LINEA DE TRATAMIENTO DE LODOS
PLANTA POTABILIZADORA A.S.S.A.
GRO. BAIGORRIA – ACGRO

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

ALUMNOS:

ERNESTO, NOELIA (LEGAJO N° E-1160/6)

FERREYRA, VALENTÍN (LEGAJO N° F-3432/1)

MOLEÓN, JOAQUÍN (LEGAJO N° M-6435/1)

VEIGA, JULIETA (LEGAJO N° V-2852/5)

DIRECTORES:

ING. FORESTIERI, CLAUDIA

ING. FERNÁNDEZ, RUBÉN

ASESORES:

ING. HAZAN, ANDRÉS

DRA. ING. PORTAPILA, MARGARITA

ING. CAUHAPE CASAUX, MARINA

ING. LUQUE, ANALÍA

ING. RAFFAELLI, JUAN PABLO

TITULAR DE CÁTEDRA: ING. RUBÉN LOPEZ

FEBRERO 2023

PROYECTO IV 2022

ÍNDICE

1- OBJETIVO **5**

2- INTRODUCCIÓN **6**
2.1 - Sistema Provincial de Acueductos 7
2.2 - Contexto - Acueducto del Gran Rosario (ACGRO) 9
2.3 - Situación previa 13
2.4 - Situación actual 13
2.5 - Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria 14
2.6 - Origen de los lodos y necesidad de tratarlos 18

3 - MEMORIA DESCRIPTIVA **20**
3.1 - Elementos del proyecto existentes y desarrollados en este trabajo 20
3.2 - Aspecto sanitario 27
3.3 - Aspecto arquitectónico y estructural 32
3.4 - Aspecto vial 35
3.5 - Aspecto ambiental 36
3.6 - Aspecto hidráulico 37
3.6.1 - Red de drenajes de la Planta Potabilizadora 37
3.6.2 - Descarga de los efluentes de las centrífugas a la red de drenajes de la Planta 37
3.6.3 - Verificación del tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta 38

4 - MEMORIA DE CÁLCULO **40**
4.1 - Diseño sanitario 40
4.1.1 - Infraestructura existente y datos de partida 40
4.1.2 - Cañería y bombas de impulsión 42
4.1.3 - Dimensionamiento de centrífugas 42
4.2 - Aspecto arquitectónico y estructural 44
4.2.1 - Ubicación 44
4.2.2 - Relevamiento topográfico 44
4.2.3 - Diseño arquitectónico 44
4.2.3.1 - Dimensiones y distribución 45
4.2.3.2 - Materialidad y terminaciones 47
4.2.4 - Diseño estructural 48
4.2.4.1 - Hipótesis de materiales 49
4.2.4.2 - Normativas 49
4.2.4.3 - Estados de carga 50
4.2.4.4 - Combinaciones de carga 51
4.2.4.5 - Deformaciones admisibles 52
4.2.4.6 - Análisis estructural 53
4.2.4.6.1 - Desplazamiento horizontal global 53
4.2.4.6.2 - Losas 57
4.2.4.6.3 - Tabiques 63
4.2.4.6.4 - Vigas 65

4.2.4.6.5 - Columnas 69
4.2.4.6.6 - Tolvas 73
4.2.4.6.7 - Fundaciones 77
4.3 - Diseño vial 79
4.3.1 - Verificación geométrica 80
4.3.2 - Pavimento existente 85
4.3.2.1. - Inspección ocular 86
4.3.3 - Diseño del paquete estructural 87
4.3.3.1 Solicitaciones 88
4.3.3.2 Subrasante 93
4.3.3.3 Base 95
4.3.3.4 Capa de rodamiento 96
4.3.3.5 Parámetros de diseño 96
4.3.3.6 Resultados 97
4.3.4 - Diseño de juntas 98
4.3.4.1 Juntas transversales de contracción 100
4.3.4.2 Juntas longitudinales 101
4.3.4.3 Juntas longitudinales ensambladas a borde libre 104
4.3.4.4 Juntas transversales de dilatación o expansión 105
4.3.4.5 Juntas de aislación 105
4.4 - Aspecto ambiental 106
4.4.1 - Descripción del problema 106
4.4.2 - Objetivos del desarrollo sostenible 110
4.4.3 - Experiencias anteriores 114
4.4.4 - Efluentes generados 118
4.4.4.1. - Disposición final de lodos deshidratados 118
4.4.4.2. - Disposición final de efluentes líquidos residuales 120
4.5 - Diseño hidráulico 123
4.5.1. - Hipótesis de partida 123
4.5.2. - Condiciones de borde 123
4.5.3. - Predimensionamiento de las cañerías de descarga desde las centrífugas hacia la red de desagües generales de la Planta 124
4.5.4. - Verificación del tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta 125

5 - CÓMPUTOS 128

6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 129

7 - INDICE DE PLANOS 131
G1-GEN-001: Plano de ubicación geográfica general. 132
G1-GEN-002: Plano de ubicación geográfica general. 133
G1-GEN-003: Plano de ubicación del edificio de tratamiento de lodos. 134
G1-TOP-001: Relevamiento topográfico. Sector edificio de tratamiento de lodos. 135
G1-HID-001: Bombas de impulsión de lodos desde tk ecualizador a centrífugas. 136

G1-HID-002: Trazado de impulsión de lodos desde tk ecualizador a centrífugas. 137
G1-HID-003: Conexión descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta. 138
G1-ARQ-001: Plantas y cortes de arquitectura. 139
G1-ARQ-002: Fachadas de arquitectura. Detalle típico paquete de piso. 140
G1-EN-001: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas y cortes de encofrado. 141
G1-EN-002: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas de encofrado. Detalle típico de centrífuga. 142
G1-EN-003: Edificio de tratamiento de lodos. Planta de fundaciones. 143
G1-EN-004: Edificio de tratamiento de lodos. Detalle típico de fundación. 144
G1-VIAL-001: Cotas del pavimento. 145
G1-VIAL-002: Ingreso de camiones. 146
G1-VIAL-003: Salida de camiones. 147
G1-VIAL-004: Diseño tramo de pavimento rígido. Sector edificio de tratamiento de lodos. 148
G1-VIAL-005: Maniobra de camiones **149**

8 - ANEXOS **150**
Anexo 1 - Esquema proceso de potabilización y proyecto de tratamiento de lodos 150
Anexo 2 - Masas y volúmenes de lodos 151
2.1 - Lodos para condiciones normales 151
2.2 - Lodos para condiciones extremas 152
Anexo 3 - Sólidos salientes de las centrífugas 155
Anexo 4 - Estudio de suelos 156
Anexo 5 - Análisis de carga 176
Anexo 6 - Cargas de viento 179
Anexo 7 - Dimensionamiento de losas 187
Anexo 8 - Dimensionamiento de tabiques 190
Anexo 9 - Dimensionamiento de vigas 199
Anexo 10 - Dimensionamiento de columnas 203
Anexo 11 - Dimensionamiento de tolvas 204
Anexo 12 - Dimensionamiento de fundaciones 205
Anexo 13 - Inspección ocular del pavimento existente 207
Anexo 14 - Imágenes del sector a intervenir 218

1- OBJETIVO

Debido al potencial riesgo ambiental que implica el descarte de los residuos que se producen durante el proceso de potabilización del agua cruda, en el presente trabajo se estudia una alternativa para el tratamiento de los barros producidos en la Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria, Santa Fe, Argentina, con el fin de evitar el vuelco directo al Río Paraná, el cual es un espejo de agua muy importante para el equilibrio del ecosistema y para nuestra región.

Brevemente, se resumen los objetivos de este proyecto, clasificados según las áreas de la Ingeniería Civil involucradas:

- *Aspecto sanitario*: predimensionar la conexión entre el tanque que almacena los lodos producidos durante el proceso de potabilización hasta su posterior tratamiento y separación de fases.
- *Aspecto arquitectónico y estructural*: diseñar y dimensionar el edificio donde se situarán los equipos que tratan los lodos y su posterior almacenamiento.
- *Aspecto hidráulico*: verificar los conductos existentes para la nueva condición de diseño y predimensionar los conductos de descarga.
- *Aspecto vial*: inspeccionar y verificar geométricamente la calzada existente. Diseñar y proyectar un tramo a habilitar.
- *Aspecto ambiental*: analizar los potenciales daños al cuerpo receptor, los Objetivos para el Desarrollo Sostenible que verifica la obra y alternativas de disposición final de los desechos de manera sustentable.

2- INTRODUCCIÓN

Un sistema de abastecimiento de agua potable comprende las obras civiles, mecánicas y servicios destinados al abastecimiento de agua para satisfacer el consumo humano en cantidad suficiente y calidad adecuada, eliminando cualquier microorganismo, parásito o sustancias en concentraciones que supongan riesgo para la salud. Todo sistema de abastecimiento puede presentar - entre otros - los siguientes componentes:

- Fuente de agua
- Obra de captación
- Conducción de agua cruda
- **Tratamiento: Planta potabilizadora + Cisterna de agua tratada**
- Estaciones elevadoras
- Red de distribución de agua tratada

En cuanto a la fuente de agua, la misma puede clasificarse en dos tipos:

- Superficiales
- Subterráneas

De esta forma, en función del tipo de fuente seleccionado, se tendrá un tipo de tratamiento u otro obedeciendo a las características físico-químicas que presenta el agua cruda en cada uno, y a las exigidas en las reglamentaciones vigentes en el agua ya tratada para consumo.

En particular, la Planta Potabilizadora de Aguas Santafesinas S.A. (en adelante "A.S.S.A.") ubicada en la localidad de Granadero Baigorria y objeto de análisis del presente trabajo, tiene como fuente de agua el Río Paraná, siendo de aplicación un tipo de tratamiento diseñado para aguas superficiales. Éstas se caracterizan por la presencia de elevados valores de color y turbidez, como así también de microorganismos y algas.

Sintéticamente, explicando el proceso de manera sencilla y con una fuente de características similares al río Paraná, el tratamiento de aguas superficiales puede resumirse en los siguientes procesos:

- Captación: el agua para potabilizar se extrae del río, que se caracteriza por un color amarronado por las partículas de arcilla y tierra que trae desde sus efluentes.
- Coagulación - Floculación: para comenzar a limpiarla se agrega un coagulante que reúne esas partículas marrones.
- Decantación: pasa por grandes piletas donde se extraen las partículas marrones más grandes y el agua se vuelve más clara.
- Filtración: pasa por filtros donde se eliminan los restos de partículas marrones.
- Cloración: se le agrega cloro para eliminar microorganismos.
- Distribución: el agua está lista para llegar a cada hogar a través de la red de cañerías.

En cada una de estas etapas, al líquido crudo captado de la fuente superficial, se le incorporan distintos elementos químicos (como el coagulante mencionado), que son los que generan reacciones tales como coagulación, floculación, etc.

El proceso indicado se esquematiza en la Figura Nº1 siguiente:

Figura N°1 - Esquema sintético del *proceso de potabilización.* [1]

En procesos tales como la decantación y la filtración se generan residuos propios del tratamiento, los cuales son coloquialmente llamados *barros* o *lodos* (donde a su vez quedan residuos de todos estos insumos que se le adicionaron al líquido crudo). **De esta forma, se propone como eje de trabajo el abordaje de la línea de tratamiento de lodos de la Planta Potabilizadora de A.S.S.A. de Granadero Baigorria**, donde actualmente los lodos generados por el tratamiento de potabilización son derramados directamente sobre el Río Paraná. Se propone intervenir este último tramo de la línea, donde se estudiará una alternativa que evite la descarga directa de los barros en el río, tratándolos adecuadamente y disminuyendo su impacto ambiental.

2.1 - Sistema Provincial de Acueductos

La provincia de Santa Fe cuenta con 365 localidades, de las cuales solamente 15 reciben en forma directa el servicio de agua a través de la empresa A.S.S.A., las restantes 350 localidades tienen el servicio a través de prestadores locales o cooperativas.

La Planta Potabilizadora de A.S.S.A. de Granadero Baigorria forma parte del denominado Acueducto Gran Rosario (ACGRO), y este último, a mayor escala, del Sistema Provincial de Acueductos de la Provincia de Santa Fe (ver Figura Nº2).

[1]Aguas Santafesinas S.A. [15.09.22]. *¿Cómo se potabiliza el agua?*. Disponible en: https://www.aguassantafesinas.com.ar/portal/quienes-somos/reconquista/

A la fecha, el ámbito de servicio de A.S.SA. cuenta con[2]:

- 8 plantas potabilizadoras de agua superficial convencional
- 3 plantas potabilizadoras de agua superficial compactas
- 9 plantas potabilizadoras de agua subterránea por ósmosis inversa
- 2 plantas potabilizadoras de agua subterránea por tratamiento biológico
- 226 perforaciones que extraen agua subterránea operativas
- 3 laboratorios de control de calidad regionales
- 5.734 km de longitud de red
- 525.334 conexiones
- 220.541 medidores

Este sistema tiene una producción total en verano, según la fuente de agua, de:

- Superficial: 26.560.000 m^3/mes
- Subterránea: 4.148.000 m^3/mes
- Total: 30.865.096 m^3/mes

[2]Aguas Santafesinas S.A. [15.09.22]. *Proceso de potabilización del agua*. Disponible en: https://www.aguassantafesinas.com.ar/portal/calidad-del-agua/

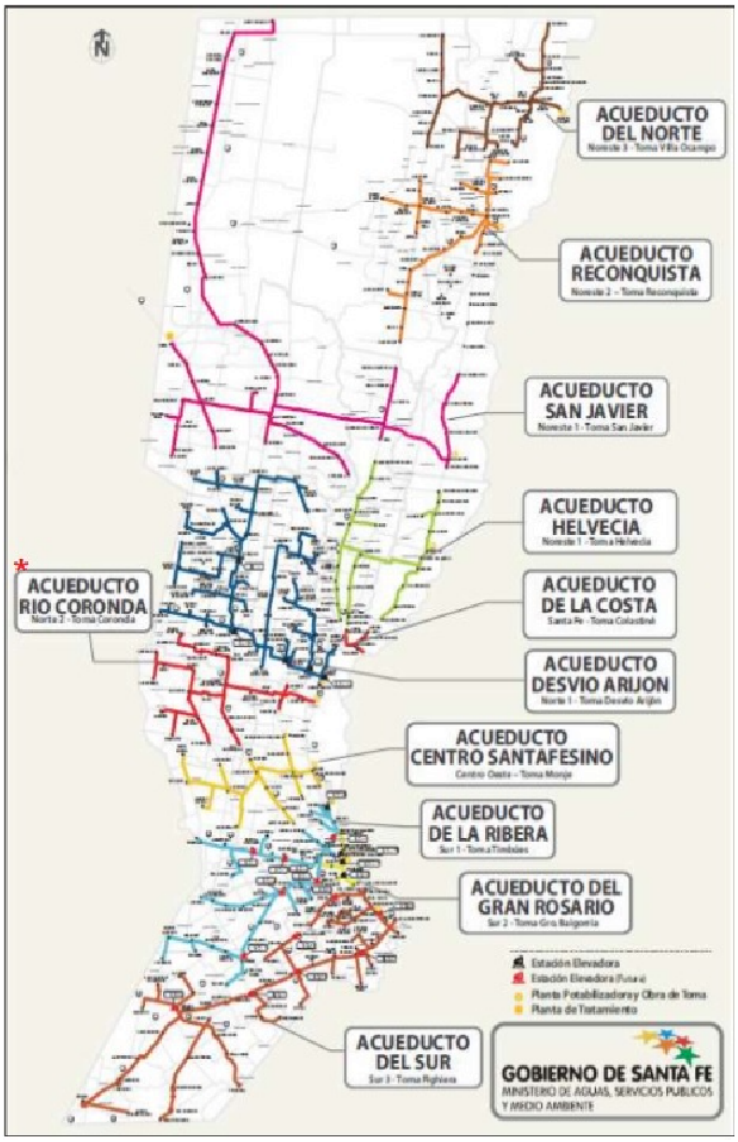


Figura Nº2 - *Sistema Provincial de Acueductos.*[3]

2.2 - Contexto - Acueducto del Gran Rosario (ACGRO)

El Sistema Acueducto Gran Rosario (ACGRO) está conformado por la Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria y por el acueducto propiamente dicho. Ambos fueron previstos para ejecutarse por etapas, considerando que a la fecha de finalización de la totalidad de las obras los mismos comprenderán:

- Planta Potabilizadora: 4 módulos de potabilización junto con 2 cisternas de almacenamiento de agua tratada de 12.500 m3 cada una.
- Acueducto: trazado desde la Planta, por Av. Circunvalación y hasta el extremo sur de la ciudad, incluyendo una cisterna de capacidad de 10.000 m3 y ramales hacia localidades vecinas, como Ibarlucea, Funes y Villa Gobernador Gálvez.

[3]Cátedra Proyecto II [2020]. *Sistema Provincial de Acueductos Santa Fe.*
** Nota: A la fecha, se ha modificado la planificación de acueductos, dado que el Acueducto Río Coronda pasó a ser el Acueducto Interprovincial Santa Fe - Coronda.*

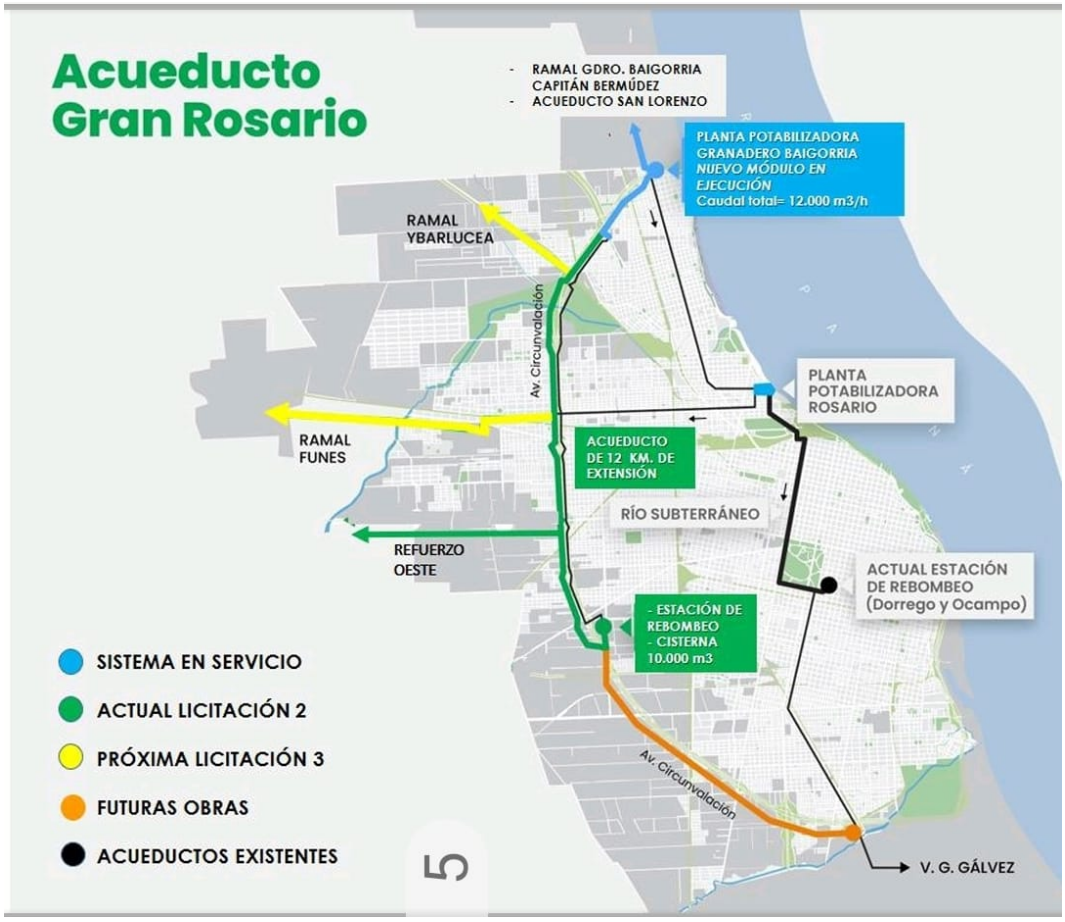


Figura Nº3 - *Etapabilidad de las obras del Acueducto Gran Rosario.*[4]

[4]Diario virtual Versión Rosario. [17.09.22]. *Acueducto Gran Rosario: lanzan licitación de obras para mejorar el servicio a medio millón de habitantes.* Disponible en: www.versionrosario.com.ar/acueducto-gran-rosario-lanzan-licitacion-de-obras-para-mejorar-el-servicio-a-medio-millon-de-habitantes/.

Figura Nº4 - *Zonas beneficiadas con las obras del Acueducto Gran Rosario.*[5]

La **Etapa I** del Acueducto ejecutada y puesta en servicio desde el año 2016 tuvo como objetivo reforzar la provisión de agua potable para todo el arco urbano que bordea la avenida Circunvalación de Rosario indicada en la Figura Nº5 (en las siguientes etapas, se incluirán además localidades vecinas como Funes, Roldán, Pérez y Villa Gobernador Gálvez). Esta primer etapa comprendió la ejecución de:

- Toma superficial en el río Paraná (muelle de toma)
- Bombeo y aducción de agua cruda
- Módulo I de la Planta Potabilizadora (6.250 m3/h de capacidad)
- Edificios / Obras Complementarias
- Cisterna y estación de bombeo

[5]VGG Digital Noticias. [17.09.22]. *Gran Rosario: paso concreto para hacer un acueducto vital*. Disponible en: https://vggdigitalnoticias.wordpress.com/2010/12/26/gran-rosario-paso-concreto-para-hacer-un-acueducto-vital/

- Vinculaciones al norte de la ciudad de Rosario, Granadero Baigorria y Capitán Bermúdez
- Acueducto de 1200 mm de diámetro por Av. Circunvalación hasta calle Salvat.

De acuerdo con el Gobierno de Santa Fe, con estas obras se ha logrado beneficiar de forma directa a unos 400.000 vecinos.

Figura Nº5 - *Obras correspondientes a la Etapa I del ACGRO.*[6]

Además, actualmente se encuentra en marcha la **Etapa II** del Acueducto Gran Rosario, la cual comprende la ejecución de:

- Segundo módulo de la planta potabilizadora y obras complementarias, ya en ejecución desde abril de 2022 y prevista su finalización en abril de 2024.
- Obra de continuación del acueducto a lo largo de 12 kilómetros de 800 y 900 mm de diámetro por avenida Circunvalación, desde calle Salvat (conducto existente) hasta avenida Provincias Unidas, donde además se construirá una cisterna de diez millones de litros de capacidad (10.000 m3) dentro de un predio perteneciente a la provincia de Santa Fe en Av. Provincias Unidas al 3900 y una nueva estación de bombeo y distribución. Esta obra se encuentra ya licitada.

La ejecución de esta segunda etapa de obras involucra una inversión de casi unos 6 mil millones de pesos, entre la Planta[7] y el Acueducto[8], produciendo una notable mejora en la provisión de agua potable

[6]Provincia de Santa Fe. [25.09.22]. *Noticia: "Tuvieron que pasar 130 años para que Rosario y su región tengan una nueva planta potabilizadora.* Disponible en: https://www.santafe.gov.ar/noticias/noticia/211494/.
[7]Ampliación Planta Potabilizadora - Granadero Baigorria - Etapa II - Presupuesto Oficial: $2.040.239.186,27 (IVA INCLUIDO) - Mes base: Mayo 2021.
[8]Acueducto Gran Rosario - Etapa II– Licitación 2 - Acueducto Av. de Circunvalación, Estación de Bombeo D y Refuerzo Oeste - Presupuesto Oficial: $3.709.458.361,79 (IVA INCLUIDO) - Mes base: Diciembre 2021.

para toda la zona oeste y sudoeste de la ciudad de Rosario, incluyendo también a la localidad de Funes. Además, optimizará el servicio en el centro, sur y suroeste de Rosario y Villa Gobernador Gálvez.

Finalmente, etapas futuras (aún no licitadas) completarán la totalidad del Acueducto Gran Rosario, como pudo observarse en la Figura Nº3.

2.3 - Situación previa

A lo largo de los años, la ciudad de Rosario ha ido consolidándose como un fuerte polo tecnológico y de capital humano de la región, viéndose acrecentada la población situada en sus alrededores.

Fundamentalmente, la construcción de la Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria surge ante esta gran expansión y asentamiento de poblaciones, demanda que no podía ser satisfecha únicamente con la Planta Potabilizadora de Rosario, inaugurada en 1888 y situada en Arroyito, en la zona norte de Rosario.

Figura Nº6 - *Planta Potabilizadora ubicada en el barrio de Arroyito, ciudad de Rosario.*

En este sentido, la instalación del primer módulo de la nueva Planta Potabilizadora de Baigorria en el año 2015 viene a satisfacer la demanda de agua potable de fuente superficial a localidades vecinas y barrios de la zona norte de Rosario. Además, habiéndose previsto de antemano la ejecución de sucesivas etapas de ampliación de la Planta con una totalidad de cuatro módulos, se logrará abastecer en un futuro con agua segura y de calidad a otras localidades del Gran Rosario, y eventualmente, también localidades del resto del sur de la provincia.

2.4 - Situación actual

En la actualidad, la ciudad de Rosario y algunas localidades aledañas acceden al agua potable gracias al tratamiento que se realiza tanto en la Planta Potabilizadora de Arroyito como en el módulo

existente de la Planta Potabilizadora de Baigorria, siendo cuatro los módulos previstos al finalizar el período de diseño.

En cuanto a caudales de trabajo, la producción actual de la Planta Potabilizadora de Baigorria es de aproximadamente un 25% del total producido por la Planta Potabilizadora de Rosario, es decir que aporta más agua a las redes optimizando el servicio de agua potable en forma directa al norte y noroeste de Rosario, además de Granadero Baigorria y Capitán Bermúdez. Con la finalización de la totalidad de las obras, se llegará a igualar la producción de la Planta de Arroyito.

En la Figura Nº7, se observa la ubicación de cada planta y las zonas abastecidas en la actualidad por cada una.

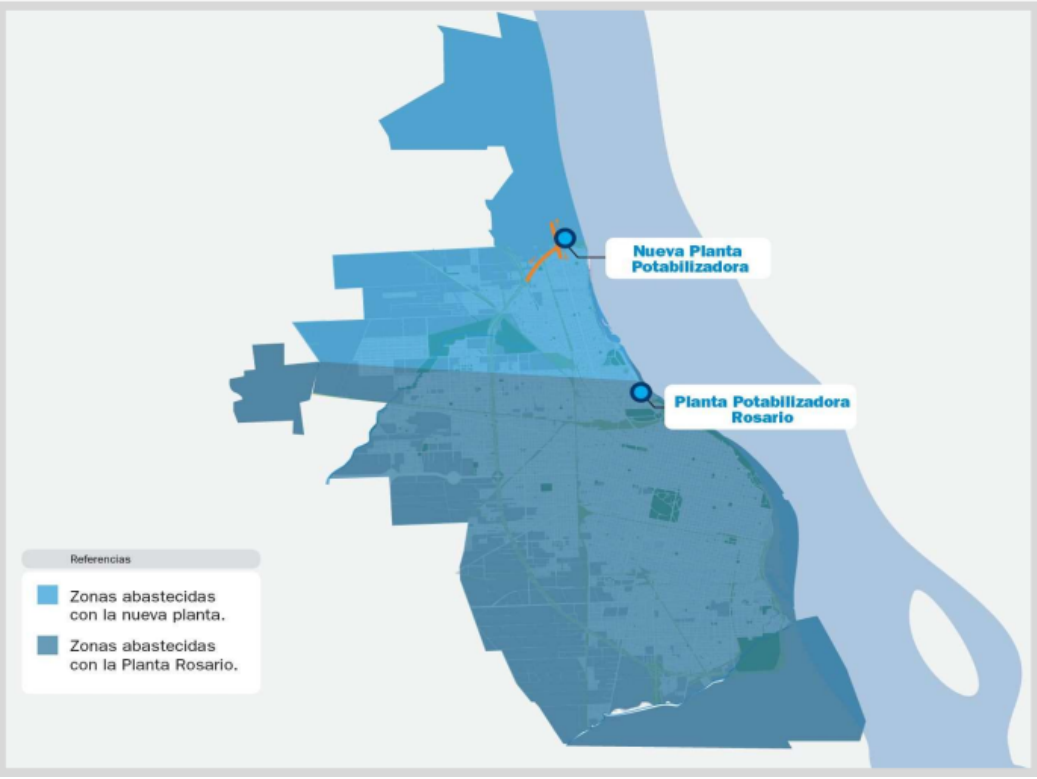


Figura Nº7 - *Ubicación de las plantas potabilizadoras y zonas abastecidas actualmente por cada una. Etapa I.*[9]

2.5 - Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria

La Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria se emplaza en la localidad homónima, en la intersección de la Avenida San Martín (Ruta 11) y Av. Circunvalación, Área Metropolitana de Rosario, provincia de Santa Fe.

[9]Cátedra Proyecto II [2020]. *Sistema Provincial de Acueductos Santa Fe.*

Figura Nº8 - *Emplazamiento de la planta potabilizadora y de la obra de toma.*

El terreno destinado a su fin tiene una superficie total de 20 hectáreas, y fue adquirido en los años '70 por el gobierno de la Provincia de Santa Fe con el objetivo original de realizar una planta potabilizadora que abastecería hasta la provincia de La Pampa, que finalmente no prosperó.

El terreno actualmente utilizado es de 6 hectáreas, ocupado por el primer módulo ya construido y el segundo en ejecución.

Figura Nº9 - *Situación actual Etapa I de la Planta Potabilizadora de A.S.S.A.*[10]

A modo de síntesis, el conjunto de obras que constituyen el sistema de la Planta Potabilizadora Granadero Baigorria, en su planificación general y final a un horizonte de proyecto de 50 años, incluye las siguientes instalaciones:

[10]Werk Constructora S.R.L. [25.09.22]. *Planta Potabilizadora Granadero Baigorria.* Disponible en: http://werk.com.ar/obra/planta-potabilizadora-granadero-baigorria/.

- Captación en el río Paraná, bombeo y conducción de las aguas crudas hasta la planta de tratamiento. La captación y las conducciones tendrán una capacidad total al final del proyecto de 25.000 m3/h.
- Cuatro módulos de tratamiento, de una capacidad unitaria de 6.250 m3/h.
- El almacenamiento del agua tratada.
- El bombeo del agua tratada hacia el Acueducto Rosario y hacia localidades aledañas.
- Tuberías de drenajes hasta su descarga en el río Paraná.
- Instalaciones eléctricas en media y baja tensión.
- Instalaciones de instrumentos de medición y control.
- Laboratorios.
- Depósitos.
- Sectores administrativos.

Como fue mencionado en el punto 2.4 - Contexto - Acueducto del Gran Rosario (ACGRO), la construcción de la planta fue prevista por etapas de crecimiento, siendo las mismas:

- **Etapa 1**: Módulo 1 de tratamiento de 6.250 m3/h de capacidad (existente)
- **Etapa 2**: Módulo 1 (existente) y Módulo 2 de tratamiento (en ejecución), totalizando 12.500 m3/h de capacidad.
- **Etapa 3**: Módulo 1, Módulo 2, Módulo 3 y Módulo 4 de tratamiento (ambos futuros), totalizando 25.000 m3/h de capacidad.

Actualmente, se encuentra en ejecución la Etapa 2 de la Planta, con un plazo de 2 años de duración, previéndose la finalización de las obras en el mes de abril de 2024.

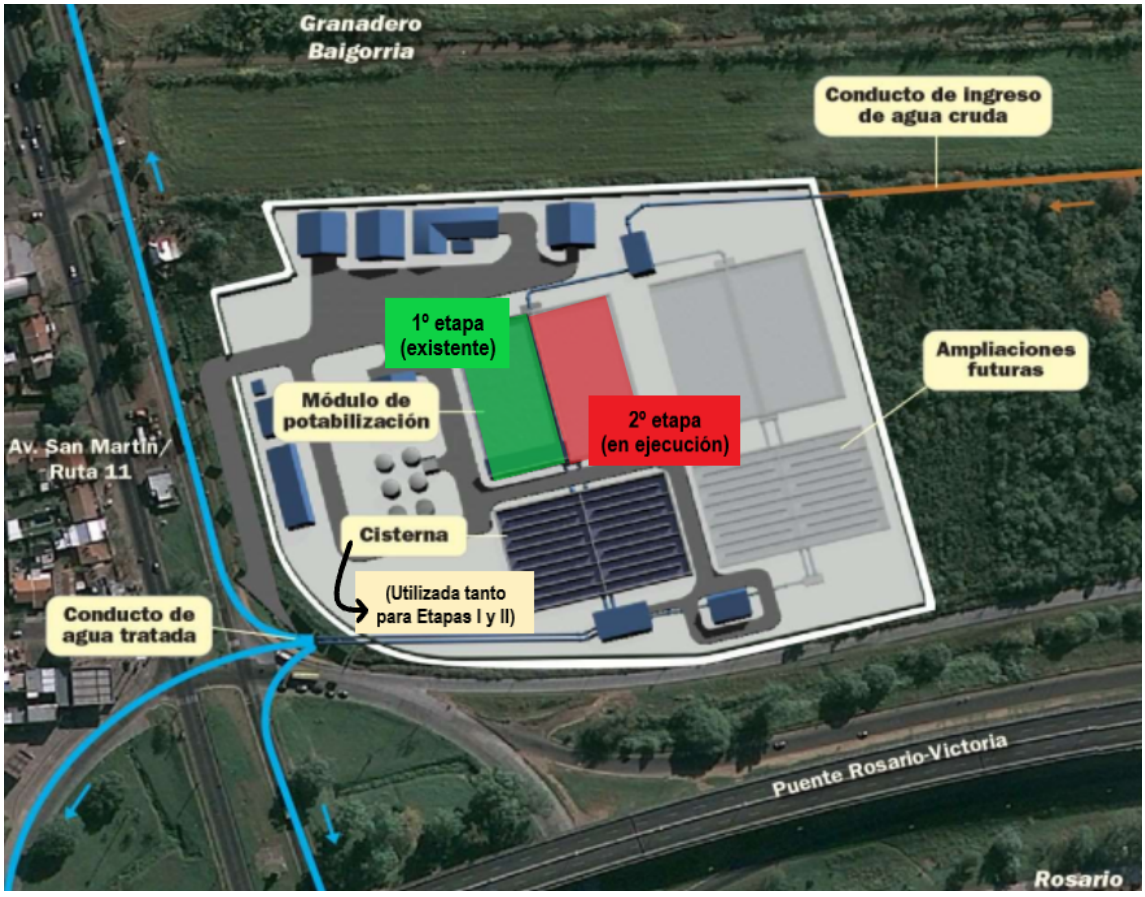


Figura N°10 - *Planta esquemática de las obras proyectadas.*

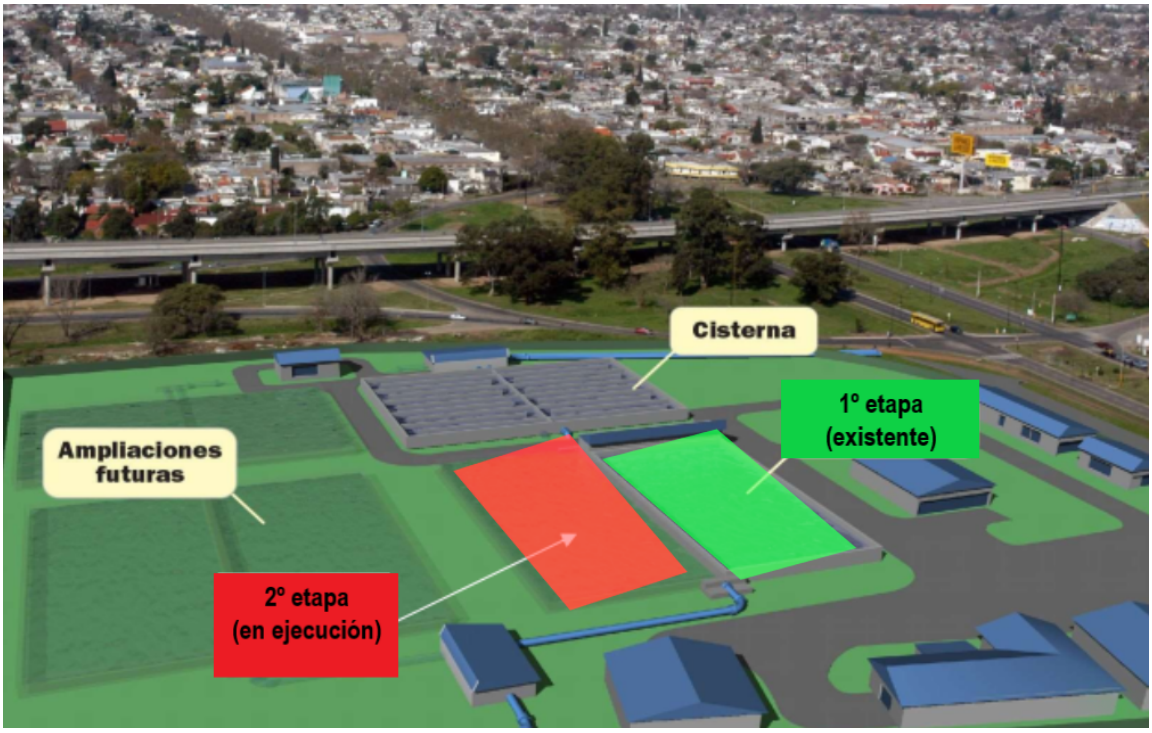


Figura N°11 - *Vista y distribución de equipamientos.*

A la fecha se cuenta con una parte de este conjunto, que posee capacidad para tratar 6.250 m3/h, pero con instalaciones comunes que tienen capacidades superiores para evitar la complejidad de ampliar

instalaciones que no son modulares. Este conjunto consiste en un Sistema de Potabilización de Tecnología de Alta Tasa[11], el cual incluye:

- Cámara de carga, rejas y partidora.
- Módulo de coagulación, floculación, decantación y filtración.
- Unidades de almacenamiento y dosificación de insumos químicos (cal, cloro, sulfato, PAC y flúor).

2.6 - Origen de los lodos y necesidad de tratarlos

En las diversas etapas del tratamiento del agua potable se generan lodos, como por ejemplo, en la decantación, el lavado de filtros y saturadores de cal, estos últimos producto de las impurezas generadas a partir de la cal hidratada que se utiliza en una etapa de alcalinización. Estos lodos se caracterizan por tener un bajo contenido orgánico, residuos de coagulación, floculación, cal y gran cantidad de agua. El objetivo principal del tratamiento es la separación del agua de las sustancias en suspensión, de manera tal que los residuos sólidos y los efluentes puedan disponerse con el menor impacto ambiental posible. En cuanto a los sólidos, los mismos pueden ser dispuestos, por ejemplo, en un relleno sanitario o elaborarse ladrillos utilizándolos como materia prima. Esto último dependerá de la caracterización de la masa sólida obtenida del proceso de deshidratación, así como los requerimientos ambientales para la deposición de los mencionados residuos sólidos, lo cual se analizará posteriormente.

El tratamiento de barros es necesario, ya que, si bien gran porcentaje de los lodos se compone de materiales inertes (por ejemplo arena fina, limo y arcilla), también se encuentran presentes determinadas sustancias químicas, tales como: óxidos, hidróxido de aluminio, impurezas de la cal, entre otros.

