,25[cm]$$

La longitud mínima efectiva establecida por el reglamento se fija como:

- $L_{min_1} = 4 \times d = 4 \times 0,5[cm] = 2[cm]$
- $L_{min_2} = 4[cm]$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

## Diagonales

Las diagonales se dimensionarán a tracción según el capítulo D del CIRSOC 301, y se verificará a compresión.

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 103,60 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -80,23 [kN]

## Dimensionamiento a tracción

La resistencia de diseño  $R_d$  según la Sección D.1 del Reglamento CIRSOC 301 para *fluencia en la sección bruta* es:

$$N_u = \phi_t \times P_n = \phi_t \times F_y \times A_g$$

Con  $\phi_t = 0,9$

Igualando al esfuerzo máximo de tracción  $N_u$ , se obtiene el área bruta de la sección:

$$N_u = \phi_t \times F_y \times A_g \rightarrow A_g = \frac{N_u}{\phi_t \times F_y} = \frac{103,60[kN]}{0,90 \times 235 [MPa]} = 0,49[cm^2]$$

Se adopta una barra armada (Grupo II) formada por 2 perfiles L “25x25x4,8”. En la *Figura 14.6* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en la *Tabla 14.5* las propiedades del perfil PNL elegido.



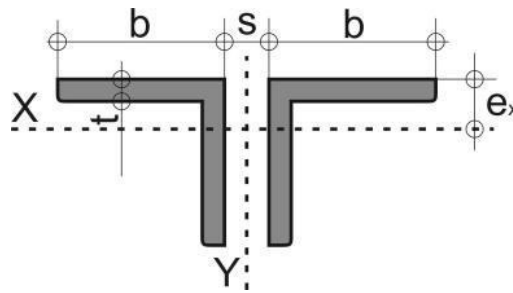


Figura 14.6 | Esquema de la sección adoptada.-

Dimensiones				Sección	Valores estáticos				
b	t	s	e <sub>x</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>ib</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm]	[cm]
25,4	4,8	7,9	0,79	4,38	2,34	8,49	0,73	1,39	0,73

Tabla 14.5 | Propiedades Perfil PNL "25x25x3,2".-

### Verificación a compresión

Pandeo dentro del plano: alrededor de x

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$$k_x = 0,90, \text{ Caso 3 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.}$$

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{px} = k_x \times l_x = 0,90 \times 2,1518[m] = 1,93662[m]$$

- Esbeltez

$$\lambda_x = \frac{l_{px}}{r_x} = \frac{193,662[cm]}{0,73[cm]} = 265,29$$

Pandeo fuera del plano: alrededor de y

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$$k_y = 0,90, \text{ Caso 3 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.}$$

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{py} = k_y \times l_y = 0,90 \times 2,1518[m] = 1,93662[m]$$

Según la sección E.4.2 (b) la esbeltez modificada de la barra armada resulta:

$$\lambda_m = \left( \frac{k \times L}{r} \right)_m = \sqrt{\left( \frac{k \times L}{r} \right)_0^2 + 0.82 \times \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \times \left( \frac{a}{r_{ib}} \right)^2}$$

Donde:

$$\left(\frac{k \times L}{r}\right)_o = \frac{0,90 \times 215,18[cm]}{1,39[cm]} = 139,33$$

$$\alpha = \frac{h}{2 \times r_{ib}} = \frac{2 \times 0,79[cm] + 0,79[cm]}{2 \times 0,73[cm]} = 1,62$$

Considerando el mínimo número de forros a colocar, es decir 2 forros, y sabiendo que la longitud de la barra es de 2,1518 [m]:

$$a = \frac{2,1518[m]}{3} = 0,7173[m] = 71,73[cm]$$

Reemplazando:

$$\lambda_{my} = \sqrt{139,33^2 + 0,82 \times \frac{1,62^2}{(1 + 1,62^2)} \times \left(\frac{71,73[cm]}{0,73[cm]}\right)^2} = 158,57$$

### Resistencia de diseño a la compresión para pandeo flexional

Comparando la esbeltez en cada uno de los ejes resulta que  $\lambda_{max} = \lambda_{mx}$ , por lo tanto predomina el pandeo en el plano.

- Factor de esbeltez adimensional

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda_{max} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \times 265,29 \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 2,90$$

La resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional según el inciso E.2 del CIRSOC 301 se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c \times P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_g$$

Donde:

- $\phi_c = 0,85$
- La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_c > 1,5$ :

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right] \times F_y = \left[\frac{0,877}{2,90^2}\right] \times 235[MPa] = 24,51[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño al pandeo flexional resulta:

$$P_d = \phi_c \times F_{cr} \times A_g = 0,85 \times 24,51[MPa] \times 4,38[cm^2] = 91,24[kN]$$

$$P_d = 91,24[kN] > N_u = 80,23[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Dimensionamiento de la soldadura**

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{V_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $V_u$  es la resistencia requerida.

$$V_u = 0,02 \times \phi_c \times P_n$$

Siendo:

- $P_n = 103,60[kN]$
- $\phi_c = 0,85$

$$V_u = 0,02 \times 0,85 \times 103,60[kN] = 1,76[kN]$$

- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 4,8[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{1,76[kN]}{6,11[kN]} = 0,29[cm]$$

La longitud mínima efectiva establecida por el reglamento se fija como:

- $L_{min_1} = 4 \times d = 4 \times 0,5[cm] = 2[cm]$

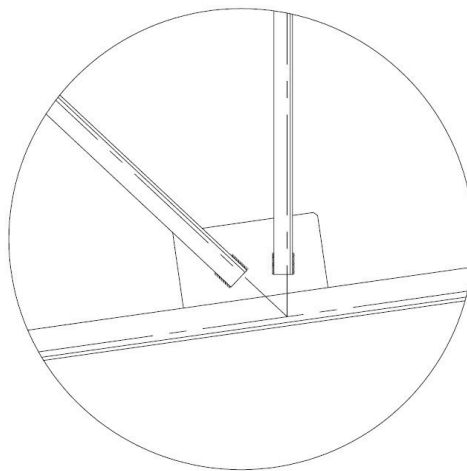
- $L_{min_2} = 4[cm]$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

### Dimensionamiento de la unión soldada

La unión soldada que a dimensionar corresponde a un nodo perteneciente al cordón inferior de la viga reticulada. Al mismo concurren un montante, una diagonal y dos barras del cordón inferior.

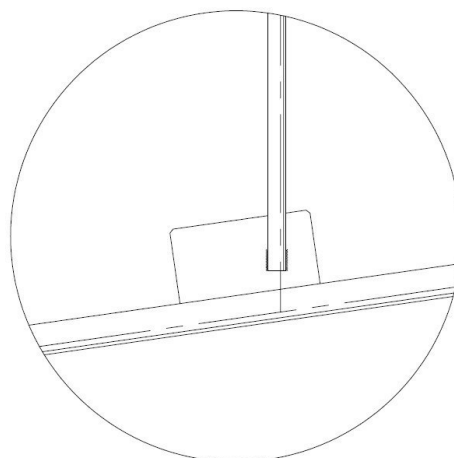
El montante se une a una chapa de nudo, mediante dos cordones de soldadura de filete. La diagonal de la misma manera se une a la chapa de nudo. Luego la chapa de nudo se une al cordón inferior de la viga, mediante cordones de soldadura de filete. En la *Figura 14.7* se muestra un esquema de la unión.



*Figura 14.7 | Esquema de la chapa de nudo.-*

### Unión Montante - Chapa de Nudo

Se dimensionarán las soldaduras necesarias para resistir las solicitaciones actuantes en la unión. En la *Figura 14.8* se muestra un esquema de la unión “Montante-Chapa de Nudo”.



*Figura 14.8 | Esquema de unión “Montante-Chapa de Nudo”.-*

### Montante 2PNL25x25x3.2

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 89,11 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -88,94 [kN]

#### *Longitud del filete necesario*

Se deberá calcular la longitud mínima necesaria total para resistir este esfuerzo, tanto por área neta efectiva del cordón como por resistencia de la unión soldada, adoptando el mayor resultado.

- Por área neta efectiva del montante:

Según la Sección B.3 (2)(b) del CIRSOC 301:

*Cuando la fuerza de tracción se transmite desde un elemento (que no sea una chapa plana) sólo mediante cordones longitudinales de soldadura, o mediante cordones de soldadura longitudinales combinados con cordones transversales:*

$$A_e = A_g \times U$$

Siendo:

- $A_e$  el área neta efectiva.
- $A_g$  el área bruta de la barra, en [cm<sup>2</sup>].  $A_g = 3,02[\text{cm}^2]$
- $U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0,9$ .

Se puede determinar el  $U_{\text{mínimo}}$  a partir del área neta efectiva necesaria  $A_{e_{nec}}$ :

$$U_{\text{mínimo}} = \frac{A_{e_{nec}}}{A_g}$$

Con:

$$A_{e_{nec}} = \frac{T_u \times 10}{\phi_t \times F_u}$$

Donde:

- $T_u = 89,11[\text{kN}]$
- $\phi_t = 0,75$
- $F_u$  la tensión de rotura a tracción especificada, en [MPa],  $F_u = 370[\text{MPa}]$ .

$$A_{e_{nec}} = \frac{89,11[\text{kN}] \times 10}{0,75 \times 370[\text{MPa}]} = 3,21[\text{cm}^2]$$

Entonces  $U_{\text{mínimo}}$  será:

$$U_{\text{mínimo}} = \frac{3,21[\text{cm}^2]}{3,02[\text{cm}^2]} = 1,06 > 0,9 \rightarrow \text{Se adopta } U = 0,9$$

Y la mínima longitud  $L$  del filete, sabiendo que  $\bar{x} = 0,73[cm]$ :

$$L = \frac{\bar{x}}{1 - U} = \frac{0,73[cm]}{1 - 0,9} = 7,3[cm]$$

- Por resistencia de la unión soldada:

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{T_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $T_u = 89,11[kN]$
- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 3,2[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{89,11[kN]}{6,11[kN]} = 14,58[cm]$$

Se dispondrán 4 cordones de soldadura para unir la barra del montante con la chapa de nudo, por lo que cada cordón tendrá una longitud de:

$$L_i = \frac{L_t}{4} = \frac{14,58[cm]}{4} = 3,65[cm]$$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

### Verificación de la chapa de nudo

La chapa de nudo se predimensiona según la geometría y dimensiones de los perfiles que concurren al nudo, adoptando inicialmente una chapa de 400 x 300 x 7,9 [mm].

El ancho de cálculo de la chapa de nudo se supone a partir de una distribución a 30° de la fuerza a transmitir. El ancho de cálculo resulta:

$$b_{ch} = 2 \times L \times tg(30^\circ) + b$$
$$b_{ch} = 2 \times 4[cm] \times tg(30^\circ) + 2,54[cm]$$
$$b_c = 7,16[cm]$$

El área bruta de la sección de la chapa resulta:

$$A_g = b_{ch} \times t_{ch} = 7,16[cm] \times 0,79[cm]$$
$$A_g = 5,66[cm^2]$$

Según la Sección B.3 (2)(d) del CIRSOC 301:

*Cuando la fuerza de tracción se trasmite desde una chapa plana sólo mediante cordones de soldadura longitudinales a lo largo de ambos bordes próximos al extremo de la chapa, debe ser  $L \geq w$  y:*

$$A_e = A_g \times U$$

Siendo:

- $L$  la longitud de cada cordón de soldadura, en [cm],  $L = 4[cm]$ .
- $w$  el ancho de la chapa (distancia entre los cordones de soldadura), en [cm],  $w = 2,54[cm]$ .

$$\text{Para } L \geq 2w \dots \dots \dots U = 1,00$$

$$\text{Para } 2w > L \geq 1,5w \dots \dots \dots U = 0,87$$

$$\text{Para } 1,5w > L \geq w \dots \dots \dots U = 0,75$$

- $A_e$  el área neta efectiva.
- $A_g$  el área bruta de la chapa, en [cm<sup>2</sup>].  $A_g = 5,66[cm^2]$

Entonces:

$$\left. \begin{array}{l} w = 2,54[cm] \\ 1,5 \times w = 1,5 \times 2,54[cm] = 3,81[cm] \\ 2 \times w = 2 \times 2,54[cm] = 5,08[cm] \end{array} \right\} 5,08[cm] > 4[cm] > 3,81[cm] \rightarrow 2w > L \geq 1,5w \therefore U = \mathbf{0,87}$$

Por lo tanto:

$$A_e = A_g \times U = 5,66[cm^2] \times 0,87 = 4,92[cm^2]$$

Según la Sección J.5.2 del reglamento, la resistencia de diseño  $R_d$  de los elementos auxiliares de una unión sometidos a cargas estáticas de tracción y unidos mediante cordones de soldadura, será el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia y rotura, de los elementos auxiliares de la unión.

$$R_d = \phi \times R_n$$

- Para la fluencia por tracción de los elementos auxiliares de una unión:

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = A_g \times F_y \times (10^{-1})$$

La resistencia de diseño  $R_d$  será:

$$R_d = 0,90 \times 5,66[\text{cm}^2] \times 235[\text{MPa}] \times (10^{-1}) = 119,71[\text{kN}]$$

- Para la rotura por tracción de los elementos auxiliares de una unión:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = A_n \times F_u \times (10^{-1})$$

Siendo:

- $A_n$  el área neta que no debe exceder de  $0.85A_g$ .

$$\left. \begin{array}{l} A_e = 4,92[\text{cm}^2] \\ 0,85 \times A_g = 0,85 \times 5,66[\text{cm}^2] = 4,81[\text{cm}^2] \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_e > 0,85 \times A_g \\ \therefore A_n = 0,85 \times A_g = 4,81[\text{cm}^2] \end{array}$$

La resistencia de diseño  $R_d$  será:

$$R_d = 0,75 \times 4,81[\text{cm}^2] \times 370[\text{MPa}] \times (10^{-1}) = 133,48[\text{kN}]$$

El menor valor es el obtenido por el estado límite de fluencia, por lo que la resistencia de diseño de la chapa de nudo es  $R_d = 119,71[\text{kN}]$ . Se verifica de esta manera que las dimensiones propuestas resisten la máxima sollicitación del elemento.

$$R_d = 119,71[\text{kN}] > T_u = 89,11[\text{kN}] \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Unión Diagonal – Chapa De Nudo**

Se dimensionarán las soldaduras necesarias para resistir las sollicitaciones actuantes en la unión. En la *Figura 14.9* se muestra un esquema de la unión “Diagonal-Chapa de Nudo”.



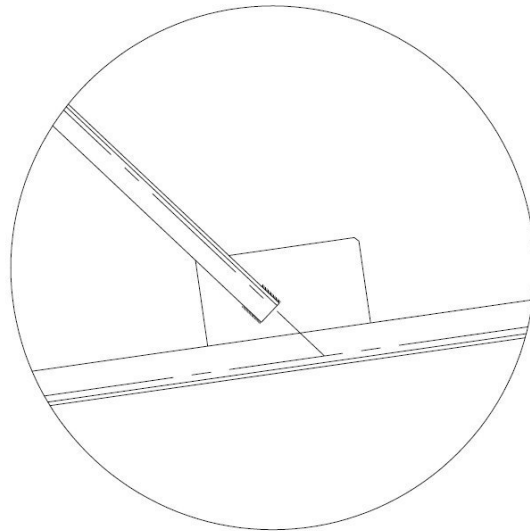


Figura 14.9 | Esquema de unión "Diagonal-Chapa de Nudo".-

#### Diagonal 2PNL25x25x4,8

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 103,60 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -80,23 [kN]

#### *Longitud del filete necesario*

Se deberá calcular la longitud mínima necesaria total para resistir este esfuerzo, tanto por área neta efectiva del cordón como por resistencia de la unión soldada, adoptando el mayor resultado.

- Por área neta efectiva del montante:

Según la Sección B.3 (2)(b) del CIRSOC 301:

$$A_e = A_g \times U$$

Siendo:

- $A_e$  el área neta efectiva.
- $A_g$  el área bruta de la barra, en [cm<sup>2</sup>].  $A_g = 4,38[\text{cm}^2]$
- $U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0,9$ .

Se puede determinar el  $U_{\text{mínimo}}$  a partir del área neta efectiva necesaria  $A_{e_{nec}}$ :

$$U_{\text{mínimo}} = \frac{A_{e_{nec}}}{A_g}$$

Con:

$$A_{e_{nec}} = \frac{T_u \times 10}{\phi_t \times F_u}$$

Donde:

- $T_u = 103,60[kN]$
- $\phi_t = 0,75$
- $F_u$  la tensión de rotura a tracción especificada, en [MPa],  $F_u = 370[MPa]$ .

$$A_{e_{nec}} = \frac{103,60[kN] \times 10}{0,75 \times 370[MPa]} = 3,73[cm^2]$$

Entonces  $U_{mínimo}$  será:

$$U_{mínimo} = \frac{3,73[cm^2]}{4,38[cm^2]} = 0,85 < 0,9 \checkmark$$

Y la mínima longitud  $L$  del filete, sabiendo que  $\bar{x} = 0,79[cm]$ :

$$L = \frac{\bar{x}}{1 - U} = \frac{0,79[cm]}{1 - 0,85} = 5,3[cm]$$

- Por resistencia de la unión soldada:

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{T_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $T_u = 103,60[kN]$
- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 4,8[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{103,60[kN]}{6,11[kN]} = 16,96[cm]$$

Se dispondrán 4 cordones de soldadura para unir la barra del montante con la chapa de nudo, por lo que cada cordón tendrá una longitud de:

$$L_i = \frac{L_t}{4} = \frac{16,96[cm]}{4} = 4,24[cm]$$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4,5[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

#### *Verificación de la chapa de nudo*

La chapa de nudo se predimensiona según la geometría y dimensiones de los perfiles que concurren al nudo, adoptando inicialmente una chapa de 400 x 300 x 7,9 [mm].

El ancho de cálculo de la chapa de nudo se supone a partir de una distribución a 30° de la fuerza a transmitir. El ancho de cálculo resulta:

$$b_{ch} = 2 \times L \times tg(30^\circ) + b$$
$$b_{ch} = 2 \times 4,5[cm] \times tg(30^\circ) + 2,54[cm]$$
$$b_c = 7,74[cm]$$

El área bruta de la sección de la chapa resulta:

$$A_g = b_{ch} \times t_{ch} = 7,74[cm] \times 0,79[cm]$$
$$A_g = 6,11[cm^2]$$

Según la Sección B.3 (2)(d) del CIRSOC 301:

*Cuando la fuerza de tracción se trasmite desde una chapa plana sólo mediante cordones de soldadura longitudinales a lo largo de ambos bordes próximos al extremo de la chapa, debe ser  $L \geq w$  y:*

$$A_e = A_g \times U$$

Siendo:

- $L$  la longitud de cada cordón de soldadura, en [cm],  $L = 4,5[cm]$ .
- $w$  el ancho de la chapa (distancia entre los cordones de soldadura), en [cm],  $w = 2,54[cm]$ .

Para  $L \geq 2w$ ..... $U = 1,00$

Para  $2w > L \geq 1,5w$ ..... $U = 0,87$

Para  $1,5w > L \geq w$ ..... $U = 0,75$

- $A_e$  el área neta efectiva.
- $A_g$  el área bruta de la chapa, en  $[cm^2]$ .  $A_g = 6,11[cm^2]$

Entonces:

$$\left. \begin{array}{l} w = 2,54[cm] \\ 1,5 \times w = 1,5 \times 2,54[cm] = 3,81[cm] \\ 2 \times w = 2 \times 2,54[cm] = 5,08[cm] \end{array} \right\} 5,08[cm] > 4,5[cm] > 3,81[cm] \rightarrow 2w > L \geq 1,5w \therefore U = 0,87$$

Por lo tanto:

$$A_e = A_g \times U = 6,11[cm^2] \times 0,87 = 5,32[cm^2]$$

Según la Sección J.5.2 del reglamento, la resistencia de diseño  $R_d$  de los elementos auxiliares de una unión sometidos a cargas estáticas de tracción y unidos mediante cordones de soldadura, será el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia y rotura, de los elementos auxiliares de la unión.

$$R_d = \phi \times R_n$$

- Para la fluencia por tracción de los elementos auxiliares de una unión:

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = A_g \times F_y \times (10^{-1})$$

La resistencia de diseño  $R_d$  será:

$$R_d = 0,90 \times 6,11[cm^2] \times 235[MPa] \times (10^{-1}) = 129,23[kN]$$

- Para la rotura por tracción de los elementos auxiliares de una unión:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = A_n \times F_u \times (10^{-1})$$

Siendo:

- $A_n$  el área neta que no debe exceder de  $0.85A_g$ .

$$\left. \begin{array}{l} A_e = 5,32[cm^2] \\ 0,85 \times A_g = 0,85 \times 6,11[cm^2] = 5,19[cm^2] \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_e > 0,85 \times A_g \\ \therefore A_n = 0,85 \times A_g = 5,19[cm^2] \end{array}$$

La resistencia de diseño  $R_d$  será:

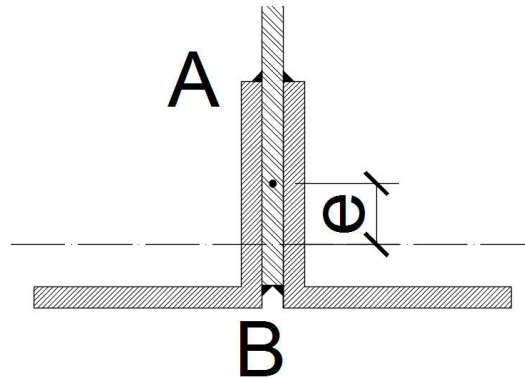
$$R_d = 0,75 \times 5,19[cm^2] \times 370[MPa] \times (10^{-1}) = 144,02[kN]$$

El menor valor es el obtenido por el estado límite de fluencia, por lo que la resistencia de diseño de la chapa de nudo es  $R_d = 129,23[kN]$ . Se verifica de esta manera que las dimensiones propuestas resisten la máxima sollicitación del elemento.

$$R_d = 129,23[kN] > T_u = 103,60[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Unión Cordón Inferior – Chapa De Nudo**

La chapa de nudo se encuentra unida al cordón inferior mediante 4 cordones de soldadura de filete, que se encuentran distanciados la altura del perfil L del cordón inferior. Existen dos cordones superiores **A** y dos cordones inferiores **B**, tal como se observa en la *Figura 14.10*.



*Figura 14.10 | Esquema de la unión "Cordón inferior-Chapa de nudo".-*

Los esfuerzos a considerar en el dimensionamiento de la unión son los siguientes:

#### Cordón inferior 2PNL64x64x6,4

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 283,52 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -165,42 [kN]

#### Montante 2PNL25x25x3,2

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 89,11 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -88,94 [kN]

#### Diagonal 2PNL25x25x4,8

- Máximo esfuerzo normal de tracción: 103,60 [kN]
- Máximo esfuerzo normal de compresión: -80,23 [kN]

#### Dimensionamiento de la unión

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{f_u}{R_{d1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $f_u$  es la tensión en la soldadura, producto del corte generado por  $V_i$  y por  $P_u$ .

$$f_u = \sqrt{f_{v1}^2 + f_{v2}^2}$$

Siendo:

- $f_{v1}$  tensión de corte producida por  $V_i$ , con  $V_i$  = fuerza cortante total,  $V_i = \frac{V_u}{4} + V_{li}$

Con:

- $V_u = C_2 - C_1$

Se dimensiona con los esfuerzos de la barra más solicitada y su consecutiva, aunque esta diferencia podría no ser la máxima de la estructura.

➤  $C_1 = 283,52[kN]$

➤  $C_2 = 266,03[kN]$

$$V_u = 283,52[kN] - 266,03[kN]$$

$$V_u = 17,49[kN]$$

- $V_{li}$  es la fuerza que le corresponde a cada cordón por el momento generado por la excentricidad  $e$  entre el eje de gravedad del cordón de la viga y el eje de gravedad de las áreas de los cuatro cordones de soldadura de filete A y B. El momento será  $(C_2 - C_1) \times e$  y la fuerza  $V_{li}$  se obtendrá por la aplicación del teorema de Varignon.

El momento generado por la excentricidad  $e = 16,95[mm]$  será:

$$M_u = V_u \times e = 17,49[kN] \times 0,01695[m]$$

$$M_u = 0,30[kNm]$$

La fuerza de corte generada por el momento, se obtiene dividiendo el momento por el brazo de palanca  $z$  (separación entre baricentros de cordones de soldadura,  $z = 57,1[mm]$ ):

$$V_{li} = \frac{M_u}{z} = \frac{0,30[kNm]}{0,0571[m]}$$

$$V_{li} = 5,25[kN]$$

Esta fuerza se divide por los dos cordones de soldaduras, por lo que el corte solicitante en un cordón será:

$$V_i = \frac{17,49[kN]}{4} + \frac{5,25[kN]}{2}$$

$$V_i = 7,00[kN]$$

- $f_{v2}$  tensión de corte producida por  $P_u$ .

Siendo  $P_u = 0$ , tenemos que la fuerza de corte requerida resulta:

$$f_u = V_i = 7,00[kN]$$

- $R_{d1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 6,4[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 7,9[mm]$  (espesor de la chapa):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 7,9[mm] - 2[mm] = 5,9[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{7,00[kN]}{6,11[kN]} = 1,15[cm]$$

La longitud mínima efectiva establecida por el reglamento se fija como:

- $L_{min_1} = 4 \times d = 4 \times 0,5[cm] = 2[cm]$
- $L_{min_2} = 4[cm]$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$ .

#### 14.1.1.6. Columnas

Las columnas son armadas del grupo IV, con barras unidas por celosías planas de diagonal simple. Se adopta para el predimensionamiento una altura de 3,50 [m] y una sección armada por cuatro perfiles ángulo L “89x89x12,7” unido por presillas en sus extremos y diagonales en celosía por perfiles ángulo L “29x29x3,2”. En la *Figura 14.11* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en la *Tabla 14.6* se muestran las propiedades de los perfiles PNL elegidos.

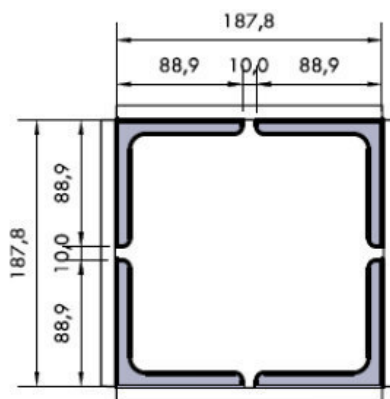


Figura 14.11 | Esquema de la sección adoptada.-

L "89x89x12,7"							L "29x29x3,2"						
Dimensiones				Sección	Valores estáticos			Dimensiones			Sección	Valores estáticos	
b	t	s	e <sub>xi</sub> =e <sub>yi</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>xi</sub> =I <sub>yi</sub>	r <sub>xi</sub> =r <sub>yi</sub>	b	t	e <sub>xi</sub> =e <sub>yi</sub>	A <sub>gi</sub>	I <sub>xi</sub> =I <sub>yi</sub>	r <sub>xi</sub> =r <sub>yi</sub>	
[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	
88,9	12,7	10	2,66	21,12	149,65	2,66	28,6	3,2	0,77	1,65	1,06	0,80	

Tabla 14.6 | Propiedades Perfiles PNL "89x89x12,7" y "29x29x3,2".-

Los esfuerzos máximos en columnas para los que se verificarán las secciones propuestas son:

- Máximo esfuerzo normal de compresión: -98,16 [kN]
- Máximo esfuerzo de corte: 52,98 [kN]
- Máximo momento: -103,35 [kNm]

### Resistencia de diseño a compresión axial

#### Pandeo alrededor del eje x

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$$k_x = 1,2 \rightarrow \text{Caso (c) – Tabla C-C.2.1 – Comentarios al CIRSOC 301.}$$

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{px} = k_x \times l_x = 1,2 \times 3,50[m] = 4,20[m]$$

- Esbeltez

La esbeltez modificada de la columna será:

$$\lambda_{mx} = \sqrt{\left(\frac{k_x \times l_x}{r_x}\right)^2 + \lambda_1^2}$$

Donde:



- $\lambda_{mx}$  es la esbeltez modificada de la barra armada con respecto al eje x.
- $\lambda_1$  valor auxiliar relacionado con la rigidez a corte de la celosía de enlace, según figura A-E.4.2.

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{2 \times A_g \times d^3}{n_o \times A_d \times a \times h^2}}$$

Siendo:

- $A_g = 4 \times A_{g_i} = 4 \times 21,12[cm^2] = 84,48[cm^2]$
- $d = \frac{h}{\text{sen}\alpha}$ , con  $h = 13,46[cm]$
- $\alpha = 60^\circ$
- $n_o$  número de planos con celosía,  $n_o = 4$
- $A_d$  sección bruta de diagonal de un solo plano,  $A_d = 1,65[cm^2]$
- $a = 2 \times \frac{h}{\text{tg}(\alpha)}$

Entonces:

$$d = \frac{h}{\text{sen}\alpha} = \frac{13,46[cm]}{\text{sen}(60^\circ)} = 15,54[cm]$$

$$a = 2 \times \frac{h}{\text{tg}(\alpha)} = 2 \times \frac{13,46[cm]}{\text{tg}(60^\circ)} = 15,54[cm]$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{2 \times A_g \times d^3}{n_o \times A_d \times a \times h^2}} = \pi \times \sqrt{\frac{2 \times 84,48[cm^2] \times (15,54[cm])^3}{4 \times 1,65[cm^2] \times 15,54[cm] \times (13,46[cm])^2}} = 18,35$$

Por lo tanto el factor de esbeltez modificada, siendo  $r_x = 7,24[cm]$ , resulta:

$$\lambda_{mx} = \sqrt{\left(\frac{k_x \times l_x}{r_x}\right)^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{\left(\frac{1,2 \times 350[cm]}{7,24[cm]}\right)^2 + 18,35^2} = 60,84$$

La esbeltez limite según la sección B.7 del CIRSOC 301 en barras comprimidas será:

$$\lambda_{lim} = 200$$

$$\lambda_{mx} = 60,84 < \lambda_{lim} = 200 \checkmark \text{ Verifica}$$

### **Pandeo alrededor del eje y**

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k_y = 1,2 \rightarrow$  Caso (c) – Tabla C-C.2.1 – Comentarios al CIRSOC 301.