Actualmente, tanto en el Módulo I que se encuentra funcionando como en la ampliación del Módulo II, no se prevé tratamiento de lodos, por lo que los residuos concentrados son vertidos directamente en el río, produciendo potenciales efectos indeseables. Algunos de dichos efectos son:

- Dificultar el desarrollo de organismos del lecho del río.
- Aumento de turbiedad, color y sólidos → cambio desde el punto de vista estético, potencial pérdida de lugar como esparcimiento, y favorecimiento de procesos químicos y biológicos debido a la disminución de la penetración de la luz y oxigenación de la masa.
- Eventual contaminación microbiológica en las aguas receptoras por la presencia de microorganismos retenidos en los flocs.
- Altas concentraciones de aluminio → generan un efecto tóxico sobre los organismos del cuerpo receptor.

[11]El sistema de alta tasa, comparado con el convencional, ocupa menores dimensiones en planta gracias a su tecnología más avanzada, pero como desventaja produce una mayor cantidad de lodos que este.

Pueden mencionarse antecedentes de la aplicación de tratamiento de lodos en plantas potabilizadoras convencionales en las localidades de Reconquista (Santa Fe), Desvío Arijón (Santa Fe) y Concordia (Entre Ríos). En el ítem 4.4.3 - Experiencias anteriores se hace mención particular del proyecto realizado en Reconquista.

3 - MEMORIA DESCRIPTIVA

3.1 - Elementos del proyecto existentes y desarrollados en este trabajo

Para comprender los elementos que componen el proyecto, es fundamental conocer el proceso de potabilización de la planta y generación de lodos. El mismo comienza con una toma de agua en el río Paraná, fuente de agua cruda, que es bombeada a la planta por medio de equipos de bombeo ubicados en un muelle de toma.

Figura Nº12 - *Muelle de toma de la planta a orillas del Río Paraná, ubicado al norte del Puente Rosario-Victoria.*

El agua cruda es enviada a una cámara de carga, rejas y partidora, la cual está prevista para funcionar con los módulos de potabilización I y II, en la cual se logra que el agua al ingresar a cada módulo tenga una carga hidráulica constante, y que no se vea afectada por posibles variaciones de bombeo desde el muelle. A su vez, en esta cámara se eliminan sólidos groseros que pudieran dificultar el correcto funcionamiento del decantador, y el caudal se equirreparte mediante vertederos hacia cada uno de los dos módulos.

Cada módulo de tratamiento es un conjunto de dos decantadores acelerados denominados *Hi-floc*[12] acoplados a 8 filtros rápidos de arena, donde cada decantador procesa un caudal de 3.125 m3/h. El agua que ingresa se divide mediante vertederos dispuestos simétricamente, y encuentra en primer lugar dos cámaras de dispersión con agitadores en donde tiene lugar el proceso de coagulación (mezcla rápida). El

[12]El decantador HiFloc es un espesador gravitatorio de hormigón armado, marca registrada de Hidrosan Ingeniería S.A., que consiste en un tanque circular con un mecanismo barredor de fondo y que cuenta con una tolva en el centro que permite recolectar los lodos espesados. Se caracteriza por la recirculación externa de lodos que promueve el crecimiento de los flocs formados.

mismo se logra mediante la inyección de un coagulante, que generalmente es sulfato de aluminio, y algunas veces policloruro de aluminio (PAC).

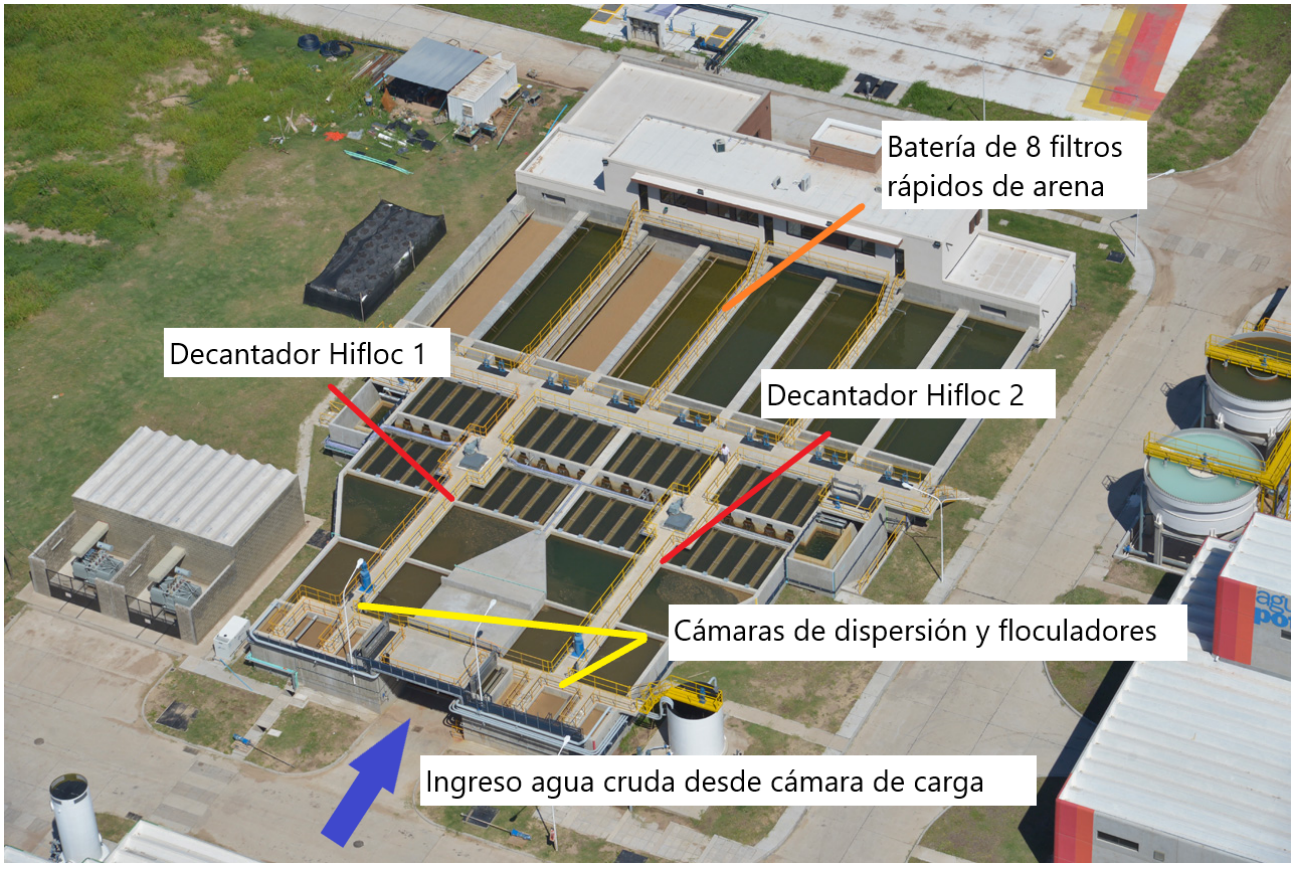


Figura Nº13 - *Módulo de tratamiento y sus componentes.*

Seguidamente, el agua ingresa a un reactor-floculador, en donde se incorpora una solución de polielectrolito (*poliacrilamida*) para favorecer el crecimiento del tamaño de los flocs. En esta cámara también se recibe el lodo recirculado del sector de decantación, con el mismo propósito de crear una masa de flocs compacta y pesada.

A continuación, el agua continúa su curso hacia un decantador, en donde la mayor parte de los flocs se separa de la corriente líquida, decantando y espesándose en el fondo.

Figura Nº14 - *Uno de los decantadores Hifloc del módulo de tratamiento correspondiente a la Etapa I, en funcionamiento.*

El lodo producido es arrastrado hacia el centro de la cámara, donde se junta en un recinto con forma de tolva ubicado en el fondo y es retirado por dos cañerías independientes: una de recirculación (que conduce los lodos hacia la cámara de floculación, como fue explicado anteriormente), y otra de extracción, la que conducirá los lodos hacia un tanque de mezcla (en adelante "*tanque ecualizador*"). Centraremos nuestra atención posteriormente en estos últimos.

Figura Nº15 - *Fondo de la cámara de decantación, en donde se espesan los lodos, se concentran en el fondo y se retiran mediante dos caños.*

Antes de la filtración, el agua se somete a una post-coagulación en una nueva cámara de dispersión con el propósito de evitar una colmatación temprana de los filtros, en donde se utiliza sulfato de aluminio o policloruro de aluminio, que actúa sobre los flocs que pudieran haber escapado del proceso de decantación.

Por su parte, el proceso de filtración consta de una batería de 8 filtros rápidos en paralelo de nivel constante, con un manto de arena de granulometría homogénea. El agua atraviesa el manto filtrante de forma descendente, dejando en el filtro los restos de flocs que hayan logrado atravesar los procesos anteriores.

A continuación, el agua filtrada ingresa en una cisterna que actúa como reserva para el lavado a contracorriente de los filtros, atraviesa una cámara de medición de caudal y finalmente llega a una cisterna de agua tratada, cuya capacidad es de 12.500 m3. Dentro de esta cisterna, y antes de ser bombeada a la red, se le añade al agua cloro para desinfección y agua de cal para ajuste del pH.

El proceso de alcalinización se lleva a cabo por agregado de una solución saturada de hidróxido de calcio o lechada de cal, de una concentración de 1,5 g/lt producida por equipos “Saturadores de Agua de Cal”.

Figura Nº16 - *Saturadores de cal.*

Los saturadores de cal son equipos destinados a transformar la lechada de cal, cargada de impurezas, en agua de cal, más diluida que la anterior y saturada en cal Ca(OH)2. El agua de cal es adecuada para introducir al agua destinada al consumo ya que no aporta un grado de turbidez apreciable. No podría efectuarse la post-alcalinización con lechada de cal sin tener que convivir con depósitos en la cisterna de agua, que deberían retirarse periódicamente, con los consiguientes problemas de operación y continuidad de la producción.

El depósito de impurezas es concentrado en el fondo del saturador y es purgado hacia el tanque de **lodos de cal** por medio de purgas intermitentes. Los lodos de purga se almacenan en un depósito ubicado entre los saturadores, y a partir de ahí son bombeados al tanque ecualizador junto con los lodos de los decantadores.

Figura Nº17 - *Saturadores de cal.*

En cuanto a los residuos provenientes del lavado de filtros, actualmente estos se envían directamente al desagüe general de la planta y no serán considerados en el análisis por limitarse los alcances del presente proyecto. No obstante ello, el lavado de filtros elimina gran cantidad de flocs de forma intermitente, por lo cual no debe perderse de vista que también generan un impacto ambiental, viéndose también la necesidad de ser tratados.

Actualmente, la mezcla de lodos generados en el proceso de decantación y en la producción de agua de cal se bombean desde el tanque ecualizador directamente al río, sin ningún tratamiento previo. En la Figura Nº18 se esquematiza la situación actual de funcionamiento de la Etapa I.

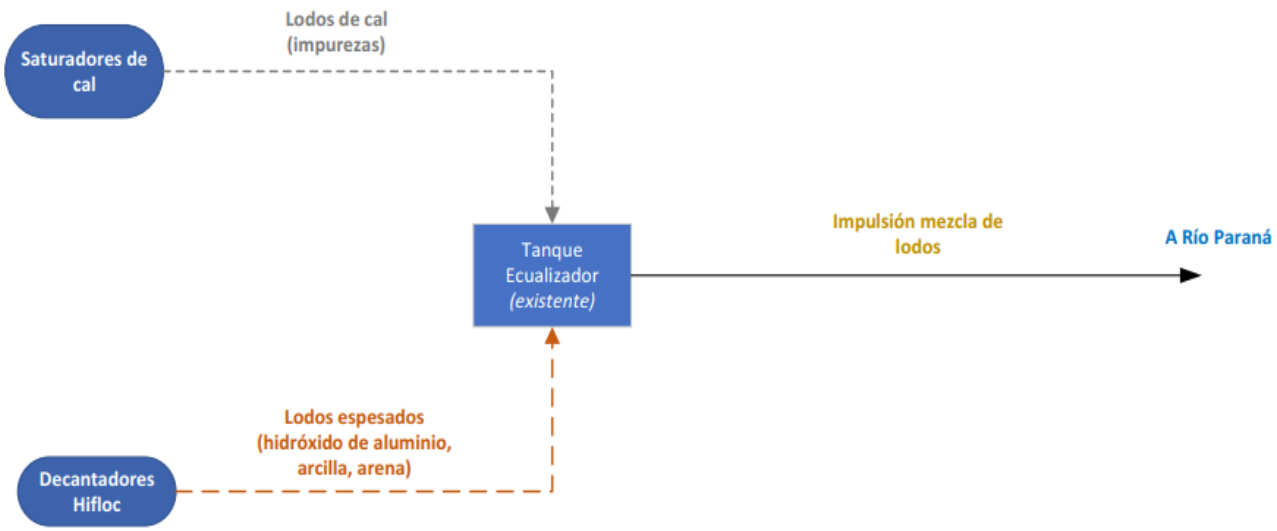


Figura Nº18 - *Esquema de funcionamiento actual de la línea de lodos, correspondiente a la Etapa I de la planta.*

En virtud de lo antes mencionado, lo que aquí se propone es interferir en este último recorrido de los lodos, recolectando y acondicionándolos en un edificio de tratamiento proyectado para tal fin antes de su disposición final, de manera de evitar un potencial perjuicio al principal cuerpo de agua de la zona. Además, se prevé este tratamiento no solo para la Etapa I existente, sino también para la futura Etapa II, que se encuentra en ejecución.

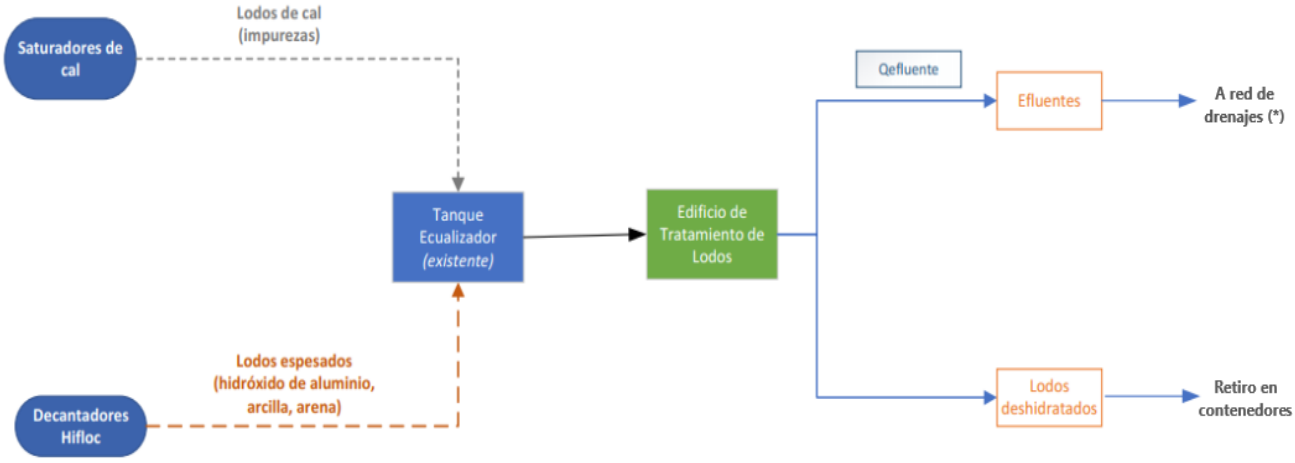


Figura Nº19 - *Esquema propuesto para la línea de lodos, tanto para la Etapa I como para la futura Etapa II de la planta.*

[Ver lámina **G1-PC-001:** *Proceso de potabilización y esquema de tratamiento de lodos proyectado*, en Anexo 1: *Esquema proceso de potabilización y proyecto de tratamiento de lodos*.]

(*) De cumplirse Normativa de Vuelco en Cursos Receptores (Resolución Nº 1089/82).

Así, los **elementos del proyecto** para el tratamiento de lodos se resumen en:

- Proyecto arquitectónico y estructural de 2 Edificios de Tratamiento de Lodos, uno destinado a cada Etapa de la Planta.
- Dimensionamiento de los equipos a utilizar para tratar los lodos en dichos edificios.
- Trazado de la cañería de impulsión desde el tanque ecualizador hacia los Edificios de Tratamiento de Lodos para su tratamiento.
- Verificación del pavimento existente a través de una inspección ocular y proyecto de un tramo de pavimento rígido para el retiro de los lodos tratados mediante camiones que transportan contenedores.
- Predimensionamiento de las descargas de efluentes desde los Edificios de Tratamiento y verificación hidráulica de la red de drenajes de la Planta, en caso de volcarse los mismos en ella.

Cabe aclarar que no se incluye la verificación y/o dimensionamiento de los equipos y cañerías entre la salida del tanque ecualizador y las centrífugas, siendo esquemáticos los datos incluidos en los planos (no se detallan diámetros ni materiales de las conducciones).

Los Edificios de Tratamiento se emplazarán al este de la Cámara de Carga existente y el pavimento a proyectar se corresponde a la continuación de la Calle Nº2 (existente), destinado al acceso de los camiones a los edificios [Ver Plano **G1-GEN-001:** Plano de ubicacion general].

En el Anexo 14: *Imágenes del sector a intervenir* se incluyen imágenes de la zona a intervenir.

3.2 - Aspecto sanitario

Uno de los puntos importantes aquí es el contenido de sólidos típico que presenta el lodo al finalizar el tratamiento. Del mismo dependerá la alternativa de disposición a seleccionar, como puede observarse en la Tabla Nº1.

Residuo de planta de potabilización	Contenido de sólidos típico	Métodos de disposición final			
		Cursos de agua	Colectoras cloacales	Transporte por camiones	Aplicación en suelo
Agua de lavado de filtros	0,015 %	Aplicable	Aplicable a colectoras cloacales con suficiente capacidad hidráulica	Camiones cisterna de gran capacidad	No aplicable
Barro de sedimentadores y de la clarificación del agua de lavado de filtros	0,5 %	Aplicable a cursos de agua con velocidad de arrastre suficiente	Aplicable	Camiones cisterna	Requiere superficies extensas
Barro espesado	5,0 %	No aplicable	No aplicable	Camiones cisterna para lodos	Aplicable
Barro deshidratado	30,0 %	No aplicable	No aplicable	Camión volcador	Aplicable sobre suelo o disposición en relleno sanitario

Tabla Nº1 - *Características de los residuos de potabilización.*[13]

El destino final de los lodos deshidratados se analizará en 4.4.4.1. - Disposición final de lodos deshidratados, sin embargo, se buscó alcanzar el máximo contenido de sólidos posible (30%), para poder disponer los lodos en un relleno sanitario, la cual es la alternativa más usual en estos casos. De esta forma, se pueden utilizar camiones volcadores que recolecten y transporten los barros deshidratados ya procesados en la Planta. Las etapas que involucran el tratamiento de los lodos pueden incluir: espesamiento y/o deshidratación, los cuales se explican a continuación:

Espesamiento

Lodos generados en el proceso de decantación

Al emplear el sulfato de aluminio o policloruro de aluminio (PAC) como coagulante en el proceso de coagulación-floculación, los iones trivalentes de aluminio presentes reaccionan con iones oxhidrilo para formar Al(OH)3 (hidróxido de aluminio), formando los flocs que sedimentan en los decantadores Hifloc. Por tal motivo, el lodo correspondiente al hidróxido formado requiere un procesamiento para ser concentrado y deshidratado.

La etapa de espesamiento se logra en el mismo decantador Hi-Floc, sin necesidad de proyectar una etapa de concentración de lodos a la salida del tanque ecualizador, constituyendo una cualidad distintiva de la tecnología de decantadores de alta tasa. Los lodos retenidos tendrán una concentración suficiente como para ser enviados directamente al proceso de deshidratación, sin un espesamiento suplementario previo.

[13]ENOHSA. [s.f]. *Fundamentación. Capítulo IX: Tratamientos y disposición de residuos de Plantas de Potabilización y Reuso de Agua.*

El decantador HiFloc, marca registrada de Hidrosan Ingeniería S.A., consiste en un tanque circular de hormigón armado con un mecanismo barredor de fondo y cuenta con una tolva en el centro que permite recolectar los lodos espesados. Se caracteriza por la recirculación externa de lodos que promueve el crecimiento de los flocs formados. (Figuras Nº20, Nº21 y Nº22).

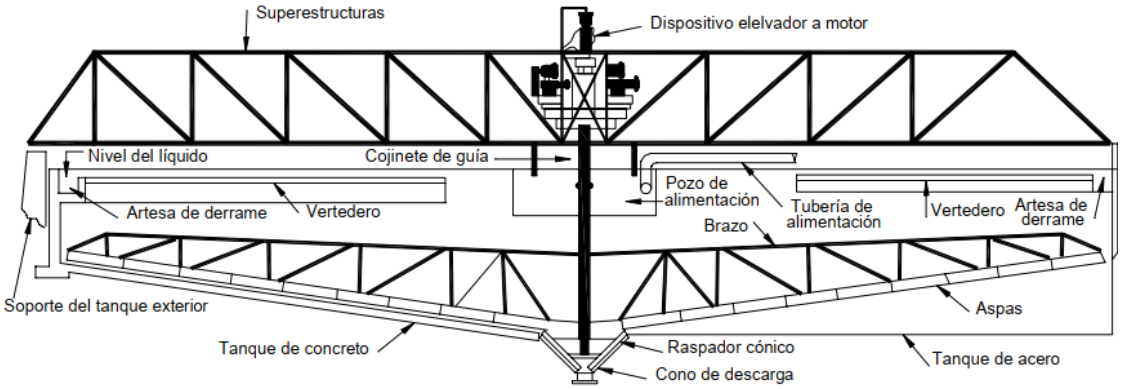


Figura Nº20 - *Espesador por gravedad. Corte transversal*[14]

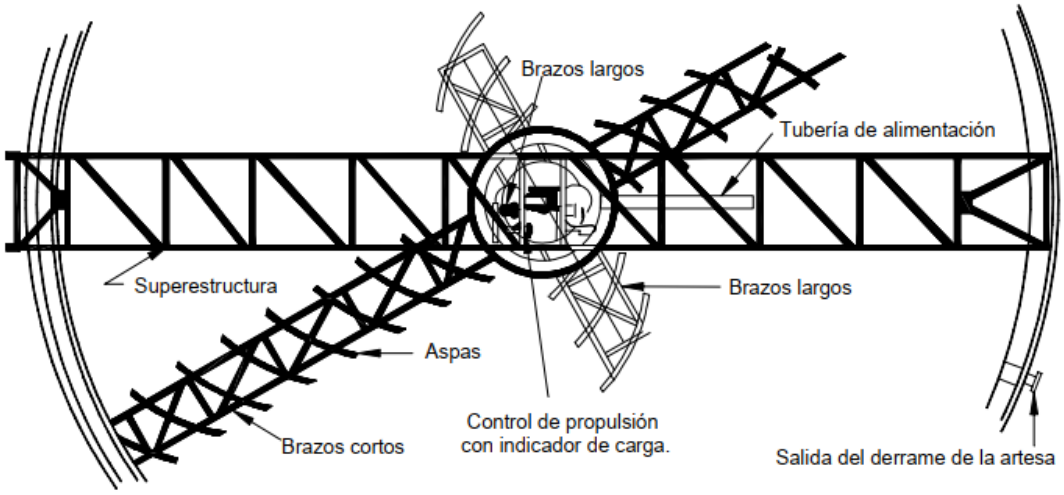


Figura Nº21 - *Espesador por gravedad. Vista superior*[15]

[14]Perry Robert. [1990]. *Manual del Ingeniero Químico, vol 5.*
[15]Ídem 14.

Figura Nº22 - *Espesador por gravedad correspondiente a uno de los decantadores Hifloc ejecutados en la Etapa I de la Planta Potabilizadora de Granadero Baigorria.*

Deshidratación

La deshidratación de lodos puede llevarse a cabo por medios naturales o por equipamiento mecánico. La deshidratación natural incluye los mecanismos de evaporación natural, percolación y drenaje del líquido libre. En general estos sistemas son más sencillos y fáciles de operar que los sistemas mecánicos. Sin embargo, requieren mayor disponibilidad de terreno, dependen de las condiciones climáticas y necesitan mucha mano de obra para su operación.

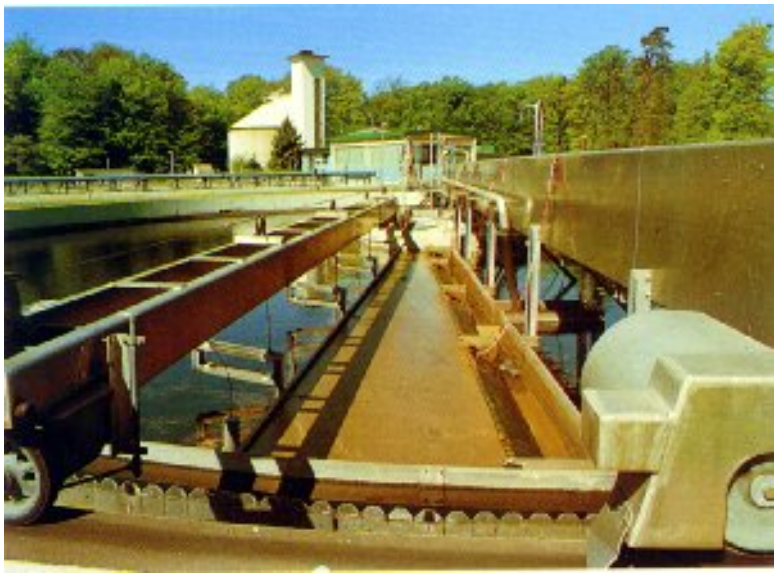


Figura Nº23 - Playa de deshidratación de lodos.

Otra alternativa es el uso de centrífugas**,** que son equipos que someten a los lodos a una fuerza centrífuga para separar los sólidos del líquido luego de alcanzar una velocidad de rotación elevada. Un esquema de una centrífuga con sus partes componentes se muestra en la Figura Nº24.

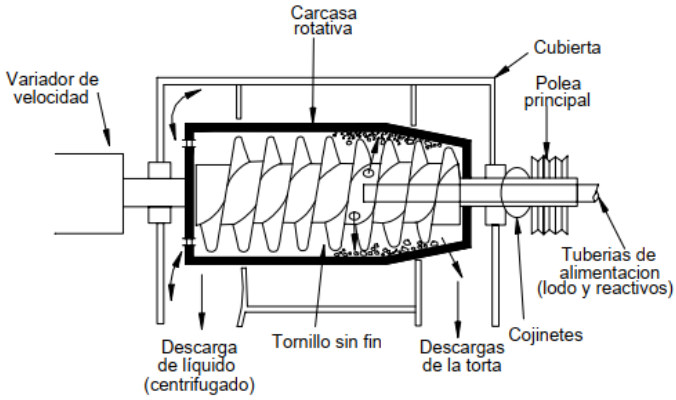


Figura Nº24 - *Esquema de una centrífuga.*[16]

Los sólidos que presentan una mayor velocidad de sedimentación se depositan en la pared del cilindro, mientras que los sólidos más finos se ubican en el centro. El agua sale como líquido de centrifugado mientras los sólidos, que presentan un determinado contenido de humedad menor al flujo de ingreso, se descargan mediante un tornillo transportador sin fin que gira junto con la centrífuga a una velocidad diferencial reducida.

Se propone entonces el uso de centrífugas para la deshidratación del lodo generado. Para esto se realiza el dimensionamiento de los equipos necesarios, como así también el trazado de las cañerías de impulsión necesarias para trasladar el lodo a cada una de las centrífugas.

Se adoptan:

- 3 centrífugas modelo i-DW 40 de la marca Alfa Laval.[17]

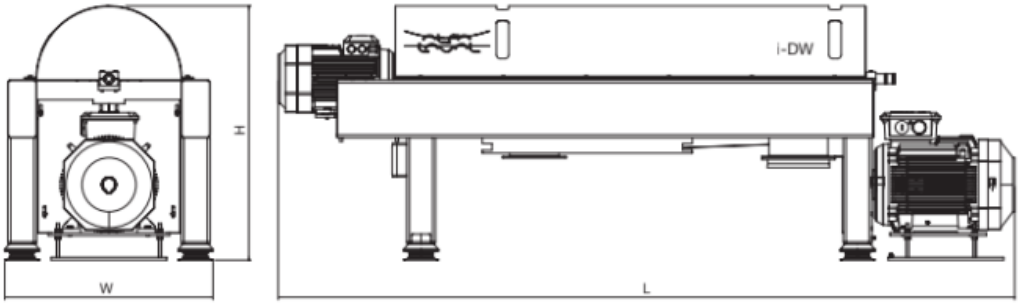


Figura Nº25 - *Centrífuga Alfa Laval i-DW 40.*

[16]Fundación MAPFRE. [1994]. *Manual de la Contaminación Ambiental.*

[17]Se adopta una marca específica sólo con fines académicos, dejando por sentado que se deberían especificar solamente los requerimientos que debería reunir el equipo, y quedando la marca sujeta a libre elección por parte del ejecutor.

3.3 - Aspecto arquitectónico y estructural

El proyecto incluye el diseño arquitectónico y estructural de un **edificio de tratamientos de lodos** para cada etapa (Etapas I y II), totalizando una cantidad de 2 (dos), cuya ubicación puede observarse en la Figura N°26:

Figura Nº26 - *Ubicación de los edificios proyectados.*

Se propone que cada edificio cuente con dos plantas y sea construido en hormigón armado, con una configuración estructural independiente de losas, tabiques, vigas, tolvas, columnas y fundación profunda, adecuándose al diseño de las obras ya ejecutadas.

Para comprender las partes que tiene el edificio, es necesario explicar brevemente las actividades que se realizan en el mismo: el lodo se transporta en estado bifásico desde el tanque ecualizador que los conduce con cañerías hasta el segundo piso del edificio de tratamiento, lugar donde se sitúan las centrífugas. Una vez que ingresan, la centrífuga los deshidrata y, como se ha mencionado anteriormente, se obtienen dos fases separadas: una predominantemente sólida y otra líquida. La primera se desecha en tolvas situadas debajo de cada máquina en el primer piso del edificio, las cuales proveen un almacenamiento temporal para luego vaciarse en contenedores situados en la planta baja. La segunda fase, en cambio, es encauzada al desagüe existente de la planta por no presentar características químicas de peligro. Además, al lado del edificio principal, se encuentra la Sala de Dosificación de Polímeros, donde se acondicionan los lodos con un polímero orgánico para facilitar su deshidratación. Éstos se almacenan en una sala específica y se inyectan en las centrífugas mediante una batería de tubos destinados a tal fin.

Para la deshidratación y acondicionamiento de los lodos correspondiente a una etapa, se prevé la ejecución de un edificio de una planta rectangular de aproximadamente 17 m x 10 m, que cuente con:

- Sala de centrífugas

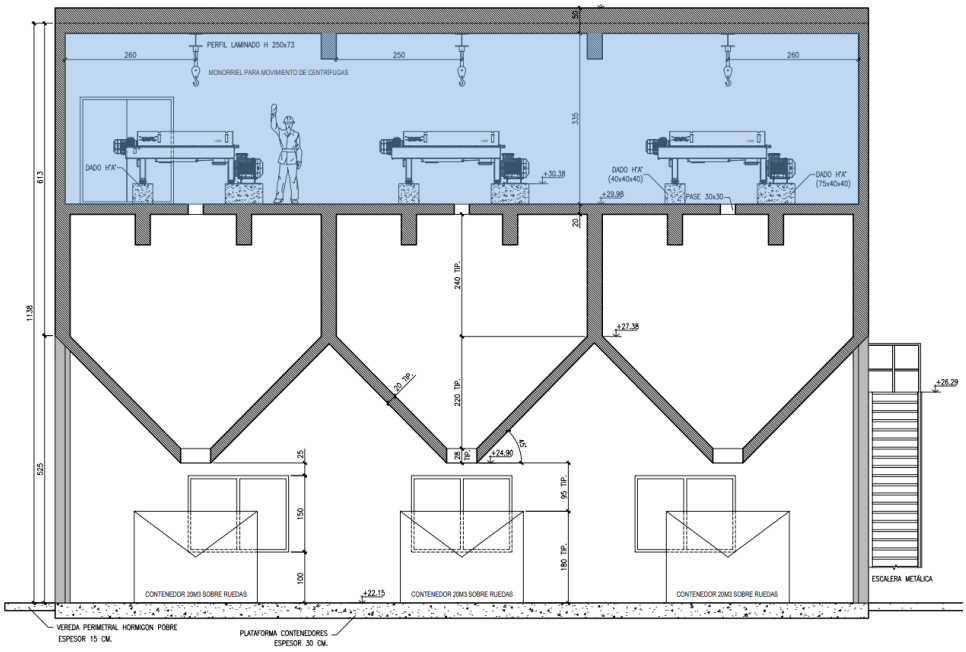


Figura Nº27 - *Ubicación de la sala de centrífugas en corte.*

- Silos de almacenamiento y tolvas de descarga

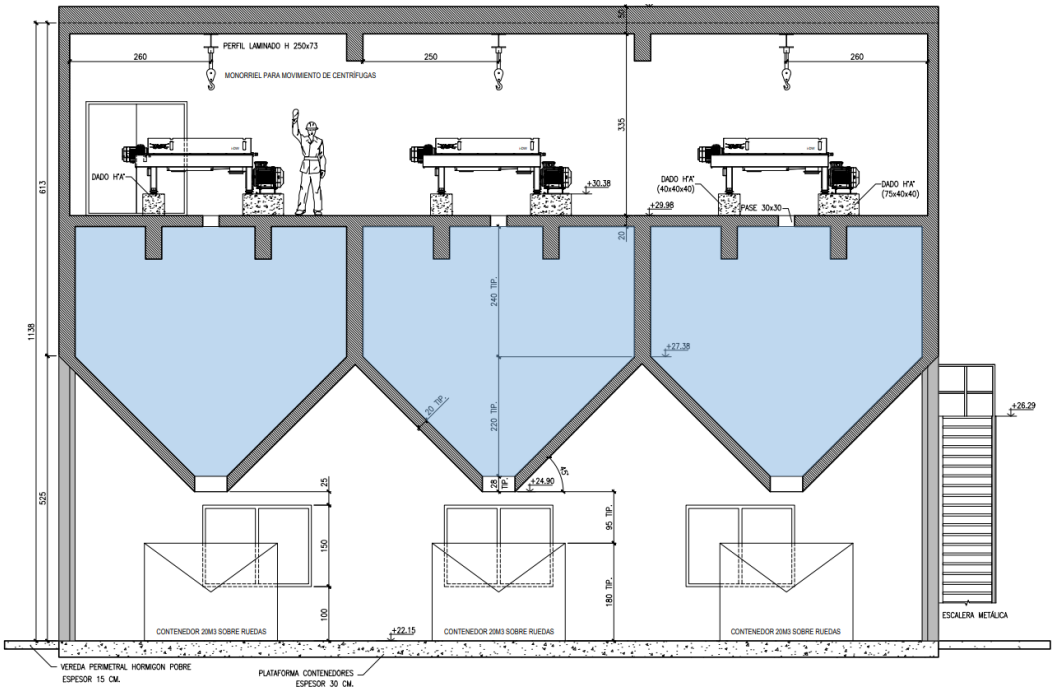


Figura Nº28- *Ubicación de los silos de almacenamiento y tolvas en corte.*

- Sala de contenedores

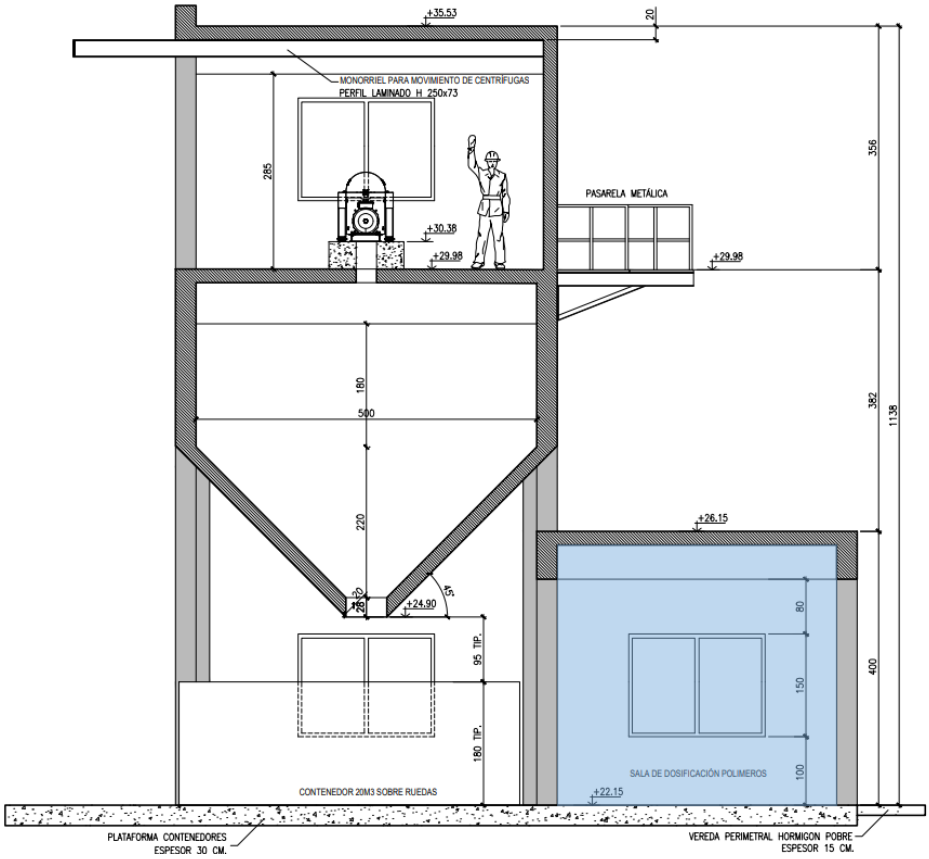


Figura Nº29 - *Ubicación de la sala de almacenamiento de polímeros en corte*

- Sala de almacenamiento de polímeros

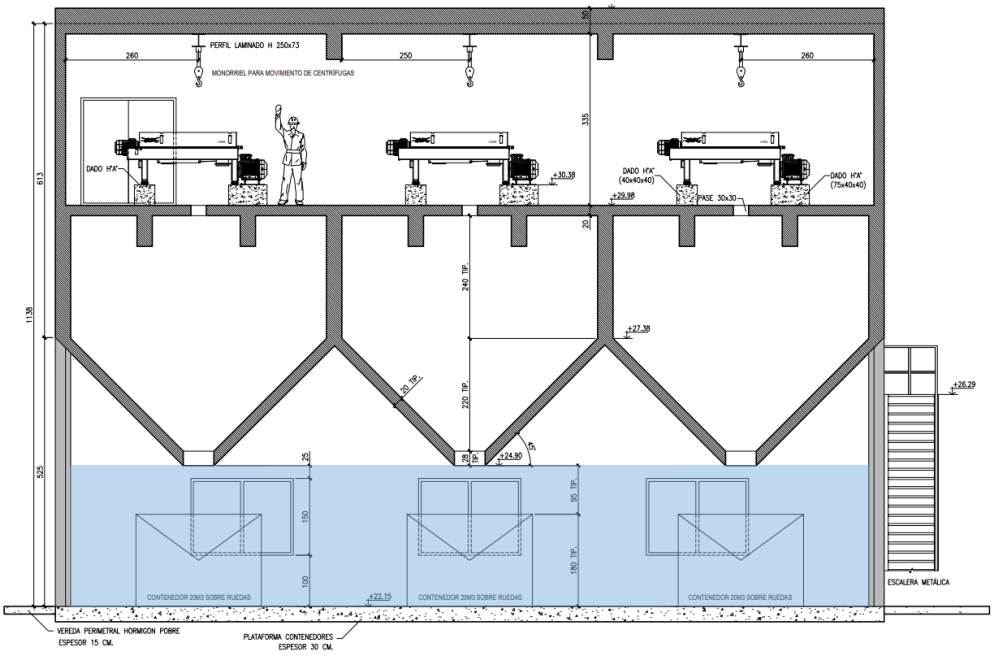


Figura Nº30 -U*bicación de las salas de contenedores en corte.*

Los planos de encofrado y arquitectura que se encuentran disponibles son:

- Planos de arquitectura

  G1-ARQ-001: Plantas y cortes de arquitectura.

  G1-ARQ-002: Fachadas de arquitectura. Detalle típico paquete de piso.

- Planos de encofrado

  G1-EN-001: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas y cortes de encofrado.

  G1-EN-002: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas de encofrado. Detalle típico de centrífuga.

  G1-EN-003: Edificio de tratamiento de lodos. Planta de fundaciones.

  G1-EN-004: Edificio de tratamiento de lodos. Detalle típico de fundación.

3.4 - Aspecto vial

El aspecto vial del proyecto contempla dos bloques de estudio, teniendo en cuenta por un lado una calle interna existente (Calle Nº2) y, por el otro, una calzada futura a proyectar con la proyección del flujo de camiones que se produce en la planta en completa operación, abarcando toda su vida útil.

El primero se basa en un estudio de la calzada existente, con la verificación geométrica correspondiente y la ejecución de una inspección ocular para inferir cuestiones relativas al estado superficial de la misma, llegando a una solución satisfactoria y de buenas condiciones.

Particularmente, en la verificación geométrica, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Vehículo de diseño
- Ancho de calzada
- Radios de esquina
- Radios de giro
- Sobreanchos en curvas
- Señalamiento horizontal

[Ver planos **G1-VIAL-001**: *Cotas del pavimento,* G1-VIAL-002: *Ingreso camiones,* **G1-VIAL-003:** *Salida de camiones,* **G1-VIAL-005:** *Maniobra de camiones*]

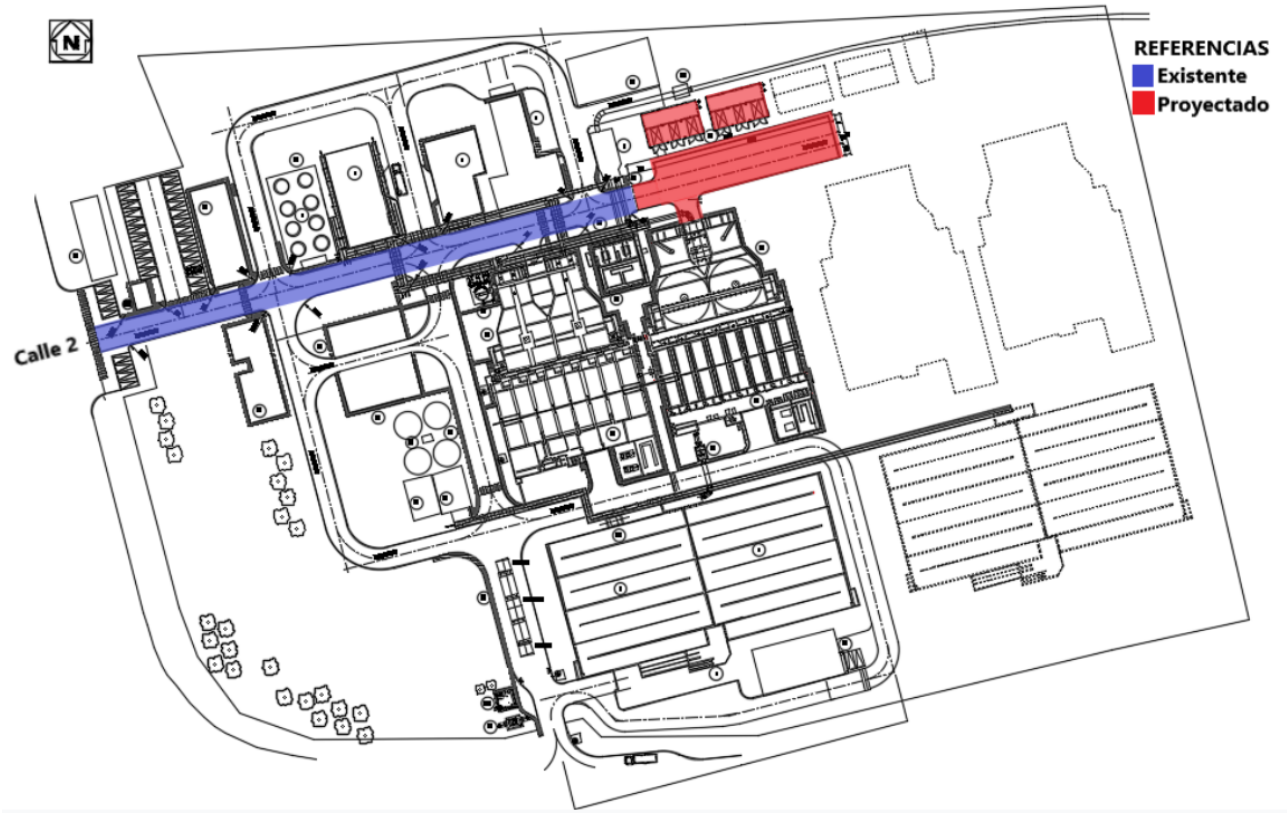


Figura Nº31 - *Calle Nº 2.*

En segundo lugar se diseña una ampliación de 60,9 m de longitud del pavimento rígido para asegurar una adecuada maniobrabilidad de los camiones a la hora de cargar los contenedores, cuya estructura queda definida como sigue:

1) Subrasante del lugar, escarificada y recompactada
2) Base de hormigón pobre calidad H-8 de 10 cm de espesor
3) Capa de rodamiento de hormigón simple calidad H-25 de 16 cm de espesor

En cuanto a la geometría, se presentan dos perfiles transversales con una pendiente transversal del 2% y con 7,00 y 12,00 m de ancho respectivamente, este último en correspondencia con la entrada a los edificios de tratamiento de lodos, sector donde se requiere mayor espacio para las maniobras de los camiones gancho.

El desarrollo del cálculo puede observarse en 4.3.3 - Diseño del paquete estructural y el plano correspondiente es **G1-VIAL-004:** *Diseño tramo de pavimento rígido*. Sector edificio de tratamiento de lodos.

3.5 - Aspecto ambiental

En el desarrollo del aspecto ambiental se explica y justifica la importancia del no vertimiento de los lodos deshidratados al Río Paraná, demostrando, además, con un relevamiento in situ la situación actual del vuelco.

También También se analizan los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por las Naciones Unidas en 2015, vinculando aquellos que se cumplen al recurrir al tratamiento de los lodos, siendo los principales Agua Limpia y Saneamiento, Ciudades y Comunidades Sostenibles, Producción y Consumo Sostenibles, Vida de Ecosistemas, Salud y Bienestar.

Luego, se analizan experiencias en tratamientos de lodos, principalmente en otros países donde se realiza una caracterización de los mismos y los cuales poseen normativa relacionada con el tema.

Habiendo analizado distintas experiencias, y debido a la falta de caracterización de los efluentes, se describen todas las posibles alternativas de aprovechamiento de los lodos deshidratados, cuya aplicación dependerá de la composición química de los mismos. Por su parte, la fase líquida compuesta fundamentalmente por agua, podrá ser encauzada en los conductos generales de desagüe existentes en la planta, o plantear un nuevo trazado de cañerías, si cumple con los límites de la Resolución Nº 1089/82; de lo contrario, se deberían proponer medidas para cumplir con lo establecido.

3.6 - Aspecto hidráulico

En este punto se trata el diseño y la verificación hidráulica de la línea de salida de los efluentes líquidos de las centrífugas, partiendo de la base de que dichos efluentes cumplen con los límites prefijados por la Resolución 1089/82 y pueden ser volcados en el desagüe general de la Planta.

3.6.1 - Red de drenajes de la Planta Potabilizadora

La Planta Potabilizadora cuenta con una red de drenajes existente, correspondiente a la Etapa I, que fue dimensionada para atender la circulación del agua de lavado de los filtros, desbordes de uno de los módulos y caudal de lluvia proveniente de áreas impermeables de la Planta. Además, en la Etapa II (actualmente en ejecución), se prevé la ampliación de dicha red de desagües adicionando nuevos tramos que atenderán lo correspondiente al Módulo de Tratamiento II (también en ejecución).

A partir de la información que puede obtenerse de los planos de proyecto de la Etapa II, se evidencia que no hay conexión alguna entre la red existente y la proyectada. La primera recibe la denominación de “Colector Nº1”, mientras que la segunda, “Colector Nº2”. Partiendo de esta base, en el presente proyecto sólo se intervendrá el Colector Nº 2.

3.6.2 - Descarga de los efluentes de las centrífugas a la red de drenajes de la Planta

En cada uno de los edificios de tratamiento, los efluentes provenientes de cada una de las tres centrífugas se concentran en un único caño de PVC Clase 10, el cual descarga en el Colector Nº2. Cada ramal cuenta con dos tramos:

- ➔ Edificio de Tratamiento de Lodos I:
  - ◆ Tramo 1: diámetro nominal 75mm. Desde la salida de la última centrífuga hasta la cámara de inspección Nº1.
  - ◆ Tramo 2: diámetro nominal 50mm. Desde la cámara de inspección Nº1 hasta la cámara de inspección Nº21, proyectada en la ampliación de la Etapa II.
- ➔ Edificio de Tratamiento de Lodos II:
  - ◆ Tramo 1: diámetro nominal 75mm. Desde la salida de la última centrífuga hasta la cámara de inspección futura Nº20.
  - ◆ Tramo 2: diámetro nominal 50mm. Desde la cámara de inspección futura Nº20 hasta la cámara de inspección Nº22, proyectada en la ampliación de la Etapa II

Este detalle puede observarse en el plano **G1-HID-003:** *Conexión descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta.*

3.6.3 - Verificación del tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta

Se realiza la verificación del tramo más crítico de la red de desagües proyectada en la Etapa II de la Planta Potabilizadora, considerando de manera conservadora el caudal de lodos húmedos provenientes del tanque ecualizador para la condición extrema. Se obtiene que este caudal representa un **15,70%** del caudal máximo que puede circular por el tramo crítico, considerando que el mismo trabaja a un 95% de su capacidad.

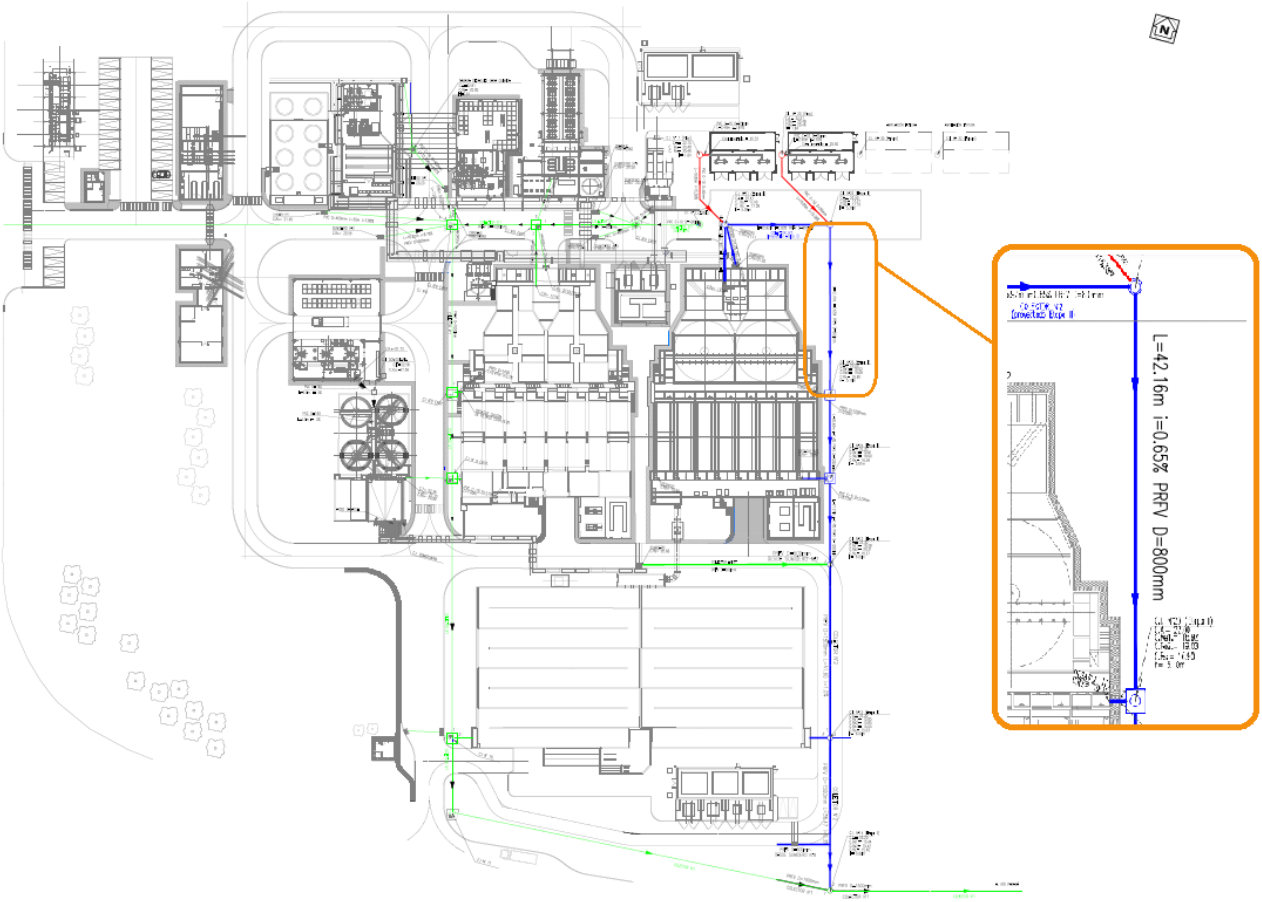


Figura Nº32 - *Tramo crítico de la red de desagües.*

Si bien no es un porcentaje despreciable, puede considerarse factible -desde el nivel de proyecto académico que reviste el presente informe- el aporte de las centrífugas a la red de drenajes ya proyectada para la Etapa II de la Planta, no debiéndose realizar modificaciones en ninguno de los tramos de cañerías.

[Ver Plano **G1-HID-003:** *Conexión descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta*.]

4 - MEMORIA DE CÁLCULO

La línea de tratamiento de lodos se plantea teniendo en cuenta la generación de lodos del proceso de decantación y de producción de agua de cal para la Etapa I y la Etapa II de la planta potabilizadora. A partir de la infraestructura existente y los datos de partida, se establecen y especifican las necesidades correspondientes para ambas etapas.

4.1 - Diseño sanitario

En base a un relevamiento realizado in situ, se encuentra que no hay suficiente espacio en el predio destinado para las Etapas I y II como para proyectar lagunas (deshidratación natural), por lo que se opta por un sistema mecánico, el que resulta más compacto.

4.1.1 - Infraestructura existente y datos de partida

En base a lo mencionado en el punto 3.1 - Elementos del proyecto, los barros provenientes del proceso de potabilización y estabilizadores de cal son unificados en un tanque ecualizador, el cual ya contempla los lodos producidos en las Etapas I y II.

Figura Nº33 - *Tanque ecualizador existente destinado a la mezcla de lodos de cal y los generados en el proceso de decantación.*

La empresa chilena *Hidrosan Ingeniería S.A.* ha desarrollado una *Memoria Descriptiva y Cálculos de Lodos* para la obra de la Etapa I de la Planta Potabilizadora (etapa en funcionamiento), a la que se ha podido acceder por cortesía de la empresa, en la cual se han determinado masas y volúmenes de los lodos producidos, tanto aquellos provenientes del proceso de decantación como los originados en la producción de agua de cal. Estos han servido en la ejecución de la Etapa I como base para el dimensionamiento del bombeo de los barros hacia el tanque, como así también para determinar el volumen del tanque y la capacidad de las bombas que actualmente impulsan los lodos desde este último hacia el río.

Para ello, en la ingeniería desarrollada han considerado 2 escenarios:

- **Condiciones normales** de trabajo, considerando una turbiedad del agua cruda dentro de los valores normales.
- **Condiciones extremas** de trabajo, suponiendo un escenario de mayores turbiedades que la media y, en consecuencia, mayor generación de lodos.

Cabe mencionar que ambos tipos de lodos son bombeados al tanque ecualizador por 3 bombas que funcionan en un esquema 2+1 en condiciones normales y en un esquema 3+0 en condiciones extremas, respectivamente. Luego, desde el tanque ecualizador nacen tres bombas que actualmente realizan el envío al río en un esquema de 2 + 1 en condiciones normales y 3 + 0 en condiciones extremas. Cada bomba cuenta con un medidor de caudal, y los lodos concurren a un manifold de impulsión, desde donde parte un caño de PEAD de 200 mm hacia el río Paraná.Cada bomba cuenta con un medidor de caudal, y los lodos concurren a un manifold de impulsión, desde donde parte un caño de PEAD de 200 mm hacia el río Paraná.

En este sentido, la determinación de los caudales requeridos por cada bomba de impulsión al río resultan importantes, ya que serán de utilidad a la hora del dimensionamiento del sistema de tratamiento de lodos posterior. Los mismos resultan:

- En condiciones normales: **12.5 m3/h por bomba**
- En condiciones extremas: **20.1 m3/h por bomba**

Todos los cálculos se anexan en Anexo 2: *Masas y volúmenes de lodos*, y los valores de masas y volúmenes de lodos, así como también los caudales de bombeo de cada etapa, se resumen en la Tabla Nº2.

LODOS								BOMBAS AL TANQUE		TANQUE ECUALIZADOR		BOMBAS AL RÍO	
Condiciones	Proceso de generación	Masa generada [kg/d]	Masa diseño [kg/d]	Masa total [kg/d]	Volumen generado [m3/d]	Volumen diseño [m3/d]	Volumen total [m3/d]	Tiempo de funcionamiento [h]	Caudal por bomba por etapa [m3/h]	Tiempo de retención [min]	Caudal de llegada total [m3/h]	Cantidad de bombas funcionando	Caudal por bomba [m3/h]
Normales	Línea de potabilización	21.000	23.100	24.700	420	462	500	20	11,55	30	46,20	2	12,50
	Saturadores de cal	1.188	1.600		37	38			1,90		3,80		
	Relación cal/total	5,35%											
Extremos	Línea de potabilización	67.500	67.500	71.532	1.350	1.350	1.446	24	28,13	15	112,50	3	20,08
	Saturadores de cal	3.958	4.032		96	96			4,00		8,00		
	Relación cal/total	5,54%											

Diseño del tanque ecualizador	Caudal total de llegada [m3/h]	50
	Volumen requerido [m3]	25
	Volumen de diseño [m3]	30

Tabla Nº2 - *Masa y volúmenes de lodos generados.*

4.1.2 - Cañería y bombas de impulsión

El tanque ecualizador de lodos existente tiene como propósito la mezcla constante de lodos mediante un agitador mecánico, para homogeneizar los provenientes del proceso de decantación y de la producción de agua de cal. Para transportar dichos lodos a las centrífugas, se prevén tres (3) bombas con sus respectivas cañerías de impulsión para cada etapa (constituyendo un total de 6 bombas + cañerías independientes para las Etapas I y II). Como se mencionó anteriormente, en este proyecto no se incluye el dimensionamiento de los equipos y cañerías entre la salida del tanque ecualizador y las centrífugas.

A nivel de anteproyecto, se propone que un tramo del trazado se haga por debajo del terreno natural hasta el encuentro con una trinchera, obra civil existente y destinada al pasaje de distintos tipos de cañerías. A partir de allí, las cañerías de impulsión de lodos seguirán camino por las trincheras, topándose con un tabique de cierre al sur de la cámara de carga, y continuarán camino dentro del estrato de suelo hasta alcanzar el perímetro del edificio de tratamiento correspondiente.

Llegado este punto, los caños emergerán desde el suelo apoyándose en el muro de cierre del edificio para llegar a la planta alta, ingresar al edificio y acometer a cada una de las centrífugas.

La ubicación de las bombas y el trazado de las cañerías en planta puede consultarse en el plano **G1-HID-001:** *Bombas de impulsión de lodos desde tk ecualizador a centrífugas.*.

4.1.3 - Dimensionamiento de centrífugas

De acuerdo a lo expuesto en <u>4.1.1 - Infraestructura existente y datos de partida</u>, en el Anexo 2: *Masas y volúmenes de lodos* se tienen explicitados los cálculos realizados para la determinación del caudal que impulsan actualmente las bombas desde el ecualizador al río. Dicho caudal se convertirá entonces en el caudal de llegada a las centrífugas.

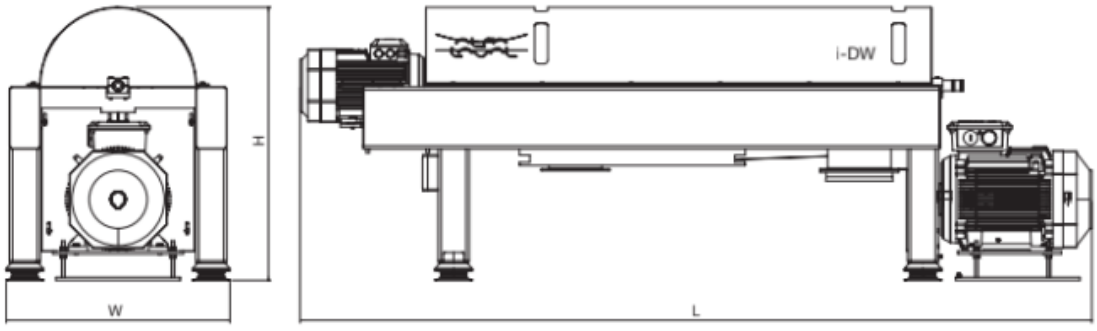
Los caudales de llegada a cada una de las centrífugas serán entonces:

- En condiciones normales: 12,50 m3/h
- En condiciones extremas: 20,08 m3/h

Se propone la utilización de centrífugas de la firma *Alfa Laval*, o similar, marca de referencia utilizada en obras similares como la Planta Potabilizadora del Acueducto Reconquista, y a partir de analizar capacidades en su ficha técnica (Figura N°34), se decide adoptar tres centrífugas tipo i-DW 40, o similar, en un sistema 2+1 para condiciones de funcionamiento normales (12.5 m3/h por centrífuga) y 3+0 para condiciones de funcionamiento extremas (20.1 m3/h por centrífuga), pudiendo así satisfacer ambas demandas. El sistema 2+1 consiste en dos centrífugas que funcionan constantemente y la tercera funcionará únicamente en condiciones extremas (3+0). Por cuestiones de mantenimiento, se alternará el trabajo de las tres bombas, garantizando que dos se encuentren activas constantemente.

De esta forma, se compatibiliza la cantidad de centrífugas y el esquema de funcionamiento con la cantidad de bombas de impulsión a la salida del tanque ecualizador. Así, cada bomba queda dedicada a una centrífuga.

Las especificaciones técnicas y los beneficios de la centrífuga seleccionada se detallan a continuación.



Technical specifications

Model	i-DW 40
Capacity	10-25 m³/h
Dimensions (L x W x H)	3,057 X 870 x 1,016 mm
Weight	Approx. 1,200 kg
Main speed	3,400 rpm
Main drive motor	18.5-30 kW
Back drive generator	5.5 kW

Figura Nº34 - *Especificaciones centrífuga Alfa Laval i-DW 40.*

Los equipos centrífugos deshidratan los lodos dejándolos con un porcentaje de humedad remanente, ya que no resultaría posible separar sólidos y líquidos con un porcentaje de eficiencia del 100%. En este sentido, finalizado el proceso de deshidratación se tendrán dos residuos a la salida de las centrífugas: sólidos con un porcentaje de humedad (inferior al de los lodos de ingreso) y un efluente con las características de un agua clarificada.

La cantidad de sólidos y de agua salientes son los determinados en el Anexo 3: *Sólidos y agua saliente de las centrífugas*. A continuación, se resaltan los valores principales:

- **Volumen total de lodo deshidratado saliente por las centrífugas**: **229 m3/d**
- **Volumen total de agua saliente por las centrífugas**: **1.217 m3/d**
- **Volumen de lodo deshidratado saliente por cada centrífuga**: **3,18 m3/h**

4.2 - Aspecto arquitectónico y estructural

4.2.1 - Ubicación

Se prevé que los edificios de tratamiento de lodos se ubiquen al norte del módulo de tratamiento correspondiente a la Etapa II, y al este de la cámara de carga, según se muestra en el plano G1-GEN-003.

4.2.2 - Relevamiento topográfico

En base a la ubicación planteada, se llevó a cabo un relevamiento topográfico in situ con estación total con el objetivo de conocer cotas de terreno natural y ubicación de hechos existentes que pudieran interferir con los edificios proyectados. El mismo puede consultarse en el plano **G1-TOP-001:** *Relevamiento topográfico. Sector edificio de tratamiento de lodos.*

Como cota de terreno natural para el proyecto arquitectónico y estructural, se adopta **+22.56**, valor medio de las cotas de una serie de puntos representativos tomados sobre el sector.

4.2.3 - Diseño arquitectónico

Para la deshidratación y acondicionamiento de los lodos correspondiente a una etapa, se prevé la ejecución de un edificio de una planta rectangular de aproximadamente 17 m x 10 m, que cuente con:

- Sala de centrífugas
- Silos de almacenamiento y tolvas de descarga
- Sala de contenedores
- Sala de almacenamiento de polímeros (estos últimos son utilizados como aditivos para los equipos en el centrifugado)

Para la descarga de los lodos deshidratados se decide utilizar tolvas, debiéndose realizar la edificación en dos pisos. A su vez, existe una segunda alternativa de descarga, la cual sería la

implementación de una cinta transportadora en un solo nivel, solución difundida en otras plantas potabilizadoras de menor tamaño. Si bien la solución adoptada implica un aumento en los costos estructurales para resistir las cargas dinámicas de los equipos, la cinta transportadora requiere un mayor mantenimiento durante su operación. Por lo tanto, se justifica la mayor inversión inicial al momento de la construcción del edificio de dos plantas, para evitar futuros problemas durante la vida útil del edificio de tratamiento.

La zona donde se proyecta emplazar los edificios se puede observar en el Anexo 14: *Imágenes del sector a intervenir*.

4.2.3.1 - Dimensiones y distribución

Las dimensiones se determinan de acuerdo al uso correspondiente de cada una de las partes componentes del edificio. En todos los casos se busca optimizar y asegurar un correcto uso y desplazamiento de las personas dentro del mismo.

- *Sala de centrífugas* → sus dimensiones en planta son aproximadamente 16mx5m. La misma cuenta con tres monorrieles, uno correspondiente a cada centrífuga, para facilitar la colocación y/o remoción de los equipos. Estos últimos son ingresados y/o retirados con la apertura de portones corredizos ubicados al frente del edificio. El acceso a este espacio se logra mediante una escalera metálica ubicada en el exterior del edificio, continuando la línea de diseño de los edificios existentes en la planta.

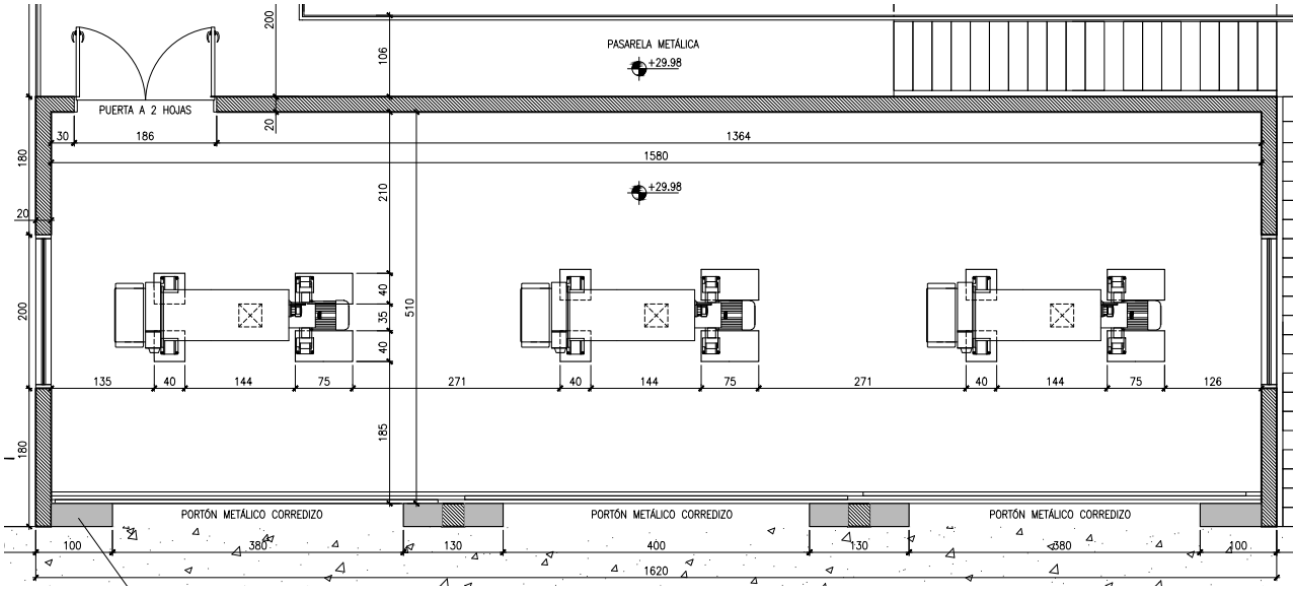


Figura Nº35 - *Sala de centrífugas.*

- *Silos de almacenamiento* → sus dimensiones se determinan a partir del volumen a contener, considerando como máximo un día de permanencia de los sólidos. Considerando que en

condiciones extremas se descarga un caudal total de sólidos equivalente a 229 m3/d, y recordando que se dispone de 3 centrífugas funcionando simultáneamente, entonces:

Caudal de sólidos por centrífugas Q: (229 m3/d / 24 hs/d) / 3 = **3,18 m3/h**

Se propone que cada uno de los silos tenga dimensiones en planta de 5,00m x 5,00m. De esta forma, se tiene:

[3,18 m3/h / (5,00m x 5,00m)] x 24 h = **3,05m**

Se adopta como diseño una altura de **3,50 m**, medida desde el punto medio de la tolva.

- *Tolvas de descarga* → debajo de las tolvas debe haber espacio suficiente para el ingreso de los operarios y de contenedores sobre ruedas de 20m3 para retirar los sólidos. Se propone, entonces, que desde el borde inferior de las tolvas hasta el nivel de piso terminado haya 2.75m. Además, se respeta un ángulo de 45° para las mismas, de manera tal de asegurar el correcto vaciado de las mismas.

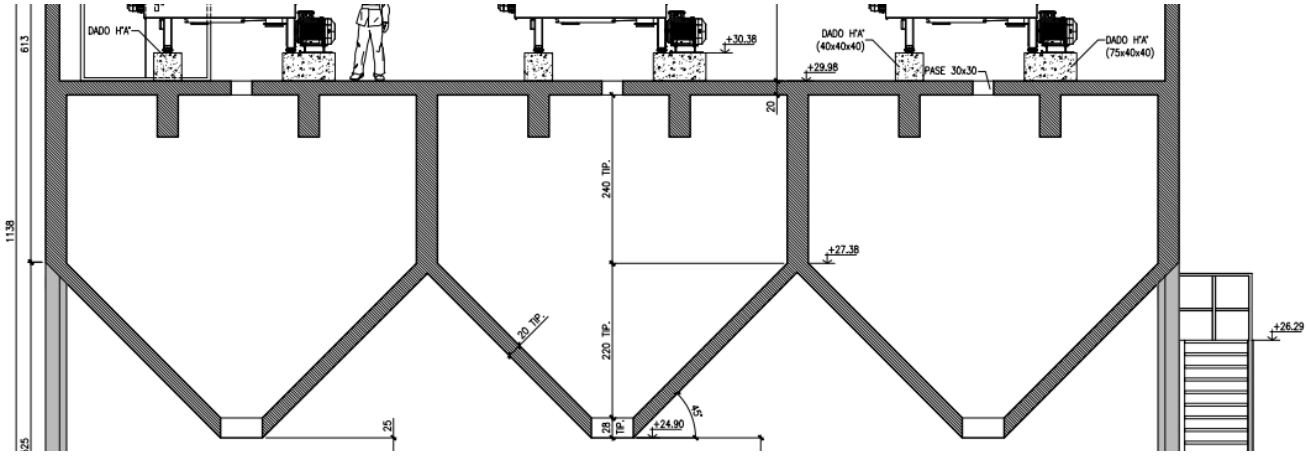


Figura Nº36 - *Silos de almacenamiento y tolvas.*

- *Sala de contenedores* → sus dimensiones son tales que permiten el correcto ingreso y salida de los contenedores, para su posterior traslado mediante camiones. Cuenta con tres portones metálicos de dos hojas, uno correspondiente a cada contenedor.

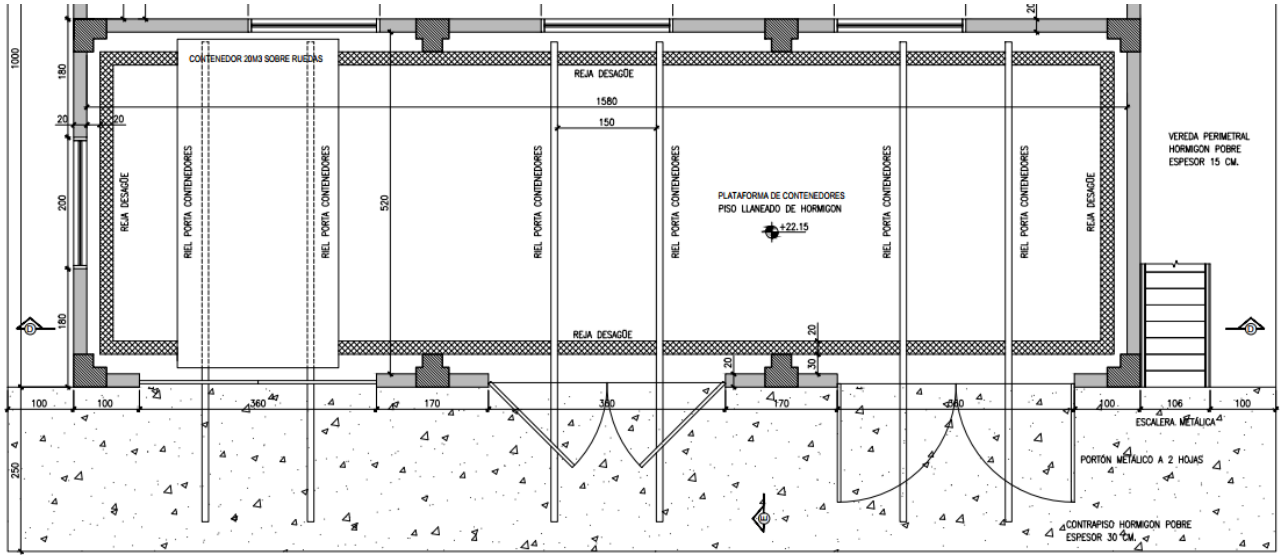


Figura Nº37 - *Sala de contenedores.*

- *Sala de almacenamiento de polímeros* → su uso es para el acopio de material y ubicación de bombas dosificadoras de polímeros. Se consideran las dimensiones necesarias para lograr en un futuro la correcta ejecución de dichas tareas.

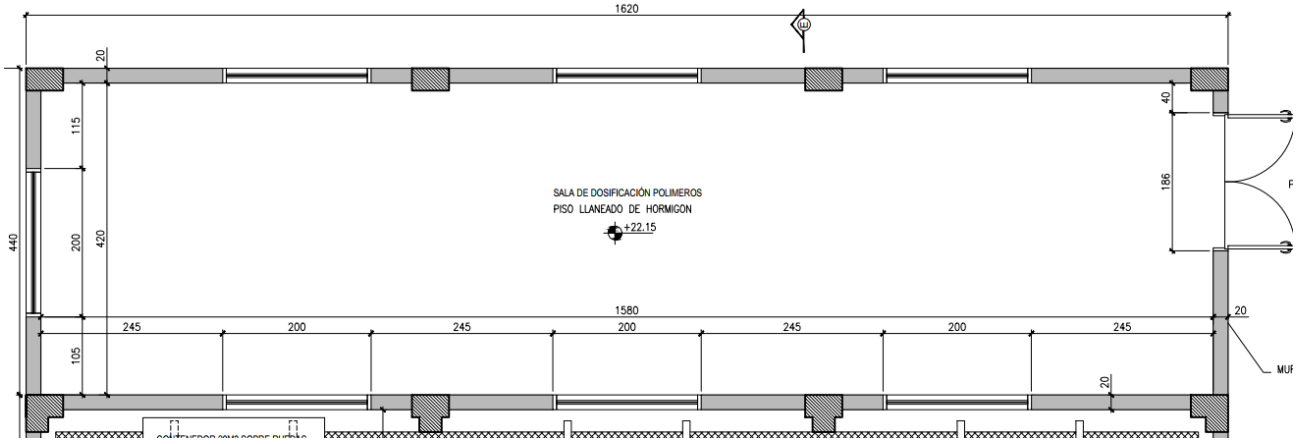


Figura Nº38 - *Sala de centrífugas.*

Los planos de arquitectura que se encuentran disponibles son: **G1-ARQ-001:** *Plantas y cortes de arquitectura* y **G1-ARQ-002:** *Fachadas de arquitectura. Detalle típico paquete de piso..*

4.2.3.2 - Materialidad y terminaciones

- Elementos estructurales de hormigón armado
- Tabiques divisorios no estructurales de mampostería de ladrillos huecos
- Solados de hormigón llaneado de 2 cm, con previo contrapiso de hormigón pobre de 10 cm

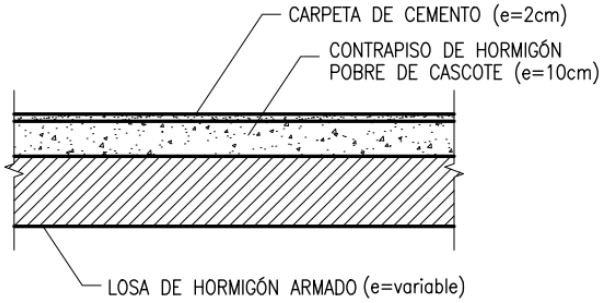


Figura Nº39 - *Paquete estructural típico.*

- Aberturas de PVC
- Terminación de paredes exteriores de hormigón a la vista con franjas de pintura de tres tonos marrones, respetando el sello distintivo de A.S.S.A en la Planta de Baigorria

Figura Nº40 - Terminación exterior de los edificios existentes *en la Planta Potabilizadora de Baigorria.*

4.2.4 - Diseño estructural

En cuanto al diseño estructural, como se mencionó anteriormente, se proyecta un sistema convencional de losas, tabiques, vigas, tolvas, columnas y fundaciones profundas. Se diseñan las geometrías básicas de cada elemento, analizando algunos de los más solicitados y considerando esquemas estructurales sencillos y conocidos, para finalmente realizar un cálculo de solicitaciones, armaduras y cuantías volumétricas.