- Longitud efectiva para pandeo

$$l_{py} = k_y \times l_y = 1,2 \times 3,50[m] = 4,20[m]$$

- Esbeltez

La esbeltez modificada de la columna será:

$$\lambda_{my} = \sqrt{\left(\frac{k_y \times l_y}{r_y}\right)^2 + \lambda_1^2}$$

Donde:

- $\lambda_{my}$  es la esbeltez modificada de la barra armada con respecto al eje y.
- $\lambda_1 = 18,35$ , ya que las dimensiones de la columna son idénticas en ambos sentidos.

Por lo tanto el factor de esbeltez modificada, siendo  $r_y = 7,24[cm]$ , resulta:

$$\lambda_{my} = \sqrt{\left(\frac{1,2 \times 350[cm]}{7,24[cm]}\right)^2 + 18,35^2} = 60,84$$

### **Resistencia de diseño a la compresión para pandeo flexional**

Según la sección A-E.4.2.1 del reglamento, la que corresponde a barras armadas del Grupo IV, el esfuerzo axial requerido en cada barra de la columna armada  $P_{u1}$  en [kN], será:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_s}{n_1 \times h} \times (10^2)$$

Siendo:

- $P_u$  la carga axial requerida de la columna armada, en [kN].  $P_u = 98,16[kN]$ .
- $n$  el número de barras de la columna armada,  $n = 4$ .
- $n_1$  el número de barras del cordón,  $n_1 = 2$ .
- $h$  la distancia entre centros de gravedad de los cordones medida perpendicularmente al eje de pandeo considerado de la barra armada, en [cm].  $h = 13,46[cm]$ .
- $M_s = \frac{P_u \times e_o + M_u}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \times (10^{-2})$ , con  $M_u = 103,35[kNm]$ .
- $e_o = \frac{k \times L}{500}$  (deformación inicial), en [cm].  $e_o = \frac{1,2 \times 350[cm]}{500} = 0,84[cm]$ .
- $P_{cm} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_m^2} \times (10^{-1})$ , en [kN].
- $\lambda_m$  la esbeltez modificada de la columna armada.  $\lambda_m = 60,84$ .

Entonces:

$$P_{cm} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_m^2} \times (10^{-1}) = \frac{\pi^2 \times 200000[MPa] \times 84,48[cm^2]}{60,84^2} \times (10^{-1}) = 4505,11[kN]$$

$$M_s = \frac{P_u \times e_o + M_u}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \times (10^{-2}) = \frac{98,16[kN] \times 0,84[cm] + 10335[kNcm]}{1 - \frac{98,16[kN]}{4505,11[kN]}} \times (10^{-2})$$

$$= 106,48[kNm]$$

Por lo tanto:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_s}{n_1 \times h} \times (10^2) = \frac{98,16[kN]}{4} + \frac{106,48[kNm]}{2 \times 13,46[cm]} \times (10^2) = 420,07[kN]$$

Se deberá verificar  $P_{u1} \leq P_{d1}$

Siendo:

- $P_{d1}$  la resistencia de diseño local de la barra, en [kN].

$$P_{d1} = \phi_c \times F_{cr} \times A_{g1} \times (10^{-1})$$

Con:

- $\phi_c = 0,85$
- $F_{cr}$  la tensión crítica en función de  $\lambda_{c1}$ .
- $A_{g1}$  el área bruta de la barra componente, en [cm<sup>2</sup>].  $A_{g1} = 21,12[cm^2]$ .

Donde:

$$\lambda_{c1} = \left(\frac{L_1}{r_i}\right) \times \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Siendo:

- $L_1$  según la Figura A-E.4.3 del CIRSOC 301.  $L_1 = a = 15,54[cm]$ .
- $r_i$  el radio de giro mínimo de la barra componente, en [cm].  $r_i = 2,66[cm]$ .

$$\lambda_{c1} = \left(\frac{L_1}{r_i}\right) \times \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \left(\frac{15,54[cm]}{2,66[cm]}\right) \times \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 0,06$$

La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_{c1} \leq 1,5$ :

$$F_{cr} = 0.658\lambda_{c1}^2 \times F_y = 0.658^{0,06^2} \times 235[MPa] = 234,65[MPa]$$

Por lo tanto la resistencia de diseño local de la barra  $P_{d1}$ , será:

$$P_{d1} = \phi_c \times F_{cr} \times A_{g1} \times (10^{-1}) = 0,85 \times 234,65[MPa] \times 21,12[cm^2] \times (10^{-1}) = 421,24[kN]$$

Considerando una tolerancia del 5%:

$$P_{d1} = 421,24[kN] \times 1,05 = 442,30[kN]$$

$$P_{u1} = 430,03[kN] < P_{d1} = 442,30[kN] \rightarrow \text{Verifica}$$

## Verificación de las barras de celosía

Según las secciones A-E.4.2.1 (b) y A-E.6 (h), las barras de la celosía deben ser verificadas para las fuerzas axiales requeridas resultantes de un esfuerzo de corte requerido  $V_{eu}$  normal al eje de la barra armada:

$$V_{eu} = \beta \times P_u + V_u$$

Donde:

- $\beta = \frac{\pi}{400} \times \left( \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \right)$
- $P_u = 98,16[kN]$
- $V_u$  será el mayor valor del esfuerzo de corte requerido a lo largo de la barra por las acciones mayoradas.  $V_u = 52,98[kN]$ .
- $P_{cm} = 4505,11[kN]$

$$\beta = \frac{\pi}{400} \times \left( \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{c.m}}} \right) = \frac{\pi}{400} \times \left( \frac{1}{1 - \frac{98,16[kN]}{4505,11[kN]}} \right) = 0,008$$

$$V_{eu} = 0,008 \times 98,16[kN] + 52,98[kN] = 53,78[kN]$$

El esfuerzo que solicita a la diagonal es:

$$D_u = \frac{V_{eu}}{2 \times \text{sen } \alpha} = \frac{53,78[kN]}{2 \times \text{sen } 60^\circ} = 31,05[kN]$$

## Esbeltez de la celosía

- Factor de longitud efectiva para pandeo

$k = 1$ , Caso 3 – Figura C.2.4 – Reglamento CIRSOC 301.

- Longitud efectiva para pandeo

Siendo la longitud de la diagonal  $l = d = 15,54[cm]$ :

$$l_p = k \times l = 1 \times 15,54[cm] = 15,54[cm]$$

- Esbeltez

Siendo  $r_{min} = 0,51[cm]$ :

$$\lambda = \frac{l_p}{r_{min}} = \frac{15,54[cm]}{0,51[cm]} = 30,47$$

La esbeltez limite según la sección B.7 del CIRSOC 301 en barras comprimidas será:

$$\lambda_{lim} = 200$$

$$\lambda = 30,47 < \lambda_{lim} = 200 \checkmark \text{ Verifica}$$

- Factor de esbeltez adimensional

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \times 30,47 \times \sqrt{\frac{235[MPa]}{200000[MPa]}} = 0,33$$

La resistencia de diseño a compresión para pandeo flexional según el inciso E.2 del CIRSOC 301 se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c \times P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_g$$

Donde:

- $\phi_c = 0.85$
- La tensión crítica  $F_{cr}$  para  $\lambda_c \leq 1.5$ :

$$F_{cr} = 0.658\lambda_c^2 \times F_y = 0.658^{0,33^2} \times 235[MPa] = 224,38[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño al pandeo flexional resulta:

$$P_d = \phi_c \times F_{cr} \times A_g = 0,85 \times 224,38[MPa] \times 1,65[cm^2] = 31,49[kN]$$

$$P_d = 31,49[kN] > D_u = 31,05[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### Dimensionamiento de las presillas de cabeza y base de la columna

Según la sección A-E.4.3.1 (a) del CIRSOC 301:

*En los extremos de la barra armada se dispondrán presillas lo más próximas posibles a dichos extremos. Igualmente se colocaran presillas intermedias en los puntos en que la celosía se interrumpa y en los puntos de unión con otras piezas. Las presillas deberán satisfacer la siguiente condición:*

$$\frac{n_p \times I_p}{h} \geq \frac{10 \times I_1}{a}$$

Siendo:

- $n_p$  el número de planos de presillas,  $n_p = 2$ .
- $I_p$  momento de inercia de una presilla en su plano, en  $[cm^4]$ .
- $h$  la distancia entre centros de gravedad de los cordones medida perpendicularmente al eje de pandeo considerado de la barra armada, en  $[cm]$ .  $h = 13,46[cm]$ .
- $I_1$  momento de inercia del cordón con respecto al eje paralelo al eje libre analizado, en  $[cm^4]$ .  $I_1 = 2 \times 149,65[cm^4] = 299,30[cm^4]$ .
- $a$  la distancia entre ejes de presillas, en  $[cm]$ .  $a = 15,54[cm]$ .

Despejando  $I_p$  se tiene:

$$I_p \geq \frac{10 \times I_1 \times h}{a \times n_p} \geq \frac{10 \times 299,30[cm^4] \times 13,46[cm]}{15,54[cm] \times 2} = 1296,20[cm^4]$$

Se adopta una presilla de espesor  $t = 1/4" = 0,635[cm]$

$$h = \sqrt[3]{\frac{I_p \times 12}{t}} = \sqrt[3]{\frac{1296,20[cm^4] \times 12}{0,635[cm]}} = 29,04[cm]$$

Se adopta una presilla de 30 [cm] de altura y 0,635 [cm] de espesor.

### Dimensionamiento de la soldadura

La longitud mínima necesaria total  $L_t$  se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \frac{D_u}{R_{d_1}}$$

Donde:

- $L_t$  longitud total de la soldadura.
- $D_u$  es la resistencia requerida,  $D_u = 31,05[kN]$ .
- $R_{d_1}$  la resistencia de diseño de una unidad de longitud de filete.

$$R_{d_1} = \phi \times F_w \times A_w$$

Donde:

- $\phi = 0,6$  (Tabla J.2-5)
- $F_w = 0,6 \times F_{EXX}$  (Tabla J.2-5), con  $F_{EXX} = 480[MPa]$
- $A_w = 0,707 \times d \times 1$

Según la Sección J.2.2 (b) del CIRSOC 301, el lado mínimo del filete  $d$  se obtiene de la Tabla J.2-4, con  $t_f = 12,7[mm]$  (espesor del perfil L) y  $t_{ch} = 6,35[mm]$  (espesor de la presilla):

$$d_{min} = 5[mm]$$

Y el lado máximo del filete para espesores  $> 6[mm]$ , será:

$$d_{max} = t - 2[mm] = 12,7[mm] - 2[mm] = 10,7[mm]$$

Se adopta  $d = 5[mm]$ .

Por lo que la resistencia de diseño resulta:

$$R_{d_1} = 0,6 \times 0,6 \times 480[MPa] \times 0,707 \times 0,5[cm] \times 1[cm] \times 10^{-1} = 6,11[kN]$$

Entonces, la longitud de la soldadura será:

$$L_t = \frac{31,05[kN]}{6,11[kN]} = 5,08[cm]$$

Se dispondrán 4 cordones de soldadura, por lo que cada cordón tendrá una longitud de:

$$L_i = \frac{L_t}{4} = \frac{5,08[cm]}{4} = 1,27[cm]$$

Se adopta como longitud del filete  $L = 4[cm]$  y lado del filete  $d = 5[mm]$ .

### **Dimensionamiento de la base de la columna**

Se considera una base totalmente rígida, empotrada. Las deformaciones del hormigón de asiento son proporcionales a su distancia al eje neutro. Para reforzar la base se colocarán también cartelas.

A partir del análisis en software de cálculo, se obtienen los esfuerzos para cada combinación de cargas y se seleccionan los valores máximos para el dimensionamiento y verificación.

- Máximo esfuerzo normal de compresión:  $-98,16 [kN]$ .
- Máximo esfuerzo de corte:  $52,98 [kN]$ .
- Máximo momento:  $-103,35 [kNm]$ .

### **Excentricidad de la carga**

La excentricidad  $e$  de la fuerza requerida será:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{103,35[kNm]}{98,16[kN]} = 1,053[m] = 105,30[cm]$$

Se adopta como longitud de la base  $d = 0,50[m]$ . La relación de la excentricidad  $e$  con la longitud de la base  $d$  resulta:

$$\frac{3}{8} \times d = \frac{3}{8} \times 50[cm] = 18,75[cm] < e = 105,30[cm]$$

En este caso por razones de economía y seguridad se colocan pernos anclados en el hormigón que toman esfuerzos de tracción. Se puede suponer razonablemente que en una zona extrema de la base el hormigón se plastifica. Se considera que esa zona tiene una longitud máxima  $x$  igual a  $\frac{1}{4}$  de la altura útil de la base. Los pernos de anclaje están colocados a una distancia  $h'$  del borde traccionado de la placa base, tal como se muestra en la *Figura 14.12*. Esta distancia  $h'$  deber ser como mínimo  $5[cm]$  o dos veces el diámetro del perno. Se adopta  $h' = 5[cm]$ . Por lo tanto  $h$  será:

$$h = d - h' = 50[cm] - 5[cm] = 45[cm]$$

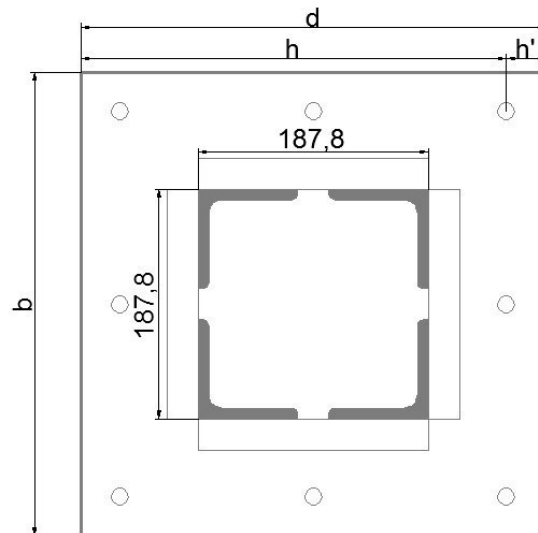


Figura 14.12 | Esquema de la base.-

### Compresión sobre el hormigón

Para fuerza normal de compresión la condición de equilibrio de momentos con respecto al punto de ubicación del perno es:

$$f_{max} \times \left(\frac{h}{4}\right) \times b \times \left[h - \left(\frac{h}{8}\right)\right] \times (10^{-1}) = N_u \times \left[e + \left(\frac{d}{2}\right) - h'\right]$$

Donde  $f_{max}$  es la tensión máxima de aplastamiento del hormigón.

La tensión de diseño de compresión sobre el hormigón  $f_{dis}$  viene dada por:

$$f_{dis} = \phi_c \times 0,85 \times f'_c$$

Donde:

- $\phi_c = 0,60$
- $f'_c = 25[MPa]$

$$f_{dis} = 0,60 \times 0,85 \times 25[MPa] = 12,75[MPa]$$

Igualando la tensión de diseño  $f_{dis}$  a la tensión máxima  $f_{max}$ , y despejando  $b$ :

$$b = \frac{N_u \times \left[e + \left(\frac{d}{2}\right) - h'\right]}{f_{dis} \times \left(\frac{h}{4}\right) \times \left[h - \left(\frac{h}{8}\right)\right] \times (10^{-1})}$$

$$b = \frac{98,16[kN] \times \left[105,30[cm] + \left(\frac{50[cm]}{2}\right) - 5[cm]\right]}{12,75[MPa] \times \left(\frac{45[cm]}{4}\right) \times \left[45[cm] - \left(\frac{45[cm]}{8}\right)\right] \times (10^{-1})} = 21,78[cm]$$

Por razones constructivas se adopta  $b = 50[cm]$ .

Se determina la tensión de cálculo  $f_{cal}$  para las dimensiones adoptadas:



$$f_{cal} = \frac{N_u \times \left[ e + \left( \frac{d}{2} \right) - h' \right]}{b \times \left( \frac{h}{4} \right) \times \left[ h - \left( \frac{h}{8} \right) \right] \times (10^{-1})}$$

$$f_{cal} = \frac{98,16[kN] \times \left[ 105,30[cm] + \left( \frac{50[cm]}{2} \right) - 5[cm] \right]}{50[cm] \times \left( \frac{45[cm]}{4} \right) \times \left[ 45[cm] - \left( \frac{45[cm]}{8} \right) \right] \times (10^{-1})} = 5,55[MPa]$$

### **Dimensionamiento de los pernos de anclaje**

Los pernos se ubican en los 4 lados de la placa base. Serán dimensionados para soportar esfuerzos de corte y tracción. El corte será tomado por la totalidad de los pernos y la tracción sólo por aquellos ubicados del lado traccionado.

Se adoptan bulones A307 de diámetro  $d = 1"$ , cuya tensión de rotura a tracción  $F_u = 370[MPa]$  y tensión de fluencia  $F_y = 235[MPa]$ .

Se calcula entonces la fuerza de tracción producida en los pernos de anclaje  $Z_u$  planteando la condición de equilibrio de fuerzas verticales:

$$Z_u + N_u = f_{cal} \times b \times \frac{h}{4} \times (10^{-1})$$

De donde:

$$Z_u = f_{cal} \times b \times \frac{h}{4} \times (10^{-1}) - N_u$$

$$Z_u = 5,55[MPa] \times 50[cm] \times \frac{45[cm]}{4} \times (10^{-1}) - 98,16[kN] = 214,21[kN]$$

La fuerza de tracción producida en cada uno de los pernos de anclaje  $Z_{u1}$  será:

$$Z_{u1} = \frac{Z_u}{3} = \frac{214,21[kN]}{3} = 71,40[kN]$$

La fuerza de corte producida en cada uno de los pernos de anclaje  $V_{u1}$ , siendo  $V_u = 52,98[kN]$ , será:

$$V_{u1} = \frac{V_u}{8} = \frac{52,98[kN]}{8} = 6,62[kN]$$

Según la sección J.3.7 del CIRSOC 301, la resistencia de diseño a tracción  $R_d$  de un bulón sometido a corte y tracción combinados será:

$$R_d = \phi \times F_t \times A_b \times (10^{-1})$$

Donde:

- $\phi = 0,75$
- $F_t$  la resistencia nominal a tracción en función de la tensión de corte requerida  $f_v$ , en [MPa].

$$F_t = 338 - 2,5 \times f_v \leq 260$$

La tensión de corte requerida  $f_v$  viene dada por:

$$f_v = \frac{V_{u1}}{0,75 \times A_b \times (10^{-1})} \leq \phi \times F_v$$

Donde  $\phi \times F_v$  es la resistencia de diseño al corte, indicada en la Tabla J.3.2.

Para bulones A325 con rosca excluida de los planos de corte:

- $\phi = 0,75$
- $F_v = 140[MPa]$

La resistencia de diseño al corte resulta:

$$\phi \times F_v = 0,75 \times 140[MPa] = 105[MPa]$$

- $A_b$  el área nominal del cuerpo no roscado del bulón, en [cm].

$$A_b = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times (2,54[cm])^2}{4} = 5,07[cm^2]$$

Por lo tanto la tensión de corte requerida  $f_v$  será:

$$f_v = \frac{6,62[kN]}{0,75 \times 5,07[cm^2] \times (10^{-1})} = 17,41[MPa] < 105[MPa] \checkmark$$

La resistencia nominal a tracción  $F_t$  resulta:

$$F_t = 338 - 2,5 \times 17,41[MPa] = 295,48[MPa] > 260[MPa] \rightarrow \text{Se adopta } F_t = 260[MPa]$$

Por lo que la resistencia de diseño a tracción  $R_d$  de un bulón sometido a corte y tracción combinados será:

$$R_d = 0,75 \times 260[MPa] \times 5,07[cm^2] \times (10^{-1}) = 98,87[kN] > Z_{u1} = 71,40[kN]$$

En la *Figura 14.13* se resumen los esfuerzos que solicitan a los pernos de anclaje.

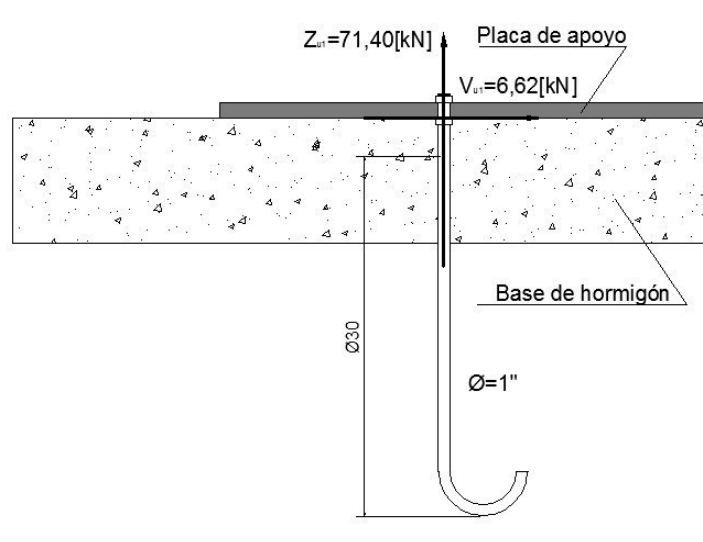


Figura 14.13 | Detalle de Perno de Anclaje.-

### Dimensionamiento de la placa de apoyo

Se dimensiona la placa de apoyo para la zona de contacto con el hormigón y para la zona de pernos. Para ello se adopta un acero F-24, cuya tensión de fluencia  $F_y = 235[MPa]$ .

#### Zona de contacto con el hormigón

Mediante las ecuaciones de la estática se plantea un esquema de losa de fajas independientes de 1 [cm] de ancho, donde la acción de la tensión de contacto  $q$  será igual a la tensión de cálculo  $f_{cal}$ .

$$q = f_{cal} = 5,55[MPa]$$

Los momentos en voladizo y en tramo respectivamente resultan:

$$M_v = \frac{q \times l_v^2}{2}$$

$$M_t = \frac{q \times l_t^2}{8} - M_v$$

Donde:

- $l_v$  es la longitud del voladizo.
- $l_t$  es la longitud del tramo.

Siendo el lado de la columna armada 18,78 [cm], y adoptando un espesor de cartelas  $e_c = 1,59[cm]$ , dichas longitudes resultan:

$$l_t = 18,78[cm] + \left( 2 \times \frac{1,59[cm]}{2} \right) = 20,37[cm]$$

$$l_v = \frac{b - l_t}{2} = \frac{50[cm] - 20,37[cm]}{2} = 14,82[cm]$$

Por lo que los momentos resultan:

$$M_v = \frac{5,55[MPa] \times (14,82[cm])^2 \times (10^{-1})}{2} = 60,95[kNcm/cm]$$

$$M_t = \frac{5,55[MPa] \times 20,37[cm]^2 \times (10^{-1})}{8} = 32,16[kNcm/cm]$$

### Zona de pernos de anclaje

Los momentos en voladizo y en tramo respectivamente resultan:

$$M_v = Z_{u1} \times a$$

$$M_t = Z_{u1} \times a - M_v = 0$$

Donde  $a$  es la distancia entre la recta de acción de la fuerza de tracción producida en el perno de anclaje y la cartela,  $a = 5,70[cm]$ .

$$M_v = 71,40[kN] \times 5,70[cm] = 406,98[kNcm]$$

El ancho colaborante de la placa  $b_1$  resulta:

$$b_1 = 2 \times a + d_b$$

Donde  $d_b$  es el diámetro del bulón,  $d_b = 1" = 2,54[cm]$ .

$$b_1 = 2 \times 5,70[cm] + 2,54[cm] = 13,94[cm]$$

El momento flector por [cm] de ancho  $M_{v1}$  será:

$$M_{v1} = \frac{406,98[kNcm]}{13,94[cm]} = 29,20[kNcm/cm]$$

El máximo momento  $M_{max}$  resulta de la zona de contacto con el hormigón,  $M_v = 60,95[kNcm/cm]$ .

Igualando dicho momento a:

$$\phi_b \times M_n$$

Donde:

- $\phi_b = 0,90$ .
- $M_n$  es el momento nominal de la placa base.

$$M_n = S_x \times F_y \times (10^{-1})$$

Siendo:

$$S_x = \frac{b \times h_p^2}{6}$$

El momento máximo resulta:

$$M_{max} = \phi_b \times M_n = \phi_b \times S_x \times F_y \times (10^{-3}) = \phi_b \times \left( \frac{b \times h_p^2}{6} \right) \times F_y \times (10^{-3})$$

De donde se despeja el espesor de la placa  $h_p$  :

$$h_p = \sqrt{\frac{M_{max} \times 6}{\phi_b \times F_y \times (10^{-3})}} = \sqrt{\frac{60,95[kNcm] \times 6}{0,90 \times 1[cm] \times 235[MPa] \times (10^{-1})}} = 4,16[cm]$$

Se adopta  $h_p = 4,20[cm]$ .

Se proponen cartelas de  $15[cm] \times 90[cm]$ . Se verifica que con las dimensiones propuestas, las tensiones no superen los valores límites.

Los nuevos valores estáticos  $y_G$ ,  $I_G$ ,  $W_s$  y  $W_i$  resultan respectivamente:

$$y_G = \frac{2 \times A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2}{2 \times A_1 + A_2}$$

$$y_G = \frac{2 \times 15[cm] \times 1,59[cm] \times \left( \frac{15[cm]}{2} + \frac{4,20[cm]}{2} \right) + 4,20[cm] \times 50[cm] \times \frac{4,20[cm]}{2}}{2 \times 15[cm] \times 1,59[cm] + 50[cm] \times 4,20[cm]}$$

$$y_G = 3,49[cm]$$

$$I_G = I_i + [A_i \times (y_i - y_G)^2]$$

$$I_G = \left[ \frac{1,59[cm] \times (15[cm])^3}{12} + 1,59[cm] \times 15[cm] \times \left( \frac{15[cm]}{2} + \frac{4,20[cm]}{2} - 3,49[cm] \right)^2 \right] \times 2 + \frac{50[cm] \times (4,20[cm])^3}{12} + 50[cm] \times 4,20[cm] \times \left( \frac{4,20[cm]}{2} - 3,49[cm] \right)^2$$

$$I_G = 3331,74[cm^4]$$

$$W_s = \frac{I_G}{h - y_G} = \frac{3331,74[cm^4]}{15[cm] - 3,49[cm]} = 289,47[cm^3]$$

$$W_i = \frac{I_G}{y_G} = \frac{3331,74[cm^4]}{3,49[cm]} = 954,65[cm^3]$$

Las tensiones en las fibras más alejadas serán:

$$\sigma_s = \frac{M_n}{W_s} \times 10 = \frac{M_{max}/\phi_b}{W_s} \times 10 = \frac{(60,95[kNcm])/0,90}{289,47[cm^3]} \times 10 = 2,34[MPa] < 235[MPa] \checkmark$$

$$\sigma_i = \frac{M_n}{W_i} \times 10 = \frac{M_{max}/\phi_b}{W_i} \times 10 = \frac{(60,95[kNcm])/0,90}{954,65[cm^3]} \times 10 = 0,71[MPa] < 235[MPa] \checkmark$$

#### 14.1.1.7. Correas

Las correas de techo se consideran simplemente apoyadas con una luz de 7 [m] y una separación entre correas de 1,50 [m].

Las cargas permanentes se muestran en la *Tabla 14.7*:

Elemento	Carga superficial [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga lineal [kN/m]
Chapa	0,05	0,075
Aislación	0,02	0,03
Instalaciones	0,05	0,075
<b>Total</b>	<b>0,12</b>	<b>0,18</b>

*Tabla 14.7 | Cargas en correas de techo.-*

Los esfuerzos máximos son:

- Máximo esfuerzo de corte: 8,22 [kN]
- Máximo momento: 9,38 [kNm]

Las correas de pared también se consideran simplemente apoyadas con una luz de 7 [m], pero con una separación entre correas de 1 [m].

Las cargas permanentes se muestran en la *Tabla 14.8*:

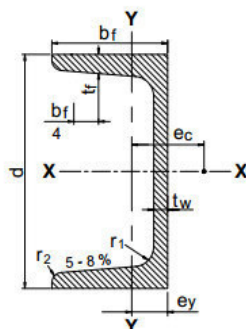
Elemento	Carga superficial [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga lineal [kN/m]
Chapa	0,05	0,05
Aislación	0,02	0,02
<b>Total</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>

*Tabla 14.8 | Cargas en correas de pared.-*

Los esfuerzos máximos son:

- Máximo esfuerzo de corte: 6,42 [kN]
- Máximo momento: 7,91 [kNm]

Se verificarán las secciones propuestas para las correas de techo, por ser éstas las más solicitadas. Se proponen perfiles UPN 160. En la *Figura 14.14* se muestra un esquema de la sección adoptada, y en *Tabla 14.9* las propiedades del perfil elegido.