A continuación, se enumeran todas las consideraciones en las que se basa el diseño y dimensionamiento.

4.2.4.1 - Hipótesis de materiales

Todos los elementos estructurales se basan en un análisis elástico lineal, sin considerar plastificaciones ni efectos de segundo orden. Se consideran los siguientes materiales:

- Hormigón H-30
  - Peso específico $\gamma = 25\ KN/m^3$
  - Resistencia característica $f'c = 30\ MPa$
  - Módulo de elasticidad $E = 4700\sqrt{f'c}$
- Acero ADN 420
  - Peso específico $\gamma = 78.50\ KN/m^3$
  - Tensión de fluencia $fy = 420\ MPa$
  - Resistencia a la tracción $fu = 500\ MPa$
  - Módulo de elasticidad $E = 200000\ MPa$
- Suelo: las propiedades se encuentran en el Anexo 4: *Estudio de suelos*[18], a continuación se adjuntan las propiedades más importantes:

PROFUNDIDAD (m)	Capacidad de Punta (kg/cm^2)	Capacidad por fricción lateral (kg/cm^2)	Coef. de Balasto Horizontal (kg/cm^3)	Cohesión (kg/cm^2)	Fricción (º)	Densidad (kg/dm3)
0,00 m a 3,00 m	----	0,43	110/B(cm)	0,56	18	1,85
3,00 m a 5,50 m	----	0,24	35/B(cm)	0,35	9	1,85
5,50 m a 8,50 m	5,80 - 7,30 (*)	0,42 - 0,61 (*)	125/B(cm)	0,54	17	1,85
8,50 m a 15,00 m	9,0 - 14,00 (*)	0,72 - 0,96 (*)	140/B(cm) - 190/B(cm) (*)	0,59	20	1,85

Tabla Nº3 - *Resumen de propiedades del suelo según.*

4.2.4.2 - Normativas

El cuerpo básico de normas a utilizar será:

- CIRSOC 101/2005 - Cargas permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.
- CIRSOC 102/2005 - Acción del viento sobre las construcciones.
- CIRSOC 201/2005 - Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón
- ACI 313-16 - Design Specification for Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials.

[18]Estudio de suelos facilitado sólo para uso académico por parte de las empresas Werk Constructora S.R.L. e Hidrosan Ingeniería S.A.

4.2.4.3 - Estados de carga

En este apartado, se enumeran los estados de carga genéricos utilizados para realizar el dimensionamiento de los diversos elementos estructurales presentes en el proyecto. Ellos son:

- **Cargas permanentes (D)**
  - Peso propio de las estructuras resistentes de hormigón armado ($\gamma = 25\ KN/m^3$)
  - Peso propio contrapisos ($\gamma = 16\ KN/m^3$)
  - Peso propio hormigón llaneado ($\gamma = 21\ KN/m^3$)
  - Peso propio lodo ensilado ($\gamma = 10.40\ KN/m^3$)
  - Centrífuga ($1.20\ KN$)
- **Cargas vivas (L)**
  - Sobrecargas de uso en losa sobre sala de centrífugas ($0.60\ KN/m^2$)
  - Sobrecargas de uso en losa sobre silo ($3.00\ KN/m^2$)
  - Sobrecargas de uso en losa sobre sala de dosificación de polímeros ($3.00\ KN/m^2$)
  - Compatibilización de cargas dinámicas en estáticas de los equipos mecánicos, como centrífugas y monorrieles, considerando un 50%[19] de su peso con un estado de sobrecarga.
- **Carga de viento (W)**
  - Estados de viento → a continuación se presentan las hipótesis de cálculo utilizadas para la obtención del valor de la carga de viento.
    - Edificio parcialmente cerrado (GCpi=±0.55) ubicado en Rosario
    - Categoría IV
    - Exposición C
    - Factor de ráfaga G=0.85
    - Factor de direccionalidad Kd=0.85
    - Factor de importancia I=1.15
    - Factor topográfico Kzt=1

[19] INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 101. Capítulo 4: Sobrecargas de diseño. Apartado 4.8.1*

A continuación, se adjuntan esquemas con las presiones resultantes en dos direcciones analizadas:

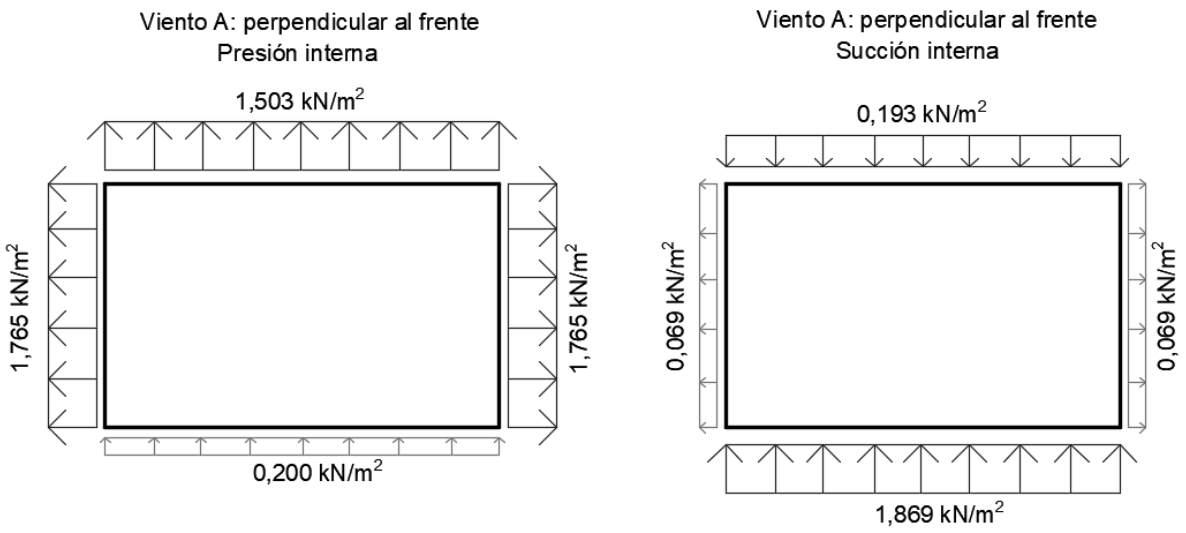


Figura Nº41 - Vista en planta. *Presiones resultantes debido al "Viento"*

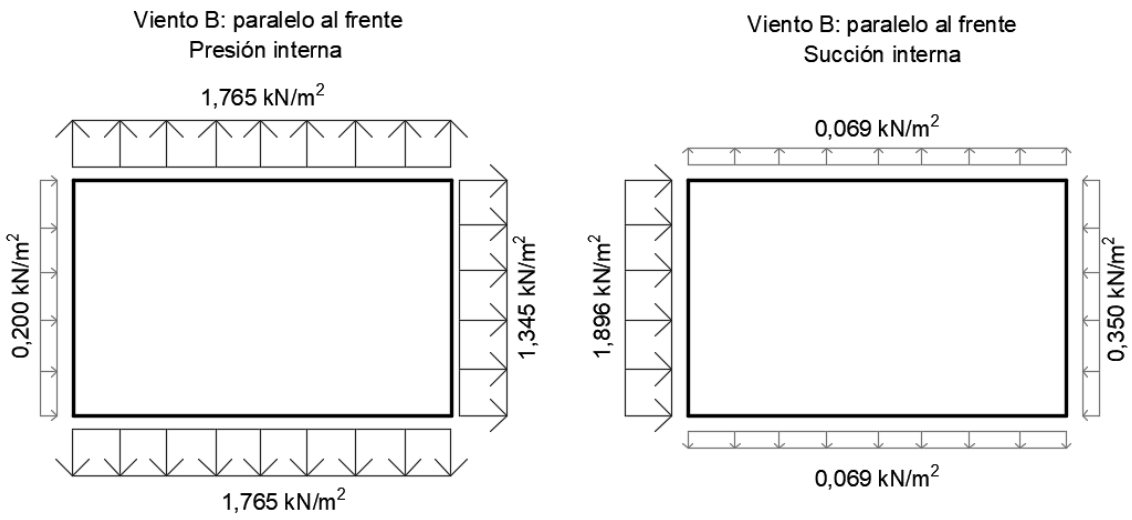


Figura Nº42 - Vista en planta. *Presiones resultantes debido al "Viento B".*

En el Anexo 5: *Análisis de carga* se detallan las cargas permanentes y sobrecargas correspondientes a todos los elementos. Mientras que en el Anexo 6: *Cargas de viento* se encuentra detallado la obtención analítica de las mismas.

4.2.4.4 - Combinaciones de carga

Siendo los estados de cargas básicos:

- D
- L
- W

Para los estados límites de servicio (E.L.S) se considera:

- S1) D+L
- S2) D+L+W
- S3) W

Para los estados límites últimos (E.L.U) se considera:

- U1) 1.4D
- U2) 1.2D+1.6L
- U3) 1.2D+1.6L+W
- U4) 0.9D+1.6W
- U5) 1.2D+1.6W+0.5L

4.2.4.5 - Deformaciones admisibles

Se incluyen a continuación los valores de deformaciones admisibles consideradas para cada elemento estructural.

Flechas verticales

- L/500 para las vigas.
- Para las losas, según su configuración estructural, se obtienen los valores admisibles de flechas en la tabla 9.5.b. del CIRSOC 201-2005.

Tipo de elemento	Deformaciones (Flechas) a considerar	Deformación (flecha) límite
❑ Cubiertas planas que ***no soportan ni están unidas*** a elementos no estructurales que puedan sufrir daños por grandes flechas	***Flecha instantánea debida a la sobrecarga L***	$\frac{\ell}{180}$ (*)
❑ Entrepisos que ***no soportan ni están unidos*** a elementos no estructurales que puedan sufrir daños por grandes flechas	***Flecha instantánea debida a la sobrecarga L***	$\frac{\ell}{360}$
❑ Cubiertas o entrepisos que ***soportan o están unidos*** a elementos no estructurales que pueden sufrir daños por grandes flechas	***Parte de la flecha total*** que ocurre después de la construcción de los elementos no estructurales, o sea, la suma de las flechas a largo plazo debidas a las cargas de larga duración y las flechas instantáneas que ocasiona cualquier sobrecarga adicional (***)	$\frac{\ell}{480}$ (**)
❑ Cubiertas o entrepisos que ***soportan o están unidos*** a elementos no estructurales que ***no*** pueden sufrir daños por grandes deformaciones (flechas)		$\frac{\ell}{240}$ (****)

Figura Nº43 - Flecha vertical para losas.[20]

[20]INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 201. Capítulo 9: Requisitos de Resistencia y Comportamiento en Servicio. Tabla 9.5.b*

Flechas horizontales

Para esta situación, los valores que establece Reglamento CIRSOC 301 Apéndice L (Figura Nº44) la flecha máxima es:

- $\Delta_{Max} = H/300$

Desplazamiento lateral (d)	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	$H_T/300$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_P/400$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_P/300$

Figura Nº44 - Flecha horizontal.[21]

4.2.4.6 - Análisis estructural

4.2.4.6.1 - Desplazamiento horizontal global

Para determinar el desplazamiento horizontal del edificio se realizan las siguientes simplificaciones: considerando la sección transversal del edificio (según el viento analizado), se reparte la carga horizontal de igual manera en todas las columnas, las cuales se suponen biempotradas, y el tabique superior es un rígido que solo se desplaza.

La acción horizontal a tener en cuenta es la resultante entre la actuante en la pared a barlovento y la pared a sotavento; en el otro sentido, las acciones en las paredes laterales se autocompensan.

$$Viento\ A,\ presión\ interna: \left(1,503\frac{kN}{m^2} + 0,200\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 16,2m = 27,59\frac{kN}{m}$$

$$Viento\ A,\ succión\ interna: \left(1,869\frac{kN}{m^2} - 0,193\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 16,2m = 27,15\frac{kN}{m}$$

$$Viento\ B,\ presión\ interna: \left(1,345\frac{kN}{m^2} + 0,200\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 10m = 15,45\frac{kN}{m}$$

$$Viento\ B,\ succión\ interna: \left(1,896\frac{kN}{m^2} + 0,350\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 10m = 15,46\frac{kN}{m}$$

[21]INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 301. Apéndice L: Proyecto para Condiciones de Servicio. Tabla A-L.4.1*

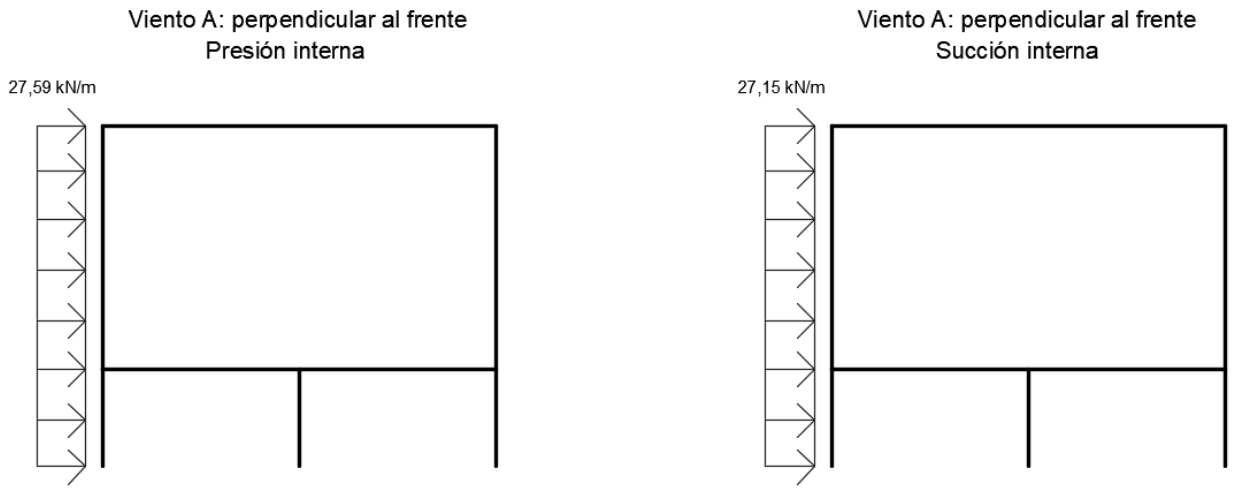


Figura Nº45 - Vista en corte. *Acción resultante del "Viento A".*

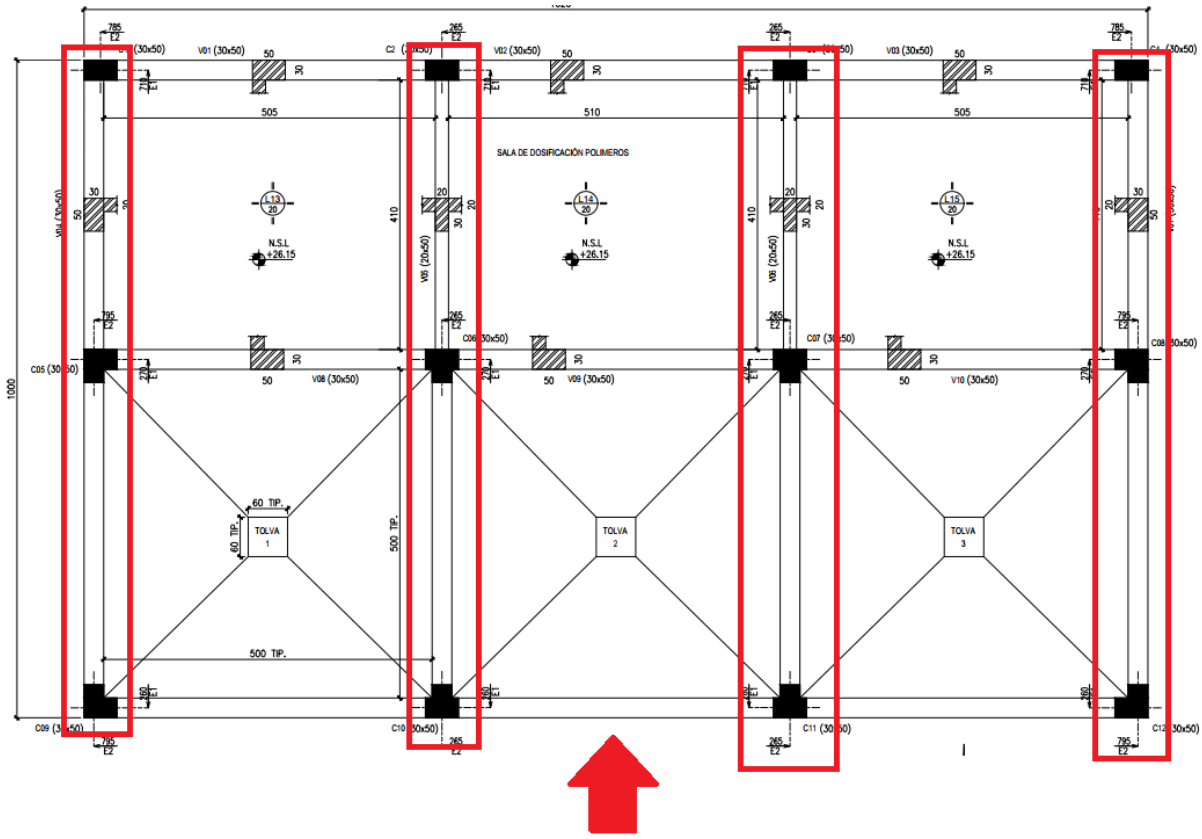


Figura Nº46 - Vista en planta. *Acción resultante del "Viento A".*

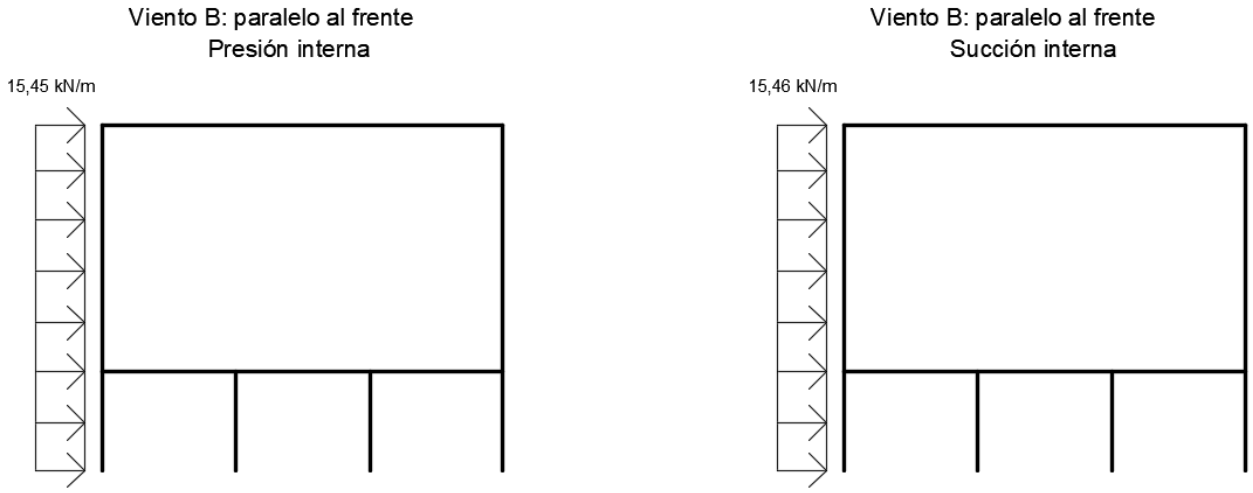


Figura Nº47 - Vista en corte. *Acción resultante del "Viento B".*

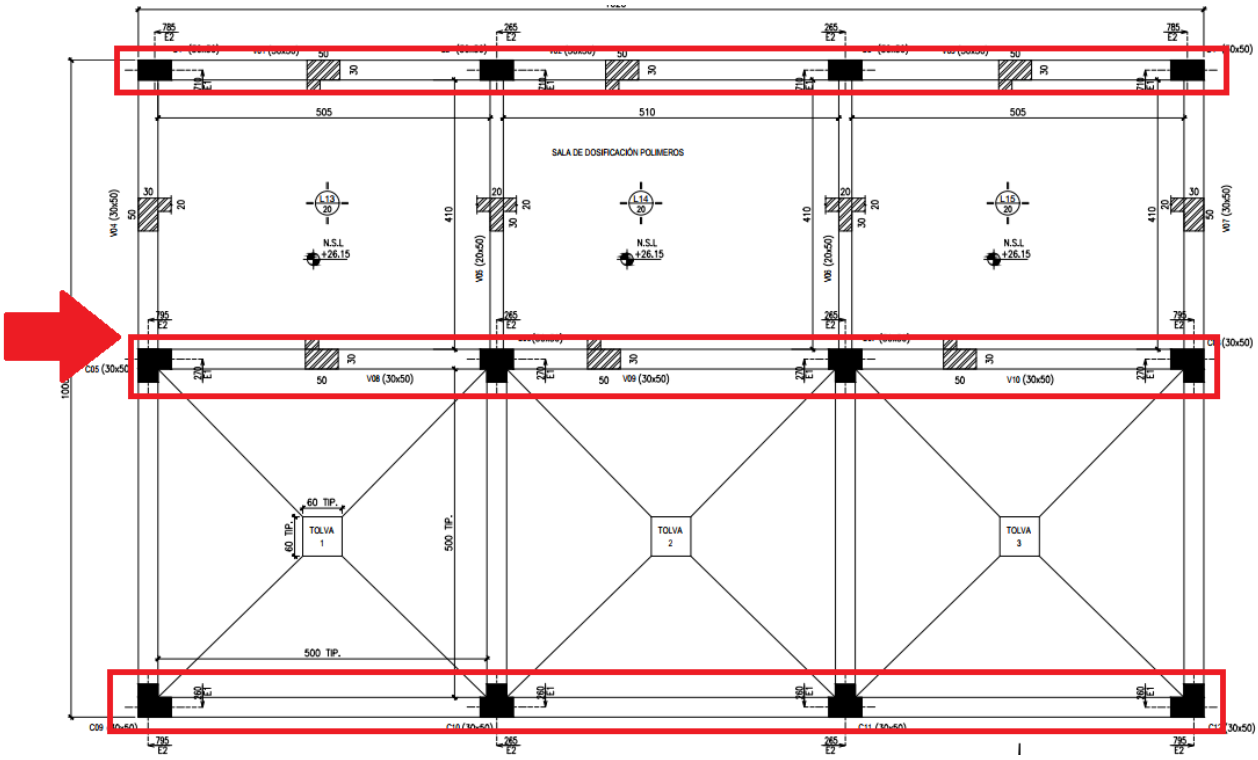


Figura Nº48 - Vista en planta. *Acción resultante del "Viento B".*

El esquema simplificado de cada una de las columnas resulta el siguiente:

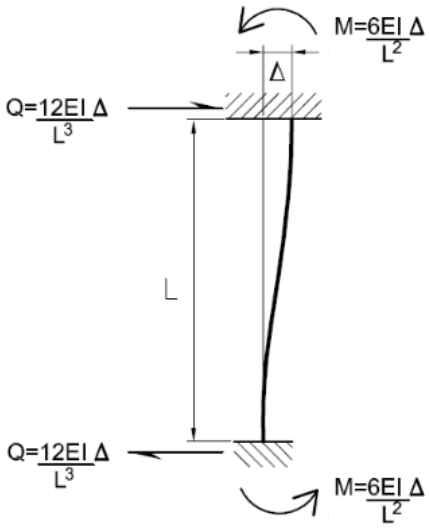


Figura Nº49 - Idealización de las columnas.

Considerando la resultante mayor correspondiente al viento A, se obtiene el siguiente desplazamiento:

$Resultante\ A$: $27,59\frac{kN}{m} \cdot 11,38m = 313,97kN$

$Carga\ en\ cada\ columna$: $313,97kN\ /\ 8 = 39,25kN \rightarrow Q = 39,25kN$

$L = 525cm$

$E = 4700 \cdot \sqrt{30MPa} = 25.742,96\ MPa = 2.574\frac{kN}{cm^2}$

$I = \frac{30cm \cdot (50cm)^3}{12} = 312.500\ cm^2$

$$\Delta_{VIENTO\ A} = \frac{Q \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I} = \frac{39{,}25kN \cdot (525cm)^3}{12 \cdot 2.574\frac{kN}{cm^2} \cdot 312.500\ cm^2} = 0,59cm$$

Considerando la resultante mayor correspondiente al viento B, se obtiene el siguiente desplazamiento:

$Resultante\ B$: $15,46\frac{kN}{m} \cdot 11,38m = 175,93kN$

$Carga\ en\ cada\ columna$: $175,93kN\ /\ 12 = 14,66kN \rightarrow Q = 14,66kN$

$L = 525cm$

$E = 4700 \cdot \sqrt{30MPa} = 25.742,96\ MPa = 2.574\frac{kN}{cm^2}$

$I = \frac{30cm \cdot (50cm)^3}{12} = 312.500\ cm^2$

$$\Delta_{VIENTO\ B} = \frac{Q \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I} = \frac{14{,}66kN \cdot (525cm)^3}{12 \cdot 2.574\frac{kN}{cm^2} \cdot 312.500\ cm^2} = 0,22cm$$

De acuerdo con el Reglamento CIRSOC 301 Apéndice L (Figura Nº44) la flecha máxima es $\Delta_{Max} = H/300 = 1,75cm$. Por lo tanto, **los valores determinados están dentro de los admisibles**.

A continuación se adjunta un detalle preciso de cada una de las tipologías estructurales analizadas, con sus respectivas consideraciones, esquema de cuerpo libre y predimensionamiento. Algunos elementos fueron dimensionados de manera manual y otros utilizando programas de elementos finitos, en cada uno se aclara el tipo de análisis que fue realizado.

Cabe destacar que con el predimensionamiento se busca conocer las secciones y cuantías probables, de manera tal de corroborar la posibilidad de que las mismas sean razonables y posibles de ejecutar.

4.2.4.6.2 - Losas

Todas las losas se proponen de 20 cm de espesor y luego se verifican. En primer lugar se analiza la **losa sobre planta alta**.

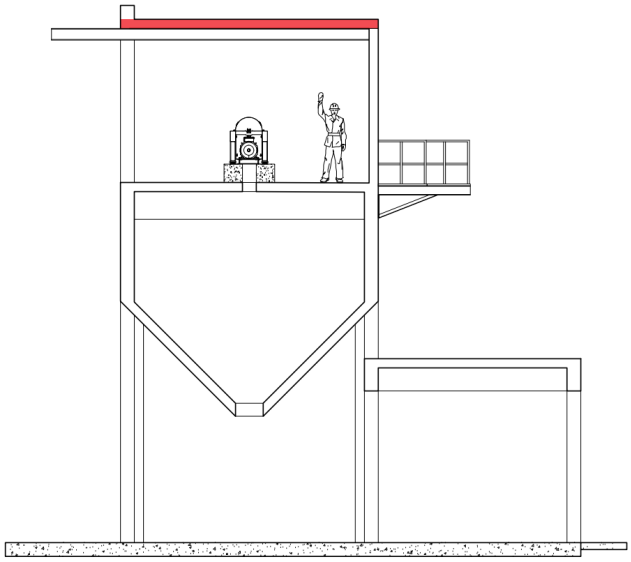


Figura Nº50 - *Losa sobre planta alta.*

Se considera que se apoya en tabiques y vigas, considerándose cada una como apoyada en todos los bordes. Para el trabajo de la losa, se considera que el peso propio y sobrecarga permanente de materiales, la sobrecarga de utilización de azotea y que monorriel se encuentra funcionando en el centro de la misma, tanto para el peso del equipo y del riel como para la carga dinámica que introduce.

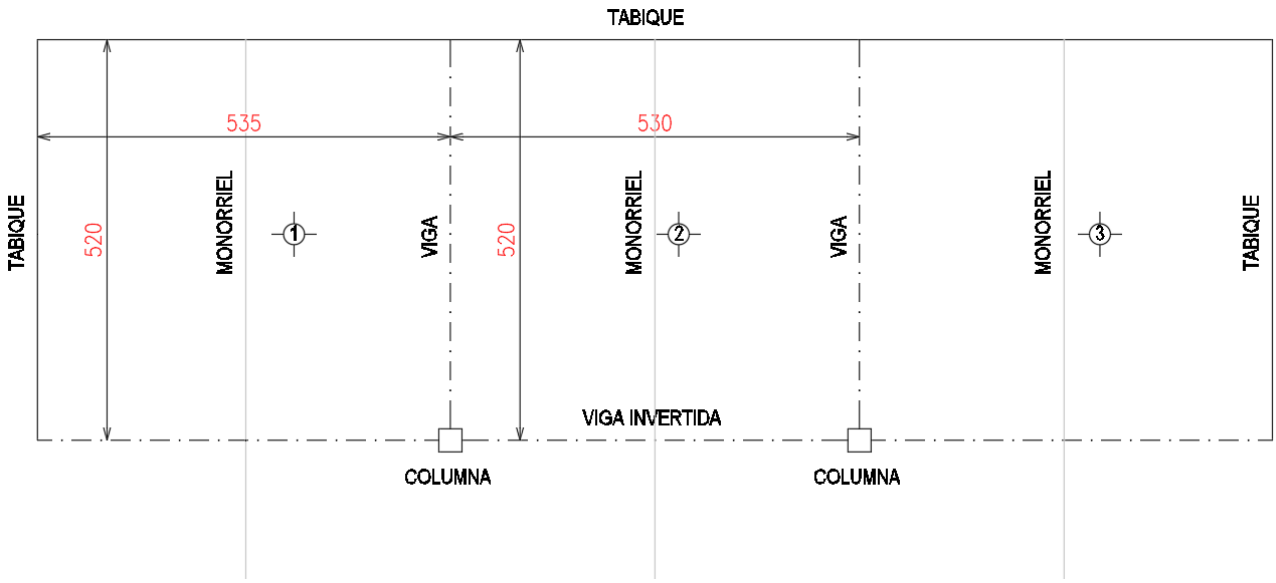


Figura Nº51 - *Esquema estructural losa s/ planta alta.*

La verificación del espesor mínimo[22] resulta:

Elemento	h adoptada [cm]	h mínima [m]	Condición
Losa s/ PA	20.00	11.6	Verifica

Tabla Nº4 - *Verificación de espesor mínimo.*

Para el análisis en estado límite último, se utilizan las tablas de Erturke y el siguiente es el esquema estático simplificado.

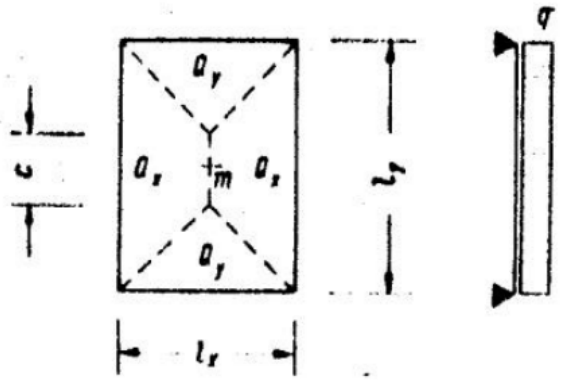


Figura Nº52 - *Esquema estructural según tabla de Erturke.*

[22]INTI - CIRSOC. [2005]. *Comentarios 201. Capítulo 9: Requisitos de Resistencia y Comportamiento en Servicio. Tabla C 9.5.3.2*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Losa	L21
qu [KN/m2]	8.8
Mu máx [KN/m2]	9.11

RESULTADOS	
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en direccion y.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	29.50

Tabla Nº5 - *Datos de partida y resultados.*

Posteriormente, se analiza la **losa sobre silo**.

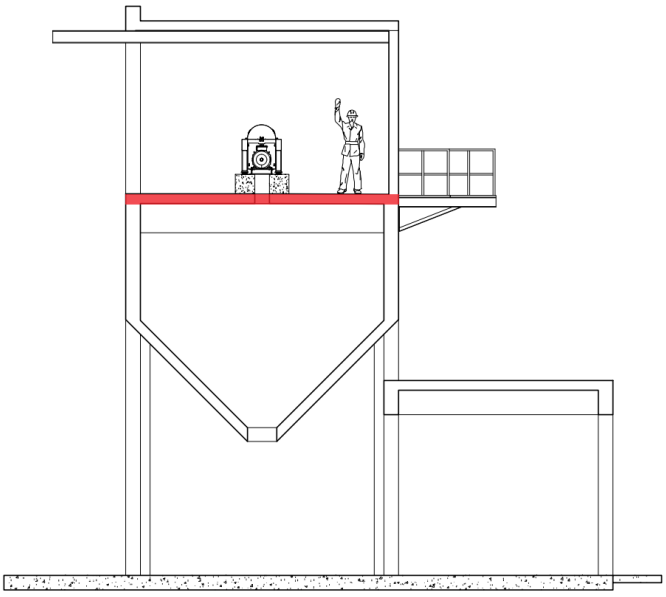


Figura Nº53 - *Losa sobre silos.*

Se analiza como tres losas separadas, considerando un esquema estructural simplificado, trabajando cada una como losa derecha apoyada en tabique-viga o viga-viga para la central, por lo que simplificadamente se estudia como una viga de ancho unitario, con peso propio, sobrecargas permanentes de materiales y sobrecarga de utilización de losa sobre silos. El modelo es el siguiente:

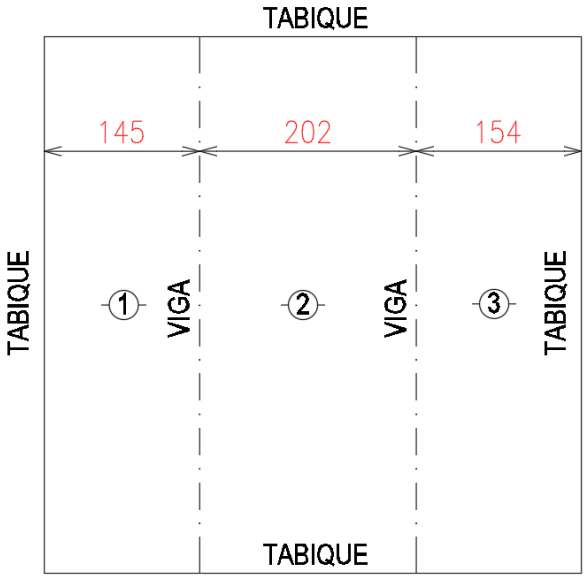


Figura Nº54 - *Esquema estructural losas s/ silo.*

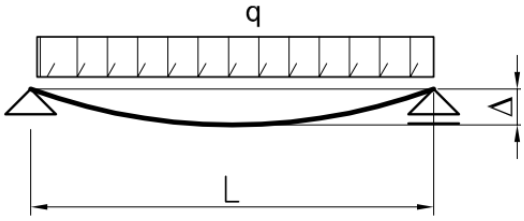


Figura Nº55 - *Esquema estructural como viga simplemente apoyada.*

La verificación de la deformación de la losa en servicio es la siguiente:

Elemento	Carga en servicio	Deformación [mm]	Deformación admisible [mm]	Condición
Losa s/ silo	10.02	0.13	8.4	Verifica

Tabla Nº6 - *Verificación de deformaciones.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Losa	L16
qu [KN/m2]	13.22
Mu máx [KN/m2]	6.74

RESULTADOS	
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	
Se adopta 1ø8 c/21 en la cara inferior, en direccion Y.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	30.67

Tabla Nº7 - *Datos de partida y resultados.*

Por último, se verifica la **losa sobre la sala de dosificación de polímeros**.

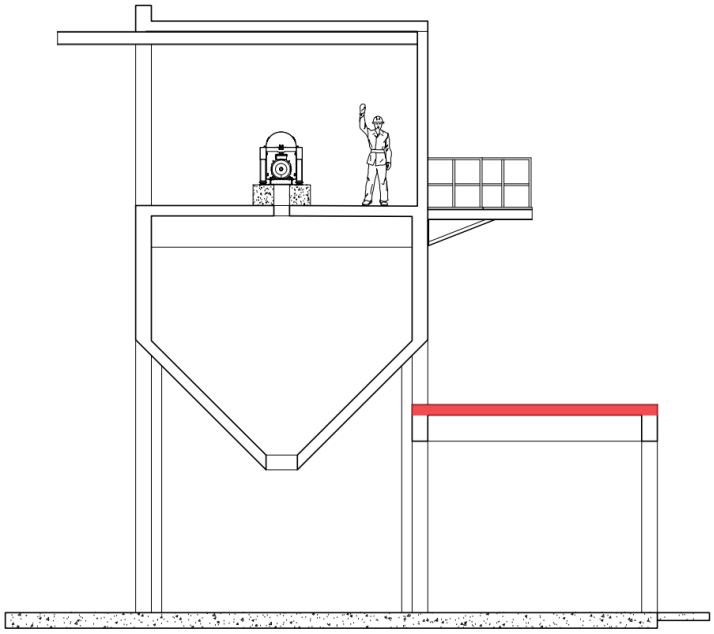


Figura Nº56 - *Losa sobre sala de dosificación de polímeros.*

Son tres losas apoyadas en vigas perimetrales y sustentadas en columnas. El modelo adoptado es una losa simplemente apoyada en sus cuatro lados. Para el análisis de la misma, se considera el peso propio y sobrecarga de utilización sobre dicha losa y, para estado límite último, se analiza con las tablas de Erturke.

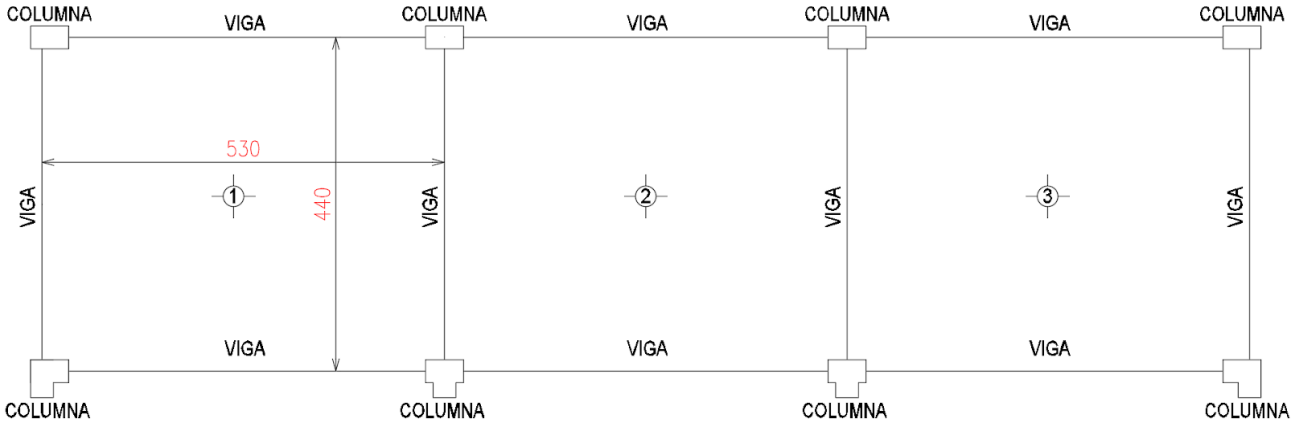


Figura Nº57 - *Esquema estructural losa s/ sala de dosificación.*

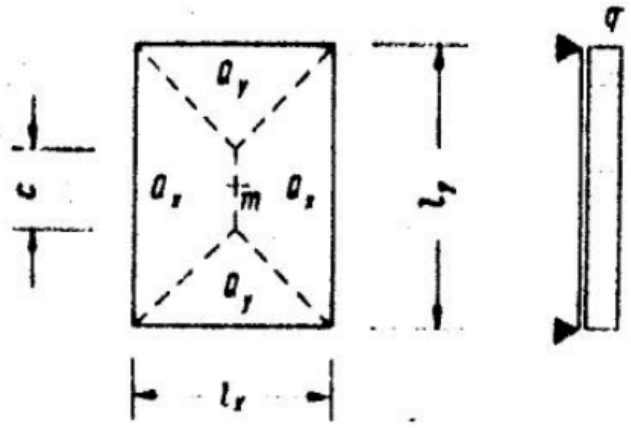


Figura Nº58 - *Esquema estructural según tabla de Erturke.*

La verificación del espesor mínimo[23] resulta:

Elemento	h adoptada [cm]	h mínima [m]	Condición
Losa s/ sala dosif.	20.00	9.8	Verifica

Tabla Nº8 - *Verificación de espesor mínimo.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Losa	L13
qu [KN/m2]	10.8
Mu máx [KN/m2]	11.03

RESULTADOS	
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en direccion y.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	19.35

Tabla Nº9 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 7: *Dimensionamiento de losas***.**

[23]INTI - CIRSOC. [2005]. *Comentarios 201. Capítulo 9: Requisitos de Resistencia y Comportamiento en Servicio. Tabla C 9.5.3.2*

4.2.4.6.3 - Tabiques

El predimensionamiento de los tabiques incluye la determinación del espesor y la armadura necesaria. Dicho espesor se ha adoptado según criterios de asignaturas anteriores, siendo este valor entre 20 cm y 30 cm. Los mismos se verificarán en etapa posterior, analizando los tabiques más solicitados, fundamentalmente los que componen el cerramiento del silo y los que se sitúan en la planta alta.

En primer lugar se analizan los **tabiques de planta alta**, de 20 cm de espesor.

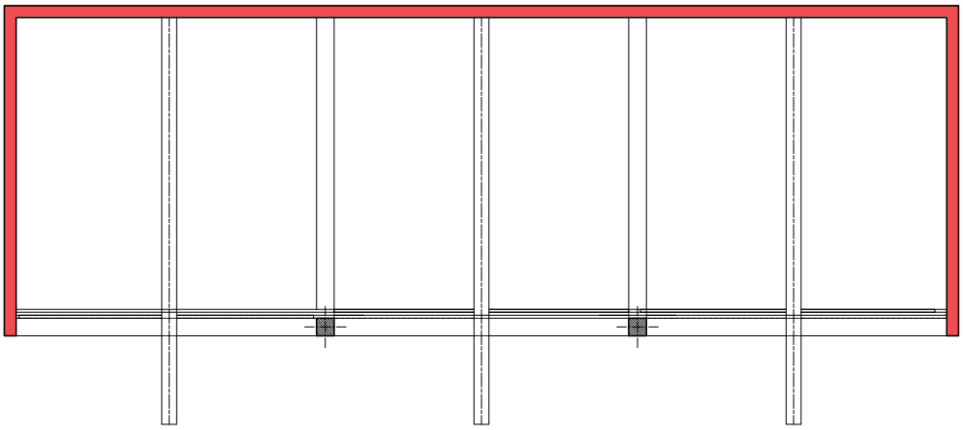


Figura Nº59 - *Tabiques de planta alta.*

Los mismos se dimensionan a compresión y las cargas actuantes son el peso propio, las sobrecargas permanentes y de utilización, provenientes de las reacciones de las losas sobre planta alta. Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Tabique	de PA
lw [m]	4.03
k	1.00
Pu [KN]	238.21

RESULTADOS	
Se adopta armadura vertical 1ø16 c/17 y armadura horizontal 1ø10 c/26.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	77.70

Tabla Nº10 - *Datos de partida y resultados.*

Posteriormente se analizan los **tabiques de silos**, de 30 cm de espesor.

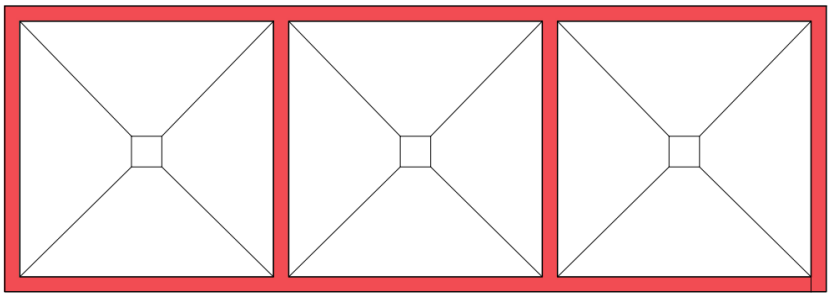


Figura Nº60 - *Tabiques de silos.*

Cada uno trabaja de manera independiente, y se plantean tabiques de hormigón que conforman su perímetro, tanto para aislarlo del exterior como del silo que se encuentra adyacente. Dichos tabiques se apoyan en columnas que transmiten la carga hacia las fundaciones del edificio.

Para este elemento estructural, se realizan dos análisis:

- Uno en sentido vertical, trabajando como vigas de gran altura simplemente apoyadas, con cargas repartidas y puntuales de losa y vigas respectivamente, con el silo completamente cargado. Se calcula con las tablas del Cuaderno 240.

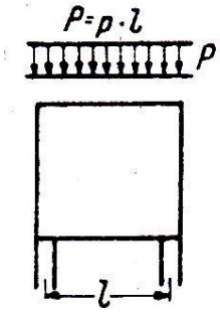


Figura Nº61 - *Modelo en sentido vertical.*

- Otro en sentido horizontal, trabajando a flexión debido a la presión del material ensilado. Se considera una viga doblemente empotrada por la presencia de los tabiques adyacentes. Como solo se cuenta con el peso específico del material ensilado y no más información (coeficiente de empuje horizontal, ángulo de fricción interna, etc) se adopta un criterio conservador y se considera la presión hidrostática total ejercida con el silo lleno. A continuación, se adjunta un esquema:

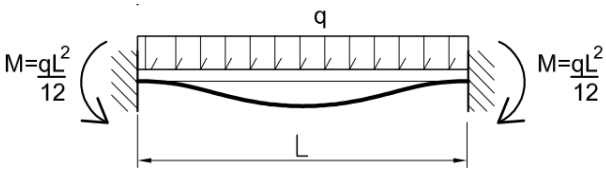


Figura Nº62 - *Modelo en sentido horizontal.*

No obstante, y debido a dichas incertidumbres en cuanto a las características del material, se decide adoptar un criterio aún más conservador y considerar una carga uniformemente repartida e igual al máximo valor de la presión hidrostática. A continuación se muestra el esquema final:

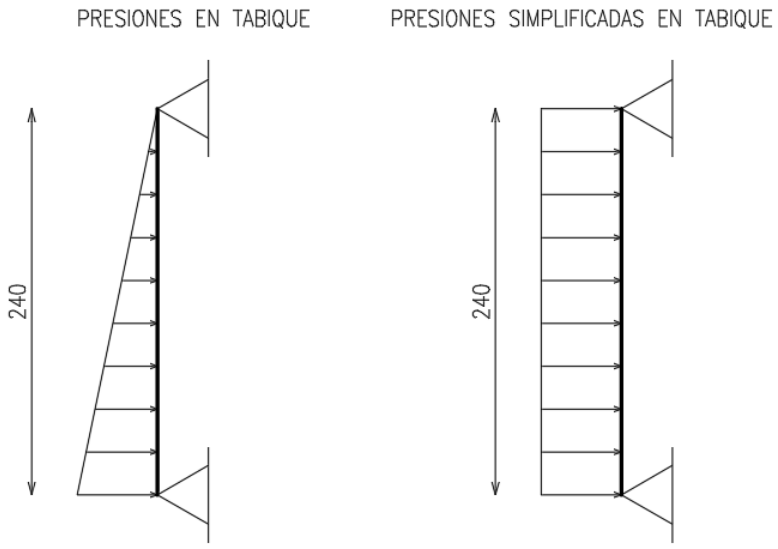


Figura Nº63 - *Simplificación de las presiones en sentido horizontal.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Tabique	de silos
lw [m]	2.40
qu vert max [KN/m]	116.00
qu horiz [KN/m2]	34.94

RESULTADOS	
Se adopta: armadura principal de tracción en los 50 cm inferiores 6ø16 en cada cara, armadura vertical 1ø12 c/15, y armadura horizontal 1ø16 c/20	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	72.34

Tabla Nº11 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 8: *Dimensionamiento de tabiques***.**

4.2.4.6.4 - Vigas

El predimensionamiento de las vigas presentes en la estructura, se basa en la adopción de, como mínimo, la altura recomendada en el CIRSOC 201 que depende de su longitud y la verificación de una flecha admisible.

En primer lugar, se analiza las **vigas sobre planta alta**, tanto la invertida como las convencionales, en las cuales apoyan las losas. La configuración estructural corresponde a una viga simplemente apoyada armada en una dirección.

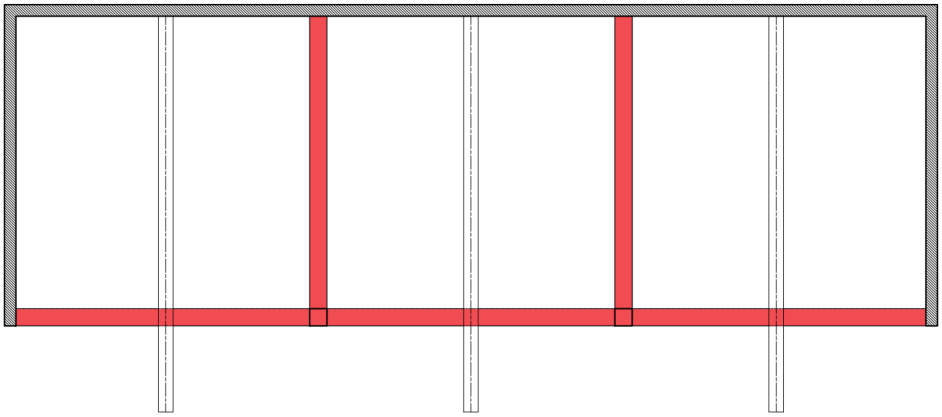


Figura Nº64 - *Vigas sobre planta alta.*

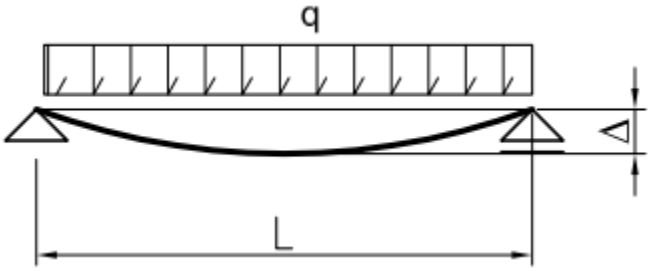


Figura Nº65 - *Esquema simplificado de vigas.*

Las cargas actuantes son el peso propio de las vigas y las reacciones de las losas que apoyan en las mismas, incluyendo los estados analizados para dichos elementos.

La verificación de las deformaciones es la siguiente:

Elemento	Carga en servicio [KN/m]	Deformación [mm]	Deformación admisible [mm]	Condición
Viga inv s/ PA	15.08	0.42	10.1	Verifica

Tabla Nº12 - *Verificación en servicio de vigas.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Viga	Invertida s/ PA
Mu máx [KNm]	84.38

RESULTADOS	
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/12 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	61.32

DATOS DE PARTIDA	
Viga	S/ PA
Mu máx [KNm]	48.54

RESULTADOS	
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/23 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	52.13

Tabla Nº13 - *Datos de partida y resultados.*

Luego, se analiza la **viga sobre silos**.

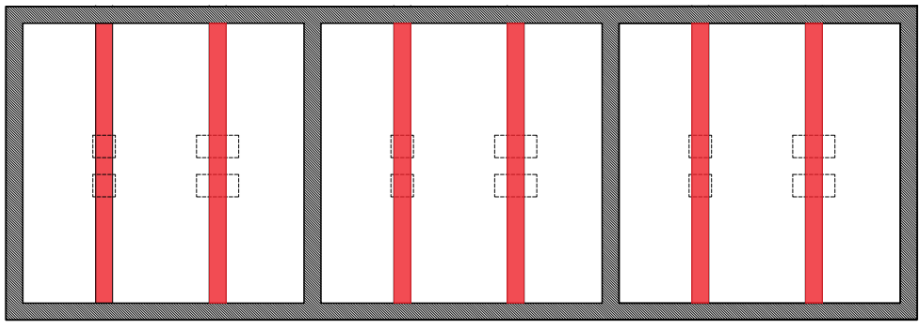


Figura Nº66 - *Vigas sobre silos.*

Cabe destacar que, para disminuir los esfuerzos puntuales de las centrífugas sobre la losa, situación no deseable ya que generaría elevados espesores de la misma, se propone la colocación de dados de hormigón sobre los cuatro apoyos de cada equipo, situados sobre vigas simplemente apoyadas en los tabiques que componen las paredes del silo.

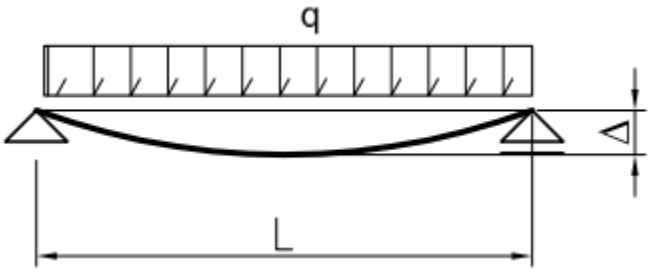


Figura Nº67 - *Esquema simplificado de vigas.*

Las cargas actuantes son el peso propio del elemento, las reacciones de las losas sobre las vigas, incluyendo los estados analizados para dichos elementos, el peso de los equipos y de los dados de hormigón.

La verificación de las deformaciones es la siguiente:

Elemento	Carga en servicio [KN/m]	Deformación [mm]	Deformación admisible [mm]	Condición
Viga s/ silo	39.77	1.53	10.6	Verifica

Tabla Nº14 - *Verificación en servicio de vigas.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Viga	S/ silos
Mu máx [KNm]	157.26

RESULTADOS	
Se adoptan 4ø16, estribos de dos ramas 1ø10 c/20 , perchas 2ø8 y 2ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	78.37

Tabla Nº15 - *Datos de partida y resultados.*

Finalmente, se analiza la **viga sobre el edificio de dosificación de polímeros**, siendo todas simplemente apoyadas en las columnas.

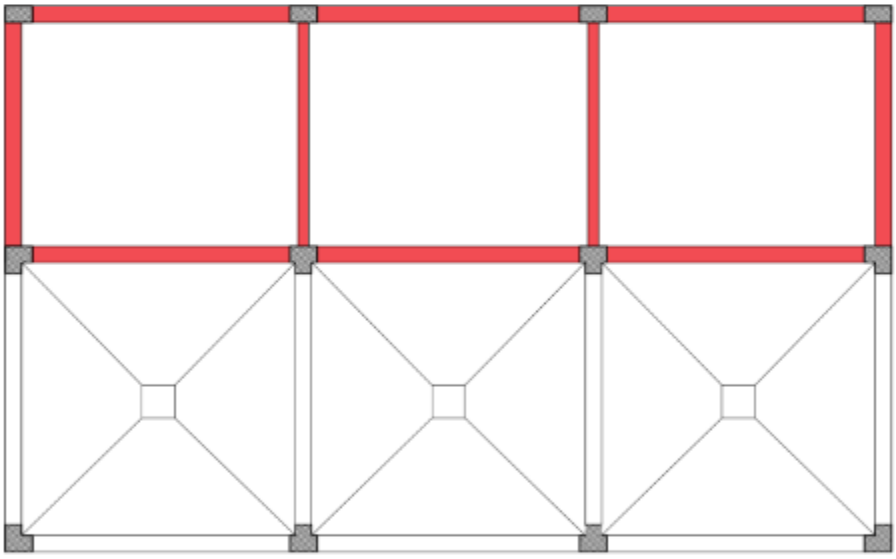


Figura Nº68 - *Vigas sobre sala de dosificación de polímeros.*

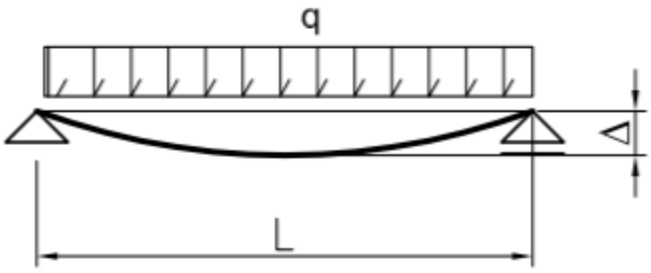


Figura Nº69 - *Esquema simplificado de vigas.*

Las cargas actuantes corresponden al peso propio y a las reacciones de las losas que apoyan sobre ellas, incluyendo los estados analizados para dichos elementos.

La verificación de deformaciones de las vigas es:

Elemento	Carga en servicio [KN/m]	Deformación [mm]	Deformación admisible [mm]	Condición
Viga s/ sala dosif.	14.03	0.85	8.8	Verifica

Tabla Nº16 - *Verificación en servicio de vigas.*

Los datos de partida y los resultados obtenidos son los siguientes:

DATOS DE PARTIDA	
Viga	S/ sala de dosificación de polímeros
Mu máx [KNm]	64.52

RESULTADOS	
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/18 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	66.59

Tabla Nº17 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 9: *Dimensionamiento de vigas***.**

4.2.4.6.5 - Columnas

Las columnas del proyecto se ubican: dos en la planta alta, ocho en la planta baja dando soporte a toda la estructura del silo y cuatro en la sala de dosificación. Dicha distribución fue diseñada para tener columnas perimetrales en todo el edificio y para evitar elevadas luces libres que aumenten las dimensiones de otros elementos estructurales, considerando un análisis iterativo entre conveniencia constructiva y costos.

En la Figura N°70 se pueden observar en color rojo las columnas correspondientes a la sala de dosificación.

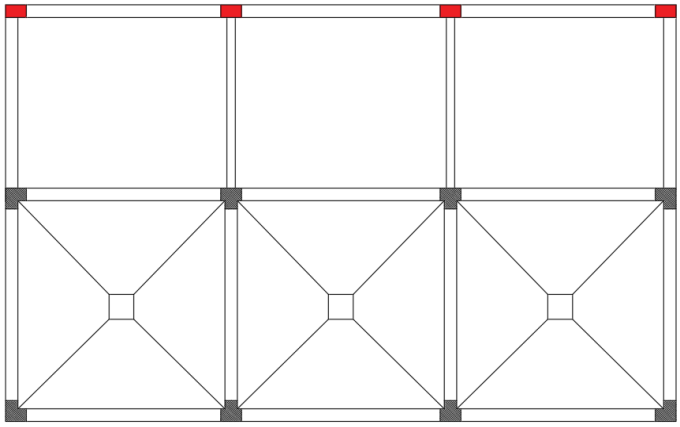


Figura Nº70 - *Columnas de sala de dosificación.*

En la Figura N°71 se pueden observar en color rojo las columnas que dan soporte al silo

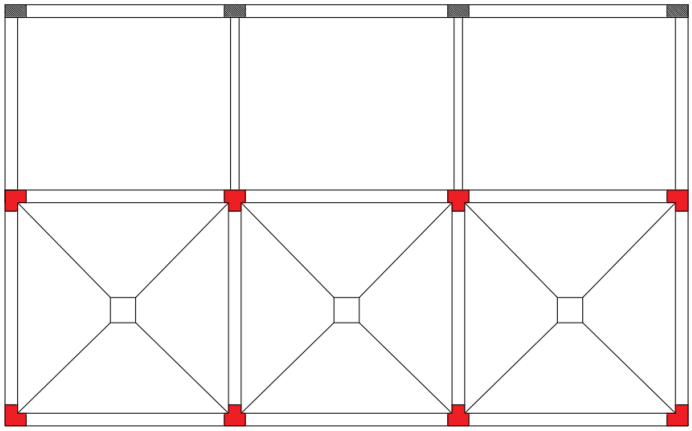


Figura Nº71 - *Columnas en bajo silo.*

En cuanto a las ocho columnas ubicadas debajo del silo, la geometría de su sección transversal que se propone se basa en la consideración de la incidencia del viento, pudiendo generar dos direcciones resistentes claras para absorber dichos esfuerzos en su actuación. Esto se puede observar en la figura N°72.

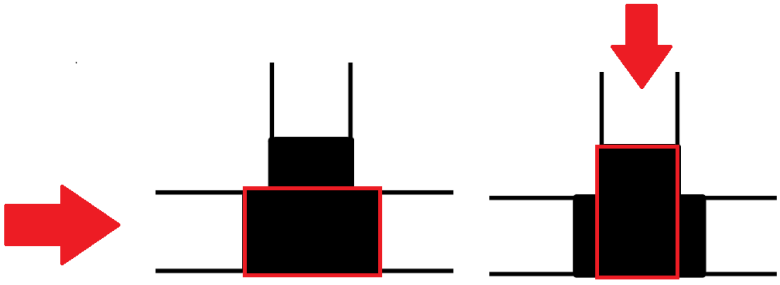


Figura Nº72 - *Sección resistente según la dirección del viento.*

A posteriori, se verificarán las mismas de manera simplificada, considerando únicamente la incidencia de la mayor inercia resistiendo en cada plano de análisis.

En la Figura N°73 se pueden observar en color rojo las columnas correspondientes a la planta alta

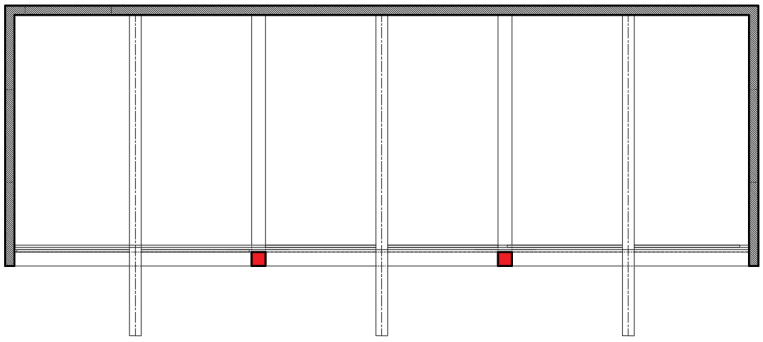


Figura Nº73 - *Columnas en planta alta.*

Para el dimensionamiento, se procede con las columnas más solicitadas, seleccionando de esta forma:

- Columna CO2 de sala de dosificación
- Columna CO6 bajo silos
- Columna C13 en planta alta

Columna C06 bajo silos

La misma se puede observar en la Figura Nº74.

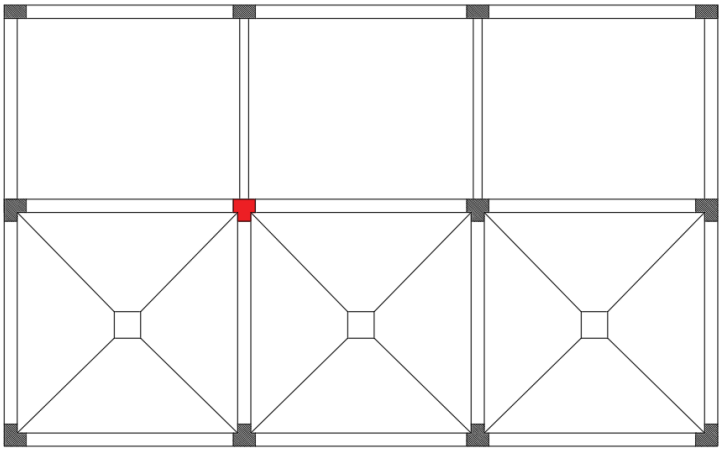


Figura Nº74 - *Columnas a dimensionar.*

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Columna	C06
Lc [m]	5.25
K	1.00
Pu [KN]	2115.79

RESULTADOS	
Se adoptan 12ø16 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/30	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	96.67

Tabla Nº18 - *Datos de partida y resultados.*

Columna C02 sala de dosificación

La misma se puede observar en la siguiente figura:

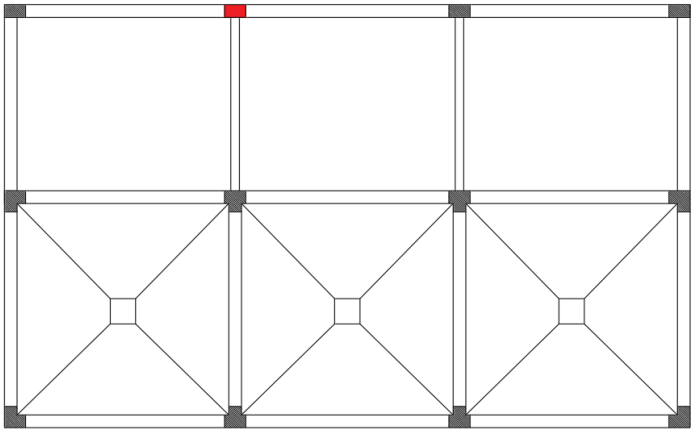


Figura Nº75 - *Columnas a dimensionar.*

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Columna	C02
Lc [m]	3.30
K	1.00
Pu [KN]	295.33

RESULTADOS	
Se adoptan 8ø16 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/19	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	95.28

Tabla Nº19 - *Datos de partida y resultados.*

Columna C13 planta alta

La misma se puede observar en la siguiente figura:

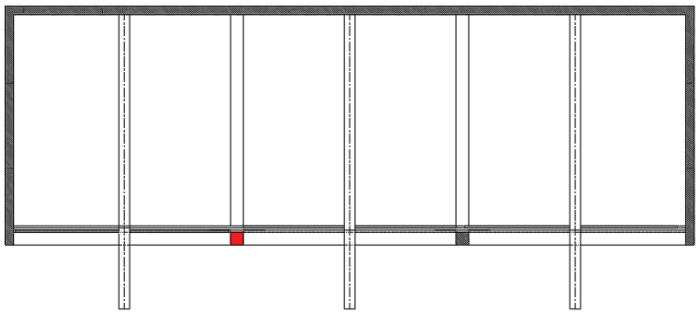


Figura Nº76 - *Columnas a dimensionar.*

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Columna	C13
Lc [m]	3.10
K	1.00
Pu [KN]	47.10

RESULTADOS	
Se adoptan 8ø12 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/30	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	88.45

Tabla Nº20 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 10: *Dimensionamiento de columnas***.**

4.2.4.6.6 - Tolvas

Para analizar los esfuerzos en dicho elemento estructural, se realiza un modelo de elementos finitos. Se modela la tolva como elemento de placa con un espesor de 20cm. La misma se encuentra apoyada en las columnas en sus cuatro esquinas, las cuales se idealizan como apoyos fijos. Además, los tabiques correspondientes a la paredes del silo se incorporan al modelo como una viga de elevada rigidez, lo cual se puede observar en las imágenes a continuación:

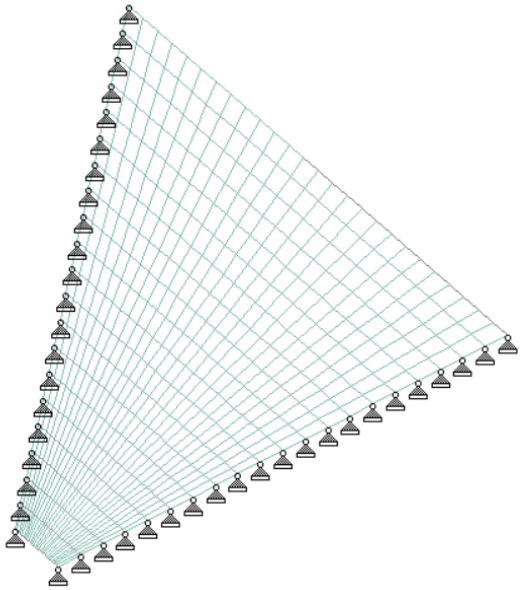


Figura Nº77 - *Modelado tolva.*

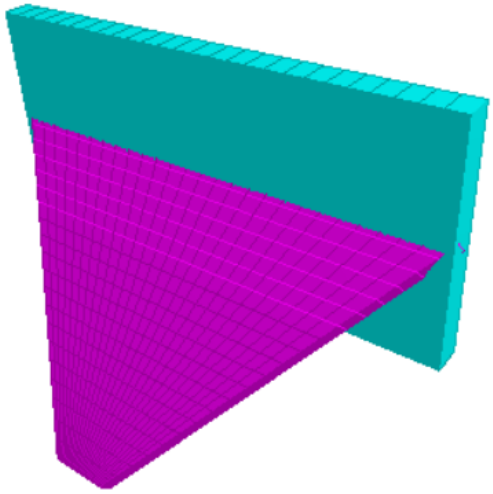


Figura Nº78 - Render 3D *tolva.*

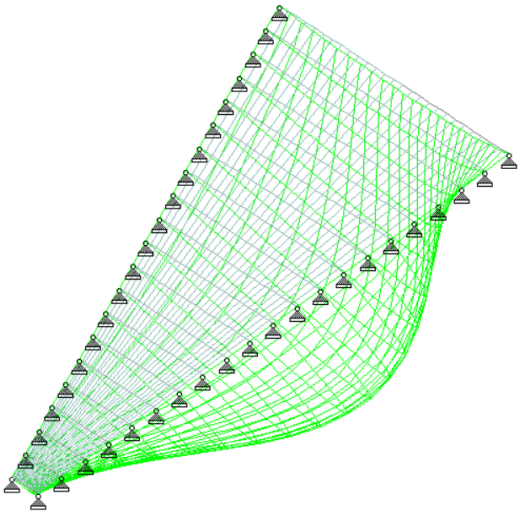


Figura Nº79 - Elástica de la tolva.

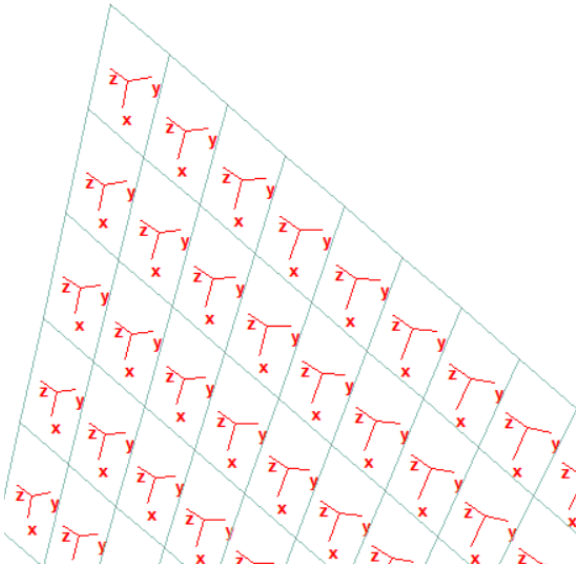


Figura Nº80 - Ejes locales de los elementos de placa.

En cuanto a las cargas, las mismas se encuentran detalladas en el Anexo 5: *Análisis de cargas*. Cabe destacar, que como sólo se cuenta con la información del peso específico del material a ensilar y no sus demás características, se dimensiona la tolva mediante la presión hidrostática que el mismo genera cuando el silo se encuentra cargado en su totalidad.

Para el dimensionamiento de las armaduras, se considera el trabajo como losa de cada una de sus partes componentes. A continuación se pueden observar los diagramas de esfuerzos:

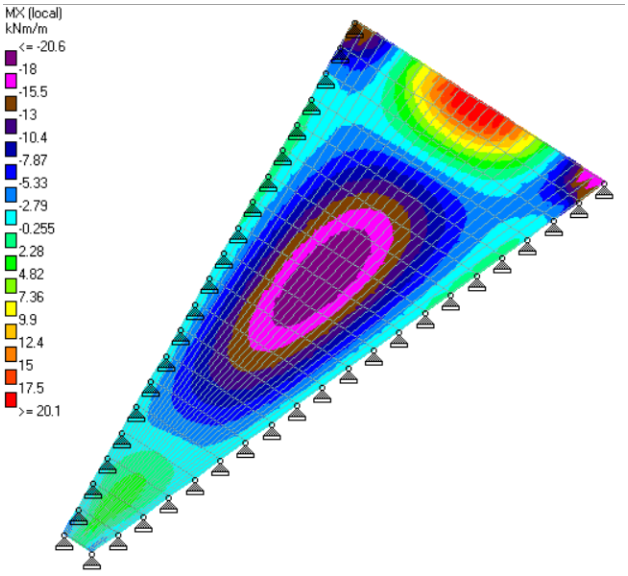


Figura Nº81 - Mfx para combinación 1.2D+1.6L.

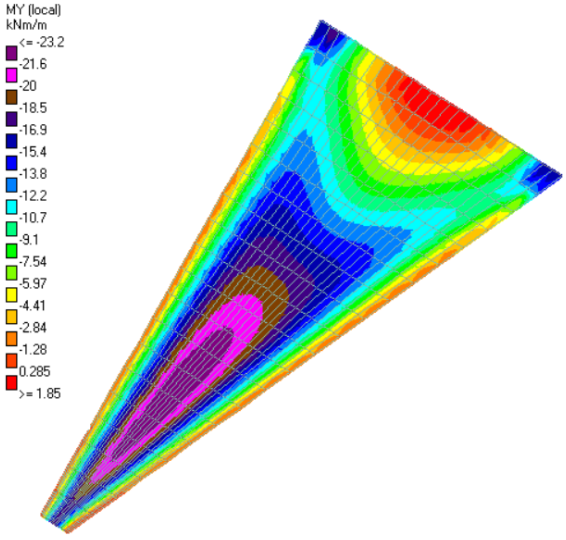


Figura Nº82 - Mfy para combinación 1.2D+1.6L.

A continuación se encuentran los datos de partida para el dimensionamiento y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Tolva	Placa
Mux máx superior [KNm/m]	23.90
Mux máx inferior [KNm/m]	20.60
Muy máx superior [KNm/m]	3.25
Muy máx inferior [KNm/m]	23.50

RESULTADOS	
Se adopta 1ø8 c/10 cm en ambas direcciones superior e inferior	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	63.30

Tabla Nº21 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 11: *Dimensionamiento de tolvas***.**

4.2.4.6.7 - Fundaciones

Para las fundaciones del edificio se propone el uso de monopilotes, los cuales se encuentran sometidos a compresión simple y están conectados entre sí mediante vigas de fundación. Las características del suelo pueden consultarse en su correspondiente estudio ubicado en el Anexo 4: *Estudio de suelos*.

En primer lugar se dimensiona el **cabezal.** Sus dimensiones se proponen y se ajustan en función de un análisis iterativo de cálculo. Para la verificación y adopción de armaduras, se considera la resultante generada por una excentricidad accidental de 10 cm de la columna.

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Cabezal	Tipo
Pu [KN]	293.86

RESULTADOS	
Se adoptan 3ø20 inferiores, 2ø12 superiores, estribos 1ø10 c/20 y armadura de piel 2ø6 c/cara.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	23.24

Tabla Nº22 - *Datos de partida y resultados.*

Para el caso de los **pilotes** se dimensiona para la peor situación, la cual corresponde a la fundación de la columna C06, considerando el peso propio del pilote y del cabezal, las reacciones de carga muerta y sobrecarga que provee la columna.

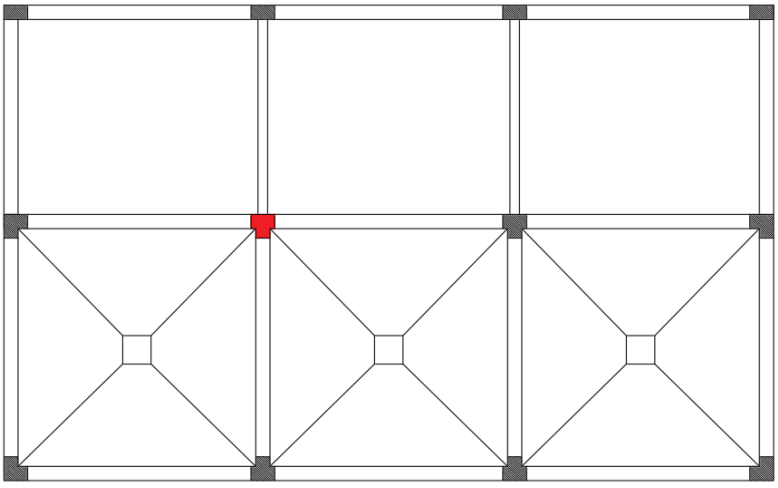


Figura Nº83 - Columna C06.

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Pilote	Tipo
Pu [KN]	2115.79

RESULTADOS	
Se adoptan 14ø12 ubicados en el perímetro y estribos 1ø6 c/14	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	52.80

Tabla Nº23 - *Datos de partida y resultados.*

Para el dimensionamiento de las **vigas de fundación** se considera que el momento flector generado tanto por el viento como por la excentricidad accidental de la carga, lo toman las vigas en su totalidad como una flexión aplicada externamente. Además, se considera el peso propio de la viga y la sobrecarga permanente del tabique divisorio no portante del cerramiento del edificio. Así se tiene el siguiente esquema simplificado:

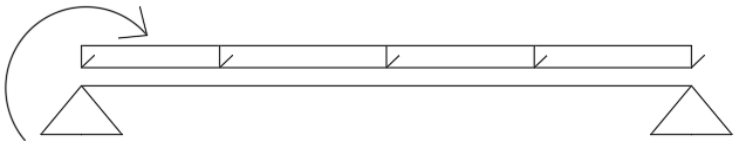


Figura Nº84 - *Esquema simplificado de vigas de fundación.*

A continuación se adjuntan los datos de partida y los resultados obtenidos:

DATOS DE PARTIDA	
Viga de fundación	Tipo
qu [KN/m]	27.50
Mu máx [KNm]	504.36

RESULTADOS	
Se adoptan 6ø20 superiores e inferiores, estribos de dos ramas 1ø10 c/20 y 2ø12 en cada cara intermedios.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	117.61

Tabla Nº24 - *Datos de partida y resultados.*

Todos los análisis de carga se encuentran en el Anexo 5: *Análisis de carga* y los cálculos correspondientes a este dimensionamiento se encuentran en el Anexo 12: *Dimensionamiento de fundaciones***.**

4.3 - Diseño vial

La Planta Potabilizadora de Gro. Baigorria cuenta actualmente con una red de calles de circulación interna requeridas para el tránsito de vehículos pesados, que transportan los reactivos necesarios para el proceso de potabilización y los equipos en mantenimiento hasta los diferentes recintos de la planta. Las mismas están conformadas en su totalidad por un pavimento rígido de ancho de calzada 7,00 m y con cordones.