*Figura 14.14 | Esquema de la sección adoptada.-*

Dimensiones					Sección	Peso	Valores estáticos				
h	Bf	tf	hw	tw	Ag	g	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	Z <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	J
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]
160	65	10,5	115	7,5	24,00	18,80	925	116	138	1,89	6,97

Tabla 14.9 | Propiedades Perfil UPN 160.-

### Verificación a flexión

La resistencia de diseño a flexión  $R_d$  será:

$$R_d = \phi_b \times M_n$$

Siendo:

- $\phi_b$  el factor de resistencia para flexión,  $\phi_b = 0,90$ .
- $M_n$  la resistencia nominal a flexión, en [kNm].

### Plastificación

Según la sección F.1.1 del CIRSOC 301, para el estado límite de plastificación:

$$M_n = M_p$$

Donde:

- $M_p$  momento plástico, en [kNm].  $M_p = F_y \times Z_x \times (10^{-3}) \leq 1,5 \times M_y$ .
- $M_y$  momento elástico, en [kNm].  $M_y = F_y \times S \times (10^{-3})$ .

$$M_y = F_y \times S \times (10^{-3}) = 235[MPa] \times 116[cm^3] \times (10^{-3}) = 27,26[kNm]$$

$$1,5 \times M_y = 1,5 \times 27,26[kNm] = 40,89[kNm]$$

$$M_p = F_y \times Z_x \times (10^{-3}) = 235[MPa] \times 138[cm^3] \times (10^{-3}) = 32,43[kNm] < 40,89[kNm] \checkmark$$

Por lo tanto la resistencia de diseño resulta:

$$R_d = \phi_b \times M_n = 0,90 \times 32,43[kNm] = 29,19[kNm] > M_u = 9,38[kNm] \checkmark \text{ Verifica}$$

### Pandeo Lateral Torsional

En primer lugar se deben determinar la longitud lateralmente no arriostrada límite  $L_r$ .

$$L_r = 1,28 \times \frac{r_y \times X_1}{F_L}$$

Donde:

- $r_y$  es el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en [cm].  
 $r_y = 1,89[cm]$ .

- $X_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\frac{E \times G \times J \times A}{2}}$

Siendo:

- $S_x$  el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia, en  $[cm^3]$ .  $S_x = 116[cm^3]$ .
- $E$  el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en  $[MPa]$ .  $E = 200000[MPa]$ .
- $G$  el módulo de elasticidad transversal del acero, en  $[MPa]$ .  $G = 77200[MPa]$ .
- $J$  el módulo de torsión, en  $[cm^4]$ .  $J = 6,97[cm^4]$ .
- $A$  el área de la sección transversal, en  $[cm^2]$ .  $A = 24,00[cm^2]$ .

$$X_1 = \frac{\pi}{116[cm^3]} \times \sqrt{\frac{200000[MPa] \times 77200[MPa] \times 6,97[cm^4] \times 24,00[cm^2]}{2}} = 30776,74[MPa]$$

- $F_L$  es el menor valor de  $(F_{yf} - F_r)$  ó  $F_{yw}$ , en  $[MPa]$ .

Donde:

- $F_{yf}$  es la tensión de fluencia del acero del ala, en  $[MPa]$ .  $F_{yf} = 235[MPa]$ .
- $F_r$  es la tensión de fluencia del acero del ala, en  $[MPa]$ .  $F_r = 69[MPa]$  para secciones laminadas.
- $F_{yw}$  es la tensión de fluencia del acero del alma, en  $[MPa]$ .  $F_{yw} = 235[MPa]$ .

$$F_L = F_{yf} - F_r = 235[MPa] - 69[MPa] = 166[MPa] < F_{yw} = 235[MPa] \checkmark$$

Entonces la longitud lateralmente no arriostrada límite  $L_r$  será:

$$L_r = 1,28 \times \frac{1,89[cm] \times 30776,74[MPa]}{166[MPa]} = 448,53[cm]$$

Sabiendo que la distancia entre puntos de arriostramiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida, o entre puntos de arriostramiento para impedir la torsión de la sección transversal,  $L_b = 700[cm]$ , resulta:

$$L_b = 700[cm] > L_r = 448,53[cm]$$

Por lo tanto se aplica la sección F.1.2 (b) del CIRSOC 301. En la misma se indica que para el estado límite de pandeo lateral-torsional, la resistencia nominal a flexión  $M_n$  será:

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

Siendo:

- $M_{cr}$  el momento crítico elástico, en  $[kNm]$ .



$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) \times 1,28 \times C_b \times S_x \times X_1}{L_b/r_y}$$

Donde  $C_b$  el factor de modificación para diagramas de momento flexor no uniformes. El reglamento permite adoptar conservadoramente un valor  $C_b = 1$  para todos los casos de diagramas de momento flexor.

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) \times 1,28 \times 1 \times 116[cm^3] \times 30776,74[MPa]}{700[cm]/1,89[cm]} = 12,34[kNm] < M_p = 32,43[kNm] \checkmark$$

Por lo tanto la resistencia de diseño resulta:

$$R_d = \phi_b \times M_n = 0,90 \times 12,34[kNm] = 11,10[kNm] > M_u = 9,38[kNm] \checkmark \text{ Verifica}$$

### Verificación a corte

Según la sección F.2.2 del CIRSOC 301, la resistencia de diseño al corte  $R_d$  viene dada por:

$$R_d = \phi_v \times V_n$$

Donde:

- $\phi_v = 0,90$
- $V_n$  la resistencia nominal al corte, en [kN], determinada en función de la esbeltez del alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{160[mm]}{7,5[mm]} = 21,33 < 260 \checkmark$$

$$2,45 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,45 \times \sqrt{\frac{200000[MPa]}{235[MPa]}} = 71,47 > h/t_w = 21,33$$

Por lo tanto la resistencia nominal al corte  $V_n$  será:

$$V_n = 0,6 \times F_{yw} \times A_w \times (10^{-1})$$

Con:

–  $A_w$  área del alma.  $A_w = h \times t_w = 16[cm] \times 0,75[cm] = 12,00[cm^2]$

$$V_n = 0,6 \times 235[MPa] \times 12,00[cm^2] \times (10^{-1}) = 169,20[kN] > V_u = 8,22[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### 14.1.1.8. Arriostramientos

Se verificarán los tensores colocados para arriostar la estructura. Estos elementos son colocados con la finalidad de transmitir los esfuerzos horizontales entre los pórticos, y de acortar la longitud de pandeo del cordón superior de las vigas principales.

Los tensores se ubican en forma de cruces de San Andrés en el plano de la cubierta, transversales a las vigas reticuladas de los pórticos principales -tal como se muestra en la *Figura 14.15-*, y en el plano de las paredes, transversales a los ejes de las columnas.

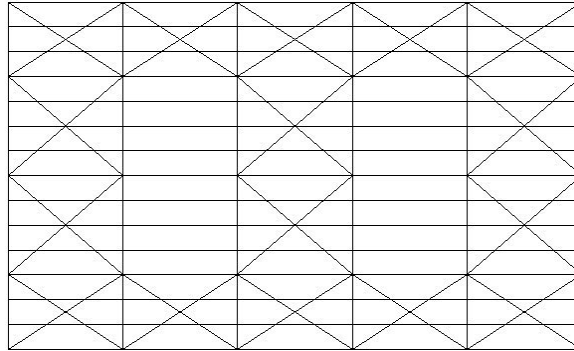


Figura 14.15 | Distribucion de arriostramientos en cubierta.-

Se propone una sección llena de barras circulares de acero, cuyo diámetro es  $d = 12[mm]$ .

### Verificación a tracción

El máximo esfuerzo normal de tracción arrojado por el software de cálculo es 23,49 [kN].

La resistencia de diseño  $R_d$  según la Sección D.1 del Reglamento CIRSOC 301 para *fluencia en la sección bruta* es:

$$R_d = \phi_t \times P_n = \phi_t \times F_y \times A_g$$

Con:

- $\phi_t = 0,9$
- $F_y = 235[MPa]$
- $A_g = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times (1,2[cm])^2}{4} = 1,13[cm^2]$

Por lo tanto la resistencia de diseño de los tensores será:

$$R_d = 0,90 \times 235[MPa] \times 1,13[cm^2] = 23,92[kN] > N_u = 23,49[kN] \checkmark \text{ Verifica}$$

### 14.1.1.9. Secciones Finales

En la *Tabla 14.10* se muestra un resumen de las secciones de todos los elementos.

Elemento	Componente	Descripción	Perfiles	Dimensiones		
Viga Principal	Cordón inferior	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "64x64x6,4"	b	63,5	[mm]
				t	6,4	[mm]
				s	7,90	[mm]
				e <sub>x</sub>	1,80	[cm]
	Cordón superior	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "57x57x6,4"	b	57,1	[mm]
				t	6,4	[mm]
				s	7,9	[mm]
				e <sub>x</sub>	1,63	[cm]
	Montantes	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "25x25x3,2"	b	25,4	[mm]
				t	3,2	[mm]
				s	7,9	[mm]
				e <sub>x</sub>	0,73	[cm]
Diagonales	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "25x25x4,8"	b	25,4	[mm]	
			t	4,8	[mm]	
			s	7,9	[mm]	
			e <sub>x</sub>	0,79	[cm]	
Columna	Cordones	Barra armada Tipo IV con 4 PNL unidos por planos en celosía	PNL "89x89x12,7"	b	88,9	[mm]
				t	12,7	[mm]
				s	10	[mm]
				e <sub>x</sub>	2,66	[cm]
	Celosía	Perfil PNL	PNL "29x29x3,2"	b	28,6	[mm]
				t	3,2	[mm]
				e <sub>x</sub>	0,77	[cm]
Presilla	Chapa plana	-	h	30	[cm]	
			t	0,635	[mm]	
Correas	-	Perfil UPN	UPN 160	d	160	[mm]
				bf	65	[mm]
				tf	10,5	[mm]
				hw	115	[mm]
				tw	7,5	[mm]
Tensores	-	Barra circular maciza	-	d	12	[mm]

*Tabla 14.10 / Secciones Finales.-*

### 14.1.2. Tornillo sin fin

El volumen de residuos  $V$  a trasladar en una revolución será:

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times p = \frac{\pi \times d^2}{4} \times d = \frac{\pi \times (0,25[m])^2}{4} \times 0,25[m] = 0,0123[m^3]$$

Según el *Manual del Ingeniero - Hütte*, la capacidad de transporte de las espirales huecas es aproximadamente un 20% menor que la de las espirales llenas, por lo que el volumen  $V'$  por cada revolución de la espiral resulta:

$$V' = 0,80 \times V = 0,80 \times 0,0123[m^3] = 0,01[m^3]$$

La cantidad de residuos a transportar por cada tornillo  $F$ , está fijada por la velocidad de clasificación del residuo en la cinta clasificadora. Esta velocidad viene dada por la tasa de selección de materiales por cada operador, la cual -según la *Tabla 5 del Manual de Información Tecnológica CIT*- es aproximadamente  $t_1 = 2,5[tn/h]$  por persona (valor típico).

Considerando que en la cinta se encuentran 2 operarios para realizar la apertura de bolsas y 8 para clasificar su contenido, resulta en un total  $t_T$  de:

$$t_T = t_1 \times N = 2,5[tn/h/persona] \times 8[personas] = 20[tn/h] = 20000[kg/h]$$

#### Para foRSU

Teniendo en cuenta que la densidad del residuo -según se mencionó precedentemente- es  $d_{fo} = 530[kg/m^3]$ , la capacidad de cada tornillo será:

$$F_{fo} = \frac{t_T/2}{d_{fo}} = \frac{20000[kg/h]/2}{530[kg/m^3]} = 18,87[m^3/h]$$

Para satisfacer esta necesidad, el tornillo sin fin deberá trabajar a una velocidad  $v_{fo}$  igual a:

$$v_{fo} = \frac{F_{fo}}{V'} = \frac{18,87[m^3/h]}{0,01[m^3/rev]} = 1922,08[rev/h] = 32,04[rpm]$$

Trabajando a esta velocidad, el volumen total máximo acumulado  $V_{fo\ max} = 86,77[m^3]$  - teniendo en cuenta que el coeficiente de desvío es del 60%- pasará por los tornillos en un tiempo  $t_{fo\ max}$  igual a:

$$t_{fo\ max} = \frac{V_{fo\ max}}{2 \times F_{fo}} = \frac{86,77[m^3] \times 0,60}{2 \times 18,87[m^3/h]} = 1,40[hs]$$

Y para el volumen total mínimo acumulado  $V_{fo\ min} = 57,85[m^3]$ :

$$t_{fo\ min} = \frac{V_{fo\ min}}{2 \times F_{fo}} = \frac{57,85[m^3] \times 0,60}{2 \times 18,87[m^3/h]} = 0,92[hs]$$

La potencia  $N_{fo}$  requerida para lograr esta velocidad -según el *Manual del Ingeniero Químico de Robert H. Perry*- viene dada por:

$$N_{fo} = \frac{C_{fo} \times L \times W_{fo} \times f_{fo}}{75 \times 60}$$

Donde:

- $C_{fo}$  es la capacidad del transportador, en  $[m^3/min]$ .

$$C_{fo} = F_{fo} = 18,87[m^3/h] = 0,32[m^3/min]$$

- $L$  es la longitud del tornillo, en  $[m]$ . De la *Figura 8.5*:  $L = 2,60[m]$ .
- $W_{fo}$  es la densidad del material, en  $[kg/m^3]$ .  $W_{fo} = d_{fo} = 530[kg/m^3]$ .
- $f_{fo}$  es un factor adimensional, que depende del material. En la *Tabla 14.11* se muestran valores de  $f_{fo}$  para distintos materiales.

Material	$f_{fo}$
Pulpa de papel	1,0
Almidón	1,0
Arena seca	2,0
Cuarzo pulverizado	2,5
Arcillas	2,0

*Tabla 14.11 | Valores de  $f_{fo}$  para distintos materiales.-*

Para la foRSU no existe un valor tabulado de  $f_{fo}$ , por lo que se adopta  $f_{fo} = 2$ .

Por lo tanto la potencia requerida  $N_{fo}$  será:

$$N_{fo} = \frac{0,12[m^3/min] \times 2,60[m] \times 530[kg/m^3] \times 2}{75 \times 60} = 0,07[CV]$$

Aclaraciones:

- Si la potencia es menor a  $2[CV]$ , se debe multiplicar el resultado por 2.
- Si la potencia es menor a  $4[CV]$ , se debe multiplicar el resultado por 1,5.
- Si el tornillo sin fin se carga por gravedad desde una tolva, se debe sumar al resultado de  $\frac{1}{2}[CV]$  a  $1[CV]$ .

Por lo tanto la potencia requerida  $N$  será:

$$N_{fo} = 0,07[CV] \times 2 + \frac{1}{2}[CV] = 0,65[CV]$$

### Para Residuos Recuperables

Teniendo en cuenta que la densidad del residuo -según se mencionó precedentemente- es  $d_R = 295[kg/m^3]$ , la capacidad de cada tornillo será:

$$F_R = \frac{t_T/2}{d_R} = \frac{20000[kg/h]/2}{295[kg/m^3]} = 33,90[m^3/h]$$

Para satisfacer esta necesidad, el tornillo sin fin deberá trabajar a una velocidad  $v_R$  igual a:

$$v_R = \frac{F_R}{V'} = \frac{33,90[m^3/h]}{0,01[m^3/rev]} = 3453,03[rev/h] = 57,55[rpm]$$

Trabajando a esta velocidad, el volumen total máximo acumulado  $V_R = 276,44[m^3]$  - teniendo en cuenta que el coeficiente de desvío es del 25%- pasará por los tornillos en un tiempo  $t$  igual a:

$$t_R = \frac{V_R}{2 \times F_R} = \frac{276,44[m^3] \times 0,25}{2 \times 42,37[m^3/h]} = 0,82[hs] \cong 1[hs]$$

### Determinación de la potencia necesaria

La potencia  $N_R$  requerida para lograr esta velocidad -según el *Manual del Ingeniero Químico* de Robert H. Perry- viene dada por:

$$N_R = \frac{C_R \times L \times W_R \times f_R}{75 \times 60}$$

Donde:

- $C_R$  es la capacidad del transportador, en  $[m^3/min]$ .

$$C_R = F_R = 33,90[m^3/h] = 0,565[m^3/min]$$

- $L$  es la longitud del tornillo, en  $[m]$ . De la *Figura 8.5*:  $L = 2,60[m]$ .
- $W_R$  es la densidad del material, en  $[kg/m^3]$ .  $W_R = d_R = 295[kg/m^3]$ .
- $f_R$  es un factor adimensional, que depende del material.

De la *Tabla 14.11* se adopta un valor promedio para los distintos materiales  $f_R = 1$ .

Por lo tanto la potencia requerida  $N_R$  será:

$$N_R = \frac{0,706[m^3/min] \times 2,60[m] \times 295[kg/m^3] \times 1}{75 \times 60} = 0,12[CV]$$

Aclaraciones:

- Si la potencia es menor a  $2[CV]$ , se debe multiplicar el resultado por 2.
- Si la potencia es menor a  $4[CV]$ , se debe multiplicar el resultado por 1,5.
- Si el tornillo sin fin se carga por gravedad desde una tolva, se debe sumar al resultado de  $\frac{1}{2}[CV]$  a  $1[CV]$ .

Por lo tanto la potencia requerida  $N_R$  será:

$$N_R = 0,12[CV] \times 2 + \frac{1}{2}[CV] = 0,74[CV]$$

Se adoptaría para estas condiciones un motor de  $1[CV]$  con las correspondientes reducciones, pero teniendo en cuenta que al momento de la descarga de los camiones en la tolva, el tornillo tendrá sobre él (en el momento más desfavorable) una carga de  $1,20[m]$  de foRSU (aproximadamente  $3[tn]$ ), se adopta finalmente un motor de  $5[CV]$  de manera de garantizar que pueda comenzar a operar en estas condiciones.

### 14.1.3. Cinta elevadora y transportadora

#### Determinación de la potencia necesaria

La potencia total necesaria para trasladar la carga  $N$  será:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5$$

Donde:

- $N_1$  es la potencia necesaria para mover la cinta descargada a una velocidad de  $1[m/seg]$ .

Según la Tabla 9 del “Manual de cálculo de cintas transportadoras”, la potencia necesaria  $N_1$  para mover la cinta descargada a una velocidad de  $1[m/seg]$ , para un ancho de  $0,80 [m]$  y una proyección horizontal de la distancia entre ejes de los tambores terminales igual a  $16,60 [m]$  (se toman  $20 [m]$ ), es de  $N_1 = 1,35[CV]$ .

Se recomienda para el caso de cintas clasificadoras que la velocidad de las mismas no supere los  $v_1 = 15[m/min]$ , esto es  $v_1 = 0,25[m/seg]$ , por lo que se deberá corregir la potencia calculada para esta nueva velocidad:

$$N'_1 = N_1 \times v_1 = 1,35[CV] \times 0,25 = 0,34[CV]$$

- $N_2$  es la potencia necesaria para transportar horizontalmente el material.

Según la Tabla 12 del Manual, la potencia necesaria  $N_2$  para transportar horizontalmente el material, para una cantidad  $C_1$  igual a:

$$C_1 = \frac{P_1}{t}$$

Esta cantidad  $C_1$  viene limitada por la cantidad de operarios trabajando a la tasa de selección de materiales por persona. Es decir:

$$C_1 = t_T = 20[tn/h]$$

Esta capacidad de transporte debiera ser corregida por los coeficientes de corrección en función del ángulo de concavidad de rodillos triples portantes, y del ángulo de sobrecarga dinámica del material, así como del ángulo de inclinación de la cinta. Pero debido a la diferencia con el menor valor dado en la Tabla -el cual es de  $50[tn/h]$ - se desestiman estas correcciones, y se toma esa capacidad para obtener la potencia.

Por lo tanto  $N_2 = 0,36[CV]$ .

Por la misma razón no se considera necesario realizar las verificaciones de tensiones en la cinta, ya que la capacidad de transporte adoptada supera ampliamente las condiciones de servicio.

- $N_3$  es la potencia necesaria para trasladar verticalmente el material de manera ascendente.

Según la Tabla 14 del Manual, la potencia necesaria  $N_3$  para trasladar verticalmente el material, para una proyección vertical de la distancia entre ejes de las poleas terminales

igual a 3,80 [m] (se toma 4 [m]), y para una cantidad transportada de 25[tn/h], es de  $N_3 = 0,37[CV]$ .

- $N_4$  es la potencia absorbida por un carro descargador fijo.
- $N_5$  es la potencia absorbida por un carro descargador móvil, accionado por la propia cinta.

En este caso, al ser la descarga del material por caída libre, no se consideran las potencias  $N_4$  y  $N_5$ .

Por lo tanto la potencia total necesaria para trasladar la carga  $N$  será:

$$N = N'_1 + N_2 + N_3 = 0,34[CV] + 0,36[CV] + 0,37[CV] = 1,07[CV]$$

### **Determinación del tipo y número de telas**

Una cinta viene definida por el tipo y número de telas, los cuales se establecen en función de la máxima tensión, del ancho y de la carga de trabajo de la cinta.

La sollicitación máxima de tensión a que la cinta está sometida depende de:

- La potencia absorbida.
- La velocidad.
- La amplitud del arco de abrazamiento de la cinta sobre el tambor motriz.
- El coeficiente de rozamiento entre los tambores motrices y la cinta, es decir, del hecho que se tenga tambores motrices sin revestir o cubiertos de goma.
- El tipo de tensor empleado en relación a su mayor o menor capacidad de mantener una tensión constante sobre la cinta, de decir, a contrapeso o a tornillo.

Es por tanto posible que, a igualdad de potencia y velocidad, resulten sollicitaciones de tensión diversas y, por este motivo, se tengan que adoptar cintas distintas según las características de la instalación.

Se adopta un tejido L, de algodón de 28 onzas. De la Tabla 17, válida para cintas con empalme vulcanizado, que relaciona la potencia absorbida por la cinta con sus características y con aquellas de la instalación, se obtiene el número de telas para:

- Ancho de 800[mm].
- Velocidad de 0,5[m/seg] (si bien la velocidad de la cinta es de 0,25[m/seg], el menor valor tabulado es de 0,5[m/seg]).
- Tambor motriz simple  $\alpha = 210^\circ$  revestido de goma con tensor a contrapeso.
- Potencia absorbida por la cinta  $N = 1,07[CV]$ .

El número de telas resulta igual a 4.



#### 14.1.4. Molino

##### Adopción del equipo

Se sugiere para esta instalación la adopción un molino a martillos ofrecida por la marca comercial “CMMAC”. Se utilizará para el dimensionamiento el catálogo proporcionado por el fabricante, el cual se adjunta en el *Anexo 14.2.7*.

Características del equipo:

- Producción de partículas entre 0 y 3 [mm].
- Alta producción y alta proporción de trituración.
- Bajo consumo de energía.
- Tamaño de partículas homogéneo.
- Estructura mecánica simple, compacta y ligera.
- Bajo costo de inversión.
- Fácil gestión.
- Apto para la trituración de materiales blandos y semiduros, cuya resistencia a la compresión no sea superior a 320 [MPa].

Se debe seleccionar un modelo en función de la capacidad del equipo. La capacidad necesaria  $C_{nec}$  viene dada por:

$$C_{nec} = \frac{P_1}{t}$$

Donde:

- $P_1$  es la cantidad acumulada máxima, en [tn].

Teniendo en cuenta que  $P_{fo\ max} = 45,99[tn]$ , y que el coeficiente de desvío para foRSU es del 60,  $P_1$  será:

$$P_1 = P_{fo\ max} \times 60\% = 45,99[tn] \times 0,60 = 27,59[tn]$$

- $t$  la duración de la jornada laboral, en [hs].  $t = 8[hs]$ .

$$C_{nec} = \frac{27,59[tn]}{8[hs]} = 3,45[tn/h]$$

En consecuencia se adopta el modelo PC300x400, cuya capacidad está comprendida entre 3 a 8 [tn/h]. En la *Figura 14.16* se puede ver el modelo elegido.

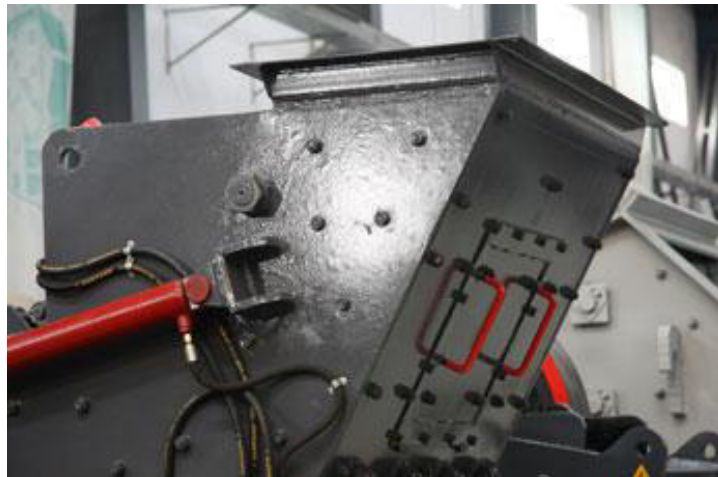


Figura 14.16 | Molino de martillos.-

### Cantidad de agua a agregar en el proceso de molienda

Es recomendable alcanzar un porcentaje de sólidos del 15% para asegurar una molienda aceptable.

Teniendo en cuenta que la composición de la materia orgánica viene dada -según el *Ing. Eduardo S. Groppelli*- por:

- Sólidos totales: 18%-19%.
- Agua: 81%-82%.

Se calcula la cantidad de agua a adicionar para lograr el porcentaje deseado.

Sabiendo que por cada tonelada de foRSU se tienen 190[kg] de sólidos, para obtener el 15% de sólidos totales se deberá tener dentro del molino una cantidad de agua total  $A$  igual a:

$$A = \frac{190[kg]}{15\%} = 1266,67[kg] = 1266,67[lts]$$

De los cuales 810[kg] ó [lts] es el agua que compone el material. Por lo tanto la cantidad de agua a agregar para alcanzar el porcentaje indicado  $A_1$  será:

$$A_1 = 1266,67[lts] - 810[lts] = 456,67[lts]$$

Por lo tanto, la relación  $R_m$  entre la cantidad de agua a agregar en el molino y la cantidad de foRSU a incorporar al mismo resulta:

$$R_m = \frac{456,67[lts]}{1000[kg]} = 0,457[lts/kg]$$

En consecuencia, para la máxima capacidad  $C_1 = C_{nec} = 3,45[tn/h]$ , la cantidad total de agua a incorporar  $A_{1T}$  será:

$$A_{1T} = 0,457[lts/kg] \times 3,45[tn/h] \times 1000[kg/tn] = 1576,08[lts/h]$$

Para los días en que se recibe la cantidad de foRSU equivalente a 2 días de recolección, la capacidad necesaria de procesamiento será menor, y viene dada por:

$$C'_{nec} = \frac{P_2}{t}$$

Donde:

- $P_2$  es la cantidad acumulada en 2 días, en [tn].

Teniendo en cuenta que  $P_{fo\ min} = 30,66[tn]$ , y que el coeficiente de desvío para foRSU es del 60,  $P_2$  será:

$$P_2 = P_{fo\ min} \times 60\% = 30,66[tn] \times 0,60 = 18,40[tn]$$

- $t$  la duración de la jornada laboral, en [hs].  $t = 8[hs]$ .

$$C'_{nec} = \frac{18,4[tn]}{8[hs]} = 2,3[tn/h]$$

En consecuencia, la cantidad de agua a incorporar  $A_{2T}$  será:

$$A_{2T} = 0,457[lts/kg] \times 2,3[tn/h] \times 1000[kg/tn] = 1051,1[lts/h]$$

### 14.1.5. Bomba centrífuga 1

Se muestra en la *Figura 14.17* un esquema del trabajo necesario a realizar por la bomba.

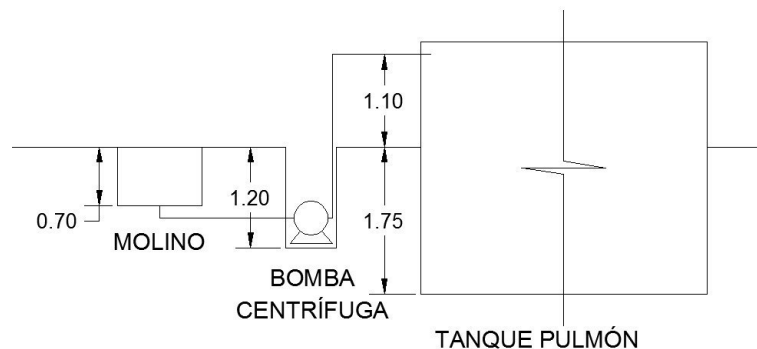


Figura 14.17 | Trabajo a realizar por la Bomba centrífuga 1.-

Para el dimensionamiento de la bomba se tendrá en cuenta el trabajo que debe realizar la misma para salvar la diferencia de nivel entre el molino y el tanque pulmón, la velocidad del fluido y sus correspondientes pérdidas de carga.