Por su parte, en el sector de los edificios de tratamiento de lodos se prevé la ampliación de un tramo de pavimento para el ingreso y el egreso de los camiones que cargan los contenedores para el retiro de los lodos tratados, y la circulación de camiones de transporte de reactivos y de equipos en mantenimiento. Dicho tramo se diseña estructuralmente teniendo en cuenta no solamente las dos unidades contempladas en este proyecto (Etapas I y II), sino también sobre la base de las futuras ampliaciones de la Planta Potabilizadora y con la consiguiente adición de dos unidades más de tratamiento. En cuanto a su longitud, en esta instancia se proyecta solo con la extensión necesaria para cubrir los primeros dos edificios de tratamiento de lodos - quedando el tramo restante proyectarse para futuras ampliaciones - y se vincula a la Calle Nº2 (ya existente), conectándose de esta forma con alguno de los accesos al predio. En el Anexo 14: *Imágenes del sector a intervenir* se puede observar dónde finaliza la Calle Nº2 actualmente.

En base a lo anterior se realizan en este punto:

- verificación del tramo existente
- diseño geométrico y estructural del pavimento proyectado

La Planta posee dos accesos:

- uno sobre Av. San Martín (Gro. Baigorria) (Ruta Nacional 11)
- uno sobre colectora

De acuerdo a lo que se pudo observar en una visita al predio, el segundo acceso se encuentra cerrado y fuera de uso, por lo cual se asume que únicamente se cuenta con el acceso por Ruta 11. En base a lo anterior, el análisis geométrico y estructural del pavimento existente estará enfocado únicamente en la Calle Nº2, por la cual se trasladarán todos los camiones en estudio (ver Figura Nº85).

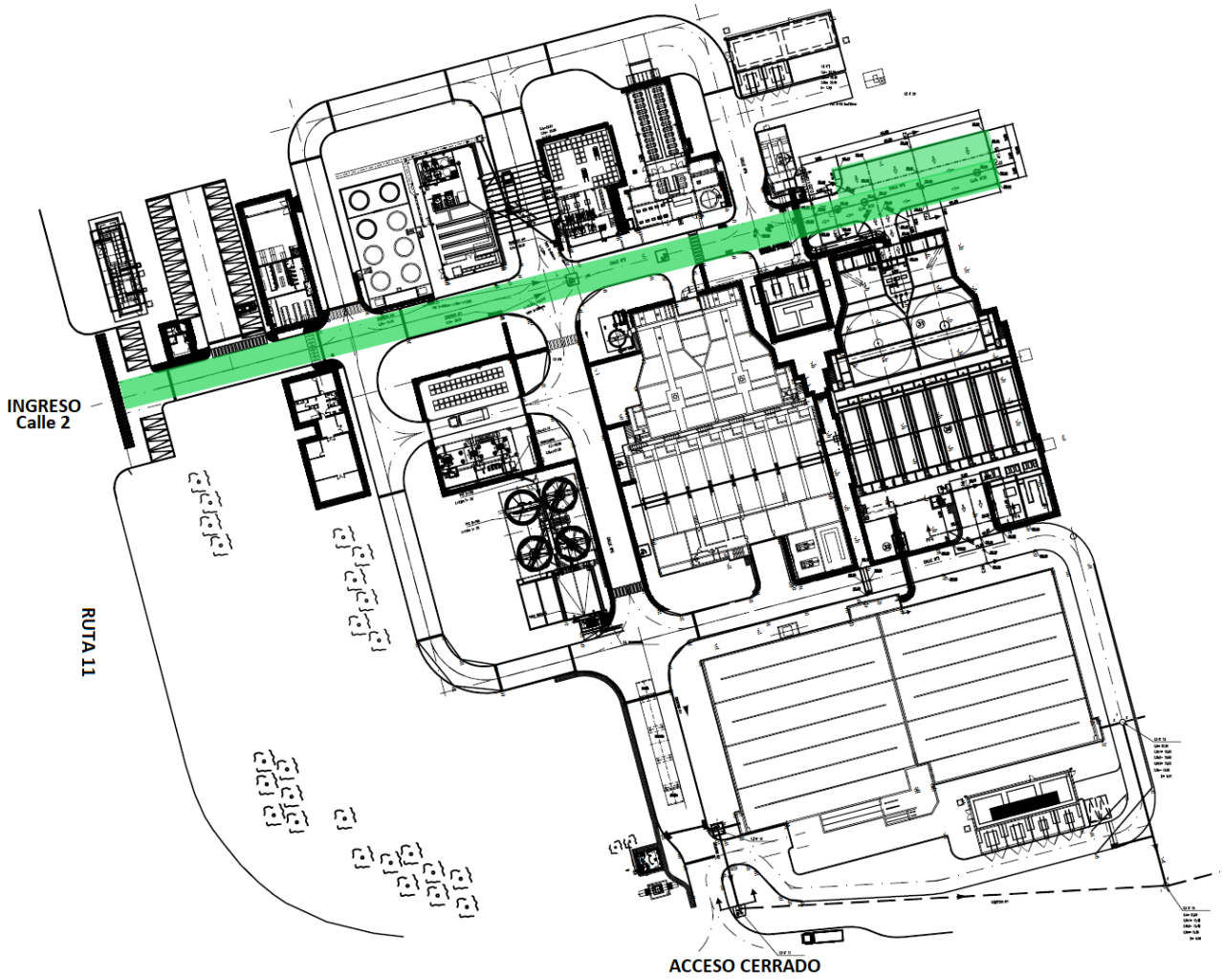


Figura Nº85 - *Plano de la Planta. Demarcación de la calle de ingreso.*

4.3.1 - Verificación geométrica

El ancho de calzada de la Calle 2 es variable a lo largo de su extensión:

- Tramo existente: dos carriles de 3,50m. Ancho total de calzada 7,00m.
- Tramo proyectado: dos carriles de 3,50m y un carril de 5,00m. Ancho total de calzada 12,00m.

Cabe destacar que el carril de 5,00m se proyecta únicamente para proporcionar un ancho adicional y facilitar las maniobras de ingreso a los módulos de tratamiento.

Los radios de esquinas también son variables en la calle de estudio, cada uno de estos puede observarse en el Plano **G1-VIAL-001**: *Cotas del pavimento*.

Se deberá asegurar un correcto señalamiento horizontal. Como se verá en el ítem siguiente <u>4.3.2 - Pavimento existente</u>, hay tramos donde la misma no es adecuada. Por lo tanto, como requerimiento mínimo, debe realizarse una nueva demarcación con pintura amarilla para los cordones, y en caso de

considerarlo necesario también deberán pintarse líneas de color blanco sobre la calzada para demarcar los carriles y sentidos de circulación.

No se consideraron necesarios establecer sobreanchos en las curvas, ya que al ser calles internas se supone que se realizarán maniobras, es decir, empleando velocidades bajas (aproximadamente de 15km/h).

Para verificar el diseño geométrico propuesto, se utilizaron las "Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial" de Dirección Nacional de Vialidad, las cuales establecen las trayectorias mínimas de giro para un vehículo tipo de diseño. En nuestro caso, el tipo de camión que ingresará hasta los módulos de tratamiento de lodos es de 3 ejes S1-D2 de 1,25m de ancho y 6,20m de longitud (como se desarrolla en 4.3.3.1 Solicitaciones).

Figura Nº86 - *Vehículo tipo para retiro de contenedores.*

El vehículo de diseño que más se asemeja a este, y que contempla la normativa, es un camión de unidad única (SU) de 2,40m de ancho y 9,10m de longitud. Si bien este último es de dimensiones mayores al que efectivamente circulará en la planta, se considera que al verificar con ese modelo, el vehículo real estará en mejores condiciones.

Se realiza entonces la verificación del recorrido que deben realizar para ingresar y salir de los edificios de tratamiento de lodos I y II, como así también de los radios de giro necesarios para eventuales desvíos hacia otras calles existentes, teniendo en cuenta las trayectorias que plantean las recomendaciones (ver Figura N°87). Se observa que el radio mínimo de maniobra correspondiente al vehículo de diseño es de 8.6 metros y el máximo es de 13.3 metros. Esto se puede observar en el plano **G1-VIAL-005:** *Maniobras camiones.*

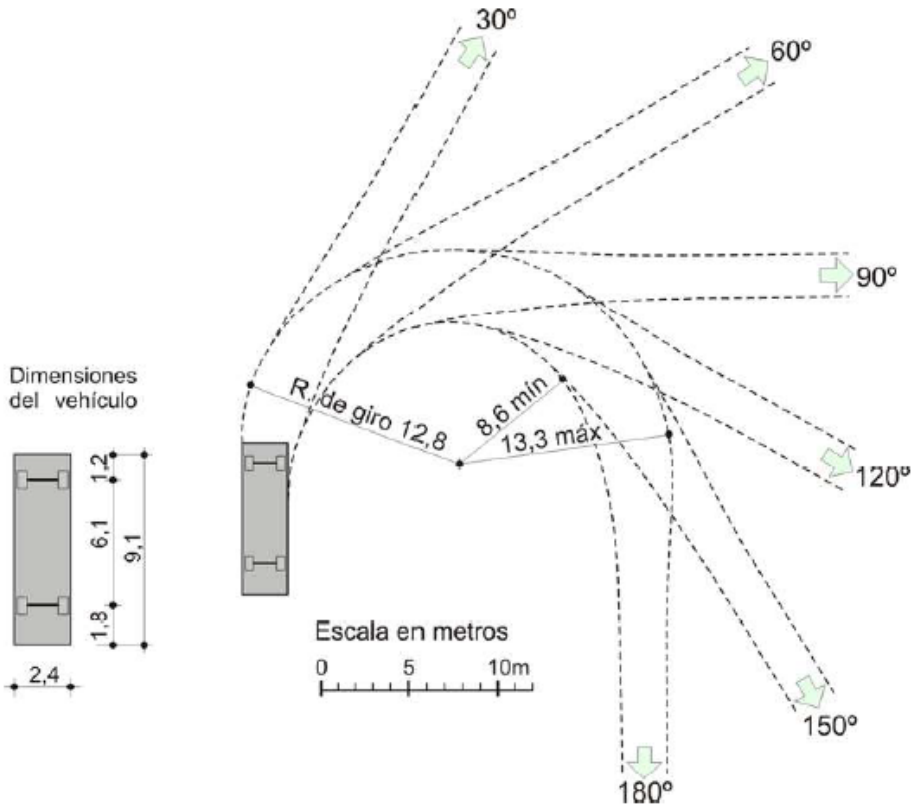


Figura Nº87 - *Mínima trayectoria para vehículo de diseño SU.*[24]

De acuerdo con el Plano de Proyecto para la Etapa II de la Planta Potabilizadora, la ampliación de la Calle Nº2 consiste en una extensión total de 41,4m, de los cuales 33,6m tienen un ancho de calzada mayor (12m). En ese tramo se planteó la implantación de los Edificios de Tratamiento de Lodos I y II; sin embargo, si se mantiene esa longitud, el recorrido de ingreso al segundo edificio debe seguir una traza dificultosa. Como se observa en la Figura Nº88, para que pueda llegar de reversa (y así enganchar el contenedor), primero debería doblar por la Calle Nº6 y hacer un largo recorrido marcha atrás. Se considera que ningún conductor querrá realizar esta maniobra, por lo que se proyecta ampliar la calle en una longitud total de 60,9m propiciando el espacio adecuado para una maniobra más sencilla de ejecutar.

[24]Dirección Nacional de Vialidad. [s.f]. *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial. Capítulo 5: Vehículos de diseño. Figura 5.18.*

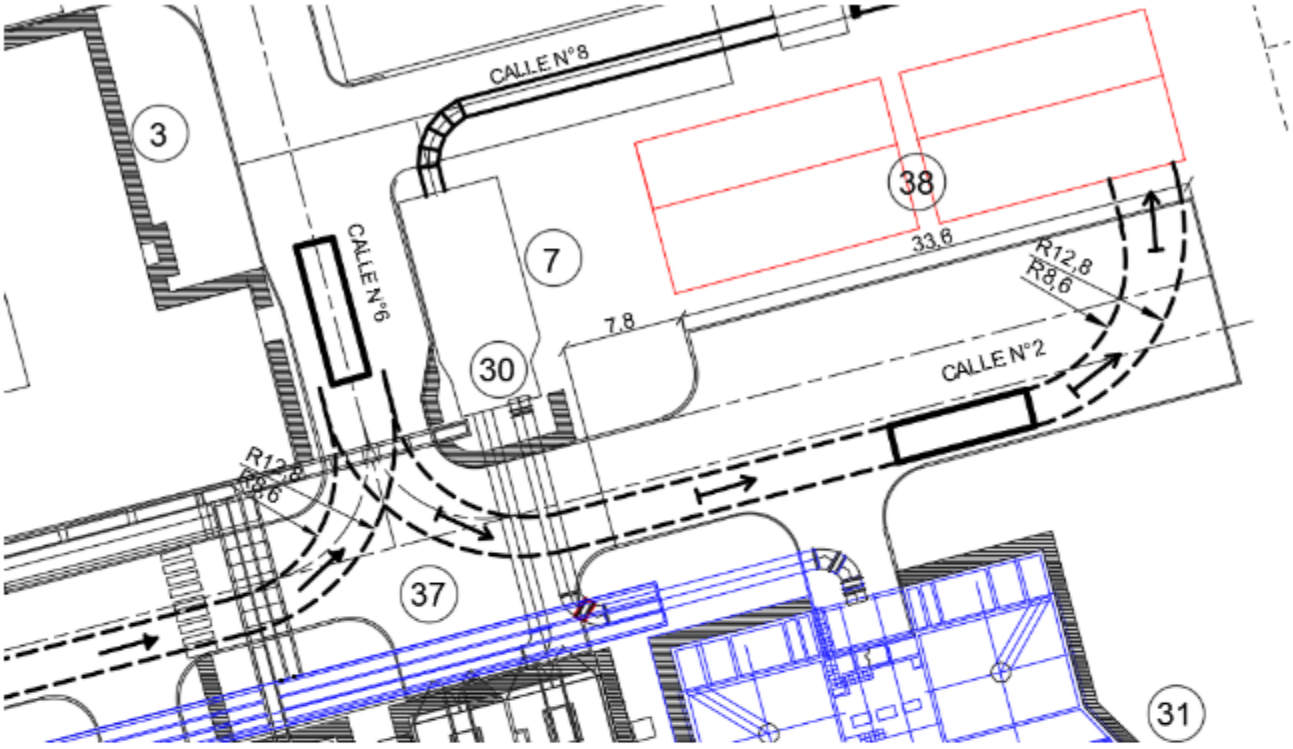


Figura Nº88 - *Ingreso a modulo II. Ampliación de 41,4m. (Plano no vigente, a modo representativo).*

En los planos **G1-VIAL-002:** *Ingreso de camiones* y **G1-VIAL-003:** *Salida de camiones* se puede ver detalladamente el recorrido que deben seguir los vehículos en estudio para ingresar y salir de los edificios de tratamiento para etapa I y II. Ver Figuras Nº89 y Nº90.

El ingreso de los camiones, como se mencionó anteriormente, se realiza marcha atrás para poder subir los contenedores con el gancho. Por lo tanto, el vehículo debe sobrepasar la puerta a la que quiere acercarse, para luego retroceder y quedar perfectamente alineado. En la Figura Nº89, se demarcó en línea de trazos el recorrido de la rueda delantera externa y el radio mínimo interno, los cuales limitan el espacio máximo que puede llegar a ocupar el camión realizando el giro. Se verifica entonces que con las dimensiones geométricas propuestas el ingreso de camiones es adecuado.

Por otro lado, la salida de los camiones será de frente, respetando también los radios establecidos en la normativa (Ver Figura Nº90). Se acepta que el vehículo ocupe por un breve periodo de tiempo el carril de sentido de circulación contrario, para poder girar y ubicarse en el que corresponde. Se verifica entonces que con las dimensiones geométricas propuestas la salida de camiones es adecuada.

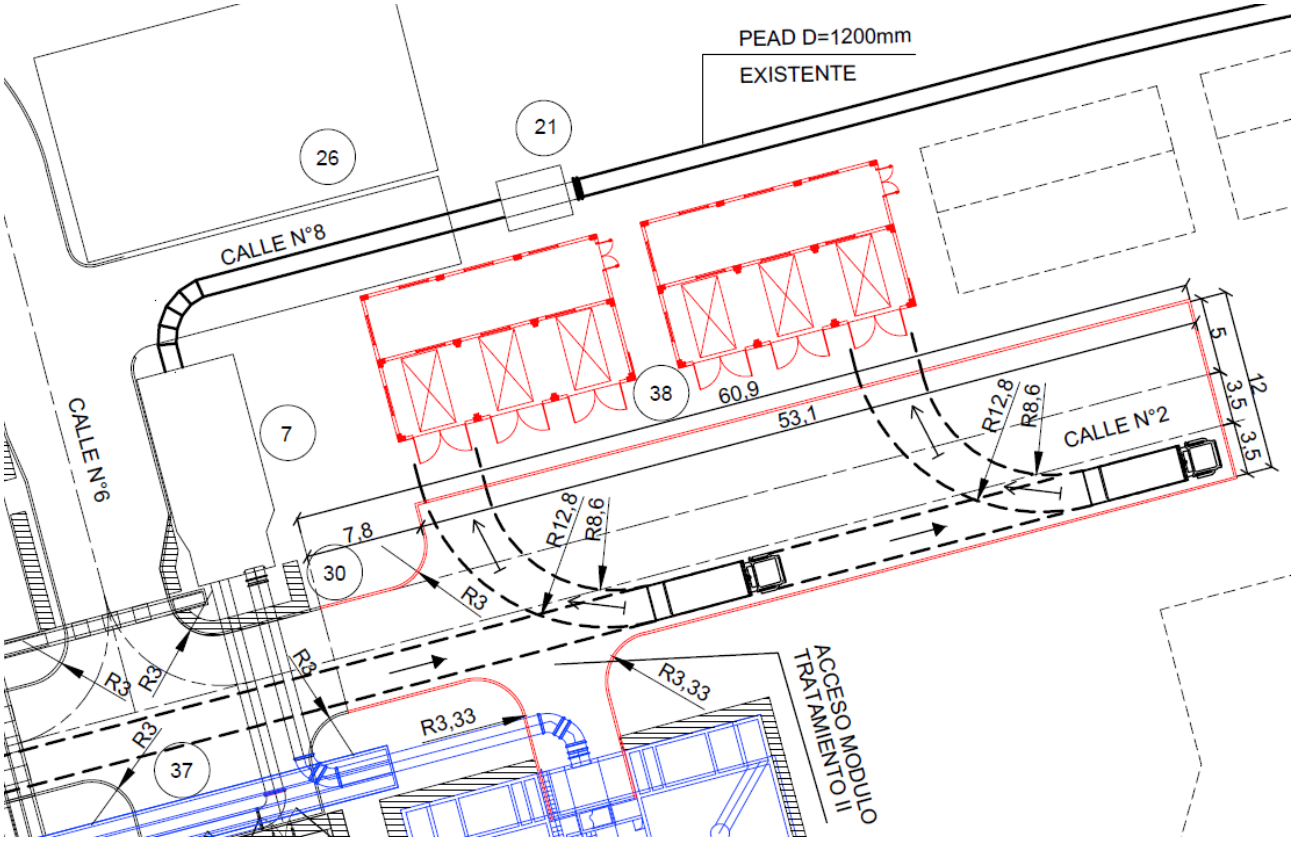


Figura Nº89- *Ingreso a módulos de tratamiento de lodo. Ver Plano G1-VIAL-002.*

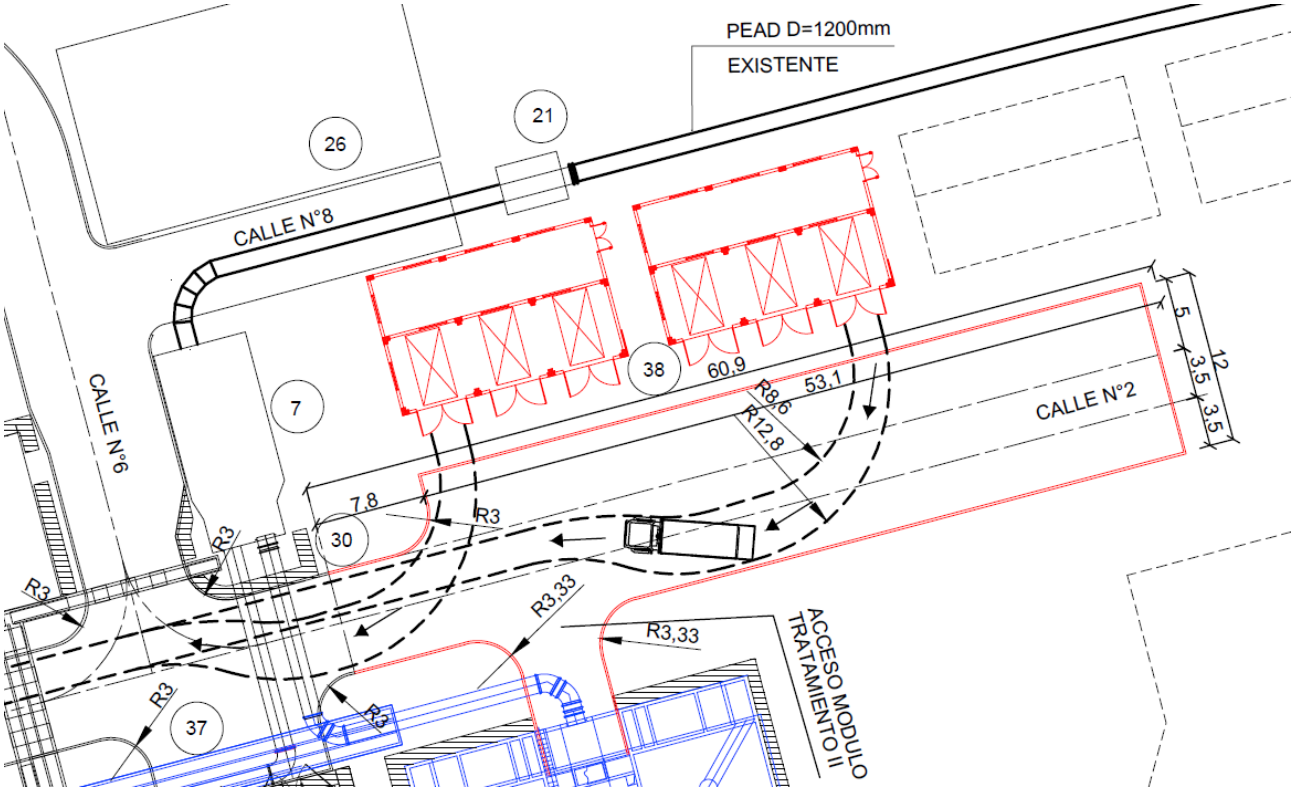


Figura Nº90- *Salida de módulos de tratamiento de lodo. Ver Plano G1-VIAL-003.*

4.3.2 - Pavimento existente

Del tramo existente de la Calle Nº2 sólo se conoce el perfil transversal tipo, según se muestra en la Figura Nº91.

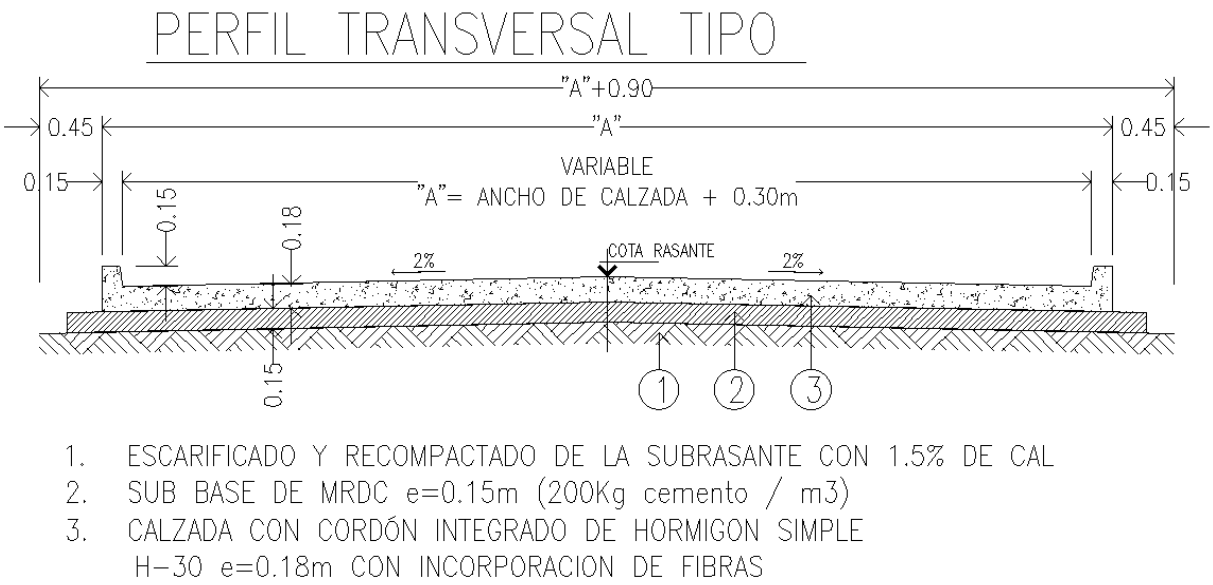


Figura Nº91 - *Perfil transversal tipo del tramo existente.*[25]

Sin embargo, no puede realizarse una verificación estructural si se utiliza el software PavementDesigner, que es una herramienta muy utilizada y difundida para el diseño de pavimentos rígidos - el cual será utilizado en el punto 4.3.3 - Diseño del paquete estructural -, debido a que no se conocen con certeza los siguientes parámetros:

- Módulo resiliente, para la base de MRDC (Mortero de Relleno de Densidad Controlada)
- Características de las fibras incorporadas, y en particular la *resistencia residual*, para la calzada de hormigón

Por tal motivo, y sabiendo que los volúmenes de tránsito pesado son muy bajos, como se analizará en el punto 4.3.3.1 Solicitaciones, se considera que la estructura de pavimento existente resulta adecuada para soportar las cargas de tránsito.

No obstante ello, sabiendo que el pavimento existente posee una antigüedad de unos 7 años, se propone realizar una auscultación superficial para evaluar las condiciones en las que se encuentra el mismo.

[25] Elaborado y proporcionado por Hidrosan Ingeniería S.A. - Etapa I de la Planta Potabilizadora.

4.3.2.1. - Inspección ocular

Se ha llevado a cabo un recorrido en campo por la Calle Nº 2, y se ha realizado una inspección ocular del pavimento existente. A su vez, se han tomado imágenes a modo de recorrido, aproximadamente cada 10-15 metros desde el ingreso por Av. San Martín (Granadero Baigorria) (Ruta 11) hasta el extremo Este (donde se vinculará con el nuevo pavimento), las cuales pueden consultarse en el Anexo 13: *Inspección ocular del pavimento existente*.

En la Tabla Nº25 se resumen las patologías detectadas y se detalla en qué progresivas se han encontrado.

Tipo de patología	Detalles	Progresivas [m]
Fisura del pavimento (1)	Se observan fisuras adyacentes y paralelas a una junta transversal que parecen estar selladas	14,00
		50,00
		70,00
		145,00
Fisura del pavimento (2)	Se observa una fisura oblicua que parece estar sellada	135,00
Juntas transversales sin sellar	Se evidencia una falta de mantenimiento en los sellos de las juntas transversales , con la presencia de materiales incompresibles (como piedras) en algunas y de pasto en otras	80,00
		100,00
		135,00
Manchas en el pavimento	Se observan manchas de tonalidad amarillenta atribuibles a la descarga de camiones cisterna en los tanques de almacenamiento de sulfato de aluminio y PAC (Policloruro de Aluminio)	60,00

Tabla Nº25 - *Patologías superficiales detectadas en el pavimento existente.*

No obstante lo anteriormente mencionado, y lo que puede observarse en las imágenes del Anexo 13, se concluye que el pavimento existente, correspondiente a la Calle Nº2, se encuentra en óptimas condiciones para seguir funcionando adecuadamente y soportar un tránsito de diseño como el especificado en el punto "4.3.3.1. - Solicitaciones". Lo anterior no deja de ser un gran punto a favor, teniendo en cuenta que el pavimento ya ha alcanzado un 25% de su vida de servicio.[26]

[26]Recordando que la Etapa I de la Planta Potabilizadora fue inaugurada en el año 2015, se entiende que las calles internas de la Planta poseen una antigüedad de unos 7 años. Se toma como vida de servicio un período de 30 años.

4.3.3 - Diseño del paquete estructural

Tomando como referencia lo ya ejecutado en la Etapa I de la Planta Potabilizadora, se propone un pavimento rígido con cordones.

Para el diseño del paquete estructural se utilizó el software *PavementDesigner*, desarrollado por la American Concrete Pavement Association (ACPA), el cual (a la fecha) está disponible en el sitio pavementdesigner.org

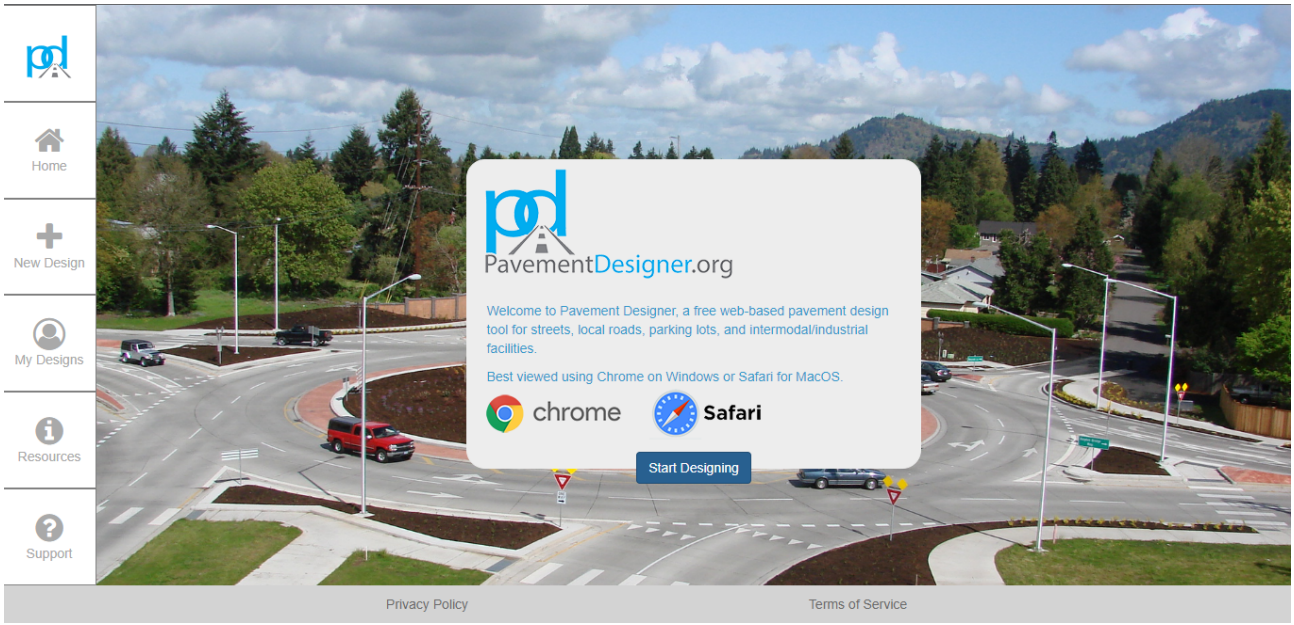


Figura Nº92 - *Extracto del Pavement Designer.*

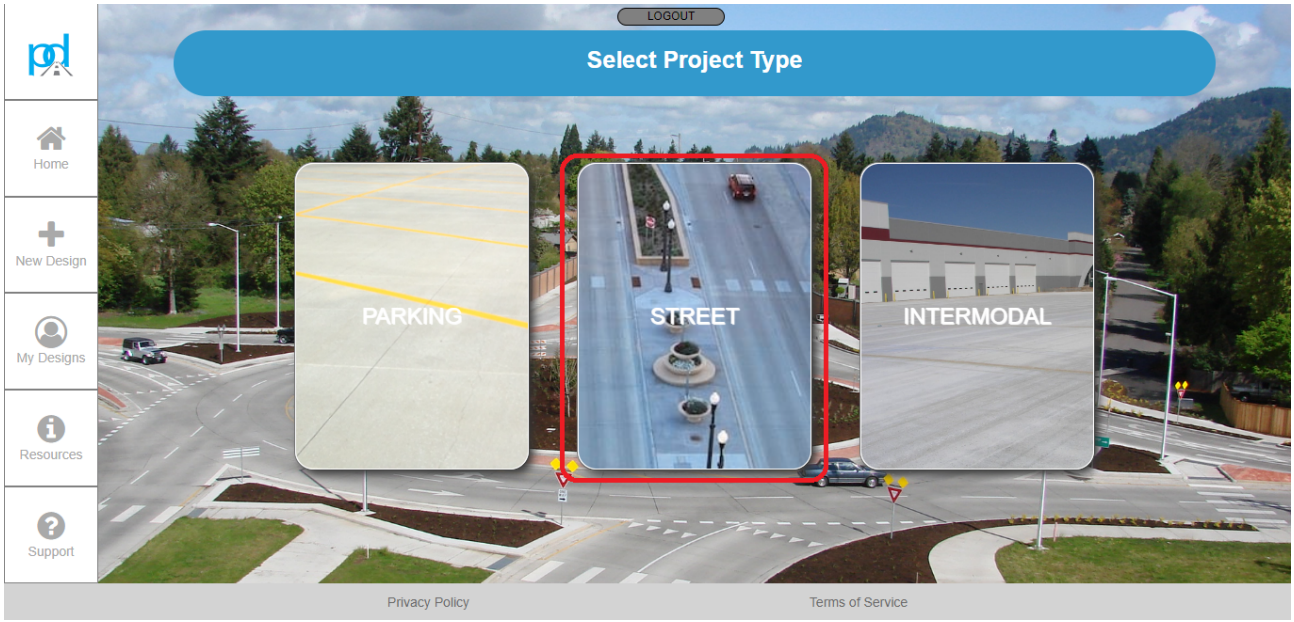


Figura Nº93 - *Extracto del Pavement Designer.*

Figura Nº94 - *Extracto del Pavement Designer.*

4.3.3.1 Solicitaciones

Las solicitaciones de tránsito quedan representadas a través de la definición de un *espectro de cargas*. El mismo se construye teniendo en cuenta los siguientes vehículos pesados que circularán por el tramo en cuestión:

1) Camión elevador autocargador roll off a gancho: se utiliza para la carga y retiro de los contenedores que contienen los lodos tratados.
2) Camión cisterna: corresponde a una unidad ya prevista en la obra ya ejecutada, y se utiliza para el transporte de los distintos reactivos utilizados en el proceso de potabilización. En este caso, además, esta unidad proveerá de los reactivos necesarios a las salas de dosificación de polímeros de cada uno de los edificios de tratamiento de lodos proyectados.
3) Camión con semirremolque: responde a la necesidad de mover equipos en mantenimiento dentro del recinto. Por ejemplo, una centrífuga o una bomba dosificadora de polímeros.

Con el objetivo de definir el espectro de cargas, se definen los siguientes volúmenes de tránsito diarios para la condición extrema de producción de lodos:

1) **Camiones elevadores autocargadores roll off a gancho**:

Por cada uno de los edificios de tratamiento de lodos y en condiciones extremas se generan 229 m3/día de lodo deshidratado a retirar. Para determinar la cantidad de camiones necesarios, se consideró que los contenedores se cargan al 75% del volumen admisible, debido a que la capacidad de carga del camión gancho es de 20tn en total, y el peso del contenedor, más el de los lodos lo sobreexcede:

$$Peso\ del\ contenedor\ 2,22\ tn$$

$$Peso\ de\ los\ lodos\ 1,04\frac{tn}{m^3}\cdot\ 20m^3\ =\ 20,8\ tn$$

$$Peso\ resultante\ =\ Peso\ del\ contenedor\ \ +\ Peso\ de\ los\ lodos\ \ =\ \ 23,02\ tn\ >\ 20\ tn$$

Por lo tanto, con la capacidad propuesta de lodos al 75% se alcanza un peso total de 17,82tn, respetando el máximo admisible del camión, y además, asegurando que no se generen pérdidas de lodos al inclinar el contenedor (sin cerramiento superior) para su carga sobre el vehículo.

En base a lo anterior, se estima que en una hipotética situación extrema de máxima generación de lodos se deben retirar 12 contenedores cargados por día. Teniendo en cuenta que cada camión elevador carga un solo contenedor, y extendiendo el análisis a la situación de diseño en la que se encuentran funcionando los 4 módulos de potabilización (y en consecuencia 4 edificios de tratamiento de lodos), se tiene un total de 12 x 4 = **48 camiones elevadores autocargadores roll off a gancho / día**.

Se remarca que la circulación de esta gran cantidad de camiones constituye un límite superior y tiene una muy baja probabilidad de ocurrencia; sin embargo, a los fines del dimensionamiento, se adopta dicha cantidad como tránsito de diseño para este tipo de vehículo.

2) **Camiones cisterna**: se adoptan **2 unidades/día**
3) **Camión con semirremolque**: se adopta **1 unidad/día**

Para elaborar el espectro de cargas se determina la cantidad de tipo de ejes por cada 1000 camiones, considerando que cada camión circula con la carga máxima por eje permitida por el Decreto 32/2018 (Ver Figura Nº95).

CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]	SUSPENSIÓN NEUMÁTICA [toneladas]
EJE SIMPLE. -Ruedas individuales, (neumáticos no superanchos)		6 SEIS	6,3 SEIS COMA TRES
EJE SIMPLE. -Ruedas superanchas		6 SEIS (8 ocho - maquinaria especial)	8 OCHO
EJE SIMPLE. -Ruedas dobles		10,5 DIEZ COMA CINCO	11 ONCE
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales		10 DIEZ (5 por eje)	10,5 DIEZ COMA CINCO (5,25 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas dobles		18 DIECIOCHO (9 por eje)	18,9 DIECIOCHO COMA NUEVE (9,45 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas y ruedas dobles		15 QUINCE (9 eje con ruedas doble y 6 eje de ruedas superanchas)	16,5 DIECISEIS COMA CINCO (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales y ruedas dobles		14 CATORCE (9 eje con ruedas doble y 5 eje de ruedas individuales)	14,7 CATORCE COMA SIETE (9,45 eje con ruedas doble y 5,25 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		12 DOCE (6 por eje)	14 CATORCE (7 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas dobles.		25 VEINTICINCO COMA CINCO (8,5 por eje)	26,8 VEINTISÉIS COMA OCHO (8,93 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - 2 ejes con ruedas dobles. - 1 eje con ruedas individuales		21 VEINTIUNO (8,5 ejes con ruedas doble y 4 eje de ruedas individuales)	22 VEINTIDÓS (8,93 ejes con ruedas doble y 4,2 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		18 DIECIOCHO (6 por eje)	19,5 DIECINUEVE COMA CINCO

Figura N°95 - *Pesos máximos por tipo de eje establecidos por el Decreto 32/2018.*[27]

De esta forma, en la Tabla Nº26 se detallan los tres tipos de camiones antes mencionados, con sus respectivas configuraciones de ejes, y se muestran el número de ejes por tipo y por cada 1000 camiones.