Según Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2 \times g} + \frac{P_1}{\gamma} + W = Z_2 + \frac{v_2^2}{2 \times g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_f$$

Donde:

- $Z_1$  y  $Z_2$  son las cotas en los puntos 1 y 2, en función de un plano de referencia, en [m].

- $v_1$  y  $v_2$  son las velocidades del fluido en los puntos 1 y 2, en  $[m/seg]$ . En el punto 1 puede considerarse que el fluido se encuentra en reposo, por lo que la velocidad en ese punto resulta nula  $v_1 = 0[m/seg]$ .  $v_2 = v$ .
- $g$  es la aceleración de la gravedad, en  $[m/seg^2]$ .  $g = 9,81[m/seg^2]$ .
- $P_1$  y  $P_2$  son las presiones manométricas en los puntos 1 y 2, en  $[kg/m^2]$ . En ambos puntos la presión es igual a la presión atmosférica  $P_1 = P_2 = P_{atm}$ .
- $\gamma$  es la densidad del fluido, en  $[kg/m^3]$ .
- $W$  es el trabajo externo realizado por la bomba para trasladar el fluido entre los puntos 1 y 2, en  $[m]$ .
- $h_f$  es la pérdida de carga por fricción del fluido entre los puntos 1 y 2, en  $[m]$ .

$$h_f = \frac{f \times L \times V^2}{2 \times g \times d}$$

Con:

- $d$  diámetro de la cañería, en  $[m]$ . Se adopta  $d = 4" \cong 100[mm]$ , cuyo diámetro interior real es  $d_i = 102[mm]$ .
- $L$  longitud total de la cañería, en  $[m]$ .

Será el resultado de la suma de la longitud real de la cañería  $L_R$  más la longitud equivalente  $L_{eq}$  debido a los accesorios que posee.

$$L = L_R + L_{eq}$$

- ❖ La longitud real de la cañería  $L_R = 6,00[m]$ .
- ❖ La longitud equivalente  $L_{eq}$  viene dada por los siguientes accesorios:
  - ✓ Válvulas compuerta..... 2
  - ✓ Codos a 90°.....4
  - ✓ Válvula de regulación tipo de globo..... 1
  - ✓ Válvula de retención, y manómetros en la aspiración e impulsión de la bomba con sus correspondientes manguitos..... 1
  - ✓ Cono excéntrico de reducción, en la aspiración..... 1
  - ✓ Codo excéntrico de ampliación, en la impulsión..... 1

Del gráfico adjunto en el *Anexo 14.2.8*, se extraen los valores de las respectivas longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios en función del diámetro de la cañería  $d$ . En la *Tabla 14.12* se muestran los resultados obtenidos.

Accesorio	Longitud equivalente unitaria [m]	Cantidad	Longitud equivalente [m]
Válvula Compuerta	82,30	2	164,6
Codo 90°	6,71	4	26,84
Válvula Globo	33,53	1	33,53
Válvula de Retención	7,93	1	7,93
Contracción brusca excéntrica	1,19	1	1,19
Ampliación excéntrica	2,01	1	2,01
		<b>Total</b>	<b>236,10</b>

Tabla 14.12 | Longitudes equivalentes de los accesorios.-

La longitud total de la cañería  $L$  resulta:

$$L = L_R + L_{eq} = 6,00[m] + 236,10[m] = 242,10[m]$$

- $f$  es el coeficiente de fricción, el cual se obtiene en función del Número de Reynolds  $R_E$  y -en caso de ser el flujo turbulento, lo que es lo más probable- de la rugosidad relativa de la cañería  $\varepsilon/d$  (donde  $\varepsilon$  es el tamaño de las imperfecciones superficiales, en [cm]).

$$R_E = \frac{v \times d_i \times \gamma}{\mu} \times 10$$

Siendo:

- $v$  la velocidad del fluido, en [m/seg].

$$v = \frac{Q}{A} \times \frac{1}{3600}$$

Con:

- $Q$  caudal volumétrico, en [m³/h].

Por cada tonelada de foRSU, cuya densidad es de 530[kg/m³], se agregan en el molino aproximadamente 457[lts] de agua para lograr un porcentaje de sólidos totales igual a 15%.

Por lo que el volumen unitario del licor  $V_u$  resulta:

$$V_u = \frac{1[tn]}{530[kg/m^3]} \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} + 457[lts] \times \frac{1[m^3]}{1000[lts]} = 2,34[m^3]$$

La densidad del fluido  $\gamma$ , teniendo en cuenta que la densidad del agua es  $\gamma_a = 1[kg/lt]$ , resulta:

$$\gamma = \frac{1000[kg] + 457[kg]}{2,34[m^3]} = 621,64[kg/m^3]$$

Para la cantidad máxima acumulada  $P_{fo\ max} = 45,99[tn]$  y el coeficiente de desvío para esta fracción  $C_{DfoRSU} = 60\%$ , el volumen  $V_T$  resulta:

$$V_T = V_u \times P_{fo\ max} \times C_{DfoRSU} = 2,34[m^3/tn] \times 45,99[tn] \times 0,60 = 64,67[m^3]$$

En una jornada laboral de  $t = 8[hs]$ , el caudal volumétrico  $Q$  resulta:

$$Q = \frac{V_T}{t} = \frac{64,67[m^3]}{8[hs]} = 8,08[m^3/h]$$

➤ A área de la cañería, en  $[m^2]$ .

$$A = \frac{\pi \times d_i^2}{4} = \frac{\pi \times (0,102[m])^2}{4} = 8,17 \times 10^{-3}[m^2]$$

Por lo tanto la velocidad del fluido  $v$  será:

$$v = \frac{Q}{A} \times \frac{1}{3600} = \frac{8,08[m^3/h]}{8,17 \times 10^{-3}[m^2]} \times \frac{1}{3600} = 0,275[m/seg]$$

▪  $\mu$  la viscosidad del fluido, en  $[poise]$ .

Dada la carencia de datos concretos respecto a la viscosidad de una suspensión acuosa de las características de la que aquí se manipulará, se supondrá que se trata de agua debido a su bajo contenido de sólidos, y al resultado final de la pérdida de carga se lo afectará por un factor de seguridad que contemple esta incertidumbre.

Asemejando entonces la viscosidad del licor a la viscosidad del agua, se considera:

$$\mu = 1[cP] = 0,01 \left[ \frac{gr}{cm \times seg} \right]$$

Por lo tanto el Número de Reynolds  $R_E$  será:

$$R_E = \frac{v \times d_i \times \gamma}{\mu} \times 10 = \frac{0,275[m/seg] \times 0,102[m] \times 621,64[kg/m^3]}{0,01[poise]} \times 10 = 17423$$

$$R_E = 17423 > 2000 \rightarrow \text{Flujo turbulento} \checkmark$$

Para flujo turbulento el coeficiente de fricción  $f$  se obtiene del *Diagrama de Moody* -adjunto en el *Anexo 14.2.9-*, en función del Número de Reynolds  $R_E$  y de la rugosidad relativa de la cañería  $\varepsilon/d$ .

El tamaño de las imperfecciones superficiales  $\varepsilon$  para cañerías de PVC no se encuentra en la tabla del *Diagrama de Moody*, pero puede asemejarse al del latón, el cual es de  $\varepsilon = 0,00015[cm]$ .

En consecuencia la rugosidad relativa resulta:

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,00015[cm]}{10[cm]} = 0,000015$$

El coeficiente de fricción obtenido es  $f = 0,028$ .

Por lo que la pérdida de carga  $h_f$  resulta:

$$h_f = \frac{f \times L \times v^2}{2 \times g \times d} = \frac{0,028 \times 242,1[m] \times (0,275[m/seg])^2}{2 \times 9,81[m/seg^2] \times 0,1[m]} = 0,26[m]$$

Despejando de la ecuación de Bernoulli el trabajo realizado por la bomba  $W$ :

$$W = (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2}{2 \times g} + h_f$$

Donde:

- $Z_1 = -0,80[m]$
- $Z_2 = +1,10[m]$

El trabajo realizado por la bomba  $W$  resulta:

$$W = [1,10[m] - (-0,80[m])] + \frac{(0,275[m/seg])^2}{2 \times 9,81[m/seg^2]} + 0,26[m] = 2,17[m]$$

### **Determinación de la potencia necesaria**

La potencia necesaria de la bomba  $P$  viene dada por:

$$P = \frac{Q_m \times W}{75 \times R}$$

Donde:

- $Q_m$  es el caudal másico, en  $[kg/seg]$ .

El caudal másico  $Q_m$  viene dado por:

$$Q_m = \gamma \times Q$$

Siendo:

- $\gamma$  la densidad del fluido,  $\gamma = 621,64[kg/m^3]$ .
- $Q$  el caudal volumétrico,  $Q = 8,08[m^3/h]$ .

Por lo tanto el caudal másico  $Q_m$  será:

$$Q_m = 621,64[kg/m^3] \times 8,08[m^3/h] = 5022,85[kg/h] = 1,40[kg/seg]$$

- $W$  el trabajo de la bomba, en  $[m]$ .  $W = 2,17[m]$ .
- $R$  el rendimiento de la bomba. Se adopta  $R = 70\%$ .

En consecuencia la potencia necesaria de la bomba  $P$  resulta:

$$P = \frac{1,40[kg/seg] \times 2,17[m]}{75 \times 0,70} = 0,06[CV]$$

Se adopta una bomba cuya potencia es igual a  $P = 0,75[CV]$ .

### 14.1.6. Tanque pulmón

#### Cantidad de agua a agregar

Para poder asegurar que el proceso biológico de digestión se desarrolle en forma óptima, la cantidad de sólidos totales presentes en el licor no debe superar el 8%. Sabiendo que el fluido sale del molino con un porcentaje de sólidos de aproximadamente el 15%, y siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para determinar la cantidad de agua a agregar en el molino, se calcula la cantidad de agua a adicionar para lograr el porcentaje deseado, adoptándose la misma concentración de sólidos totales y agua.

Sabiendo que por cada tonelada de foRSU se tienen 190[kg] de sólidos, para obtener el 8% la cantidad de agua total  $A$  será:

$$A = \frac{190[kg]}{8\%} = 2375[kg] = 2375[lts]$$

De los cuales 810[kg] ó [lts] es el agua que compone el material. Por lo tanto la cantidad de agua a agregar para alcanzar el porcentaje indicado  $A_1$  será:

$$A_1 = 2375[lts] - 810[lts] = 1565[lts]$$

De esos 1565[lts] por tonelada, 457[lts] ya fueron incorporados para realizar la molienda. Por lo tanto la cantidad de agua a agregar en el tanque pulmón para alcanzar el 8% de ST será:

$$A_2 = 1565[lts] - 457[lts] = 1108[lts]$$

La relación  $R_{tp}$  entre la cantidad de agua a agregar en el tanque y la cantidad de foRSU resulta:

$$R_{tp} = \frac{1108[lts]}{1000[kg]} = 1,108[lts/kg]$$

En consecuencia, para la máxima capacidad necesaria  $C_{nec} = 3,45[tn/h]$ , la cantidad total de agua a incorporar  $A_{1T}$  será:

$$A_{1T} = 1,108[lts/kg] \times 3,45[tn/h] \times 1000[kg/tn] = 3822,6[lts/h]$$

El volumen de diseño del tanque  $V_D$ , será el resultado de la suma del volumen total a introducir el día más crítico, el cual viene dado por el volumen  $V_T$  calculado para el molino, más la cantidad de agua a incorporar en el tanque pulmón  $A_{1T}$ . Esto es:

$$V_D = V_T + A_{1T} = 64,67[m^3] + \left( 3822,6 \left[ \frac{lts}{h} \right] \times 8[hs] \times \frac{1[m^3]}{1000[lts]} \right) = 95,25[m^3]$$

Se adopta un tanque de dimensiones como las que se muestran en el *Anexo 14.2.21*.

#### Calor necesario

El licor dentro del tanque pulmón será calefaccionado mediante una serpentina que lleva en su interior agua caliente a 90°C, la cual proviene de una caldera a baja presión que funciona



gracias al calor creado en la micro-turbina de cogeneración. Para conocer la cantidad de calor necesario a suministrar  $C$ , se emplea la siguiente ecuación:

$$C = Q_m \times C_e \times \Delta T$$

Donde:

- $Q_m$  es el caudal másico del fluido a calentar, en  $[kg/h]$ .

$$Q_m = Q \times \gamma$$

Con:

- $\gamma$  la densidad del fluido, en  $[kg/m^3]$ .
- $Q$  el caudal volumétrico, en  $[m^3/h]$ .

Por cada tonelada de foRSU, cuya densidad es de  $530[kg/m^3]$ , se agregan en el molino aproximadamente  $457[lts]$  de agua para lograr un porcentaje de sólidos totales igual a 15%, y en el tanque pulmón  $1108[lts]$  para obtener un licor al 8% de ST.

Por lo que el volumen unitario del licor  $V_u$  resulta:

$$V_u = \frac{1[tn]}{530[kg/m^3]} \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} + (457[lts] + 1108[lts]) \times \frac{1[m^3]}{1000[lts]} = 3,45[m^3]$$

La densidad del fluido  $\gamma$ , teniendo en cuenta que la densidad del agua es  $\gamma_a = 1[kg/lt]$ , resulta:

$$\gamma = \frac{1000[kg] + 457[kg] + 1108[kg]}{3,45[m^3]} = 743,09[kg/m^3]$$

Para la cantidad máxima acumulada  $P_{fo\ max} = 45,99[tn]$  y el coeficiente de desvío para esta fracción  $C_{DfoRSU} = 60\%$ , el volumen  $V_T$  resulta:

$$V_T = V_u \times P_{fo\ max} = 3,45[m^3/tn] \times 45,99[tn] \times 0,60 = 95,24[m^3]$$

En una jornada laboral de  $t = 8[hs]$ , el caudal volumétrico  $Q$  resulta:

$$Q = \frac{V_T}{t} = \frac{95,24[m^3]}{8[hs]} = 11,90[m^3/h]$$

El caudal másico será entonces:

$$Q_m = \gamma \times Q = 743,09 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \times 11,90 \left[ \frac{m^3}{hs} \right] = 8842,77 \left[ \frac{kg}{hs} \right]$$

- $C_e$  es el calor específico del fluido, en  $\left[ \frac{kcal}{kg \times ^\circ K} \right]$ .

A los efectos del cálculo calórico se puede estimar que el calor específico del fluido se asemeja al del agua, esto es,  $C_e = 1 \left[ \frac{kcal}{kg \times ^\circ K} \right]$ .

- $\Delta T$  es el salto de temperatura a realizar.

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

Siendo:

- $t_1$  la temperatura mínima de los barros, en [°C]. Se adopta  $t_1 = 10[°C]$ .
- $t_2$  la temperatura a elevar por los barros mediante la calefacción, en [°C]. Se adopta  $t_2 = 15[°C]$ .

$$\Delta T = t_2 - t_1 = 15[°C] - 10[°C] = 5[°C]$$

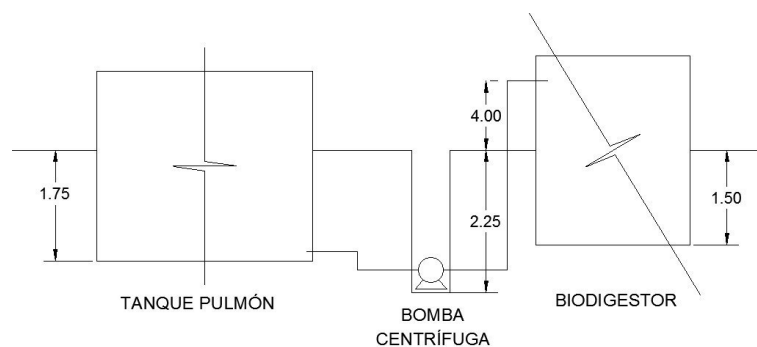
Teniendo en cuenta posible pérdidas de calor que puedan producirse, se admite para el cálculo un salto de  $\Delta T = 6[°C] = 6[°K]$ .

Por lo tanto el calor necesario  $Q$  será:

$$Q = 8842,77 \left[ \frac{kg}{h} \right] \times 1 \left[ \frac{kcal}{kg \times °K} \right] \times 6[°K] = 53056,63 \left[ \frac{kcal}{h} \right]$$

### 14.1.7. Bomba centrífuga 2

Se muestra en la *Figura 14.18* un esquema del trabajo necesario a realizar por la bomba.



*Figura 14.18 | Trabajo a realizar por la Bomba centrífuga 2.-*

El trabajo a realizar por la bomba viene dado por la misma ecuación descrita anteriormente (para la Bomba centrífuga 1):

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2 \times g} + \frac{P_1}{\gamma} + W = Z_2 + \frac{v_2^2}{2 \times g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_f$$

$$W = (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2}{2 \times g} + h_f$$

Donde:

- $Z_1 = -1,60[m]$
- $Z_2 = +4,00[m]$

Se adopta el diámetro de la cañería  $d = 4" \cong 100[mm]$ , cuyo diámetro interior real es  $d_i = 102[mm]$ .

La longitud real de la cañería es de  $L_R = 7[m]$ , y la longitud equivalente  $L_{eq}$  resulta de los siguientes accesorios:

- ✓ Válvulas compuerta.....2
- ✓ Codos a 90°..... 5
- ✓ Válvula de regulación tipo de globo..... 1
- ✓ Válvula de retención, y manómetros en la aspiración e impulsión de la bomba con sus correspondientes manguitos..... 1
- ✓ Cono excéntrico de reducción, en la aspiración..... 1
- ✓ Codo excéntrico de ampliación, en la impulsión..... 1

Del gráfico adjunto en el *Anexo 14.2.8*, se extraen los valores de las respectivas longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios en función del diámetro de la cañería  $d$ . En la *Tabla 14.13* se muestran los resultados obtenidos.

Accesorio	Longitud equivalente unitaria [m]	Cantidad	Longitud equivalente [m]
Válvula Compuerta	82,30	2	164,6
Codo 90°	6,71	5	33,55
Válvula Globo	33,53	1	33,53
Válvula de Retención	7,93	1	7,93
Contracción brusca excéntrica	1,19	1	1,19
Ampliación excéntrica	2,01	1	2,01
<b>Total</b>			<b>242,81</b>

*Tabla 14.13 | Longitudes equivalentes de los accesorios.-*

La longitud total de la cañería  $L$  resulta:

$$L = L_R + L_{eq} = 7[m] + 242,81[m] = 249,81[m]$$

La velocidad del fluido  $v$  vendrá dada por:

- El caudal volumétrico  $Q$ :

$$Q = \frac{V_T}{t}$$

Siendo el volumen unitario  $V_u = 3,45[m^3]$  y la densidad del fluido  $\gamma = 743,09[kg/m^3]$ , para una cantidad diaria de  $P_{fo} = 15,33[tn]$  y un coeficiente de desvío para esta fracción  $C_{DfoRSU} = 60\%$ , el volumen  $V_T$  resulta:

$$V_T = V_u \times P_{fo} \times C_{DfoRSU} = 3,45[m^3/tn] \times 15,33[tn] \times 0,60 = 31,74[m^3]$$

Para  $t = 8[hs]$ :

$$Q = \frac{V_T}{t} = \frac{31,74[m^3]}{8[hs]} = 3,97[m^3/h]$$

➤ El área de la cañería  $A = 8,17 \times 10^{-3} [m^2]$ .

Por lo tanto la velocidad del fluido  $v$  será:

$$v = \frac{Q}{A} \times \frac{1}{3600} = \frac{3,97 [m^3/h]}{8,17 \times 10^{-3} [m^2]} \times \frac{1}{3600} = 0,135 [m/seg]$$

Y el Número de Reynolds  $R_E$ , siendo la viscosidad  $\mu = 0,01 [poise]$ , será:

$$R_E = \frac{v \times d_i \times \gamma}{\mu} \times 10 = \frac{0,135 [m/seg] \times 0,102 [m] \times 743,09 [kg/m^3]}{0,01 [poise]} \times 10 = 10223$$

$$R_E = 10223 > 2000 \rightarrow \text{Flujo turbulento} \checkmark$$

El coeficiente de fricción  $f$  se obtiene del *Diagrama de Moody* -adjunto en el *Anexo 14.2.9*-, en función del Número de Reynolds  $R_E$  y de la rugosidad relativa de la cañería  $\varepsilon/d = 0,000015$ .

El coeficiente de fricción obtenido es  $f = 0,030$ .

La pérdida de carga  $h_f$  resulta:

$$h_f = \frac{f \times L \times v^2}{2 \times g \times d} = \frac{0,030 \times 249,81 [m] \times (0,135 [m/seg])^2}{2 \times 9,81 [m/seg^2] \times 0,1 [m]} = 0,07 [m]$$

El trabajo realizado por la bomba  $W$  resulta:

$$W = [4,00 [m] - (-1,60 [m])] + \frac{(0,135 [m/seg])^2}{2 \times 9,81 [m/seg^2]} + 0,07 [m] = 5,67 [m]$$

### Determinación de la potencia necesaria

La potencia necesaria de la bomba  $P$  viene dada por:

$$P = \frac{Q_m \times W}{75 \times R}$$

Donde:

- $Q_m$  es el caudal másico, en  $[kg/seg]$ .

$$Q_m = \gamma \times Q$$

Siendo:

- $\gamma = 743,09 [kg/m^3]$ .
- $Q = 3,97 [m^3/h]$ .

$$Q_m = 743,09 [kg/m^3] \times 3,97 [m^3/h] = 2950,07 [kg/h] = 0,82 [kg/seg]$$

- $W$  el trabajo de la bomba, en  $[m]$ .  $W = 5,67 [m]$ .
- $R$  el rendimiento de la bomba. Se adopta  $R = 70\%$ .

En consecuencia la potencia necesaria de la bomba  $P$  resulta:

$$P = \frac{0,82[\text{kg/seg}] \times 5,67[\text{m}]}{75 \times 0,70} = 0,09[\text{CV}]$$

Se adopta una bomba cuya potencia es igual a  $P = 0,75[\text{CV}]$ .

### 14.1.8. Biodiscos

#### Relación de áreas

La expresión de Morris A. Levin y Michael A. Gealt, enuncia que la relación entre la concentración de salida y la de entrada viene dada por

$$\frac{C_e}{C_a} = 14,2 \left[ \frac{(Q/A)^{0,558}}{e^{0,32 \times N} \times C_a^{0,684} \times T^{0,284}} \right]$$

Donde

$C_e$  es la concentración de DBO5 en el efluente, en gramos por metro cúbico

$C_a$  es la concentración de DBO5 en el afluente, en gramos por metro cúbico

$Q$  es el caudal, en galones por día

$A$  es el área activa total, en pies cuadrados

$T$  es la temperatura, en grados centígrados

$N$  es el número de etapas

Podríamos afirmar que la única manera de realizar, en principio, un diseño funcional de un sistema de biodiscos, es efectuar pruebas en laboratorio, operando un reactor en escala y efectuando las consideraciones necesarias al momento de construir el real. Este procedimiento, recrearía las condiciones de temperatura, humedad, características de lixiviado, etc., que se tendrían en la operación del relleno sanitario, y facilitaría la estimación de los parámetros principales del proceso.

Con este fin, se han desarrollado experiencias en América Latina para distintos rellenos sanitarios. Ante la imposibilidad de efectuar pruebas similares, se podrían asumir como válidas las conclusiones obtenidas en estos ensayos, y dimensionar un sistema de biodiscos basándonos en esto y aplicando un margen que dote de seguridad a la instalación, y más aún, contemple la posibilidad de expansión.

Volviendo a la expresión de Morris A. Levin y Michael A. Gealt, y utilizando tres etapas, podríamos determinar el área relativa de cada una de ellas. Podríamos resumir el proceso con un esquema como el de la *Figura 14.19*:

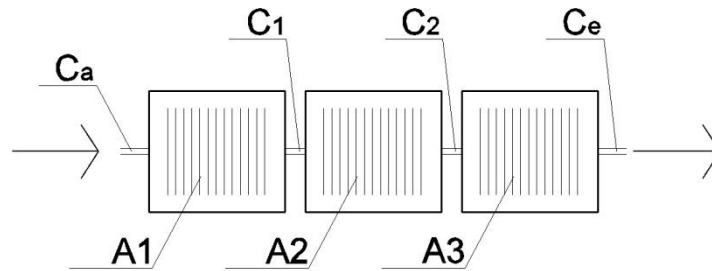


Figura 14.19 | Esquema básico de funcionamiento del reactor de Biodiscos.-

Aquí vemos que, para analizar por separado cada una de las etapas, debemos reemplazar con el valor de  $N=1$ , y considerar para cada caso la concentración de entrada y salida.

Considerando  $N = 1$ , caudal y temperatura constante para todo el proceso, tendremos para cualquier etapa

$$\frac{C_e}{C_a} = 14,2 \left[ \frac{Q^{0,558}}{e^{0,32} \times T^{0,284}} \right] \left[ \frac{1}{A^{0,558} \times C_a^{0,684}} \right] = k \times \frac{C_a^{-0,684}}{A^{0,558}}$$

$$C_e = k \times \frac{C_a^{0,316}}{A^{0,558}}$$

Donde

$$k = 14,2 \left[ \frac{Q^{0,558}}{e^{0,32} \times T^{0,284}} \right]$$

Luego, para la Etapa 1, siendo la concentración de salida  $C_1$ :

$$C_1 = k \times \frac{C_a^{0,316}}{A_1^{0,558}} \quad (1)$$

Para la Etapa 2, teniendo en cuenta que la concentración de entrada será  $C_1$  y la de salida será  $C_2$ :

$$C_2 = k \times \frac{C_1^{0,316}}{A_2^{0,558}} \quad (2)$$

Para la Etapa 3, procediendo de igual manera:

$$C_e = k \times \frac{C_2^{0,316}}{A_3^{0,558}} \quad (3)$$

Reemplazando con (1) en (2)

$$C_2 = k \times \frac{\left( k \times \frac{C_a^{0,316}}{A_1^{0,558}} \right)^{0,316}}{A_2^{0,558}} = k^{1,316} \times \frac{C_a^{0,316^2}}{A_1^{0,558 \times 0,316} \times A_2^{0,558}} \quad (4)$$

Reemplazando (4) en (3)

$$C_e = k \times \frac{\left( k^{1,316} \times \frac{C_a^{0,316^2}}{A_1^{0,558 \times 0,316} \times A_2^{0,558}} \right)^{0,316}}{A_3^{0,558}} = \frac{k^{1,415856} \times C_a^{0,316^3}}{A_1^{0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{0,558 \times 0,316} \times A_3^{0,558}}$$

Si ahora hacemos

$$K = k^{1,415856} \times C_a^{0,316^3}$$

$$C_e = K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316} \times A_3^{-0,558}$$

Con esta expresión, tenemos la concentración de salida en función de las áreas en las tres etapas. Para optimizar el área, derivamos la concentración de salida con respecto a todas las variables e igualamos a cero

$$\frac{dC_e}{dA_1} = (-0,558 \times 0,316^2) \times K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2 - 1} \times A_2^{-0,558 \times 0,316} \times A_3^{-0,558} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{dC_e}{dA_2} = (-0,558 \times 0,316) \times K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316 - 1} \times A_3^{-0,558} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{dC_e}{dA_3} = (-0,558) \times K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316} \times A_3^{-0,558 - 1} = 0 \quad (7)$$

Para expresar todas las variables en función de una sola de ellas, por ejemplo de  $A_1$ , operamos primero igualando (5) y (6)

$$(-0,558 \times 0,316^2) \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2 - 1} \times A_2^{-0,558 \times 0,316} \\ = (-0,558 \times 0,316) \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316 - 1}$$

$$A_2 = \frac{-0,558 \times 0,316}{-0,558 \times 0,316^2} A_1$$

$$\boxed{A_2 = 0,316^{-1} \times A_1 \quad (8)}$$

Y luego (6) y (7)

$$(-0,558 \times 0,316) \times K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316 - 1} \times A_3^{-0,558} \\ = (-0,558) \times K \times A_1^{-0,558 \times 0,316^2} \times A_2^{-0,558 \times 0,316} \times A_3^{-0,558 - 1}$$

$$A_2 = \frac{-0,558 \times 0,316}{-0,558} A_3$$

$$A_2 = 0,316 \times A_3 \quad (9)$$

Igualando (8) y (9)

$$0,316^{-1} \times A_1 = 0,316 \times A_3$$

$$\boxed{A_3 = 0,316^{-2} \times A_1 \quad (10)}$$

El área total, que será consecuentemente la sumatoria de las áreas de las tres etapas, es:

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A = A_1 + 0,316^{-1} \times A_1 + 0,316^{-2} \times A_1$$

$$A = (1 + 0,316^{-1} + 0,316^{-2}) \times A_1$$

$$A = 14,1800 \times A_1$$

Esta relación de áreas nos sirve para determinar, del área total de biodiscos, cuál le corresponde a cada etapa del tratamiento. Esto, expresado en porcentajes sería:

$$\%A_1 = \frac{A_1}{14,1800 \times A_1} \times 100 = 7,0527\%$$

$$\%A_2 = \frac{0,316^{-1} \times A_1}{14,1800 \times A_1} \times 100 = 22,3187\%$$

$$\%A_3 = \frac{0,316^{-2} \times A_1}{14,1800 \times A_1} \times 100 = 70,6286\%$$

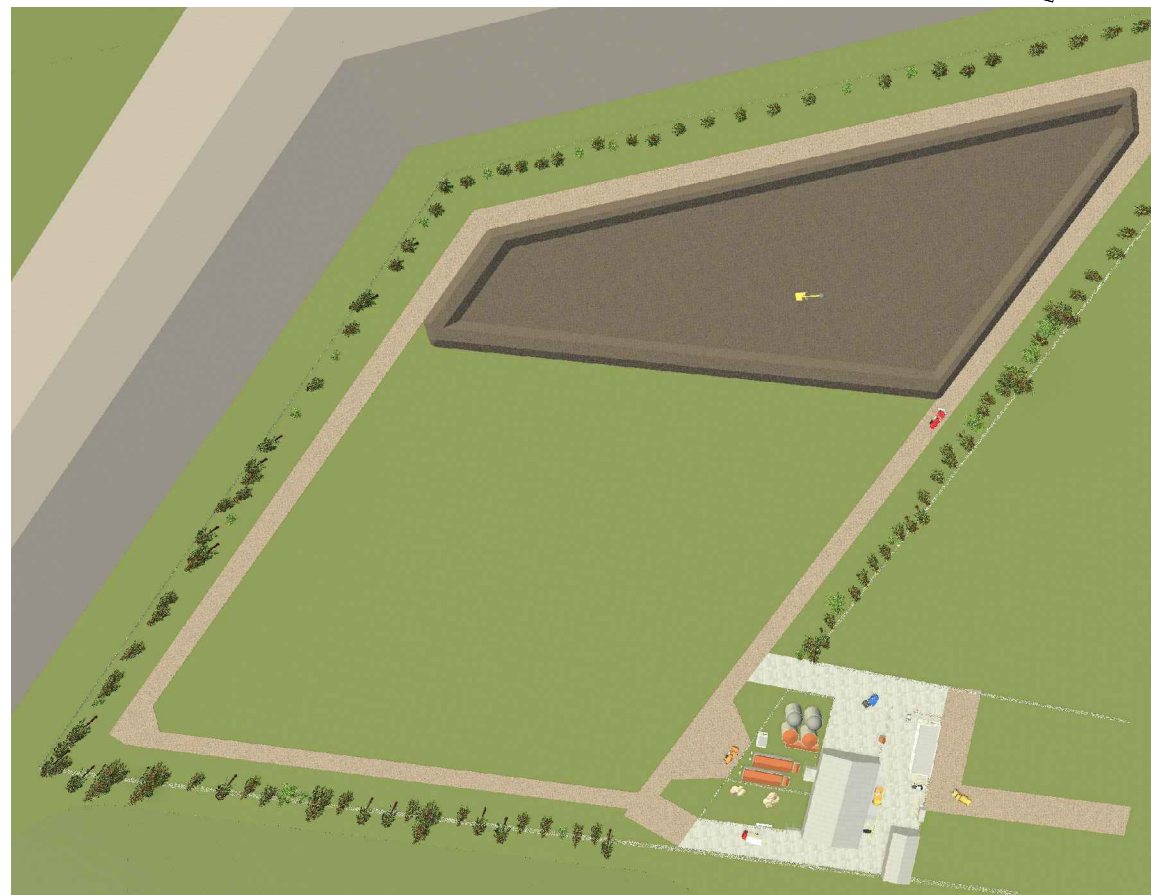
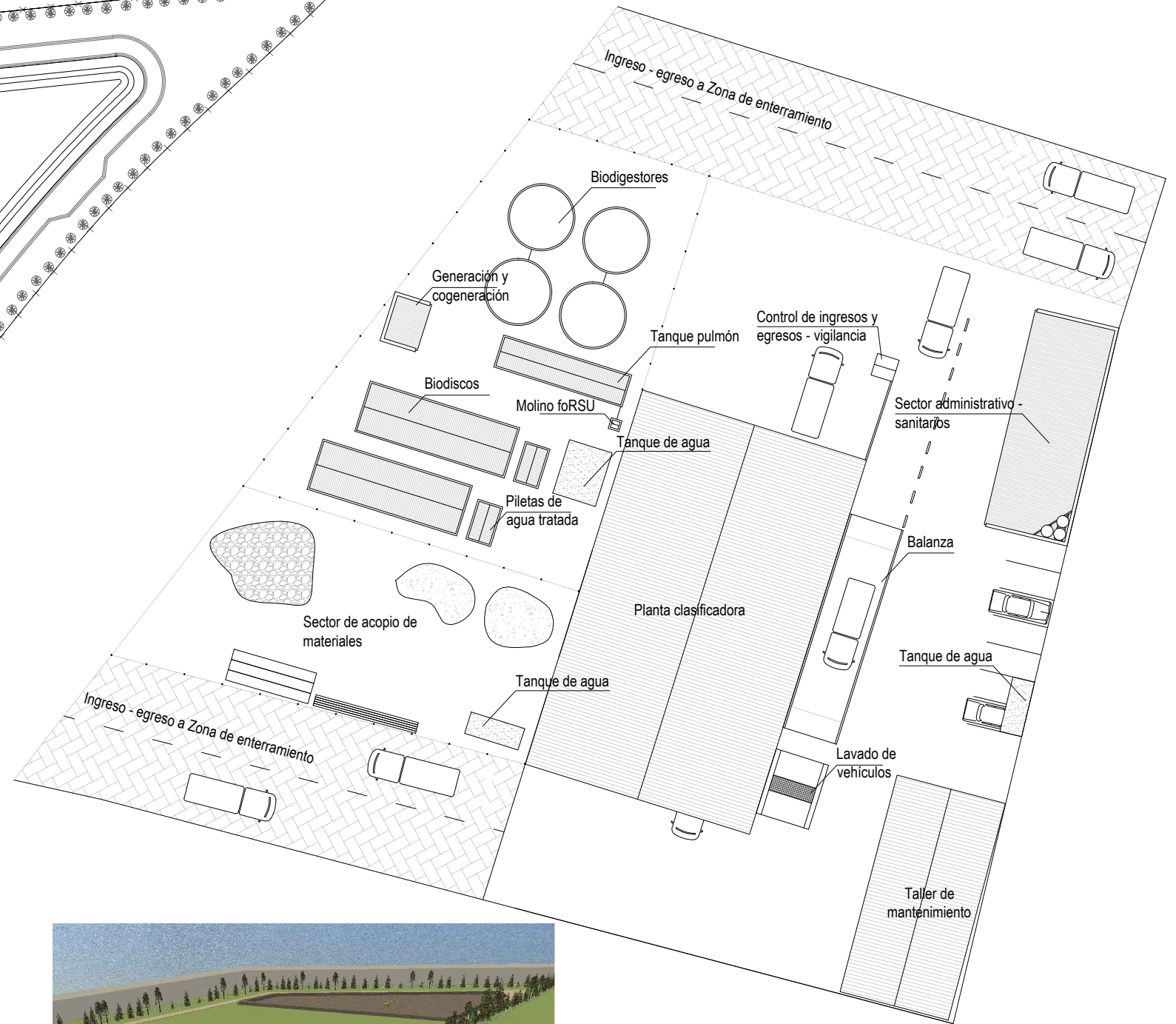


## **14.2. Planos**

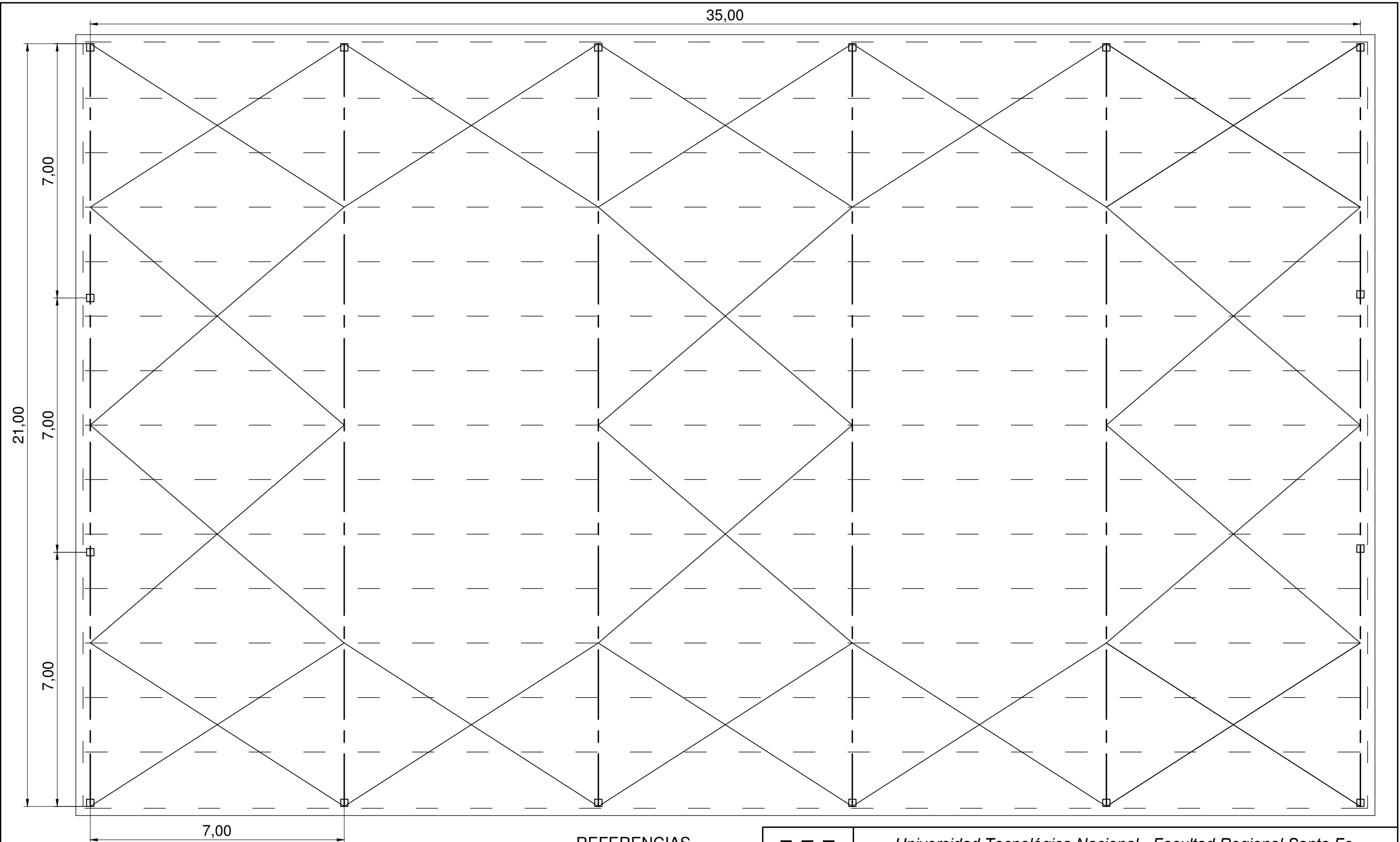
- 14.2.1 Complejo Ambiental
- 14.2.2 Galpón de Estructura Metálica - Planta Clasificadora - Planta
- 14.2.3 Galpón de Estructura Metálica - Planta Clasificadora - Vistas
- 14.2.4 Galpón de Estructura Metálica - Taller para Máquinas y Vehículos
- 14.2.5 Galpón de Estructura Metálica - Detalle de Nudo
- 14.2.6 Galpón de Estructura Metálica - Detalle de Columna
- 14.2.7 Módulo de Biodigestores
- 14.2.8 Tratamiento de foRSU
- 14.2.9 Esquema de co-generación
- 14.2.10 Planta del Relleno Sanitario
- 14.2.11 Corte 1-2 del Relleno Sanitario
- 14.2.12 Corte 3-4 del Relleno Sanitario
- 14.2.13 Sistema de Biodiscos (RBC)
- 14.2.14 Esquema del Complejo Ambiental
- 14.2.15 Esquema simplificado del proceso de tratamiento de RSU
- 14.2.16 Esquema de tratamiento de RSU
- 14.2.17 Esquema de funcionamiento Relleno Sanitario
- 14.2.18 Balance diario de materia y energía
- 14.2.19 Tolva de recepción
- 14.2.20 Cinta de Clasificación
- 14.2.21 Tanque pulmón - Decantador
- 14.2.22 Taller de Máquinas y Vehículos
- 14.2.23 Oficinas administrativas y Vigilancia
- 14.2.24 Plan de Viviendas
- 14.2.25 Imágenes Complejo Ambiental

# Esquema Complejo Ambiental | Esc.: 1:2000

# Zona de Procesamiento | Esc.: 1:200

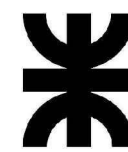


	<b>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</b>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<b>Complejo Ambiental</b>			<b>14.2.1</b>



**REFERENCIAS**

- Cerchas
- Correas
- Tensores



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

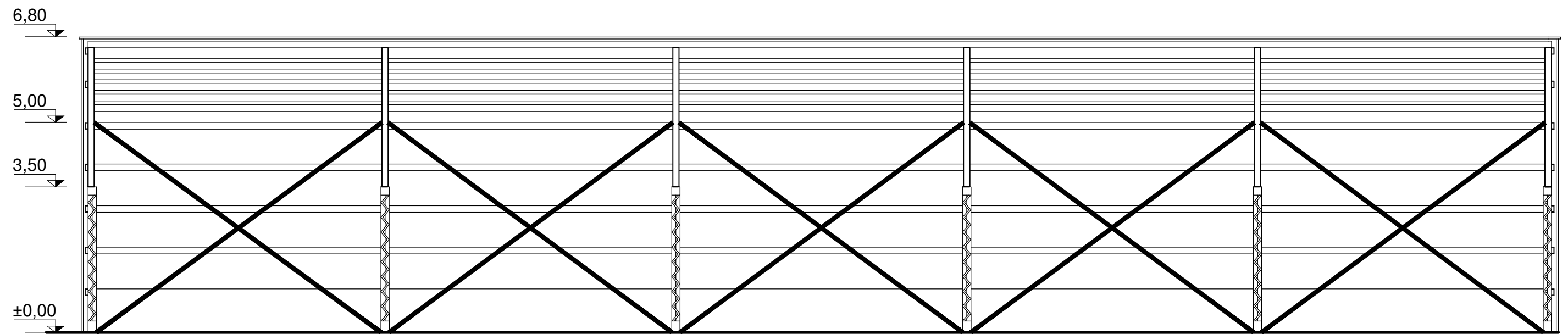
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

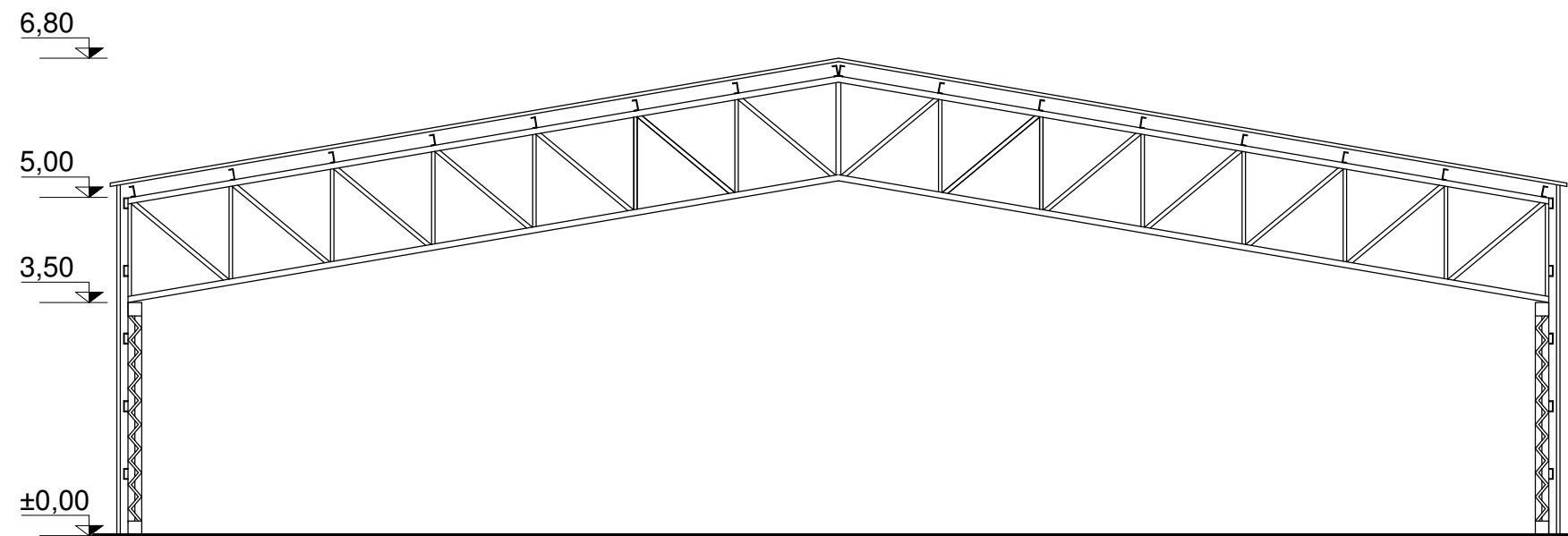
**Galpón Planta Clasificadora - Planta** | Esc.: 1:100

*Galpón de Estructura Metálica - Esc.: 1:100*

**14.2.2**

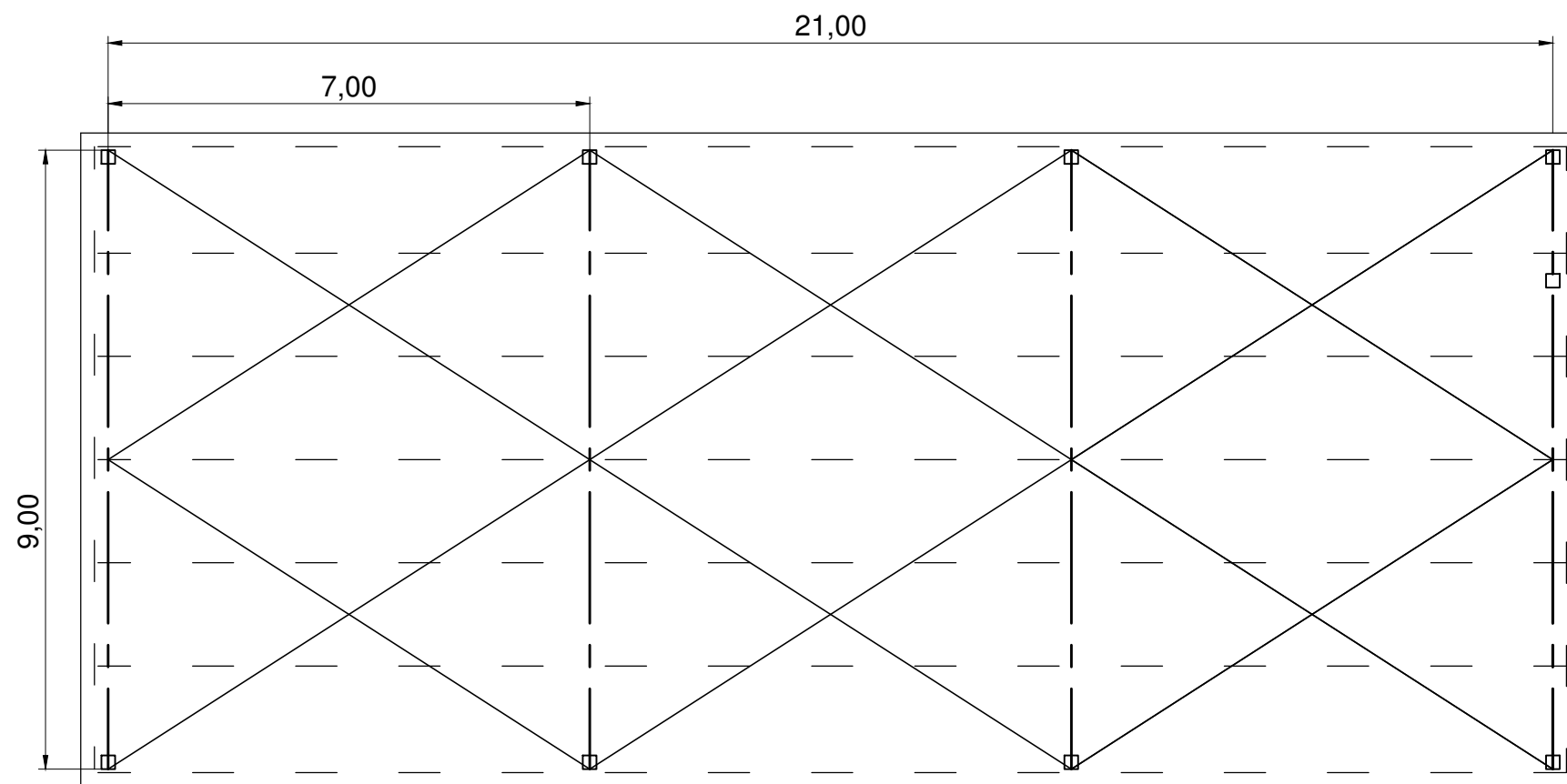


Galpón Planta Clasificadora - Vista Lateral | Esc.: 1:100



Galpón Planta Clasificadora - Vista Frontal | Esc.: 1:100

	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Galpón de Estructura Metálica - Esc.: 1:100</i>			<b>14.2.3</b>

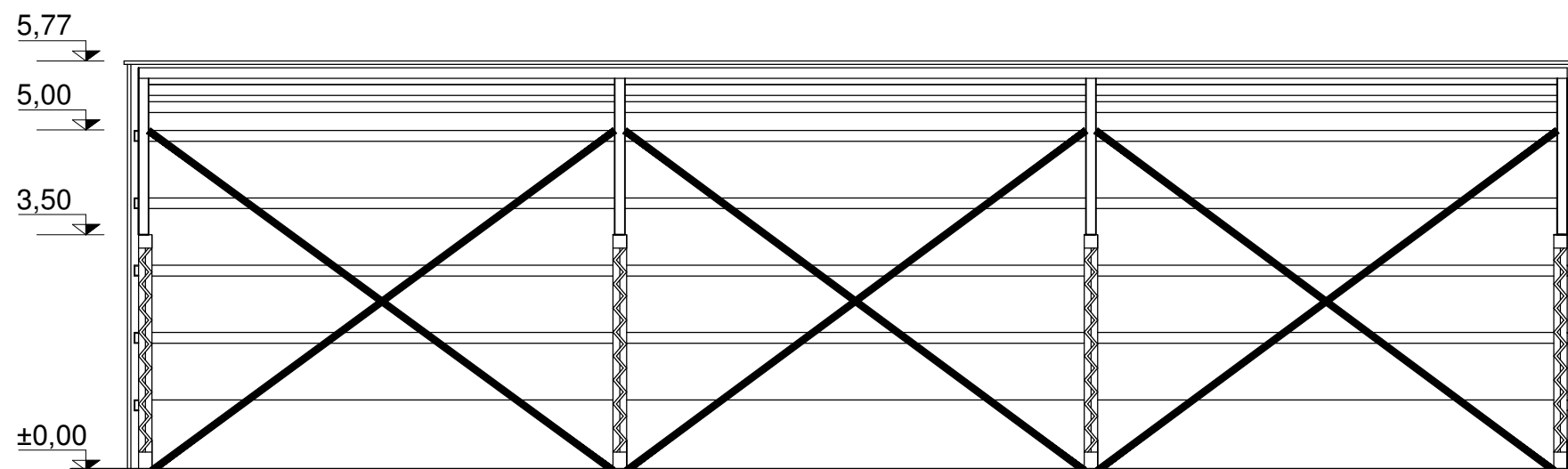


Galpón Taller para Máquinas y Vehículos -  
Planta | Esc.: 1:100

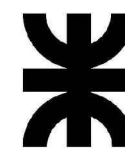
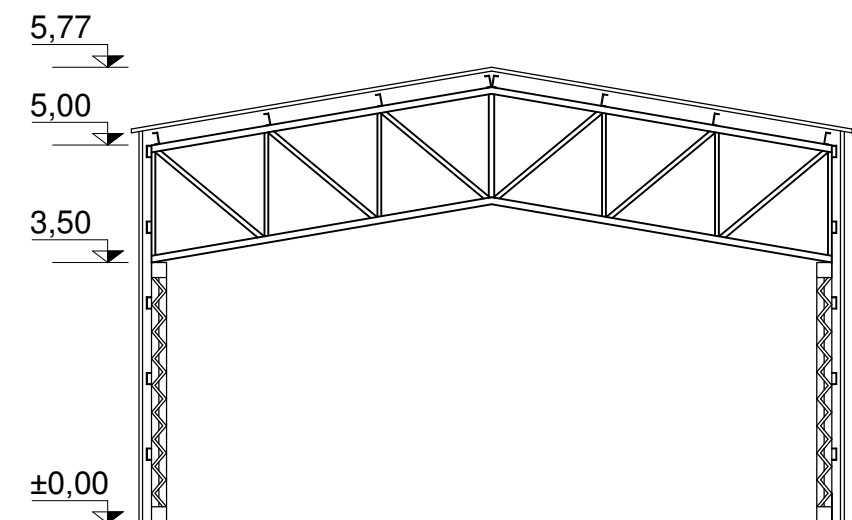
**REFERENCIAS**

- — — Cerchas
- — — Correas
- — — Tensores

Galpón Taller para  
Máquinas y Vehículos  
- Vista Frontal | Esc.: 1:100



Galpón Taller para Máquinas y Vehículos -  
Vista Lateral | Esc.: 1:100



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

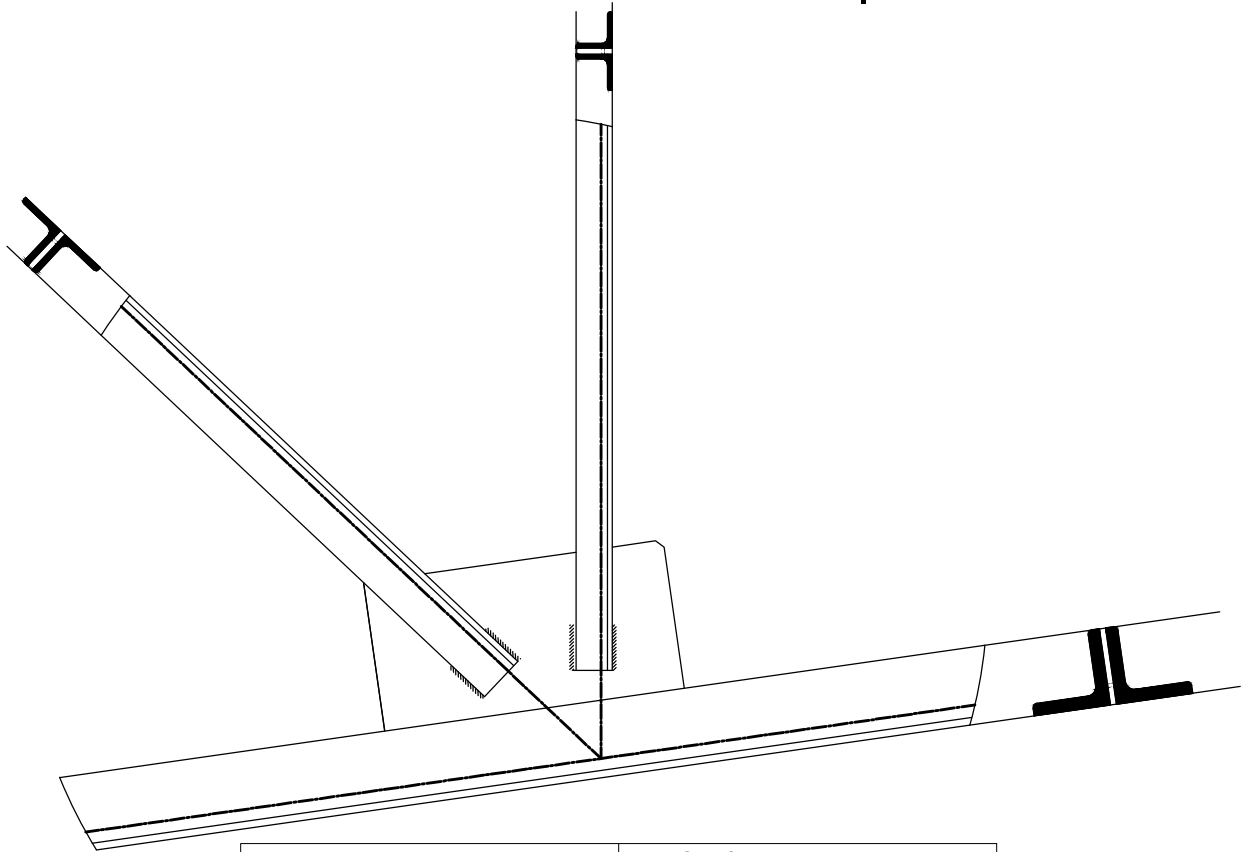
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

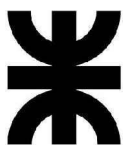
*Galpón de Estructura Metálica - Esc.: 1:100*

**14.2.4**

# Detalle Nudo Cercha | Esc.: 1:10



	<p><b>MONTANTE 2 PNL 25x25x3,2</b></p> <p>b = 25,4 [mm] t = 3,2 [mm] s = 7,9 [mm]</p>
	<p><b>DIAGONAL 2 PNL 25x25x4,8</b></p> <p>b = 25,4 [mm] t = 4,8 [mm] s = 7,9 [mm]</p>
	<p><b>CORDON SUPERIOR 2 PNL 57x57x6,4</b></p> <p>b = 57,1 [mm] t = 6,4 [mm] s = 7,9 [mm]</p>
	<p><b>CORDON INFERIOR 2 PNL 64x64x6,4</b></p> <p>b = 63,5 [mm] t = 6,4 [mm] s = 7,9 [mm]</p>