[27]Ministerio de Transporte de la República Argentina. [s.f]. *Decreto 32/2018. Pesos máximos establecidos por la Ley.*

Espectro de cargas								
Camión	Tipo de camión	Cant camiones por día	% camiones	Cant de camiones c/1000	Eje simple rueda simple	Eje simple rueda dual	Eje doble rueda dual	Eje triple rueda dual
Lodos	S1-D2	48	94.12%	941	1	0	1	0
Cisterna SAL	S1-D1-D2	2	3.92%	39	1	1	1	0
Bombas	S1-D2	1	1.96%	20	1	0	1	0
Cantidad de ejes c/1000 camiones					1000	39	1000	0
Carga por eje [t]					6	10.5	18	25.5

Tabla Nº26 - *Espectro de cargas.*

En la Figura Nº96 se muestra el espectro de cargas ingresado en el software.

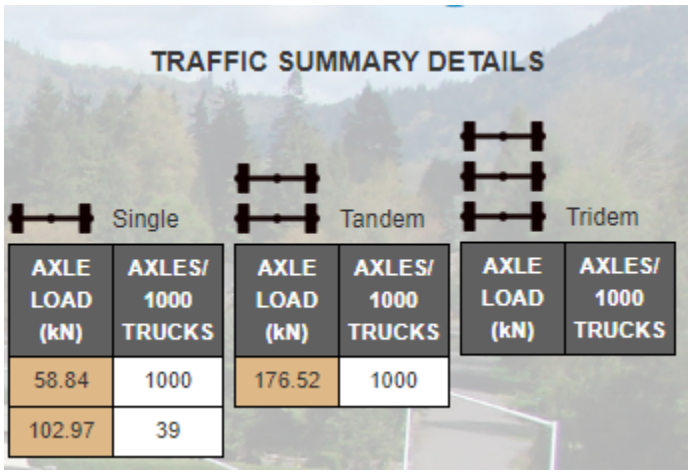


Figura N°96 - *Resumen del espectro de cargas ingresado al software PavementDesigner.*

Observación: se convierten las unidades de toneladas a kN.

Por otra parte, se definen a su vez los siguientes factores de distribución del tránsito que constituyen variables de entrada del software:

- Factor de direccionalidad (*Directional Distribution*): contempla posibles diferencias entre los sentidos ascendente y descendente de circulación. En este caso resulta igual a 1,00 debido a que la mayor proporción de los camiones cargados (transporte de lodos) circulan por un único carril.
- Factor de carril (*Design Lane Distribution*): tiene en cuenta la cantidad de carriles por cada sentido de circulación. Se proyecta una calzada bicarril indivisa, con un carril por cada sentido de circulación, por lo que el coeficiente resulta igual a 1,00.
- Tasa de crecimiento del tránsito (*Traffic Growth Rate*): contempla un porcentaje de crecimiento del tránsito, el cual se obtiene de un análisis de su evolución proyectada a través del tiempo. En este caso esta tasa se adopta igual a 0% por las siguientes razones:
    - el tránsito de diseño es el considerado para una situación futura en la cual se encuentran funcionando la totalidad de los edificios de tratamiento de lodos;

- el espectro de cargas contempla una situación cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja; es decir, que los cuatro edificios de tratamiento estén funcionando simultáneamente en *condiciones extremas* (ver 4.1.1 - Infraestructura existente y datos de partida), produciendo todos la máxima cantidad de lodos deshidratados calculada.

De esta forma, se puede considerar que la situación de diseño ya contempla una evolución del volumen de tránsito de camiones.

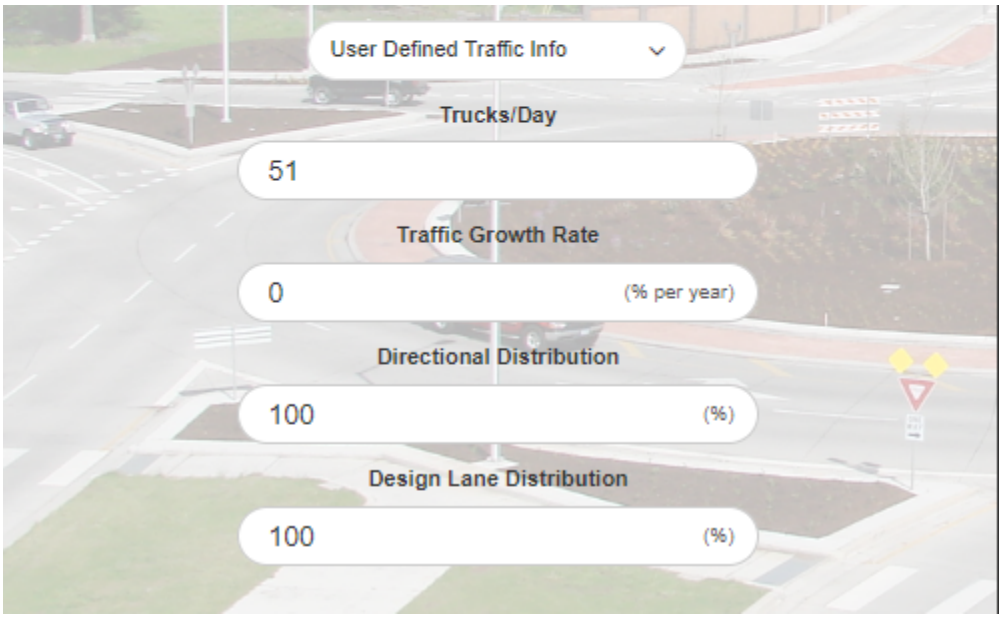


Figura N°97 - *Información del volumen diario de camiones, tasa de crecimiento del tránsito, factor de distribución direccional y distribución por carril.*

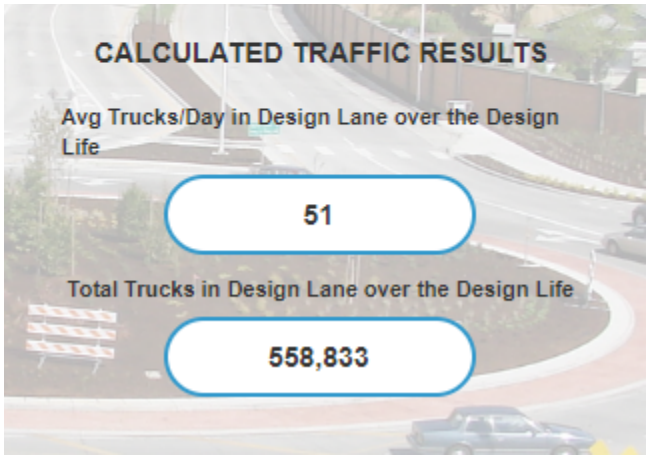


Figura N°98 - *Resultados del tránsito calculado por el software a partir de los datos de entrada.*

4.3.3.2 Subrasante

La subrasante se caracteriza a través del Valor Soporte Relativo o CBR. Debido a que no se dispone de los ensayos pertinentes para su evaluación, el mismo se determina a través de una expresión aproximada que es función de la granulometría y la plasticidad del suelo.

Los datos recabados del suelo se corresponden con sondeos que no fueron realizados exactamente sobre la traza del camino; sin embargo, son muestras extraídas a metros del sector, por lo cual se asume que son representativas y no se incurre en un mayor error. Cabe la aclaración de que esto último se asume como válido a nivel de anteproyecto de la estructura de pavimento, siendo necesarios trabajos de campo que incluyan: auscultación, muestreo y ensayos de laboratorio con el objetivo de lograr una caracterización más fiel de la subrasante.

<u>Datos de partida - Trabajos de campo realizados</u>

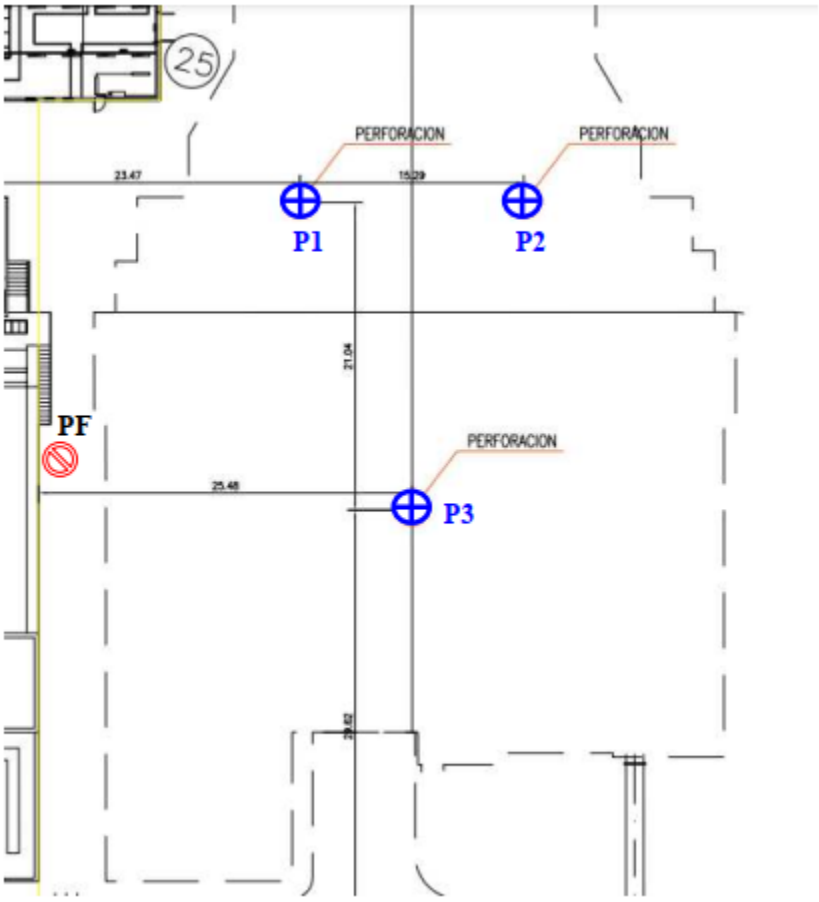


Figura N°99 - *Perforaciones realizadas en el estudio de suelos.*

Los trabajos de campo fueron realizados en Marzo de 2022 para la actual obra de ampliación de la Planta Potabilizadora. Se realizaron tres perforaciones de 15,00m de profundidad respecto a cada boca de pozo. En las mismas se efectuó el Ensayo de Penetración Normalizado de Terzaghi (SPT) según Norma IRAM 10517/70, con toma-muestra de puntas intercambiables, a cada metro de profundidad aproximadamente.

Con este procedimiento se tomaron muestras de cada estrato, y se acondicionaron para mantener sus características inalteradas hasta la posterior realización de los ensayos de laboratorio.

Resultan de interés tanto los datos obtenidos del sondeo 1 como del 2, dado que son los que tienen más proximidad al sector de pavimento proyectado en la ampliación de la obra (aproximadamente unos 20 metros) y que conecta el pavimento existente con los edificios de tratamiento de lodos proyectados.

Los perfiles estratigráficos pueden consultarse en el *Informe técnico - Estudio de Suelos para el diseño de la fundación de nuevos tanques*, adjunto en Anexo 4: *Estudio de suelos*. Del mismo resultan de interés los siguientes valores:

<u>Sondeo 1 - Muestra 1</u>:

- Profundidad: 1,50 m respecto a boca de pozo
- Límite líquido (LL): 42,05%
- Límite plástico (LP): 22,00%
- Índice de plasticidad (IP) = LL - LP = 20,05%
- Pasa tamiz #200: 98,93%

<u>Sondeo 2 - Muestra 1</u>:

- Profundidad: 1,50 m respecto a boca de pozo
- Límite líquido (LL): 42,59%
- Límite plástico (LP): 21,34%
- Índice de plasticidad (IP) = LL - LP = 21,25%
- Pasa tamiz #200: 98,97%

Se infiere que la similitud en los valores hallados responde a la proximidad de los sondeos y la homogeneidad del suelo. En base a esto, se decide adoptar para IP y para el Pasa tamiz #200 el promedio de los valores arrojados por cada sondeo, respectivamente. De esta manera, se tienen como valores de diseño para el cálculo del CBR:

- Índice de plasticidad (IP) = (20,05+21,25)% / 2 = 20,65%
- Pasa tamiz #200 = (98,93+98,97)% / 2 = 98,95%

Con lo anterior se obtiene:

wPI = 20,43

y, finalmente:

<u>CBR = 5,0</u>

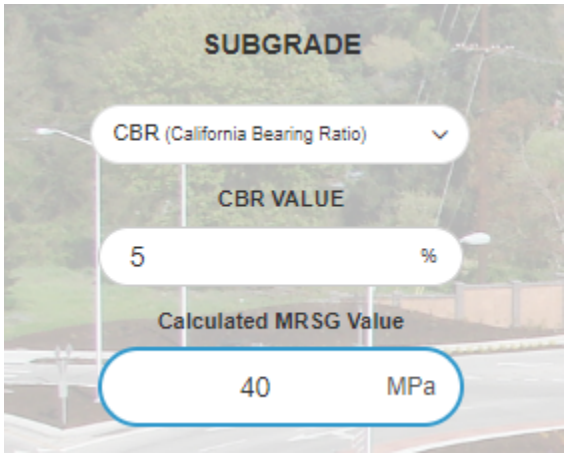


Figura N°100 - *Caracterización de la subrasante en el software. Se ingresa el valor de CBR estimado y el programa calcula automáticamente el módulo resiliente de la subrasante.*

4.3.3.3 Base

Como base se propone una carpeta de hormigón pobre, cuyas características son:

- Tipo: H-8 (hormigón pobre - "*Lean concrete base*")
- Espesor: 10 cm
- Módulo de elasticidad: 9.000 MPa

Además, con estos parámetros el software calcula el valor del módulo K de la subrasante, según se muestra en la Figura Nº101.

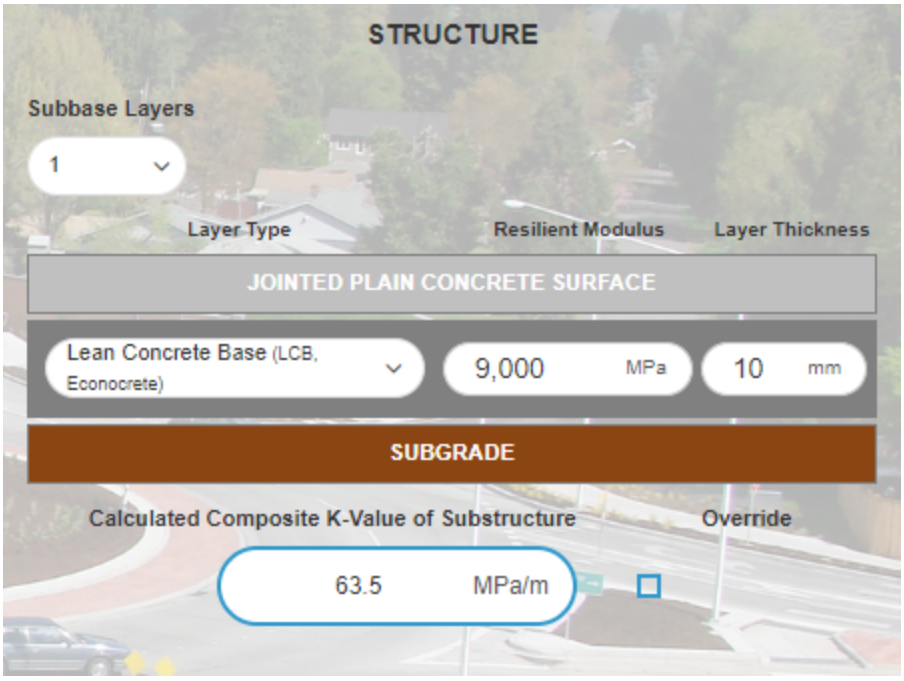


Figura N°101 - *Caracterización de la base y valor calculado del módulo K de la subrasante.*

4.3.3.4 Capa de rodamiento

- Material: hormigón
- Tipo: H-25
- Espesor: a determinar
- Resistencia característica a la compresión: 25 MPa
- Módulo de elasticidad: 25.000 MPa

Además, como la calzada cuenta con cordones en sus extremos, se especifica en el software la opción "*Edge support*" o "soporte de borde", considerándose de igual forma que si tuviera un sobreancho.

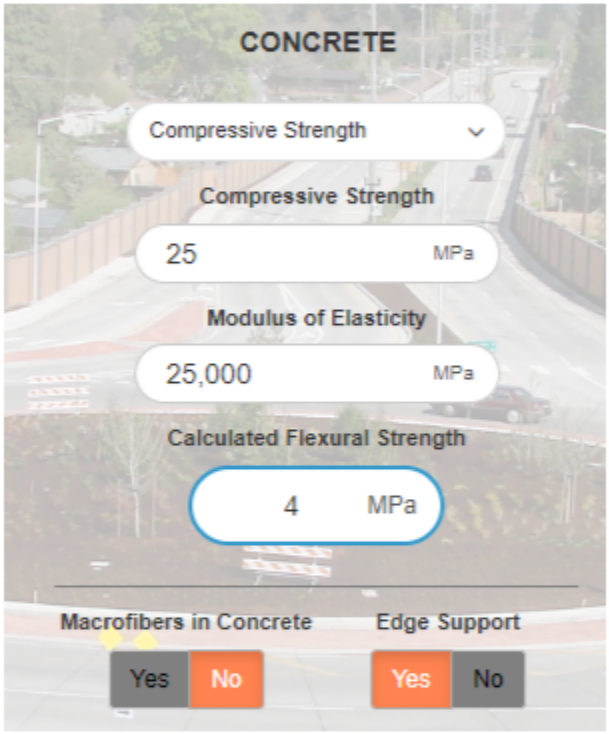


Figura N°102 - *Caracterización de la capa de rodamiento.*

4.3.3.5 Parámetros de diseño

Se adoptan los siguientes parámetros de diseño:

- Período de diseño: 30 años
- Confiabilidad: 85%
- Nivel de serviciabilidad final: 2,5. De esta forma, el porcentaje de losas fisuradas para este nivel y para el final del período de diseño es del 15%

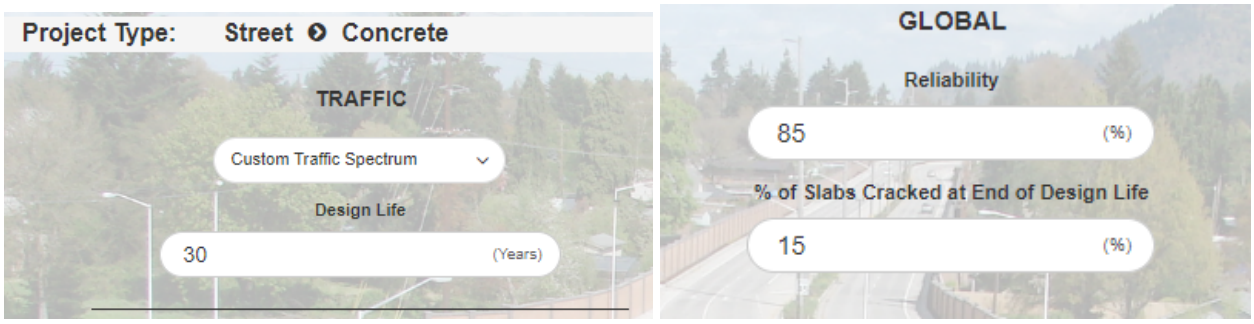


Figura N°103 - *Período de diseño, confiabilidad y % de losas fisuradas al final del período de diseño.*

4.3.3.6 Resultados

En la Figura Nº104 se muestran los resultados obtenidos en el software PavementDesigner. Allí se muestran los siguientes valores:

- *Calculated Minimum Thickness:* espesor mínimo calculado.
- *Recommended Design Thickness:* espesor de diseño recomendado.
- *Maximum Joint Spacing:* espaciamiento máximo de las juntas.

En cada uno, *doweled* y *undoweled* refieren a con y sin pasadores, respectivamente.

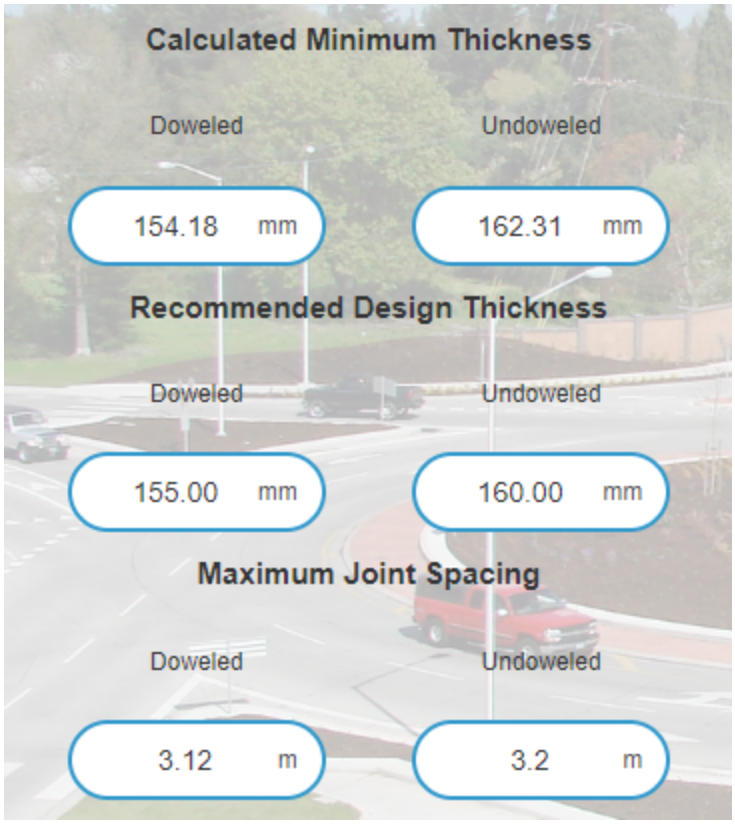


Figura N°104 - *Resultados obtenidos.*

Se propone, entonces, adoptar un espesor de losa de hormigón de 16 cm. En cuanto a la máxima separación de juntas, el software PavementDesigner aclara lo siguiente:

"PavementDesigner no incluye el espaciado de juntas como una variable de entrada de diseño. PavementDesigner calcula el espacio entre juntas recomendado como 5,25 veces el radio de rigidez relativa, lo que ha sido confirmado a través de observaciones de campo realizadas por ACPA en los EE. UU. para proporcionar un riesgo mínimo de agrietamiento de la losa en una variedad de condiciones in situ.
Como alternativa, se puede optar por determinar el espacio entre juntas según las fórmulas de la ACPA:
*RL = T * CS*
donde:

- *RL = Longitud recomendada entre juntas (Ver Notas 1 y 2)*
- *T = Espesor de la losa*
- *CS = Constante de soporte*

siendo:
CS = 24; para subrasantes o bases granulares.
CS = 21; para bases estabilizadas (cemento o asfalto)

Teniendo en cuenta las fórmulas de la ACPA, y recordando que la base es cementada, la separación máxima de juntas resulta:

$$s = 21 \times 0{,}16 \text{ m} = 3{,}36 \text{ m}$$

Se propone, entonces, adoptar un entorno para la separación máxima de juntas, que se encuentre entre ambos valores anteriormente presentados. Lo anterior implica:

$$\mathbf{3{,}12 \text{ m} < s \text{ máx} < 3{,}36 \text{ m}}$$

4.3.4 - Diseño de juntas

El objetivo primordial de un buen diseño de juntas es el de copiar la configuración de fisuras que se producen en el pavimento, tanto por acción de la retracción por fragüe en horas posteriores al hormigonado, como por acción del tránsito y los alabeos higrotérmicos durante el período de servicio (Figura Nº105).

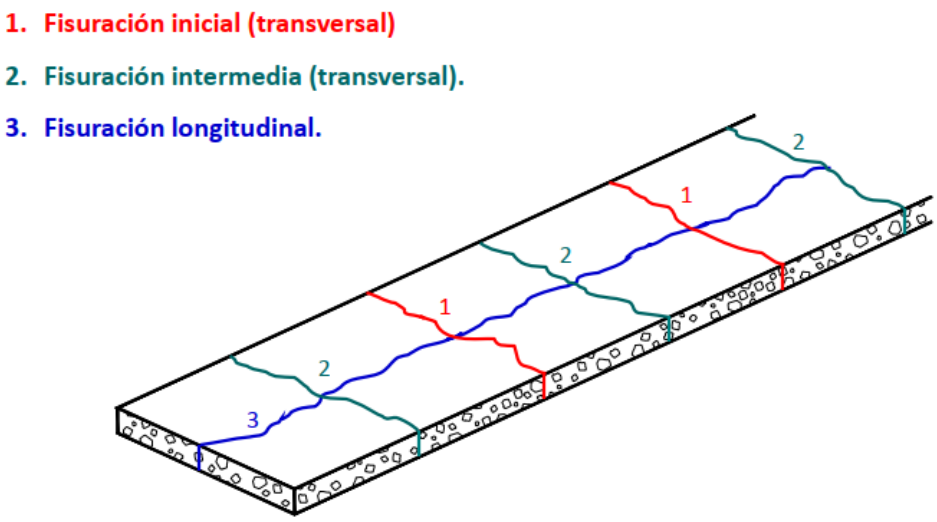


Figura N°105 - *Desarrollo natural de fisuras en un pavimento de hormigón*.[28]

En base a lo anterior, se toman como referencia principal las disposiciones del *Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón*, desarrollado por el Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA), para el diseño de cada tipo de junta proyectada en el tramo de pavimento en cuestión.

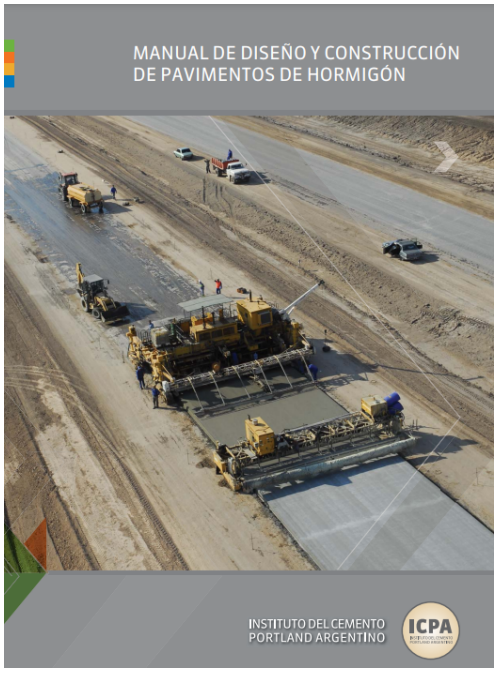


Figura N°106 - *Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón - Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA).*

[28]Ing. Diego Calo - Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA). [2005]. *Juntas en pavimentos de hormigón* (presentación).

4.3.4.1 Juntas transversales de contracción

Aunque el pavimento en cuestión tiene bajos volúmenes de tránsito, se propone que las juntas transversales se materialicen igualmente con pasadores, teniendo en cuenta que la totalidad del tránsito es pesado y para lograr una mejor transferencia de las cargas entre losas adyacentes.

Para evitar filtraciones de agua y el ingreso de materiales incompresibles a la zona fisurada, se prevé la colocación de un cordón sostenedor de poliuretano y un posterior sellado de la junta con un sellador de silicona [Figura Nº107].

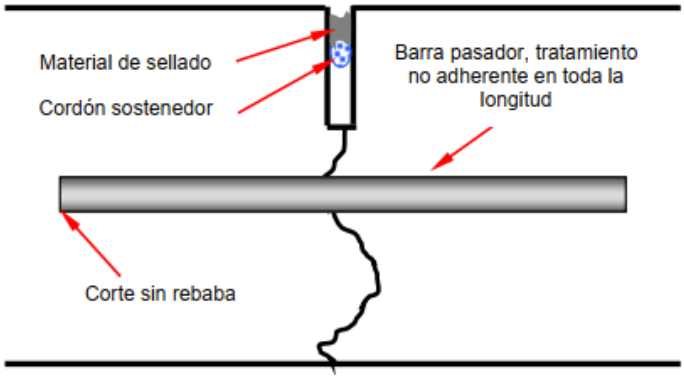


Figura N°107 - *Detalle junta transversal de contracción con pasadores.* [29]

Los pasadores se materializan con hierros Tipo I - AL-220, cuya superficie debe ser lisa, libre de óxido y con un tratamiento que impida la adherencia al hormigón en todo su largo. Según lo especificado en la Tabla 3-1 del MDCPH, el diámetro de las barras debe ser de 25 mm (ya que el espesor de losa es menor que 20 cm), su longitud de 45 cm y deben estar separadas cada 30 cm de centro a centro y como mínimo 15 cm de centro a borde. Se colocan en la mitad del espesor de la losa, paralelo al eje de la calzada.

En base a la clasificación del mencionado Manual, se trata de una junta tipo A-1 (ver Figura Nº108).

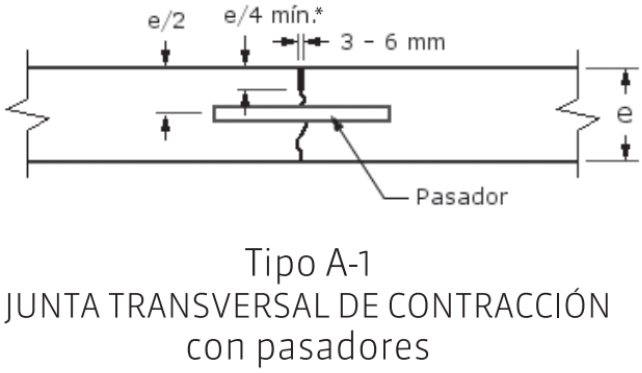


Figura N°108 - *Esquema de una junta transversal de contracción sin pasadores según el MDCPH. (*) "Para pavimentos construidos sobre bases tratadas (cemento o asfalto) la profundidad mínima de aserrado es de e/3".* [30]

[29]Cátedra Transporte III - Escuela Ingeniería Civil FCEIA. [2021]. *Material de apoyo.*
[30]Ing. Diego Calo - Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA). [2014]. *Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón (MDCPH)*

4.3.4.2 Juntas longitudinales

En este caso, estas juntas se proyectan con el objetivo de controlar la fisuración, debido a que el ancho de cada carril supera la separación máxima de juntas. Así, se plantean:

- (1) 4 fajas para el sector de ancho de calzada igual a 7,00 m
- (2) 6 fajas para el sector de ancho de calzada igual a 12,00 m

Cada carril se hormigona por separado, por lo cual las juntas internas de cada carril constituyen juntas longitudinales de contracción, mientras que aquellas que separan los carriles se materializan como juntas de construcción. Ambos tipos de juntas se proyectan con barras de unión y machimbre trapezoidal, como puede observarse en la Figura Nº109.

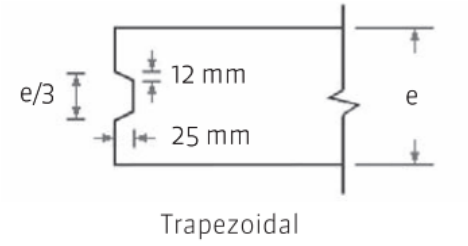


Figura N°109 - *Junta longitudinal de construcción o ensamblada con machimbre trapezoidal y barras de unión.* [31]

En relación a las barras de unión, el Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón (MDCPH) del ICPA menciona:

"... en pavimentos en los que el ancho requiere la ejecución de más de 4 fajas, no es necesario disponer de barras de unión para el anclado de todas las juntas longitudinales. En estas situaciones basta con anclar únicamente las juntas extremas, próximas a un borde libre. Esta práctica se efectúa para evitar tensionar el sistema y permite que las juntas centrales se encuentren debidamente confinadas por las fajas externas."

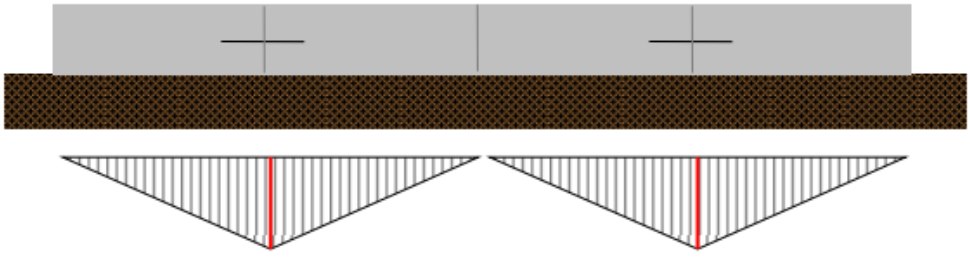


Figura N°110 - *Esquema de un pavimento compuesto por 4 losas, en el cual se vinculan con barras de unión únicamente las juntas extremas, y diagramas de momento asociados.*[32]

[31]Cátedra Transporte III - Escuela Ingeniería Civil FCEIA. [2021]. *Material de apoyo.*
[32]Ing. Diego Calo - Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA). [2005]. *Juntas en pavimentos de hormigón* (presentación).

Así, en (1) se prevé la colocación de barras de unión en cada junta, mientras que en (2) sólo se colocan en las juntas extremas.

La armadura necesaria de armadura para las barras de unión se determina según la siguiente expresión (*Ec. 3-2 - MDCPH*):

$$Astot = \frac{\gamma \,.\, E \,.\, L \,.\, \mu \,.\, S}{fa}$$

siendo:

- Astot: sección mínima de acero de las barras de unión, por cada losa de pavimento
- γ: peso unitario del hormigón
- E: espesor de la losa
- L: distancia al borde libre más cercano (en este caso se adopta la mayor)
- μ: coeficiente de fricción entre la losa y el apoyo
- fa: tensión admisible del acero
- S: separación entre juntas transversales

Teniendo en cuenta la peor situación para el cálculo que resulta de adoptar para L y S los máximos valores de todo el tramo (hipótesis conservadora y unificatoria), resulta:

DISEÑO DE JUNTAS		
Juntas longitudinales		
Armadura necesaria barras de unión		
γ	2400	kg/m3
E	0.16	m
L	3.50	m
μ	1.8	
S	2.50	m
fa	2400	kg/cm2
Astot	**2.52**	**cm2**

Tabla Nº27 - *Armadura necesaria de barras de unión para las juntas longitudinales.*

En base a la armadura total requerida por losa, se adoptan barras de diámetro 12 mm.

En cuanto a la separación, se busca que las barras de unión se encuentren uniformemente distribuidas a lo largo de la losa de pavimento, y se debe respetar una separación mínima de 40 cm entre las barras extremas y las juntas transversales. En base a lo anterior, se tiene:

DISEÑO DE JUNTAS		
Juntas longitudinales		
Separación barras de unión		
Diámetro barra de unión	12	mm
Área de cada barra de unión = Abarra	1.13	cm2
Cantidad de barras por losa = btot	3	U
Distancia mínima entre barras extremas y juntas transversales = smín	40	cm
Separación máxima entre barras de unión = (S - 2 . smín) / btot	56.67	cm
Separación adoptada entre barras	**50**	**cm**
Distancia entre barras extremas y juntas transversales adoptada	**50**	**cm**

Tabla Nº28 - *Separación de las barras de unión en las juntas longitudinales.*

Longitud de las barras: $l = \frac{As \,.\, fa}{p \,.\, fah}$

siendo:

- l: largo de la barra de unión
- fah: tensión admisible de adherencia acero - hormigón
- p: perímetro de la barra de unión
- As: área de cada barra de unión

En base al MDCPH, puede adoptarse una tensión admisible de adherencia acero - hormigón de 2 MPa y un valor de tensión admisible correspondiente al acero Tipo III de 240 MPa, por lo que la Tabla N°29 extraída del mismo manual detalla la longitud de las barras según su diámetro:

Diámetro de la barra [mm]	Sección [cm²]	Perímetro [cm]	Largo mínimo de la barra de unión [cm]
10	0,79	3,14	60
12	1,13	3,77	72
16	2,01	5,02	96
20	3,14	6,28	120

Tabla N°29 - *Largo mínimo de las barras de unión en función del diámetro.*[33]

De esta forma resulta el **largo mínimo de cada barra de unión de 72 cm**, **adoptándose para el proyecto dicho valor.**

[33]Ing. Diego Calo - Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA). [2014]. *Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón (MDCPH). Tabla 3-3.*

Estas barras se colocan en la mitad del espesor de la losa, en sentido perpendicular al eje de la calzada.

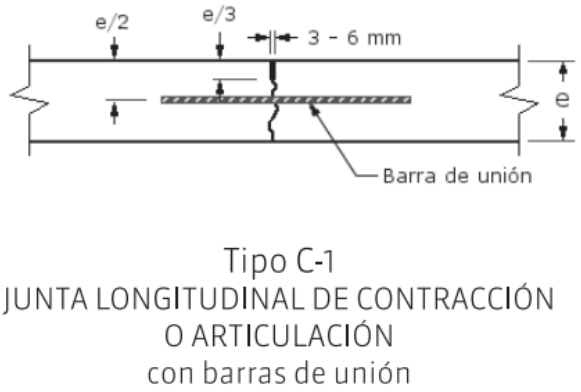


Figura N°111 - *Esquema de juntas longitudinales.*

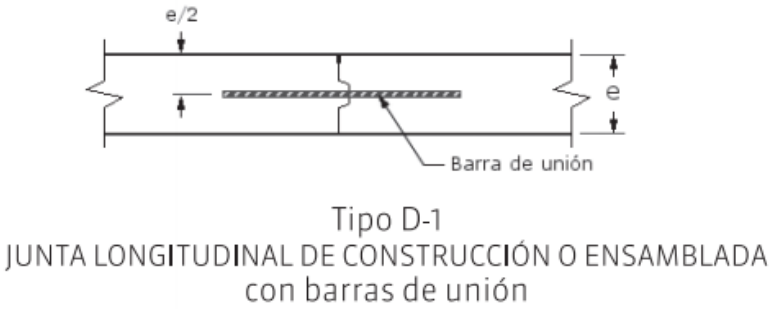


Figura N°112 - *Esquema de juntas longitudinales de construcción con barras de unión.*

4.3.4.3 Juntas longitudinales ensambladas a borde libre

Es similar a la junta longitudinal de construcción, pero no lleva barras de unión y se emplea para permitir el movimiento relativo en la zona de intersección entre la calle principal y el acceso al Módulo de Tratamiento II.

Figura N°113 - *Esquema de juntas longitudinales de construcción sin barras de unión.*

4.3.4.4 Juntas transversales de dilatación o expansión

Se colocan en dos lugares específicos con el objetivo de permitir movimientos diferenciales entre paños de losas:

- en la transición del pavimento existente con el pavimento proyectado
- en la calle de acceso al Módulo de Tratamiento II

Se ejecutan con pasadores de 50 cm de largo para la transferencia de carga ubicados en la mitad del espesor de la losa, y se prevé una cápsula o capuchón de expansión de 10 cm de largo con una carrera libre interior de 5 cm. Para evitar el desplazamiento del capuchón durante la ejecución de la junta, se recomienda rellenar la carrera libre con poliestireno expandido o cualquier otro material compresible.