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

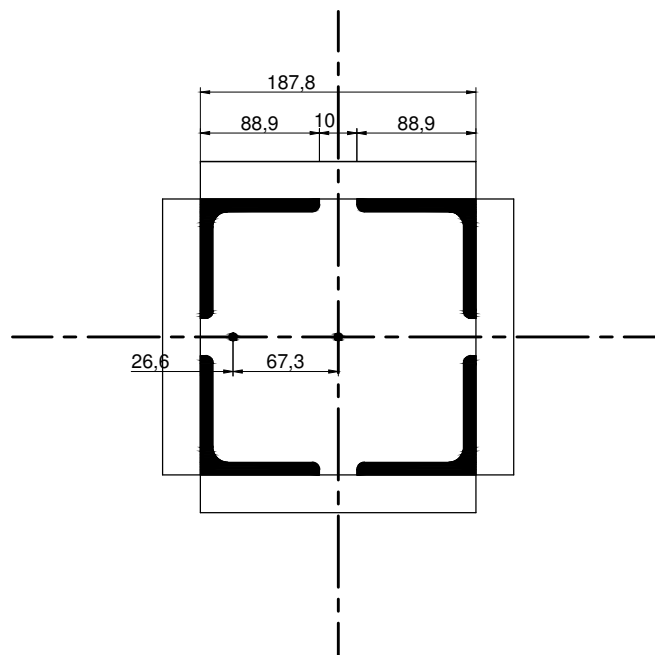
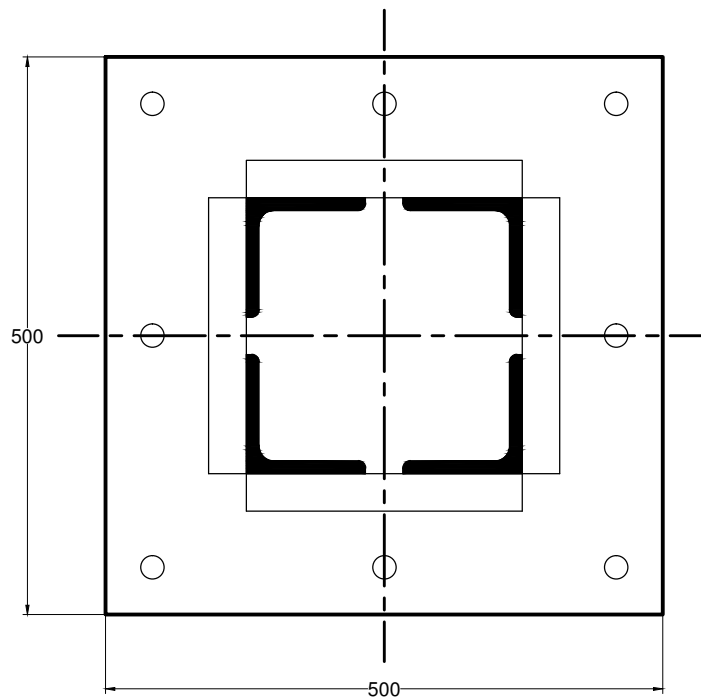
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Galpón de Estructura Metálica - Esc.: 1:10*

14.2.5

# Detalle Columna | Esc.: 1:2



Medidas en [mm]



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

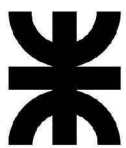
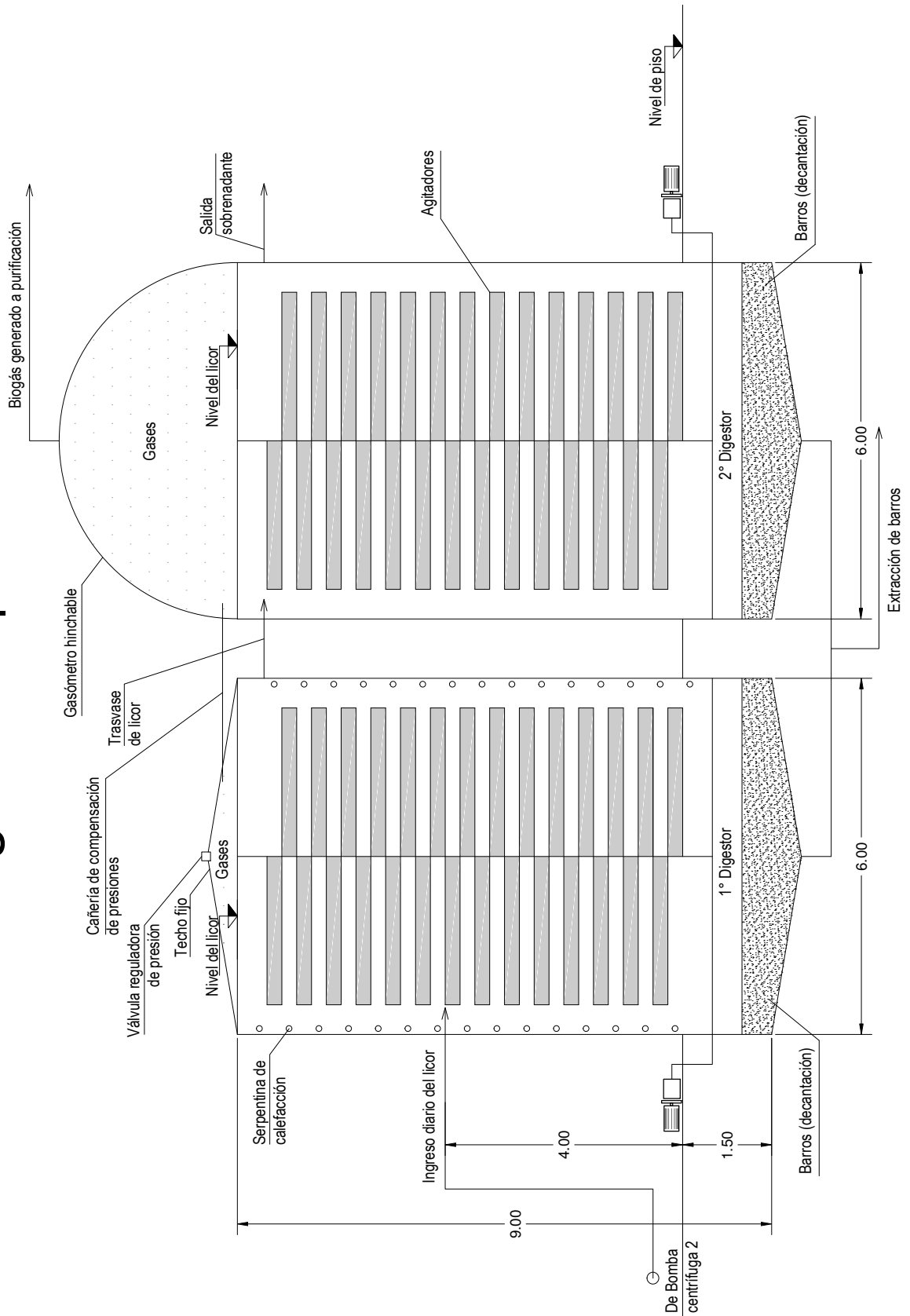
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Galpón de Estructura Metálica - Esc.: 1:2*

14.2.6

# Módulo de Biodigestores | Esc.: 1:100



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

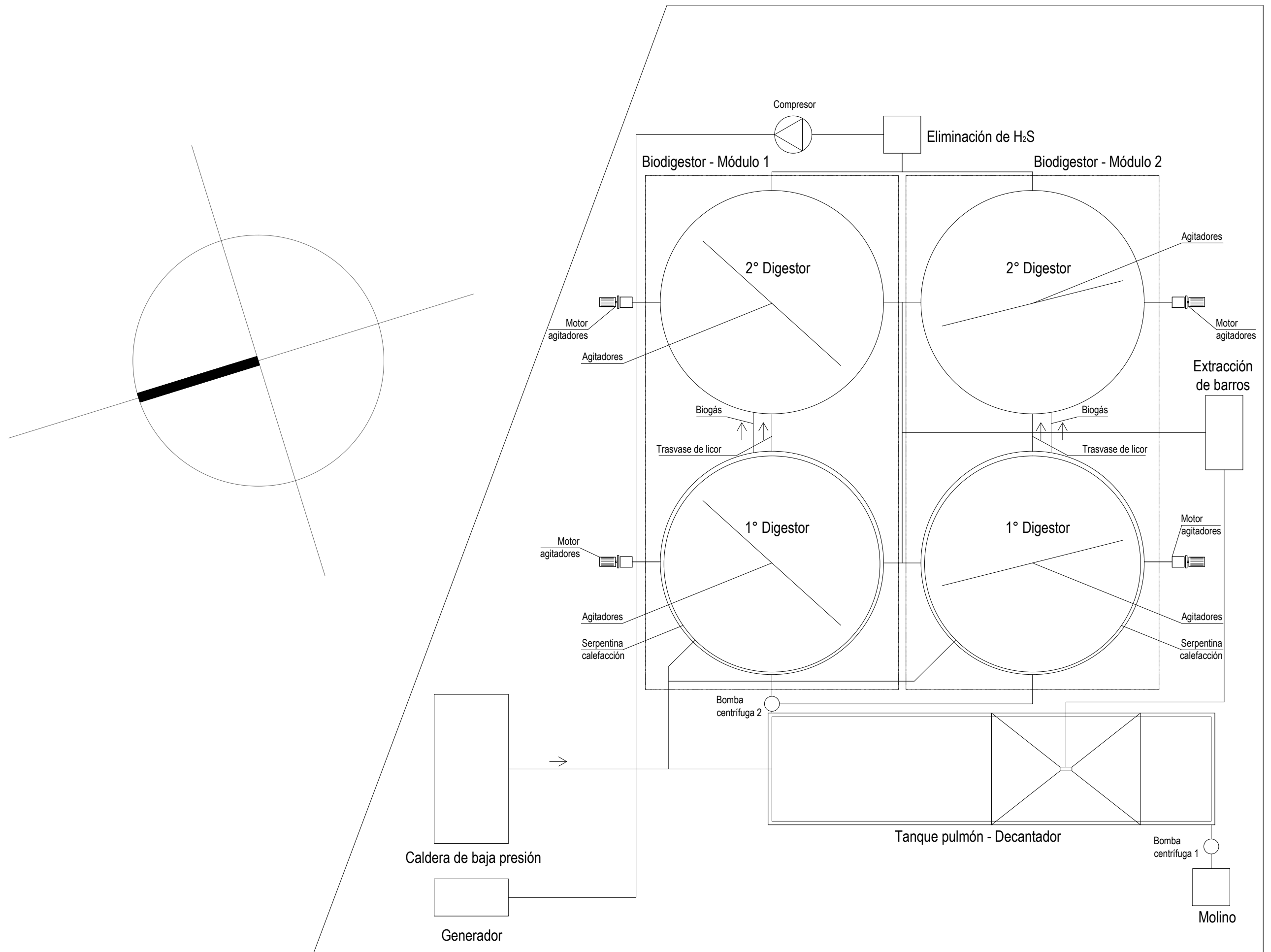
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Módulo de Biodigestores - Esc.: 1:100*

14.2.7

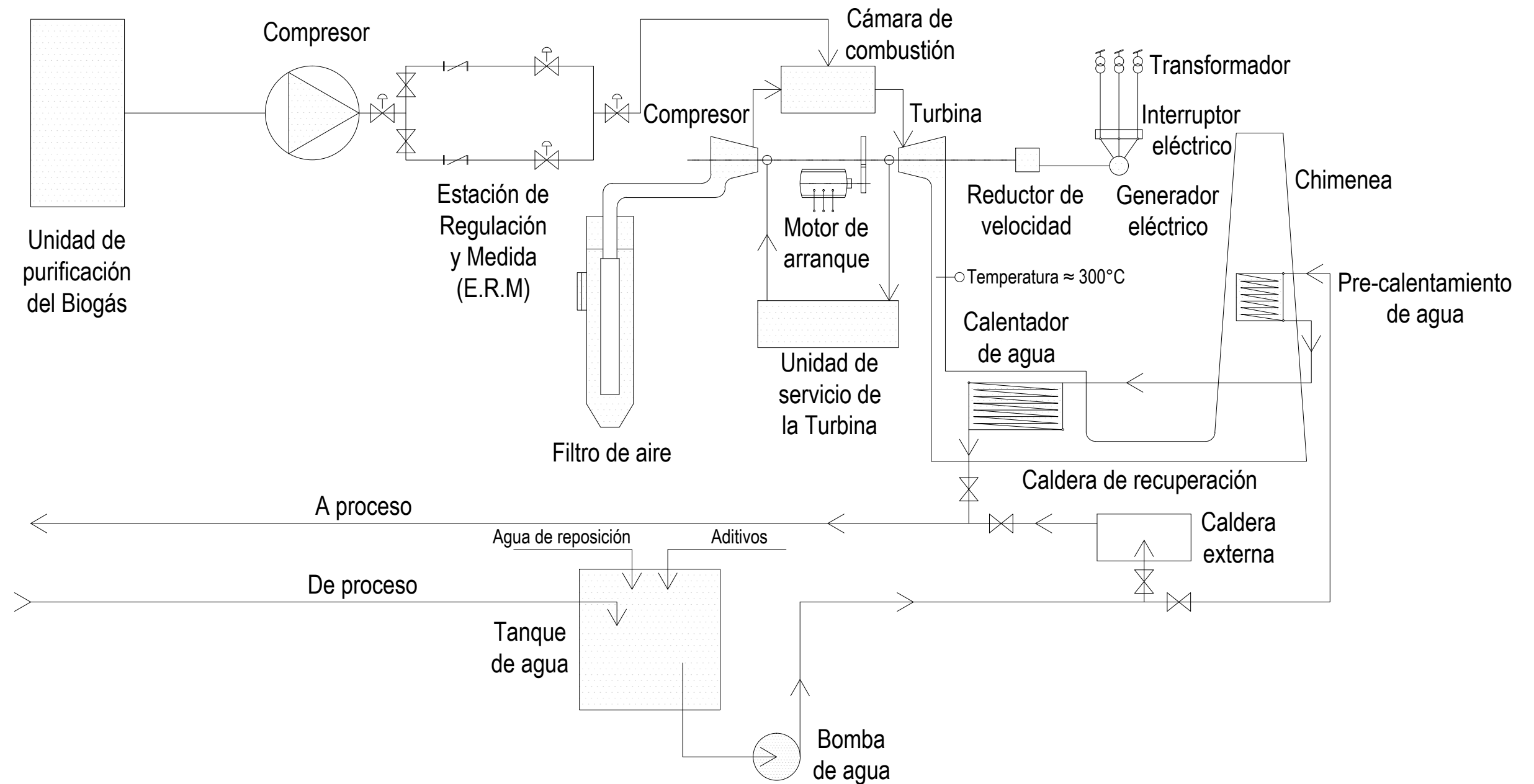


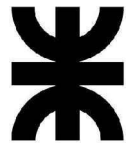
# Tratamiento de foRSU | Esc.: 1:100



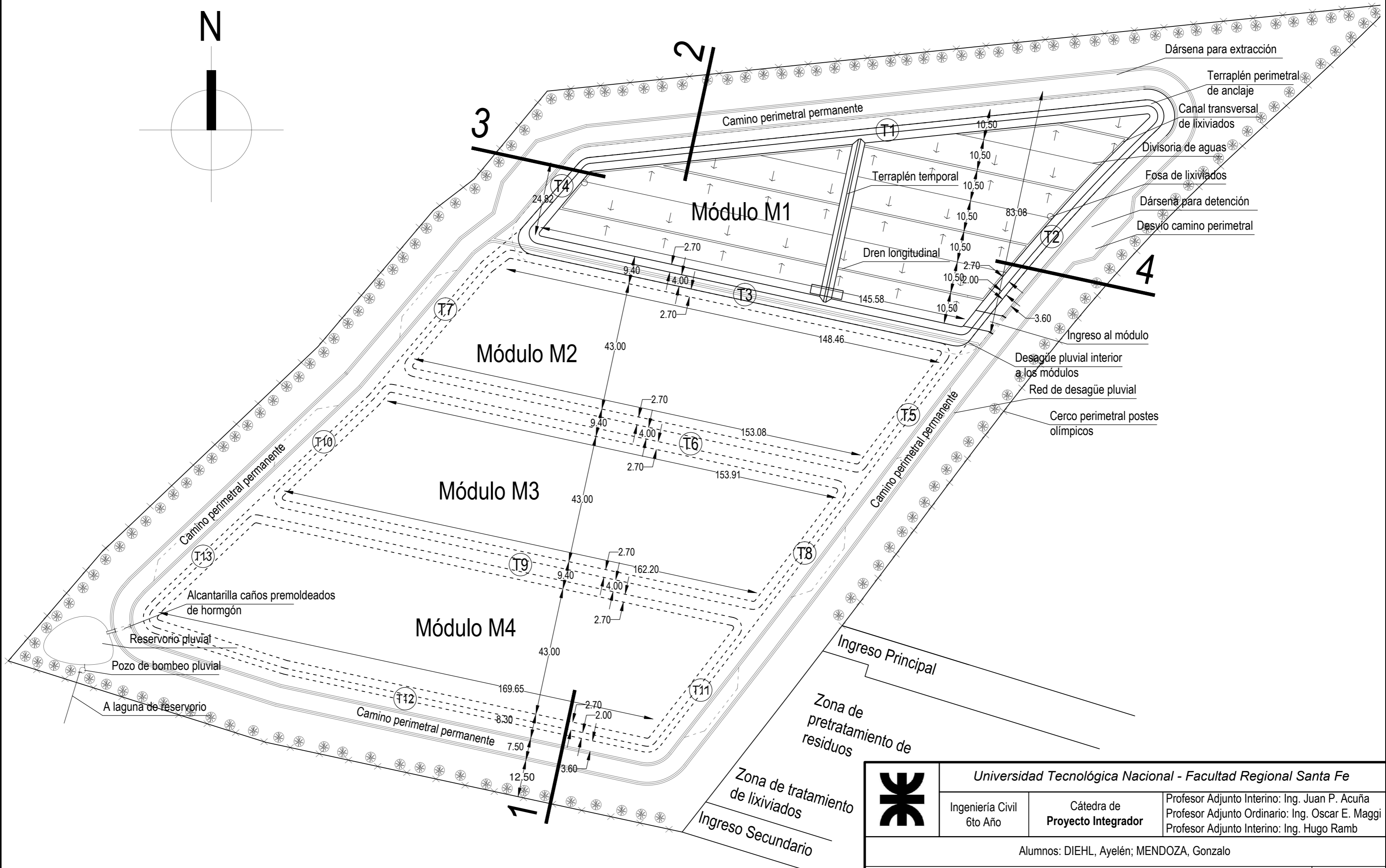
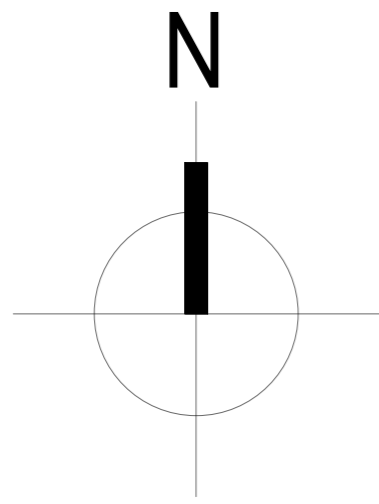
	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Tratamiento foRSU - Esc.: 1:100</i>			<b>14.2.8</b>

# Esquema de co-generación |



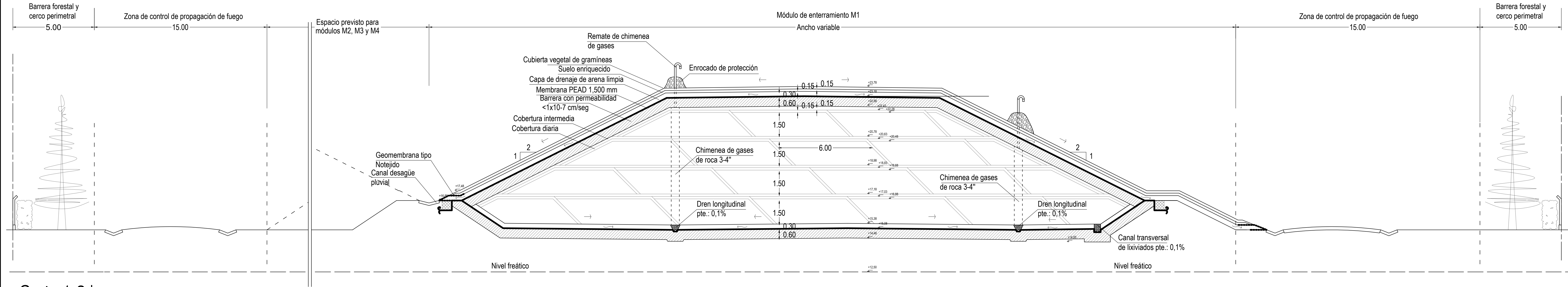
	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Esquema de co-generación</i>			<b>14.2.9</b>

# Planta del Relleno Sanitario | Esc.: 1:1000

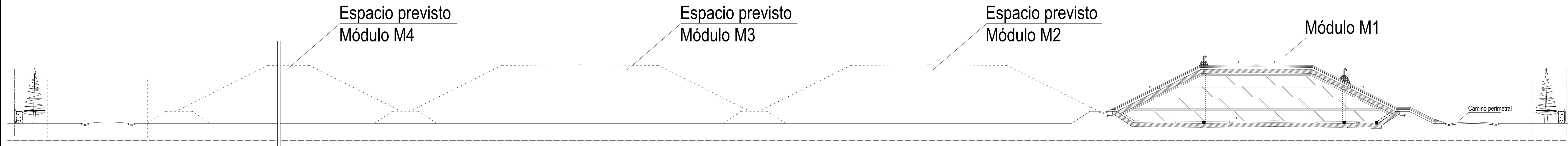


	Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
	Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo		
<b>Planta del Relleno Sanitario - Esc.: 1:1000</b>			<b>14.2.10</b>

Corte 1-2 | Esc.: 1:100

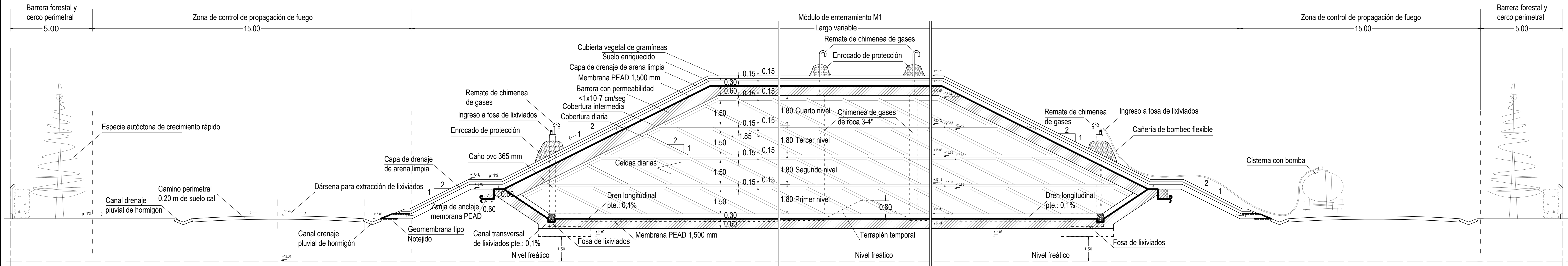


Corte 1-2 | Esc.: 1:300

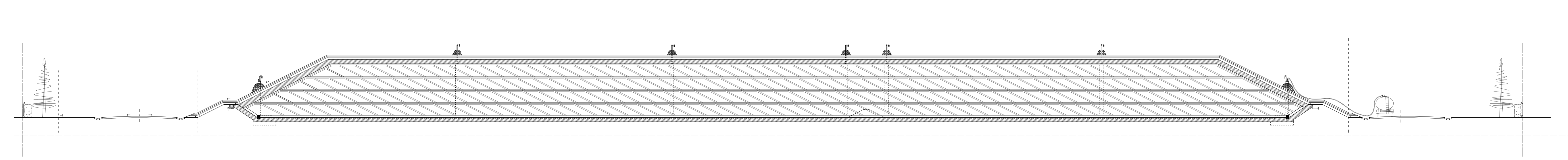


 Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe		
Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo		
Corte 1-2 Relleno Sanitario - Esc.: 1:100		14.2.11

**Corte 1-2** | Esc.: 1:100

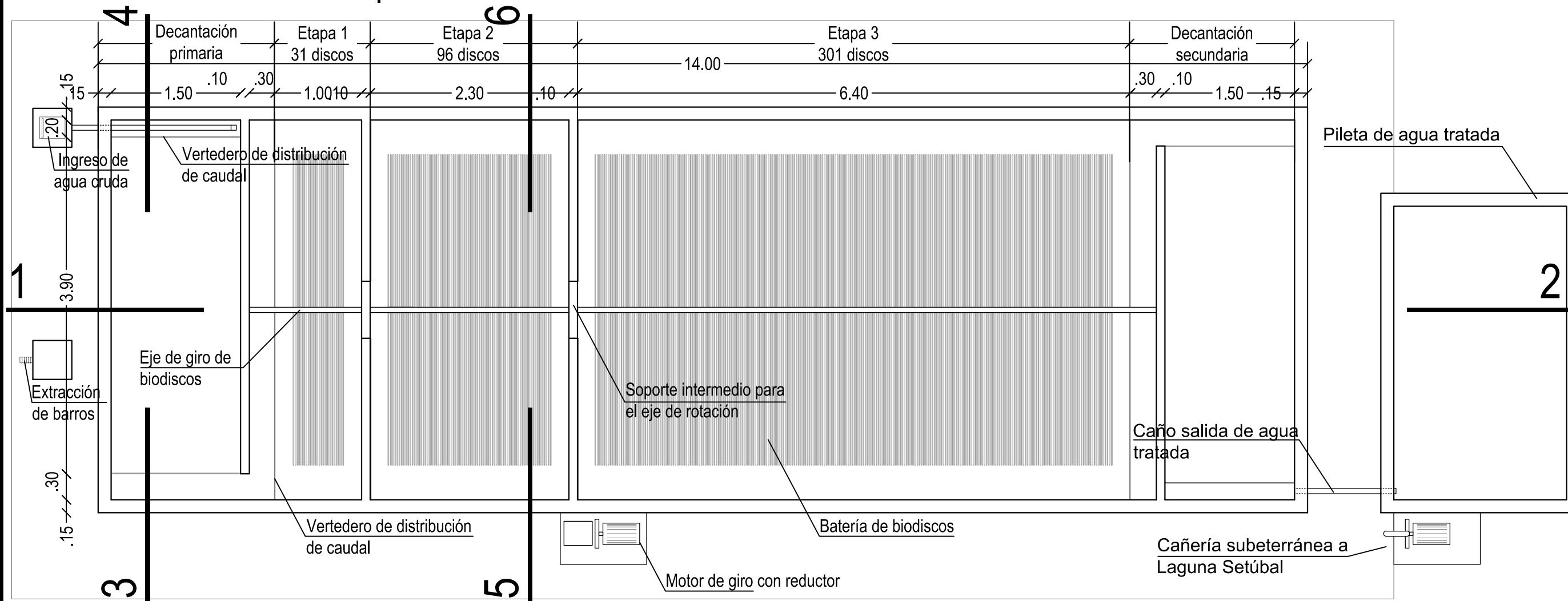


**Corte 1-2** | Esc.: 1:300

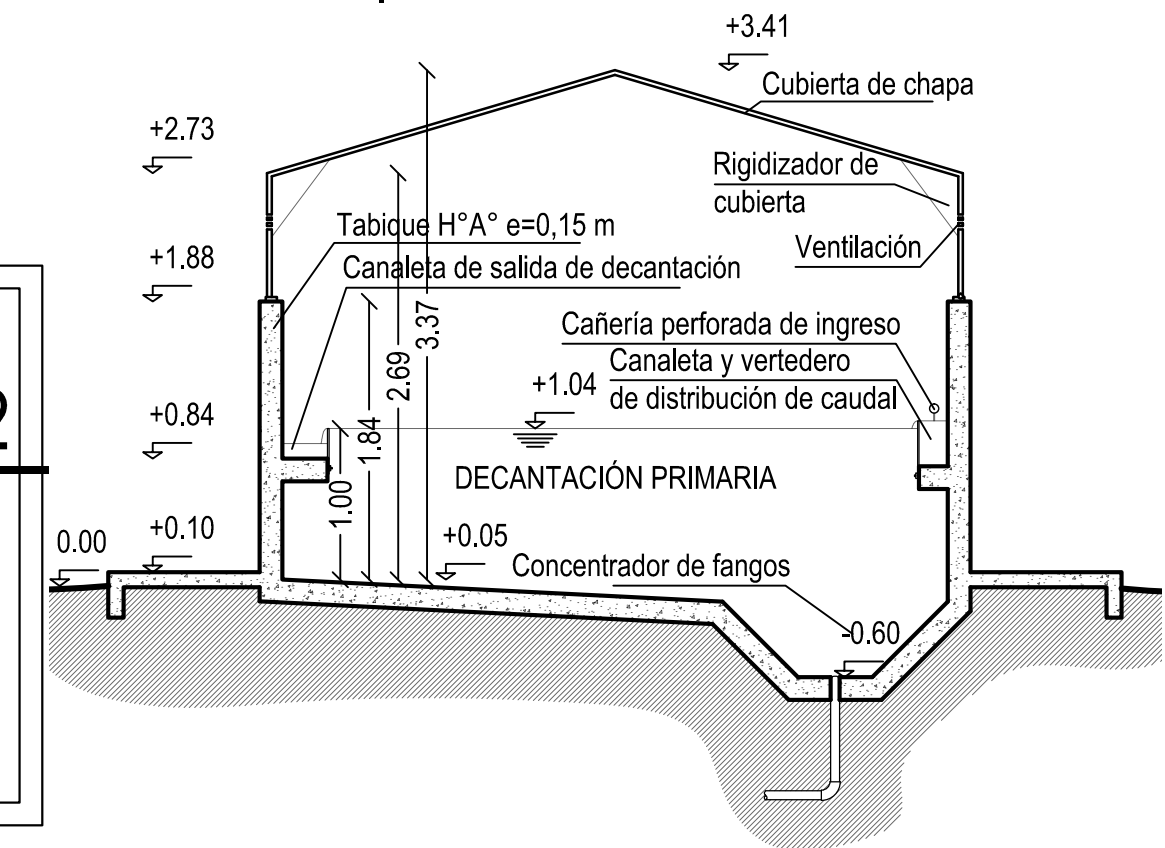


<b>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</b>		
Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo		

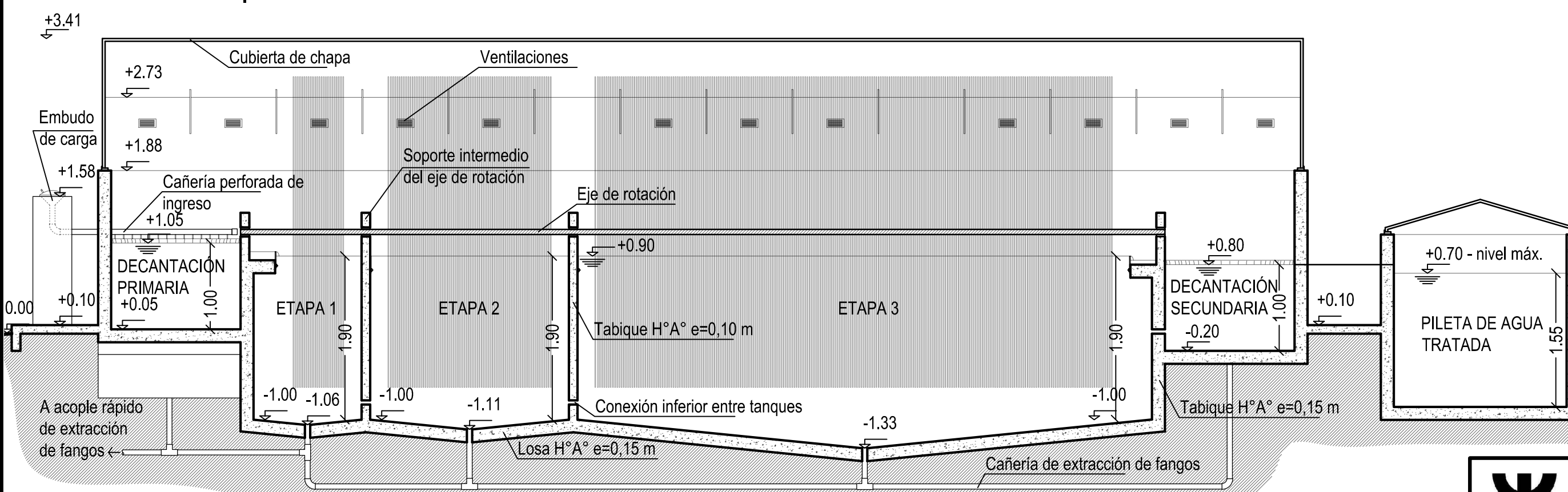
# Planta Biodiscos | Esc.: 1:50



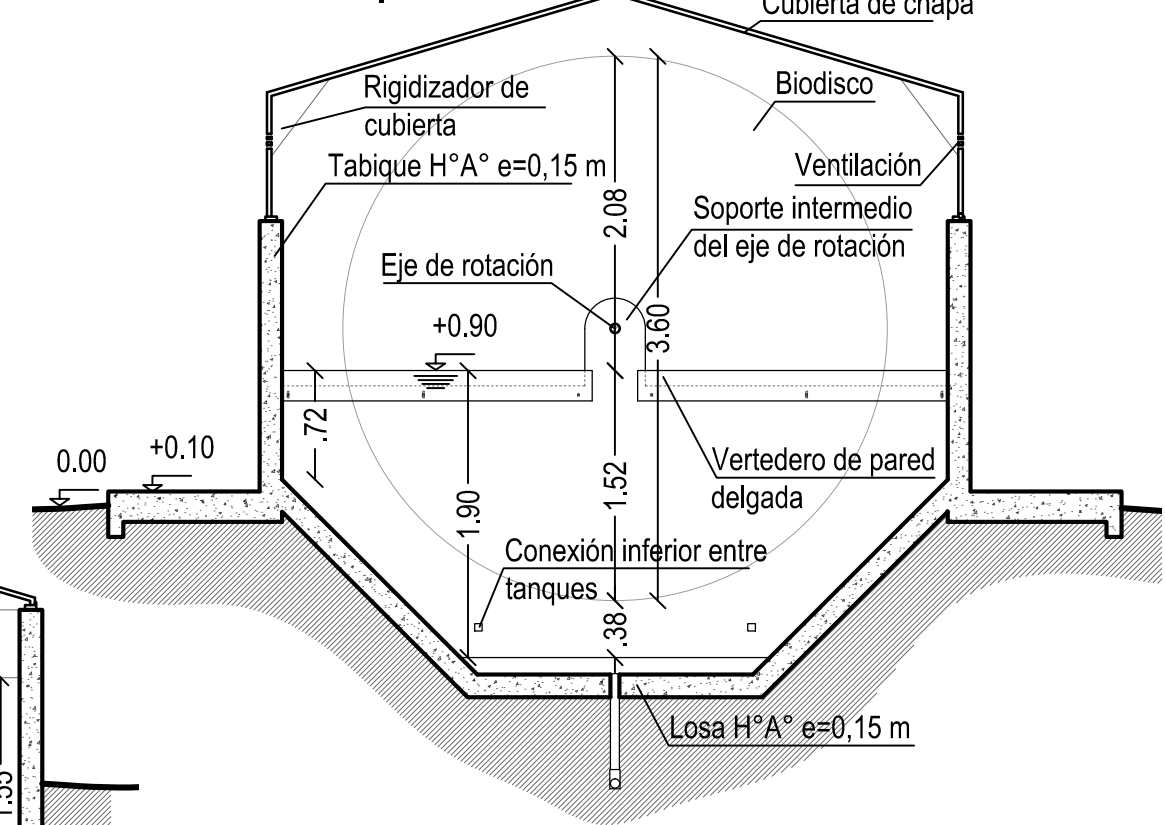
# Corte 3-4 | Esc.: 1:50




# Corte 1-2 | Esc.: 1:50

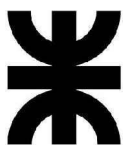
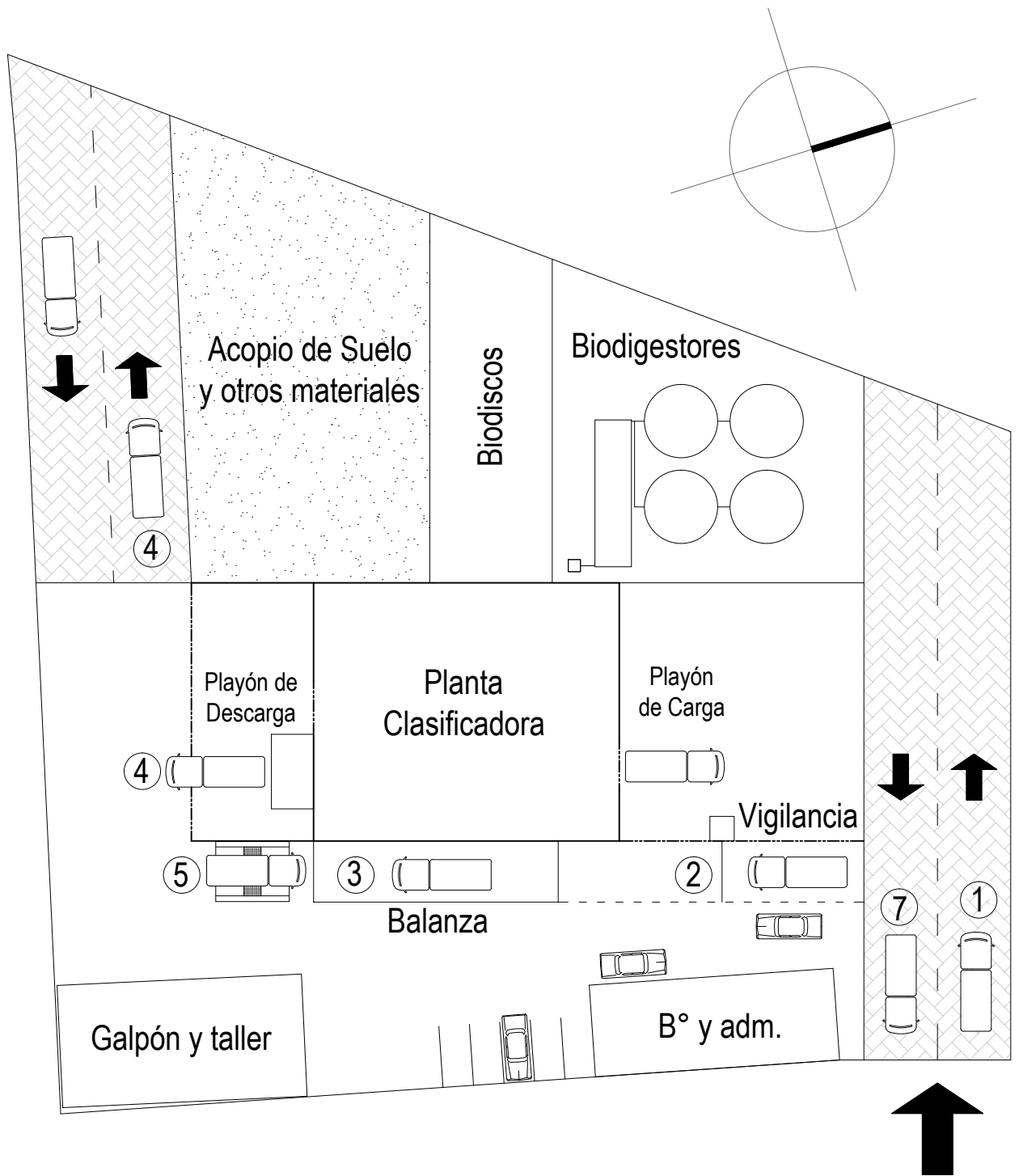


# Corte 5-6 | Esc.: 1:50



<b>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</b>		
 Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo		
<b>Sistema de Biodiscos (RBC) - Esc.: 1:50</b>		<b>14.2.13</b>

# Complejo Ambiental | Esc.: 1:500



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

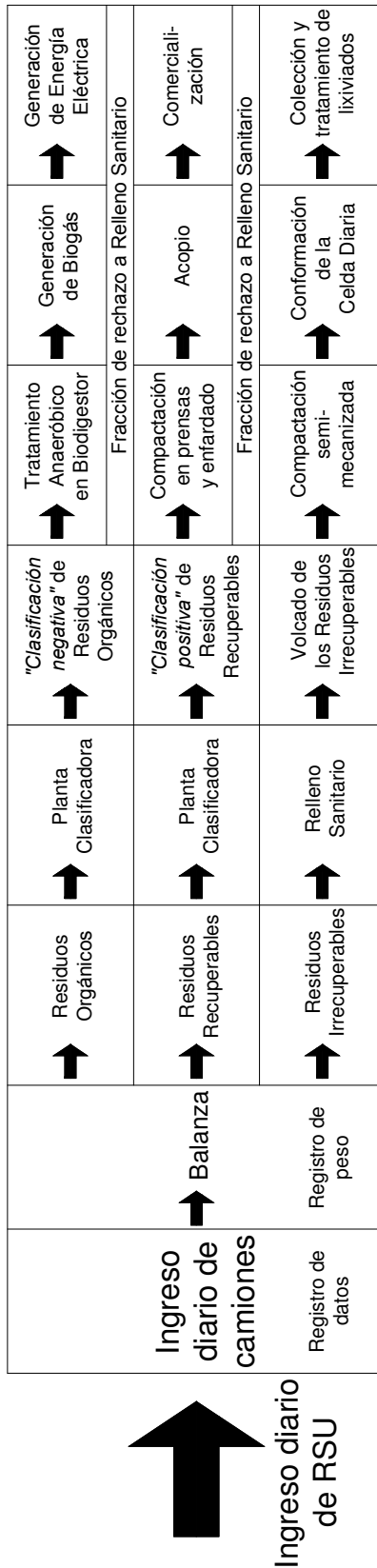
Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Esquema Complejo Ambiental - Esc.: 1:500*

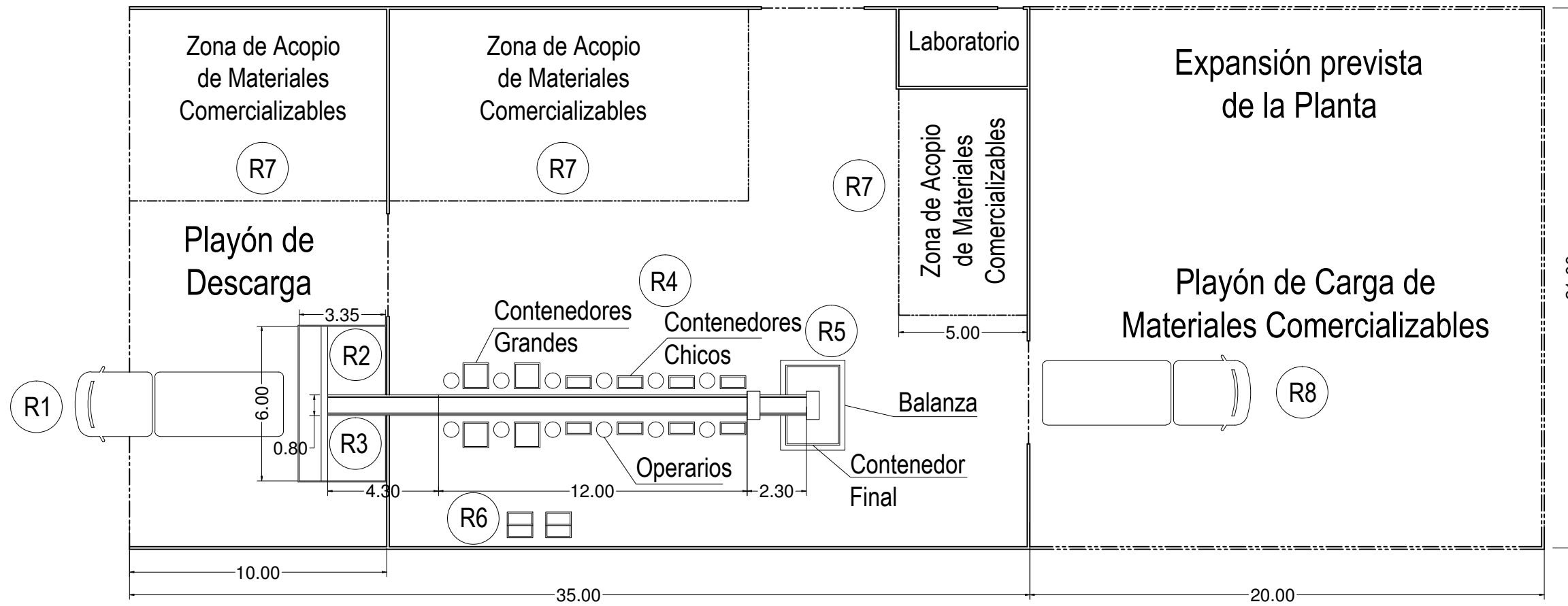
14.2.14



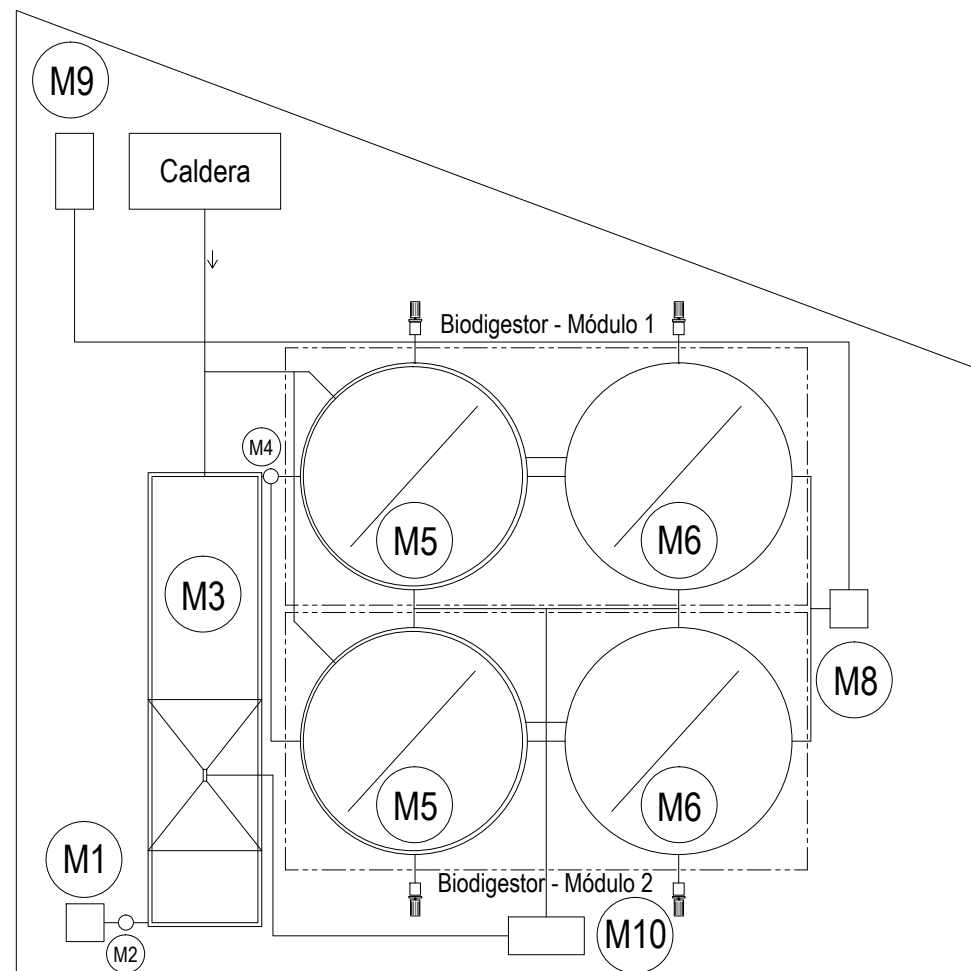
	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Esquema simplificado del proceso de tratamiento de RSU</i>			<b>14.2.15</b>



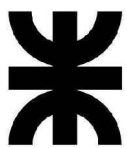
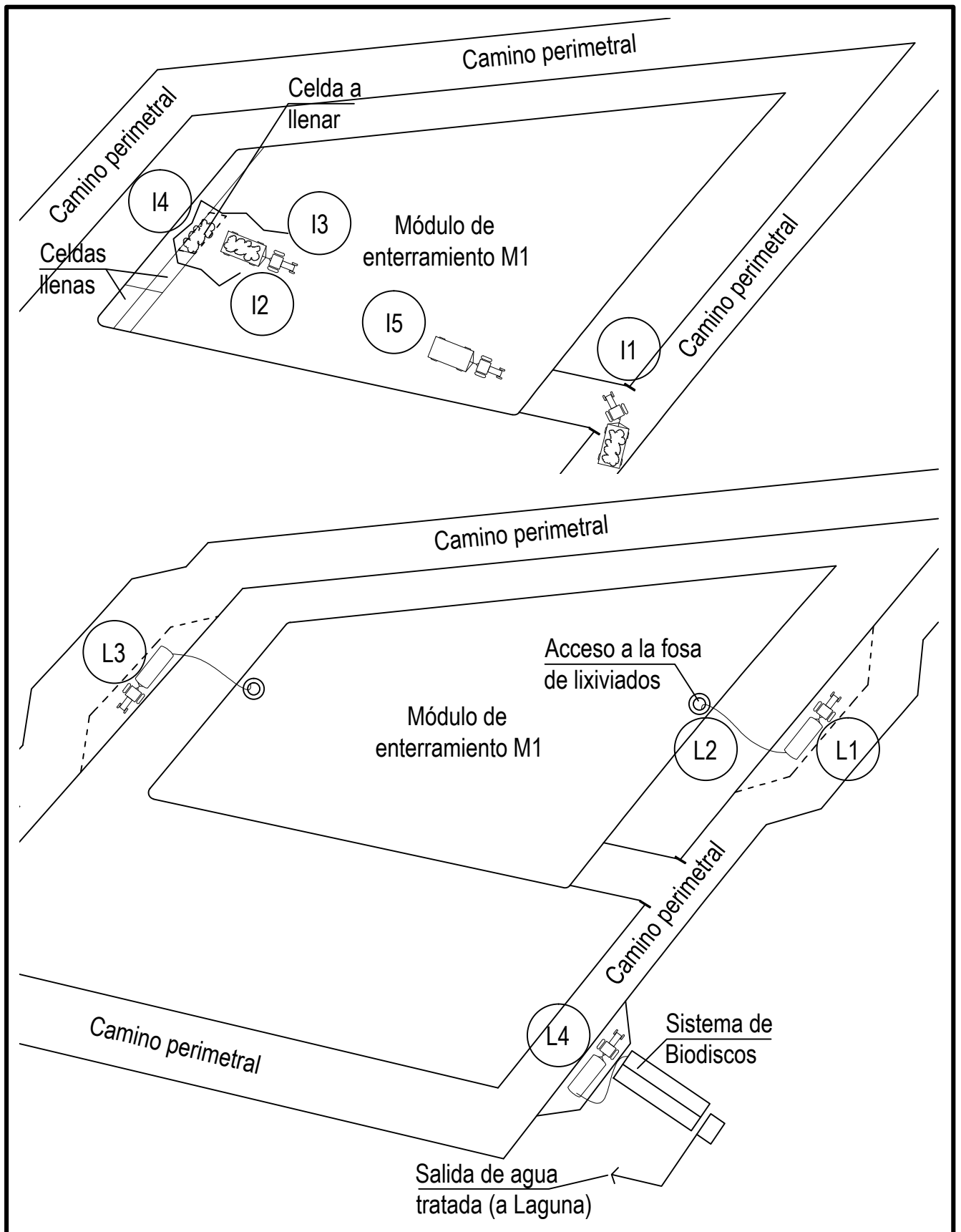
# Planta Clasificadora | Esc.: 1:200



# Biodigestores | Esc.: 1:200



	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Esquema Tratamiento de RSU - Esc.: 1:200</i>			<b>14.2.16</b>



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

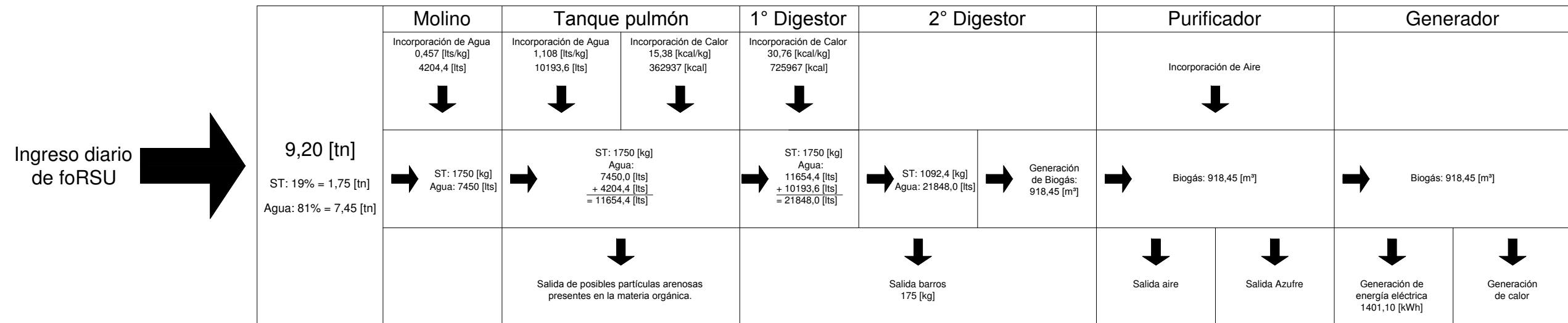
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

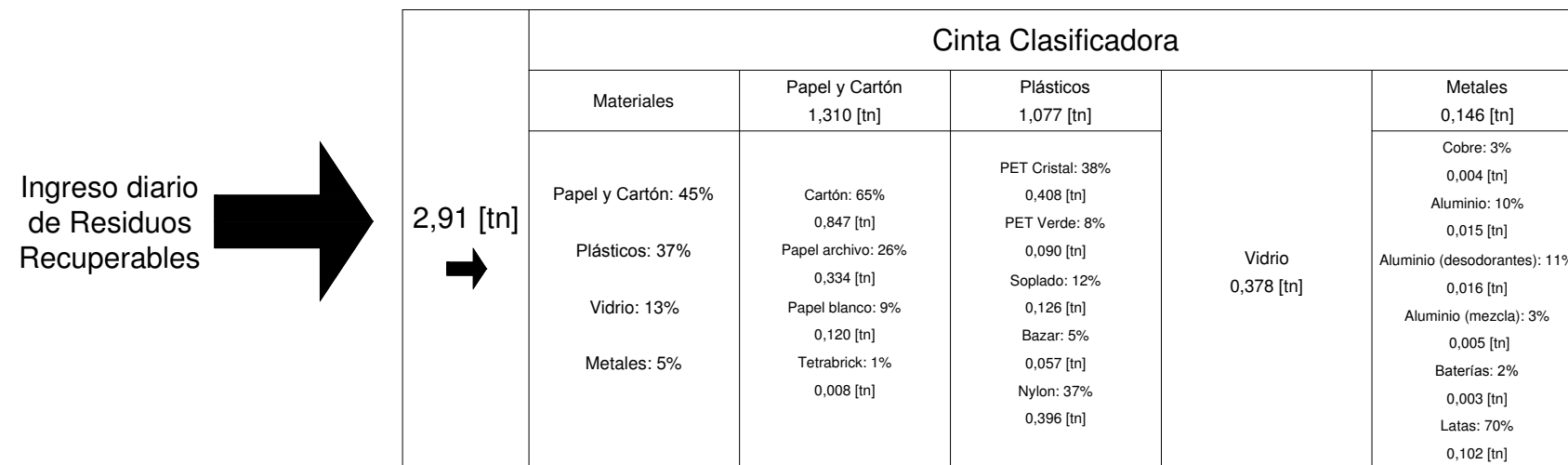
**Esquema de funcionamiento Relleno Sanitario**

14.2.17

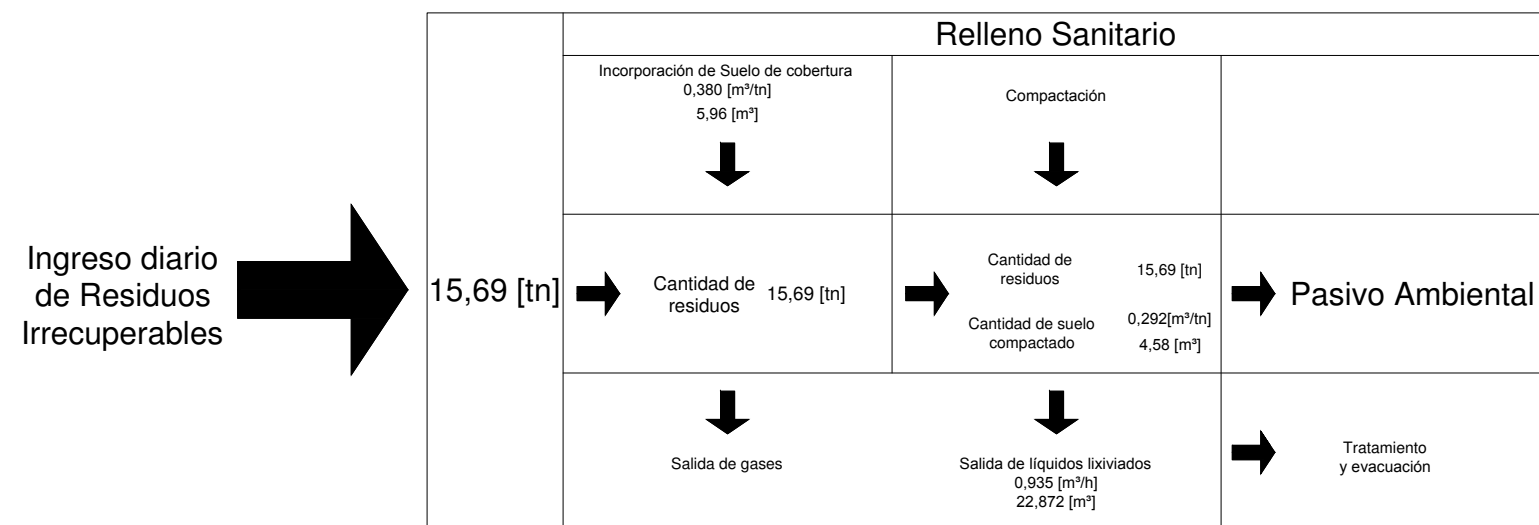
## Fracción orgánica |

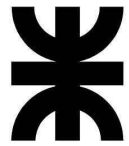


## Fracción recuperable |

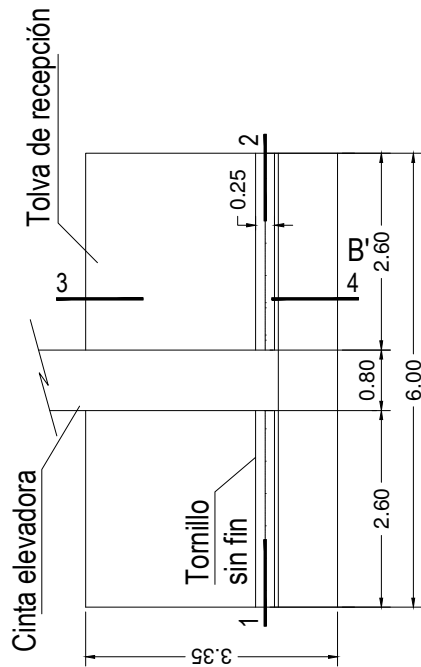


## Fracción irrecuperable |

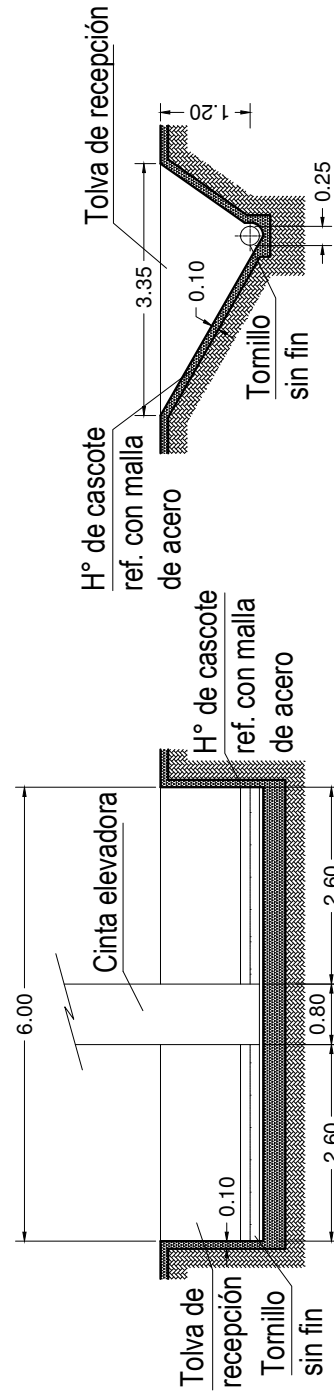


	Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<b>Balance diario de materia y energía</b>			<b>14.2.18</b>

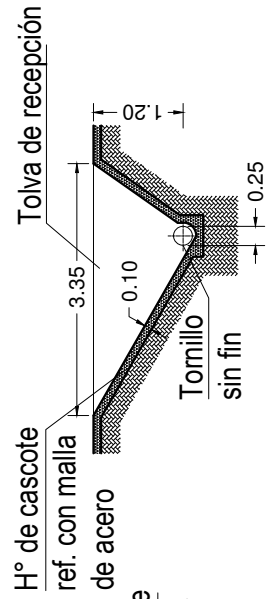
# Tolva de Recepción | Esc.: 1:100



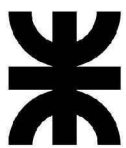
PLANTA



CORTE 1-2



CORTE 3-4



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

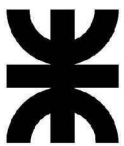
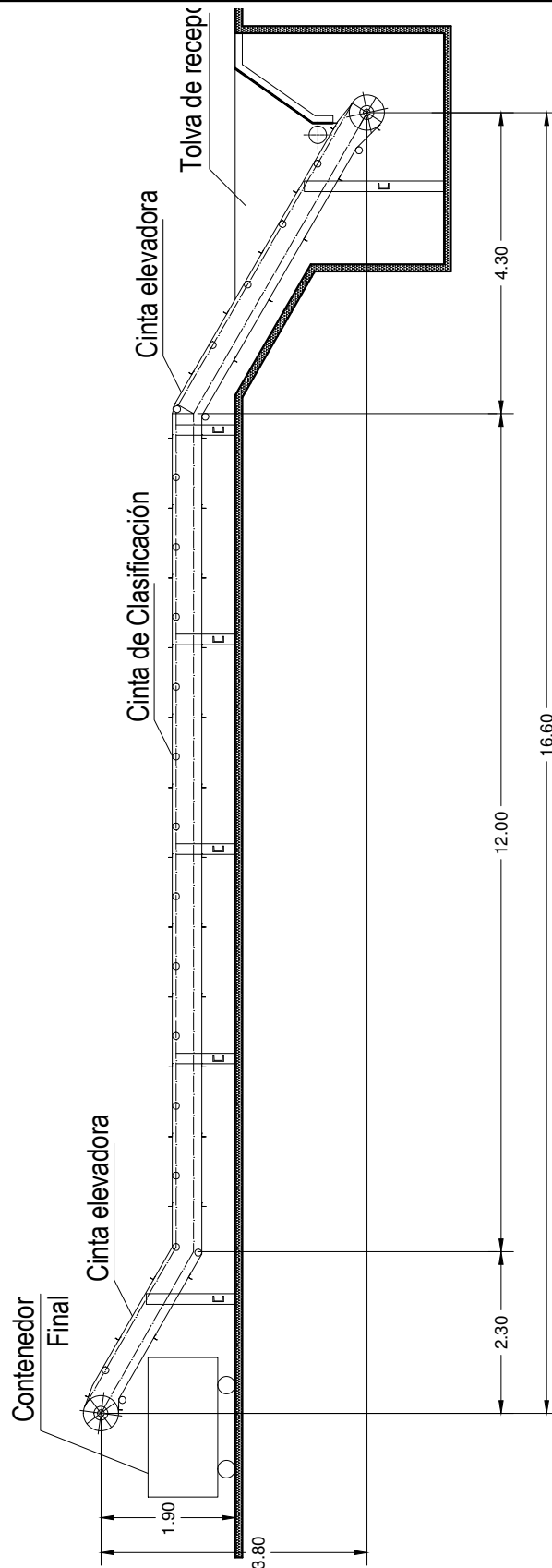
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Tolva de Recepción - Esc.: 1:100*

14.2.19

# Cinta de Clasificación | Esc.: 1:100



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

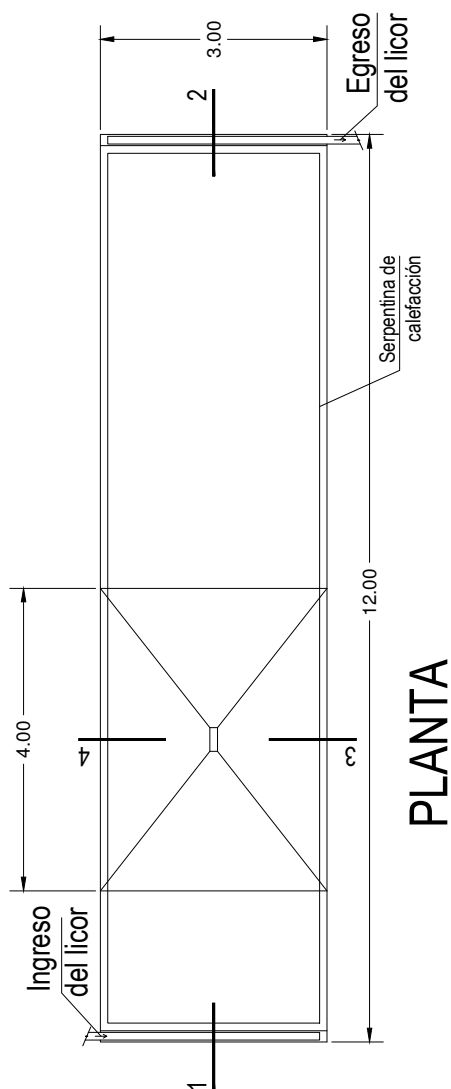
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

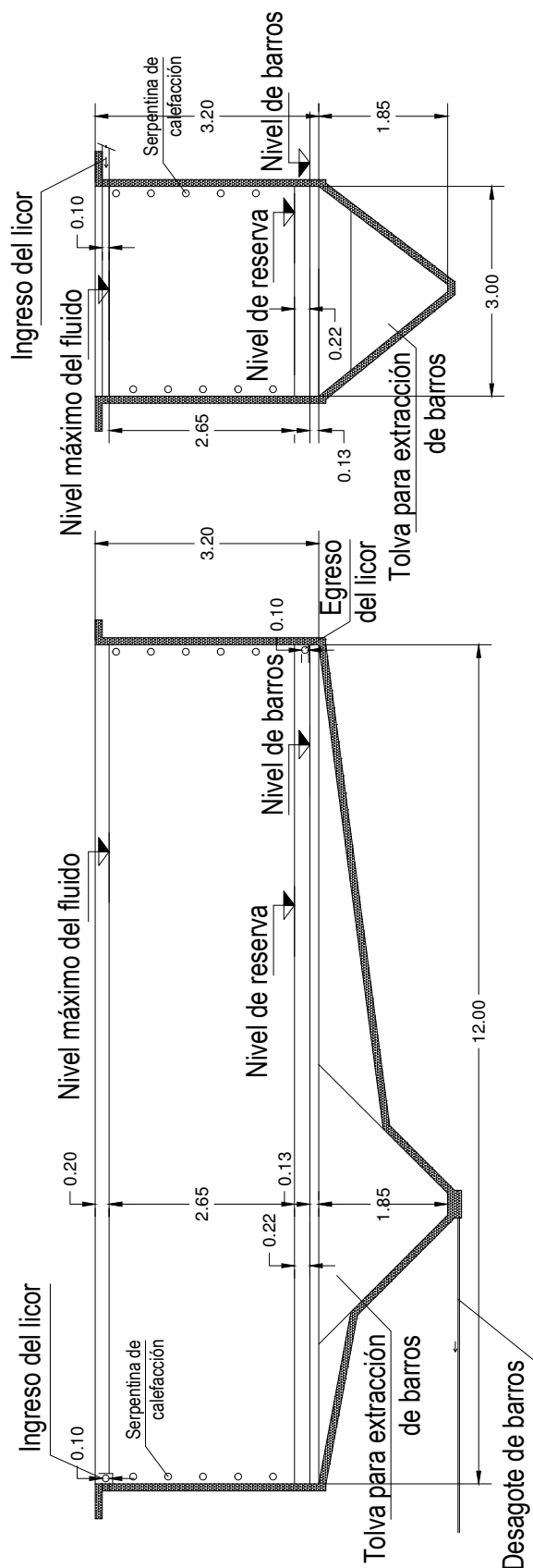
*Cinta de Clasificación - Esc.: 1:100*

14.2.20

# Tanque Pulmón - Decantador | Esc.: 1:100

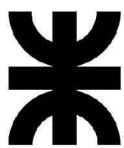


PLANTA



CORTE 1-2

CORTE 3-4



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

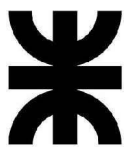
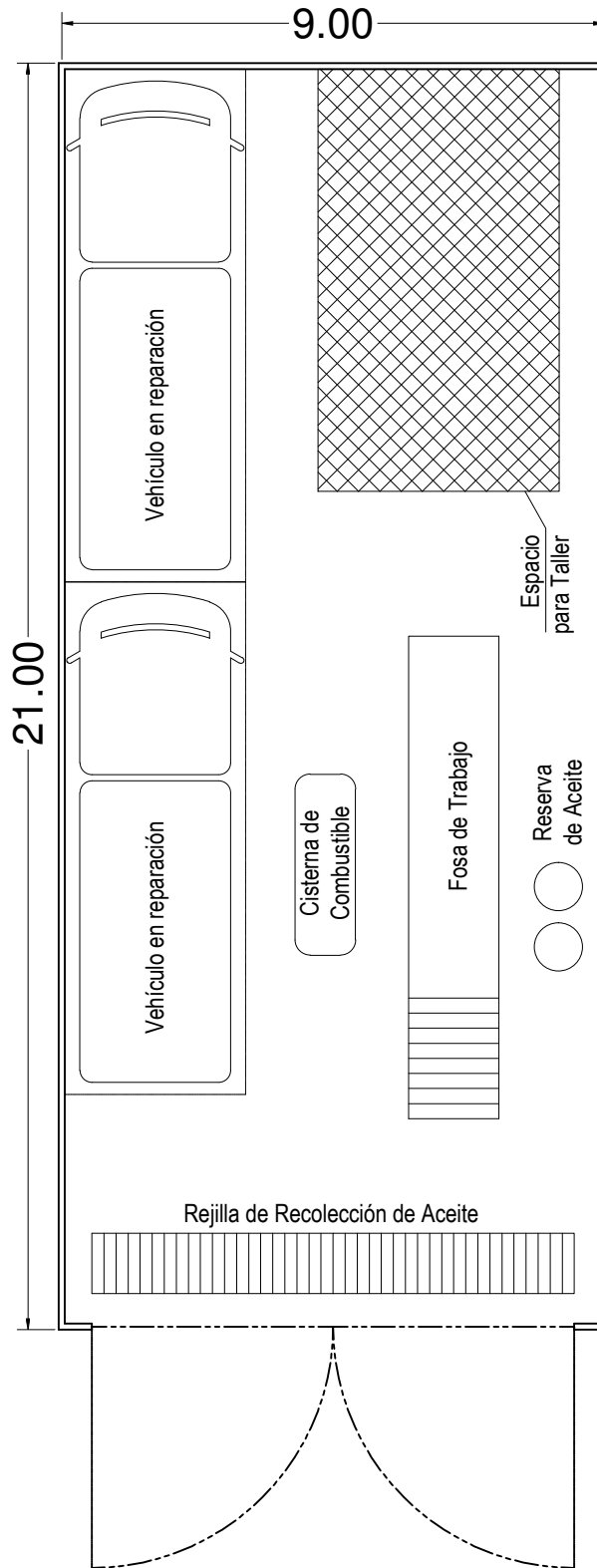
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

Tanque pulmón - Decantador - Esc.: 1:100

14.2.21

# Taller para Máquinas y Vehículos | Esc.: 1:125



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

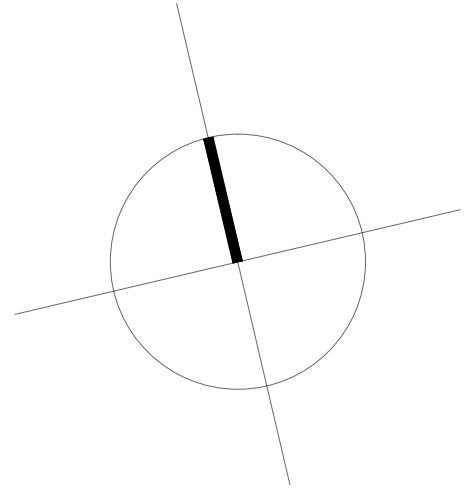
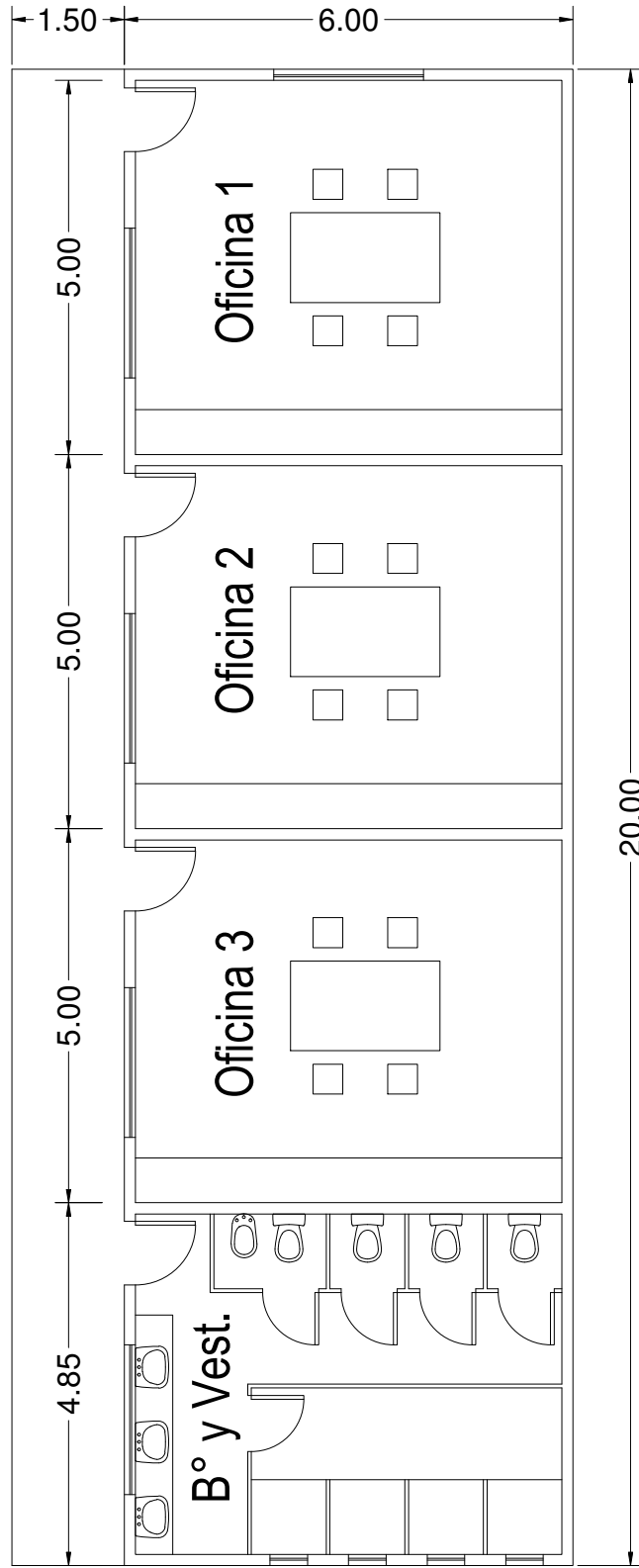
Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

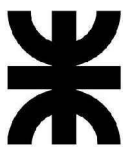
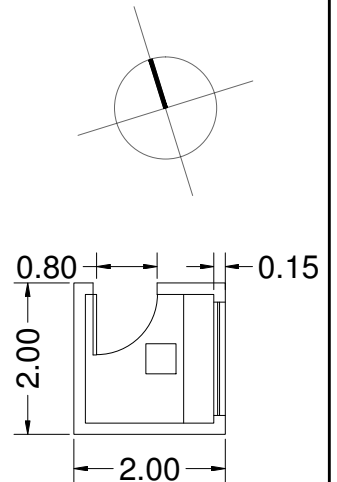
*Taller de Máquinas y Vehículos - Esc.: 1:125*

**14.2.22**

# Oficinas administrativas, baños y vestuario | Esc.: 1:100



# Cabina de vigilancia | Esc.: 1:100



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

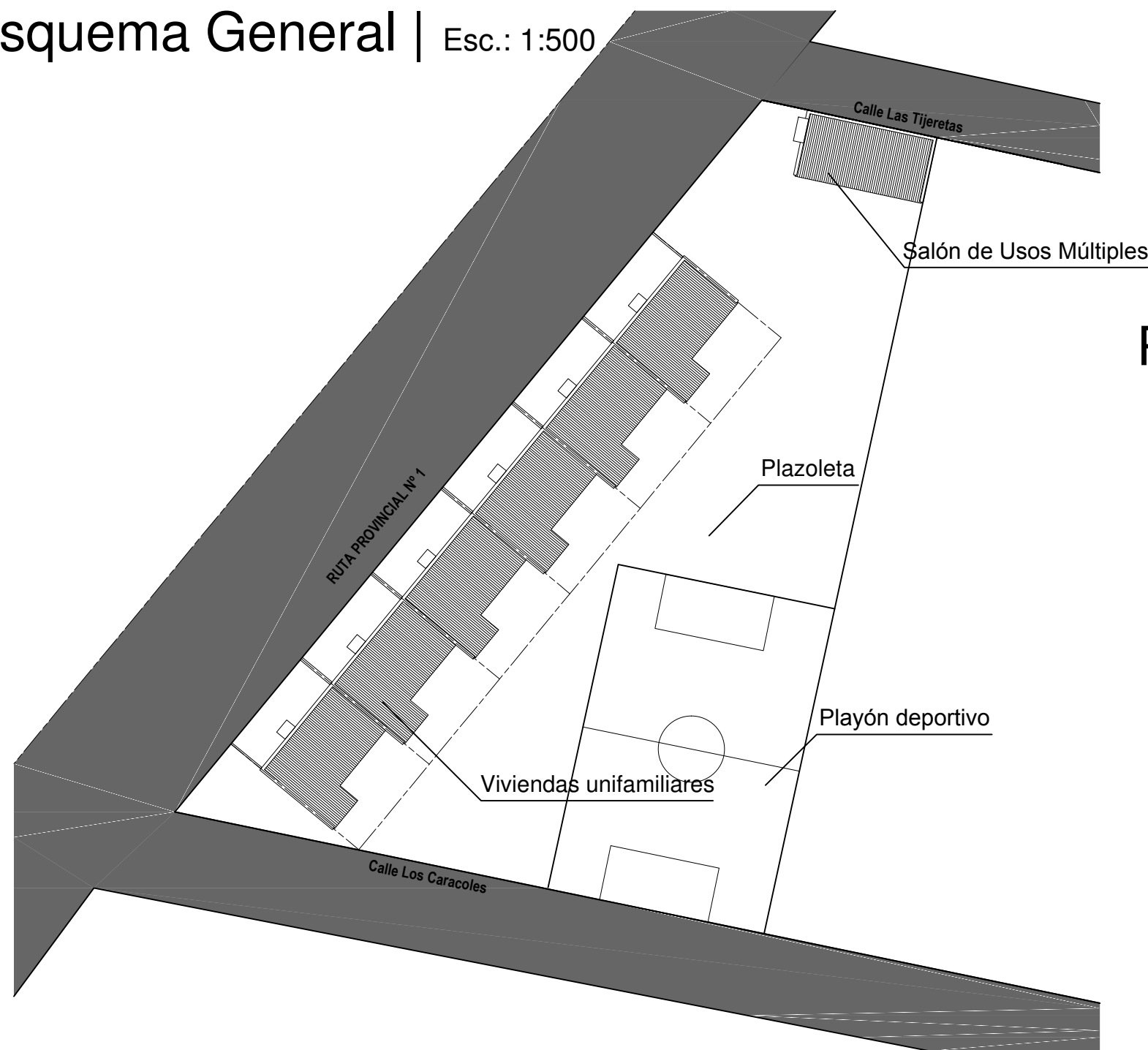
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Oficinas administrativas y Vigilancia - Esc.: 1:100*

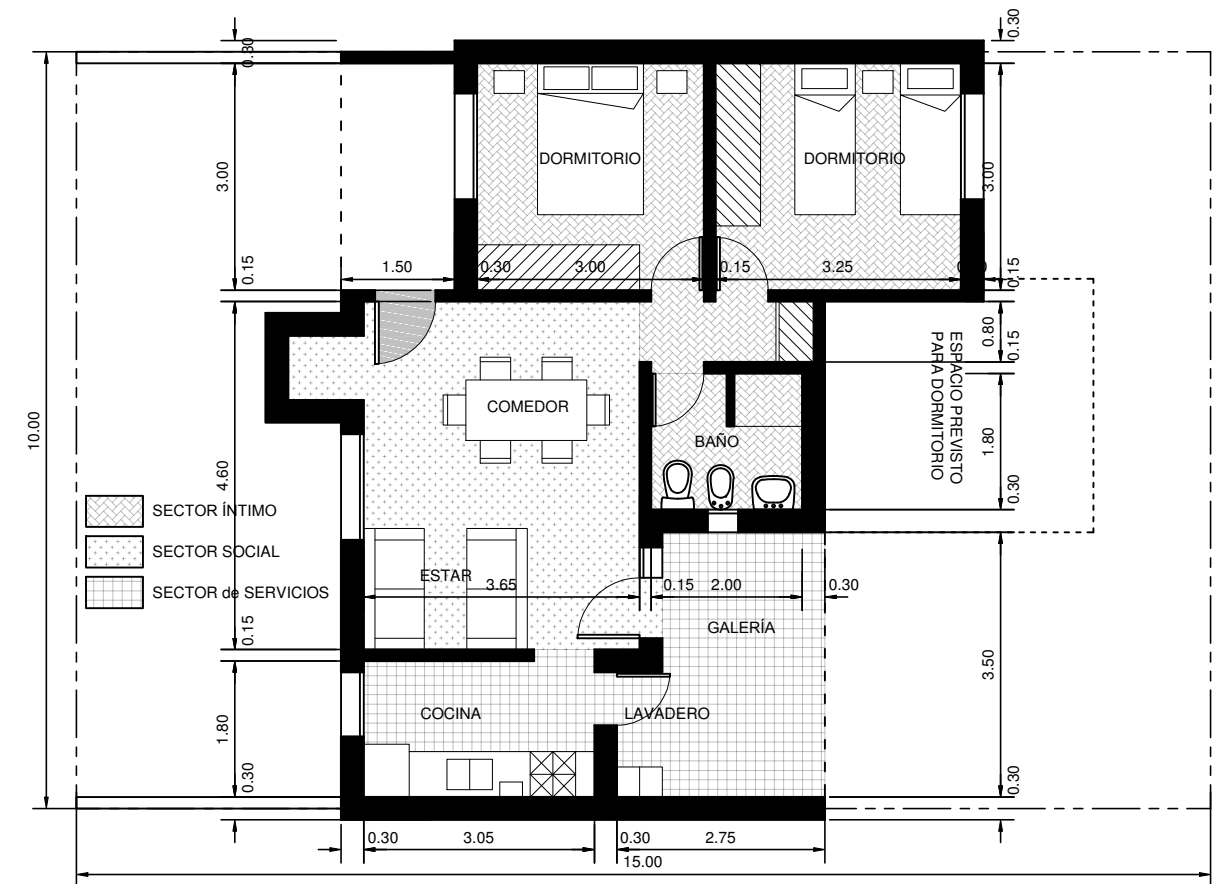
**14.2.23**



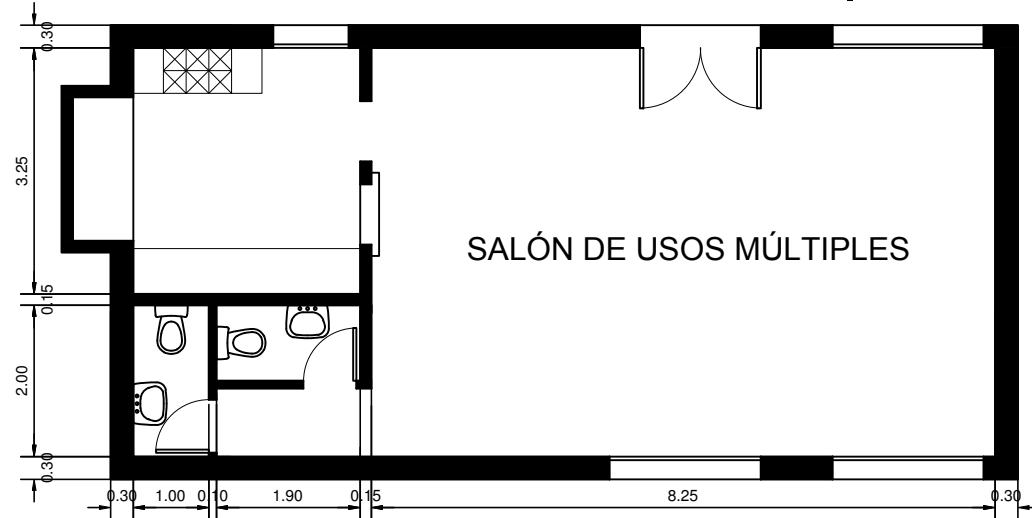
# Esquema General | Esc.: 1:500

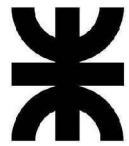


# Planta Viviendas | Esc.: 1:100



# Salón de Usos Múltiples | Esc.: 1:100



	<i>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe</i>		
	Ingeniería Civil 6to Año	Cátedra de <b>Proyecto Integrador</b>	Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb
Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo			
<i>Plan de Viviendas - Esc.: 1:500 y 1:100</i>			<b>14.2.24</b>



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

Ingeniería Civil  
6to Año

Cátedra de  
**Proyecto Integrador**

Profesor Adjunto Interino: Ing. Juan P. Acuña  
Profesor Adjunto Ordinario: Ing. Oscar E. Maggi  
Profesor Adjunto Interino: Ing. Hugo Ramb

Alumnos: DIEHL, Ayelén; MENDOZA, Gonzalo

*Imágenes Complejo Ambiental*

14.2.25