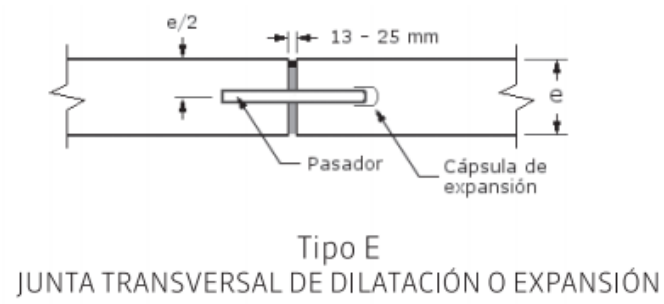


Figura N°114 - *Esquema de juntas transversales de dilatación.*

Para la correcta disposición de los pasadores,

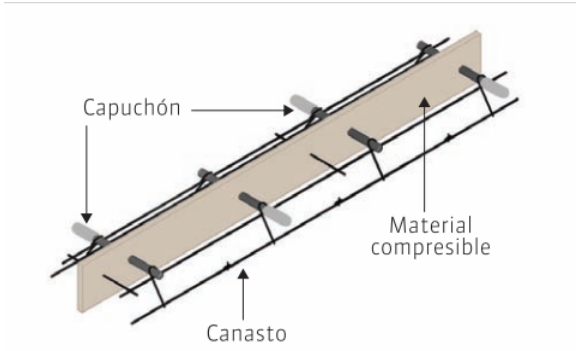


Figura N°115 - *Esquema de disposición de pasadores.*

4.3.4.5 Juntas de aislación

Estas juntas absorben los movimientos relativos entre las losas y una estructura fija. En el tramo en estudio, estas estructuras fijas son tres cámaras de inspección que se encuentran sobre el pavimento. Las juntas se materializan con una separación de 20 mm entre la losa de pavimento y la estructura fija, que se rellena con un material compresible y posteriormente se sella.

Debido a que estas juntas se encuentran en la zona de circulación, debe incrementarse el espesor del pavimento en un 20% en coincidencia con la junta, lo cual brinda una capacidad estructural adicional, supliendo la falta de transferencia de carga que supone la ausencia de pasadores en dicho sector.

En base a la clasificación del MDCPH, se trata de una junta tipo F-2 (ver Figura N°116).

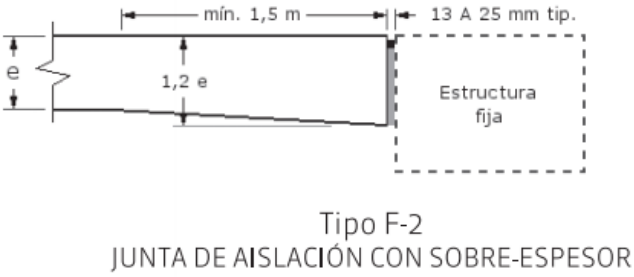


Figura N°116 - *Junta de aislación con sobre-espesor tipo F-2.*[34]

El diseño de juntas del pavimento proyectado, así como también el detalle constructivo de cada una, pueden consultarse en el plano **G1-VIAL-004:** *Diseño tramo de pavimento rígido. Sector edificio de tratamiento de lodos*.

4.4 - Aspecto ambiental

4.4.1 - Descripción del problema

En base a lo anteriormente expuesto, el objetivo primordial del tratamiento de lodos surge como contrapropuesta al proyecto original realizado para la Etapa I ya ejecutada y el pliego de la ampliación de la Etapa II, que es volcar los lodos generados en el proceso de potabilización directamente al río, sin ningún tipo de tratamiento.

Según fue tratado en el punto "2.6 - Origen de lodos y necesidad de tratarlos", si bien gran porcentaje de los lodos producidos en la planta se compone de materiales inertes (por ejemplo arena fina, limo y arcilla), también se encuentran presentes determinadas sustancias químicas, tales como: óxidos, hidróxido de aluminio, impurezas de la cal, entre otras, así como también microorganismos que pudiera contener el agua cruda y que no hayan podido ser eliminados en la etapa de decantación.

El enorme caudal mínimo que aporta del Río Paraná es una garantía indiscutible como fuente de provisión, así como también de depuración. Puede observarse que a pesar de la bajante extrema que afrontó este último tiempo (Qmedio = 5300 m3/seg)[35], el caudal del Paraná es muy grande, y tiene la

[34]Ing. Diego Calo - Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA). [2014]. *Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón (MDCPH)*

[35]Agencia IP [28.11.22]. *Río Paraná reportó su menor caudal en 120 años.* Disponible en: https://www.ip.gov.py/ip/rio-parana-reporto-su-menor-caudal-en-120-anos/

capacidad suficiente para autodepurarse, es decir, de modificar la composición del agua que recibe, y eliminar contaminantes (materia orgánica, sustancias en suspensión, etc). Sin embargo, que el río tenga esta capacidad de autodepuración no es justificativo para continuar volcando efluentes, aunque su impacto sea menor. Por lo tanto, se considera que el presente proyecto resulta imprescindible y beneficioso para evitar seguir contribuyendo al deterioro de un recurso natural tan importante para la zona.

Particularmente, al realizarse una inspección ocular en la zona, se observa un impacto producto de la descarga directa de los lodos hacia el río. La misma se realiza de manera intermitente, generando un aumento localizado de la turbiedad y el color. Además, si bien dicha descarga se encuentra aguas abajo del muelle de toma, la distancia que los separa no excede los 50 metros, quedando muy próximos entre sí. (Figuras Nº117, Nº118 y Nº119).

Figura Nº117 - *Descarga de lodos hacia el Río Paraná. Foto 1.*

Figura Nº118 - *Descarga de lodos hacia el Río Paraná. Foto 2.*

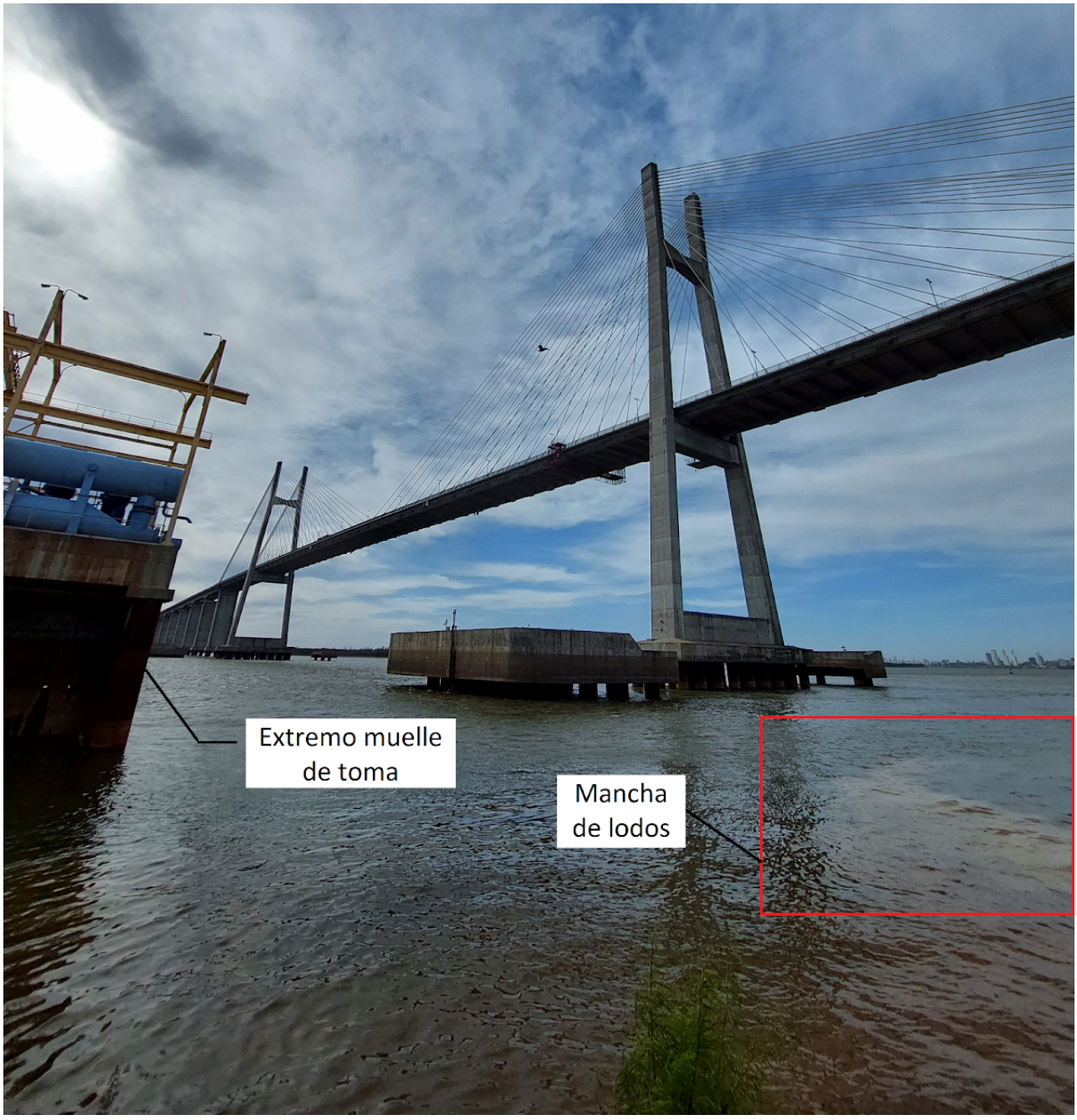


Figura Nº119 - *Mancha de lodos sobre el Río Paraná y cercanía respecto al muelle de toma*.

A su vez, en la Figura Nº120 puede observarse una imagen satelital extraída del software Google Earth con fecha 12 de mayo de 2021, en donde se observa la mancha producida por la descarga de los lodos, aguas abajo del muelle de toma y contra la orilla del río.

Figura Nº120 - *Mancha de lodos en el Río Paraná, extraída de Google Earth con fecha de captura 12 de mayo de 2021.*

Con la línea de tratamiento de lodos propuesta, se busca entonces evitar esta descarga directa sobre el río, actuando e interviniendo sobre el tramo final de la línea existente a la salida del tanque ecualizador.

4.4.2 - Objetivos del desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.

Figura Nº121 - *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados.

A continuación se enlista, según el orden de prioridad que se les dio durante el proyecto, los objetivos que se consideran vinculados al mismo y por qué se relacionan.

Figura Nº122 - *Objetivo N°6 del Desarrollo Sostenible*.

Entre las metas que se consideran que involucran al proyecto se encuentran:

6.3) De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

6.4) De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

6.6) De aquí a 2030, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

Este objetivo se relaciona con el proyecto debido a que se busca proteger el Río Paraná evitando su contaminación con los residuos que genera la Planta Potabilizadora. De este modo se hace sostenible la extracción del agua de río, asegurando que las poblaciones futuras también puedan aprovechar este recurso.

Figura Nº123 - *Objetivo N°11 del Desarrollo Sostenible*.

La meta que se considera que involucra al proyecto es:

11.6) De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

Este objetivo se relaciona con el proyecto debido a que, al realizar un tratamiento de los lodos generados en la planta, se reduce la contaminación bacteriana y concentraciones de aluminio que llegan a las aguas receptoras, reduciendo efectivamente el impacto ambiental negativo de las mismas.

Figura Nº124 - *Objetivo N°12 del Desarrollo Sostenible*.

La meta que se considera que involucra al proyecto es:

12.4) De aquí a 2030, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

Similar con el objetivo anterior, se relaciona con el proyecto debido que al realizar un tratamiento de los lodos generados en la planta, se disminuye la contaminación por concentraciones de aluminio liberadas al río.

Figura Nº125 - *Objetivo N°3 del Desarrollo Sostenible*.

Entre las metas que se consideran que involucran al proyecto se encuentran:

15.1) Para 2030, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

15.5) Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.

Este objetivo se relaciona con el proyecto debido a que al reducir la contaminación de los agentes ya mencionados, se asegura el uso sostenible del Río Paraná y la conservación de la diversidad biológica que allí se encuentra.

Figura Nº126 - *Objetivo N°3 del Desarrollo Sostenible*.

Entre las metas que se consideran que involucran al proyecto se encuentran:

3.3) Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.

3.9) Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.

Este objetivo se relaciona, por un lado, con la etapa operativa del proyecto debido a que los lodos que actualmente se vuelcan al río producen contaminación bacteriana y liberan concentraciones de aluminio, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud, y por lo que al tratarlos se evita o reduce este riesgo.

Por otro lado, se relaciona también con la etapa constructiva, debido a que la ejecución de este proyecto está relacionada directamente con la generación de una gran cantidad de puestos de trabajo.

4.4.3 - Experiencias anteriores

A continuación, se realiza un compendio de información obtenida de la consulta de distintos documentos académicos, los cuales abarcan experiencias en otros países latinoamericanos. Las mismas se utilizaron a modo de guía para el desarrollo del aspecto ambiental del presente proyecto.

En cuanto a la caracterización de los lodos generados, según sus características químicas, la *Propuesta de diseño del sistema de tratamiento y disposición final de lodos generados en la planta potabilizadora Los Álamos en el Cantón Francisco de Orellana* de la Universidad Central del Ecuador, plantea utilizar "la Norma Oficial Mexicana Nom-004-Semarnat-2002, Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos.-Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición Final; donde se establece una clasificación en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos."[36]

Tabla Nº 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Tabla Nº30 - *Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.* [37]

Tabla Nº 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

CLASE	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	< 1000	<3	<1 (a)
B	< 1000	<3	<10
C	< de 2000000	<300	<35

Tabla Nº31 - *Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.*[38]

[36]Paredes y Chisaguano - Universidad Central del Ecuador. [2016]. *Propuesta de diseño del sistema de tratamiento y disposición final de lodos generados en la planta potabilizadora Los Álamos en el Cantón Francisco de Orellana.*
[37]Idem 36.
[38]Idem 36.

Tabla Nº 3. Aprovechamiento de biosólidos.		
Tipo	**Clase**	**Aprovechamiento**
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para la clase B y C.
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para la clase B y C.
Excelente o bueno	C	Usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas

Tabla Nº32 - *Aprovechamiento de biosólidos*.[39]

Sin embargo, no tuvieron en cuenta solo esta normativa, sino que también tomaron en consideración investigaciones de otros autores sobre la toxicidad de lodos generados por plantas potabilizadoras:

- "Kaggawa (2001) en su estudio del efecto de la descarga de lodo obtenido de coagulantes de aluminio en el lago Victoria de Uganda, observó anomalías en las raíces de algunas plantas y deficiencia de fósforo atribuyendo esto último a la presencia de aluminio que impide la correcta asimilación de fósforo por las raíces de la planta" (Pavón Silva, Pacheco Salazar, & Cárdenas Zuazo, (2002)."
- "Estudios realizados por Sparks (2003); Sparling et al. (1997) indican que a valores de pH menores a 5,2 el aluminio puede ser tóxico para las plantas (Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington, 2014), considerando que el pH de los suelos de la Provincia de Orellana son ácidos y tiene valores que llegan hasta 4,61 (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, 2015), no permite aprovechar este lodo en la agricultura, a menos que se mantenga un control estricto del pH y de la disponibilidad de fósforo en el suelo."[40]

Finalmente, de acuerdo a la toxicidad de estos lodos y según lo especificado en la Tabla Nº32, en la Tabla Nº33 se observa el aprovechamiento que se les puede dar:

[39]Idem 36.
[40]Idem 36.

Aprovechamiento	Uso	Lugar de aplicación
Usos urbanos con y sin contacto público directo durante su aplicación.	Capas de soporte de adoquines.	Instalaciones de la planta de agua potable y sitios públicos.
	Material de cobertura y relleno.	Parques y lugares recreacionales Relleno sanitario.
	Siembra vegetación excluyente de aluminio y de plantas ornamentales como la hortensia.	Jardines

Tabla Nº33 - *Lugares de aplicación y uso del lodo para su aprovechamiento.*[41]

Otro estudio en cuanto al aprovechamiento de los lodos, es el denominado *Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar morteros y concretos,* realizado en el Instituto de Ingeniería UNAM de México. En el mismo se explica que México posee una gran cantidad de plantas potabilizadoras, y por ende genera una gran cantidad de lodos residuales. Por esto y sumado al aumento en el interés por el medio ambiente y el desarrollo sustentable, se vieron motivados a estudiar soluciones para aprovechar los residuos generados.

Brevemente explican que "Una de las opciones de aprovechamiento, que presenta una alta factibilidad técnica, es la elaboración de materiales cementantes, como morteros, constituidos parcial o totalmente por residuos con propiedades mecánicas similares, o en muchos casos superiores, a las de productos comerciales." "Con base en los resultados de las pruebas realizadas se determinó que las mezclas binarias, compuestas por 90% lodo y 10% cemento; y 90% lodo y 10% cal, presentaron valores más altos de resistencia a la compresión (153.63 Kg/cm2 y 144.13 Kg/cm2 respectivamente), con respecto al reportado para morteros tipo I[42] y concretos de relleno (125 Kg/cm2). La mejor mezcla ternaria compuesta por 90% lodo, 5% yeso y 5% cemento, presentó un valor superior (109.6 Kg/cm2) al valor recomendado para un mortero tipo II (75 Kg/cm2)." Finalmente, concluyen que "el lodo es un material que posee un alto potencial para ser utilizado en materiales para construcción y, el cual permitiría reducir costos de producción."[43]

De manera similar, en el informe *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de los lodos producidos en la planta potabilizadora Herminia Cabello Sánchez* de la Universidad de Guayaquil - Ecuador, se plantea "la potencial aplicación de los lodos secos para la elaboración de: ladrillos, productos cerámicos, áridos ligeros y adoquines en la producción de cemento Portland (De Carvalho et al., 2019). Se han elaborado morteros para fabricación de bloques, adoquines y artesanías empleando mezclas lodo-cemento

[41]Idem 36.
[42]Los morteros tipo I son aquellos con dosificación cemento portland 1, cemento de albañilería 0, cal 0 a ¼, arena 2,25 a 4 veces los cementantes; o bien aquellos con dosificación cemento portland 1, cemento de albañilería 0 a ½, cal 0, arena 2,25 a 4 veces los cementantes.
[43]Cerón, Millán, Espejel, Rodriguez y Ramirez - Instituto de Ingeniería, UNAM. [s.f]. *Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar morteros y concretos*.

o lodo-yeso en diferentes proporciones (en reemplazo de la arcilla). El mortero de mejor calidad es el que posee una composición 55% lodo de potabilización y 45 % cemento, para este proceso los lodos son sometidos a un proceso de estabilización que consiste en el secado al aire libre por 14 días (Ortega et al., 2019).[44]

Otro antecedente interesante es el de la Planta Potabilizadora de Reconquista Santa Fe. siendo la información que se desarrolla a continuación fuente de la experiencia de la Ingeniera Química Procesista Silvina Zamar, quien ha trabajado en dicho proyecto, y con quien se ha logrado realizar una entrevista.

El proyecto de dicha planta en su totalidad comenzó en el año 2008. En 2015 se inauguró la planta potabilizadora sin ningún tratamiento de lodos, el cual iniciaría recién en 2020.

Durante el diseño han tenido que recorrer muchas oficinas para que les aprobaran el proyecto, ya que ningún sector analizaba los efluentes del procedimiento de potabilización, ni había normativas vigentes (lo cual se mantiene hasta hoy en día para los lodos deshidratados).

El terreno disponible para la obra era de Vialidad Nacional, quien ya lo había utilizado para obtener material para movimiento de suelo para la ejecución del Puerto de Reconquista; es decir que allí se realizaron excavaciones y el terreno poseia cavas[45]. Se propuso entonces refular arena para elevar el terreno natural, para lo cual se debió solicitar un permiso a sectores de: Vialidad, Ambiental (estudio de impacto ambiental), Minería (extracción de suelo), entre otros. Aprobados todos los permisos, se llegó a la conclusión que era conveniente dejar la cava más profunda en esas condiciones y rellenarla posteriormente con los lodos derivados del proceso de potabilización.

Al retomar el proyecto en 2020 se debieron pedir nuevos permisos, lo cual llevó mucho tiempo hasta que fueron aprobados. Una vez aceptada la disposición final de los lodos en la cava propuesta en el diseño inicial, se estableció que los mismos debían ser colocados en capas de 30cm y realizando una adecuada compactación. Este pozo tiene capacidad de relleno efectivo hasta el año 2040.

Además, en el proyecto inicial se propuso utilizar filtro prensa para el tratamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización. Utilizando como referencia la Planta Potabilizadora del Acueducto Desvío Arijón[46], actualmente en desuso, en la cual se utilizaban filtros prensa, concluyeron que dichos equipos eran más grandes y producían mayor suciedad que las centrífugas. Por tal motivo es que en 2020 se opta por utilizar centrífugas de la marca Alfa Laval.

Para determinar la dosis de polímeros a utilizar se desarrolló una técnica para centrifugación, filtración y decantación; un ensayo similar al Jar-test (ensayo de jarras). Se midieron entonces: sequedad y clarificado, hasta llegar a ajustar la dosis necesaria. Para verificar la calidad del barro, se midió el aluminio

[44]Castro y Reyes - Universidad de Guayaquil. [2022]. *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de los lodos producidos en la planta potabilizadora Herminia Cabello Sánchez*.
[45]Grandes pozos o depresiones del terreno.
[46]Desvío Arijón es uno de los acueductos que forman parte del Sistema Provincial de Acueductos, que cuenta con un módulo de potabilización en funcionamiento, estando en ejecución una segunda etapa de obras.

que contenían los mismos. Debido a las turbiedades bajas que manejaban (150 UNT), se utilizaban 40 ppm sulfato de aluminio, por lo que luego del tratamiento no se detectaba prácticamente nada de aluminio

Se considera que el tratamiento fue muy exitoso, ya que se lograron porcentajes de sequedad de hasta el 40%, con lo cual quedaba atascado el barro en la centrífuga y debieron reducirlo al 30% para lograr su correcta extracción. Esto fue un hecho muy interesante, ya que la misma marca decía que se aspiraba a una sequedad de hasta el 25%.

Uno de los pensamientos que tuvo la Ing. Zamar fue que logrando tanta sequedad, quizás habría otra alternativa de aprovechamiento distinta al relleno de la cava, como la utilización en mezclas con cemento. De todos modos, considera que el tratamiento es un éxito y se debió principalmente al buen equipo de trabajo, a la constante ayuda de soporte técnico por parte de la empresa Alfa Laval, y al mantenimiento que se le da a los equipos (ya que el polielectrolito es un gel que se pega al equipamiento, por lo que se requiere de gente idónea para mantenerlos. Particularmente en Reconquista cuentan con dos Ingenieros Electromecánicos destinados a tal fin).

Para concluir con este análisis de experiencias anteriores, se quiere resaltar el hecho de que los artículos académicos consultados fueron todos elaborados en otros países, no hallándose informes realizados respecto a la situación en Argentina de fuentes confiables acerca del tema abordado, confirmándose esto al dialogar con la Ingeniera Procesista de la Planta de Reconquista, la cual afirmó tener que recurrir a muchos permisos de diversos sectores al no contar con una normativa específica para el tratamiento de lodos. Una situación similar se observa en las plantas potabilizadoras de Ecuador, país que tampoco posee normativa, motivo por el cual recurrieron a la reglamentación vigente en México.

4.4.4 - Efluentes generados

La línea de tratamiento, proyectada para la Planta Potabilizadora Acueducto Gran Rosario, generará **2 tipos de subproductos**:

- **masas de lodos deshidratados**, con un cierto porcentaje de humedad, cuya disposición final se estudiará con mayor detalle en los puntos siguientes.
- **líquido residual**, cuya factibilidad de vuelco directo sobre el desagüe existente en la Planta será objeto de estudio de acuerdo a su caracterización química y a condiciones hidráulicas. De lo contrario, deberá proyectarse una descarga independiente hacia el río o se deberá proponer otro tipo de solución.

4.4.4.1. - Disposición final de lodos deshidratados

De acuerdo con lo investigado a lo largo del informe, y debido a la falta de normativas específicas referentes a la disposición final de lodos, a continuación se proponen posibles alternativas para su descarte

o eventual aprovechamiento de los mismos, las cuales dependerán principalmente de su composición química.

En Argentina, la normativa más apropiada que puede aplicarse a este análisis es la Ley Nacional Nº 24.051/1991: Residuos peligrosos[47]. A partir de su evaluación, se concluye que los lodos que se estudiaron a lo largo de este Proyecto no se encuadran en ninguna de las categorías que definen a un residuo como peligroso.

Debido a ello, se indagó acerca de normativas vigentes en otros países destinadas a la caracterización y disposición final de lodos producidos en plantas potabilizadoras. Además, se enumeran distintas alternativas que aprovechan efectivamente los lodos para realizar algo útil.

Recurriendo a la Normativa de México, descripta en "4.4.3 - Experiencias anteriores", se realiza la hipótesis que los lodos de nuestra zona serían **excelentes** (S/ Tabla N°30) ya que tendrían bajas concentraciones de metales pesados, y **clase B** (S/ Tabla N°31) siendo conservadores en la cantidad de patógenos y parásitos que podrían estar presentes. Por lo que, de acuerdo con las Tablas Nº32 y Nº33, el aprovechamiento debería estar relacionado con usos urbanos sin contacto público durante su aplicación, específicamente algunos posibles usos serían:

- Capas de soporte de adoquines, en sitios públicos.
- Material de cobertura y relleno, en zonas como parques y lugares recreacionales.
- Siembra de vegetación. Siendo excluyente la presencia de aluminio, y de plantas ornamentales como la hortensia.

Luego, de acuerdo con las otras experiencias, pueden plantarse las siguientes alternativas:

- Elaboración de material cementante
- Elaboración de ladrillos, bloques, adoquines y productos cerámicos, empleando mezclas de lodo-cemento o lodo-yeso en diferentes proporciones.
- Relleno sanitario.

  Como última opción, se analizó el vertido de los lodos en un espacio destinado para relleno sanitario. Es la situación más desfavorable ya que el barro en sí no se aprovecha, sólo se dispone en un lugar. Sin embargo, es la alternativa más probable ya que tiene los requerimientos menos exigentes.

[47]Honorable Congreso de la Nación Argentina. [02.01.23]. *Ley Nº24.051*. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24051-450/actualizacion

Cualquiera sea la disposición final de los lodos, los mismos deberán retirarse de la planta hacia su destino (fábrica de materiales, disposición para suelo de siembra, suelo de apoyo, relleno sanitario, etc) mediante camiones gancho. Como se mencionó en el analisis vial "4.3.3.1 Solicitaciones", la cantidad de vehículos necesarios son determinados en función de la cantidad de contenedores que se llenan a diario como se muestra en la Tabla Nº34:

Volumen diario de lodos	229	[m3/dia]
Capacidad contenedores	20	[m3]
Contenedores a retirar por día	12	[U/día]

Tabla Nº34 - *Volumen diario de lodos para la condición extrema y cantidad de contenedores a retirar por día.*

De la Tabla N°34 se desprende que, teniendo en cuenta que cada camión gancho puede transportar un contenedor, será necesario realizar **12 viajes por día por módulo** en la situación extrema de funcionamiento de la planta.

Se vuelve a resaltar el hecho que la circulación de esta gran cantidad de camiones constituye un límite superior y tiene una muy baja probabilidad de ocurrencia.

En cuanto al impacto que generaría la circulación de todos estos vehículos, se considera que pueden ocasionar contaminación sonora y posibles perjuicios al pavimento existente. Sin embargo, como medidas mitigatorias podrían ser: controlar la calidad de los camiones utilizados, para evitar sonidos molestos; y controlar la carga de los mismos, mediante balanza a la salida de la planta, para evitar sobrecargas.

4.4.4.2. - Disposición final de efluentes líquidos residuales

La disposición final de los efluentes líquidos residuales generados por las centrífugas deberá verificar dos requerimientos:

1) Hidráulicos
2) Físico-químicos

Como alternativas se tienen:

- Descarga en el desagüe general de la Planta, el cual, a su vez, descarga en un colector de Ø 1500mm ubicado al sur de la Planta Potabilizadora en una arteria colectora que conduce todos los efluentes recolectados al Río (Ver Figura Nº127).
- Cañería de descarga independiente al río, en caso de no verificarse las condiciones hidráulicas para la descarga en el desagüe general.
- Otra alternativa de tratamiento en caso de que la caracterización físico-química del efluente no permita por Normativa Vigente ser volcado en un curso receptor.

En lo que respecta al requerimiento 2), en caso de volcarse el efluente a un curso receptor (en este caso el Río Paraná), el mismo deberá verificar las disposiciones de la Resolución Nº 1089/82 - "Reglamento para el control del vertimiento de líquidos residuales". Esta resolución "establece las condiciones a que deberá ajustarse el efluente y el proyecto, construcción, reparación, modificación, mantenimiento y contralor de funcionamiento de las instalaciones de que debe dotarse a aquellos inmuebles cuyos líquidos residuales requieran un tratamiento previo para alcanzar las condiciones de vuelco aceptables para su descarga a los cuerpos receptores."

En este sentido, en el **ANEXO II - TÍTULO A** de la mencionada Resolución se establecen las *condiciones físicas y químicas* a que deben ajustarse estos efluentes para su descarga en cuerpos receptores a través de colectoras. Los efluentes en cuestión deberán someterse a los análisis pertinentes, cuyos resultados serán comparados con los parámetros y límites que se listan a continuación:

1. pH : deberá estar comprendido entre 6,5 y 8,5.

2. ACEITES Y GRASAS : 200 mg/l.

3. SULFUROS : 2 mg/l.

4. TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS: - secado 105 °C - 500 mG/l.

5. DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO : - 20 °C sin nitrificación - 300 mg/l.

6. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO : - dicromato potásico - 375 mg/l.

7. FENOLES: 500 ug/l C6H5OHJ.

8. HIDROCARBUROS TOTALES : 100 mg/l

9. CIANURO : 100 ug/l.

10. DETERGENTES SINTÉTICOS : 5 mg/l.

11. CROMO : 200 ug/l.

12. CADMIO : 200 ug/l.

13. PLOMO : 500 ug/l.

14. MERCURIO : 5 ug/l.

15. ARSÉNICO : 500 ug/l.

En caso de encontrarse dentro de todos los límites, será factible su disposición final en el Río Paraná, proyectándose para tal fin una conexión hacia el desagüe general de la Planta, en caso de verificarse las condiciones hidráulicas [Ver 4.5 - Diseño hidráulico y plano **G1-HID-003**: *Conexión descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta*].

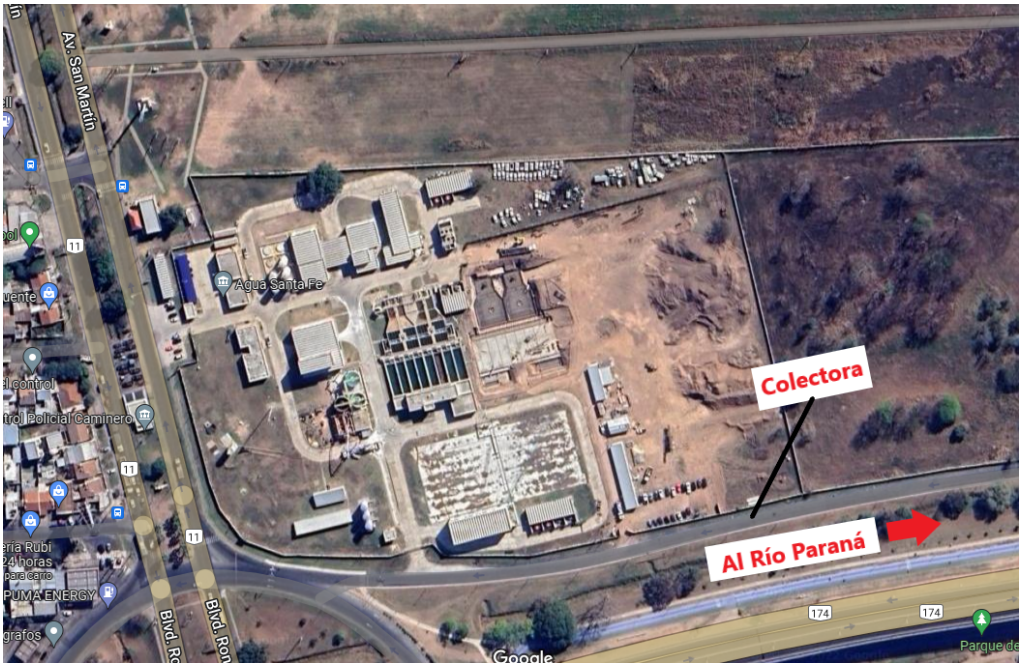


Figura N°127 - *Colectora al sur de la Planta por la cual se encuentra el colector de 1500mm que descarga en el Río Paraná.*

Esta red de desagües está dimensionada para la circulación del agua de lavado de los filtros, desbordes de uno de los módulos y caudal de lluvia proveniente de áreas impermeables de la planta.

En relación al requerimiento hidráulico, si bien no se conoce el caudal de diseño para el cual fue dimensionado el desagüe general de la Planta, se ha comprobado que el porcentaje de incidencia del caudal del agua de las centrífugas en la cañería pluvial de la Planta representa casi un 16% de la capacidad del tramo más solicitado, que es el de menor diámetro y menor pendiente, considerando que trabaja al 95% de su sección llena [Ver 4.5.4. - Verificación del tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta y Plano **G1-HID-003**: *Conexión de descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta*].

Considerando, además, que la actuación del agua de lluvia y de desbordes resulta ocasional, y la probabilidad de ocurrencia de todos los eventos en simultáneo es baja, puede decirse - en principio - que agregar el caudal proveniente de las centrífugas no constituiría un problema para la cañería y la misma seguiría trabajando en condiciones óptimas.

Por su parte, de no verificarse los límites establecidos en la Resolución 1089/82 puede:

- ajustarse algún parámetro en la línea de tratamiento con los fines de cumplir con la Resolución y poder volcar al curso receptor. Como ejemplo, puede aumentarse la dosis de polímeros en el tratamiento de lodos, o puede aumentarse el tiempo de permanencia de los lodos en las centrífugas, de forma tal de eliminar mayor cantidad de partículas sólidas suspendidas. Se reduciría de esta forma el total de sólidos suspendidos, y eventualmente la demanda bioquímica de oxígeno

(DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) al retirar, junto con las partículas sólidas, materia orgánica biodegradable y no biodegradable contenida en ellas.

- proponer y proyectar una línea de tratamiento anexa para acondicionar los efluentes líquidos residuales a la salida de las centrífugas (lo cual no es objeto del presente trabajo).

4.5 - Diseño hidráulico

Atendiendo a la situación en la cual los efluentes provenientes de las centrífugas cumplen con todos los límites dispuestos por la Resolución 1089/82 (ver 4.4.4.2. - Disposición final de efluentes líquidos residuales), se procede a:

- dimensionar las cañerías de descarga desde las centrífugas hacia la red de desagües generales de la Planta;
- en relación al punto anterior, verificar el tramo más solicitado de la red de desagües generales de la Planta, sabiendo que la misma no fue originalmente dimensionada para atender esta nueva descarga en el proyecto de ampliación para la Etapa II de la Planta.

4.5.1. - Hipótesis de partida

En ambas situaciones se asume la validez de la *Ley de Chezy-Manning* desarrollada para fluidos que escurren a superficie libre y condiciones de flujo uniforme, tanto en canales como en tuberías, cuya expresión general es:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

donde:

- Q: caudal en [m3/s]
- A: área de la sección de flujo de agua en [m2]
- R: radio hidráulico en [m], donde R = A/P, siendo P: perímetro mojado en [m]
- S: pendiente de la línea de agua en [m/m]. Considerando condiciones de flujo uniforme resulta S=I, donde I es la pendiente de fondo
- n: coeficiente de rugosidad de Manning, el cual es adimensional y depende del material de la cañería

4.5.2. - Condiciones de borde

Se dispone de dos cámaras de inspección (C.I. Nº21 y Nº22) para poder volcar los efluentes de las centrífugas, ambas correspondientes al desagüe general de la planta y proyectadas en la ampliación de la

Etapa II. Las dos cámaras ya tienen definidas sus ubicaciones y sus cotas, las cuales constituyen condiciones de borde a las cuales deberán ajustarse las cañerías de descarga.

En este sentido, si bien se hacen las correspondientes verificaciones hidráulicas del tramo de descarga desde las centrífugas hacia las cámaras de inspección mencionadas, resultará evidente que algunas pendientes estarán regidas por las condiciones de borde anteriormente detalladas, y no por un requerimiento hidráulico.

4.5.3. - Predimensionamiento de las cañerías de descarga desde las centrífugas hacia la red de desagües generales de la Planta

Como se menciona en el punto 3.6.2 - Descarga de los efluentes de las centrífugas a la red de drenajes de la Planta, de cada edificio de tratamiento de lodos se proyecta una descarga que cuenta con dos tramos, entre los cuales se interpone una cámara de inspección ubicada en la parte exterior. Se adoptan caños de PVC Clase 10 y se realiza un dimensionamiento hidráulico de cada uno de ellos, considerando de manera conservadora el caudal total de lodos para la condición extrema, y suponiendo un 95% de la sección llena como capacidad máxima del conducto.

Los cálculos efectuados se resumen en las Tablas N°35 y 36.

CAÑERÍA AGUA RESIDUAL DE CADA EDIFICIO	
TRAMO 1	
Material	PVC C-10
Diámetro nominal [mm]	75
Espesor [mm]	3.6
Diámetro interior [mm]	67.80
Tirante=95% øi	64.41
θ [rad]	3.22
Longitud [m]	2.40
Cota Invertido Inicio [m]	20.55
Cota Invertido entrada CI Nº1 [m]	20.48
Pendiente [%]	2.92
Área [m2]	0.002
Perímetro mojado [m]	0.11
Radio hidráulico [m]	0.02
η	0.009
Q máx [m3/s]	0.02
Q total de agua centrifugas [m3/s]	0.017
Ratio Qc/Qmax	0.70

Tabla Nº35 - *Dimensionamiento Tramo 1.*

CAÑERIA AGUA RESIDUAL DE CADA EDIFICIO	
TRAMO 2	
Material	PVC C-10
Diámetro nominal [mm]	50
Espesor [mm]	2.4
Diámetro interior [mm]	45.20
Tirante=95% øi	42.94
θ [°]	3.22
Longitud [m]	19.89
Cota Invertido salida CI Nº1 [m]	20.46
Cota Invertido llegada CI Nº21 [m]	17.40
Pendiente [%]	15.38
Área [m2]	0.001
Perímetro mojado [m]	0.00
Radio hidráulico [m]	0.66
η	0.009
Q máx [m3/s]	0.28
Q total de agua centrifuga [m3/s]	0.017
Ratio Qc/Qmax	0.06

Tabla Nº36 - *Dimensionamiento Tramo 2.*

En resumen, para ambos edificios de tratamiento se adoptan:

- Para Tramo 1: **caño de PVC C-10 75mm**
- Para Tramo 2: **caño de PVC C-10 50mm**

4.5.4. - Verificación del tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta

Si bien pudo conocerse a partir de la Memoria Descriptiva del Proyecto[48] que la red de drenajes fue dimensionada para atender tanto caudales de lluvia, eventuales desbordes de uno de los módulos de tratamiento y el agua proveniente del lavado de filtros, no fue posible acceder a información más específica en relación al caudal para el cual fueron diseñadas las cañerías de desagüe. Por este motivo, se efectúa una verificación general a nivel de anteproyecto del tramo más solicitado de la red de drenajes, dejando por sentado que, en caso de ejecutarse la descarga de los efluentes de las centrífugas a dicha red, deberán realizarse las verificaciones pertinentes de manera más detallada.

[48]Documento Nº 1707-ID-B-000-GE0-01 elaborado y proporcionado por Hidrosan Ingeniería S.A.

En base a lo anterior, se verifica el tramo más solicitado de la red de drenajes de la Planta, considerando que es aquel con menor sección y de menor pendiente longitudinal trabajando a un 95% de su capacidad (esto último con el propósito de garantizar una revancha para evitar que el conducto trabaje a presión, lo cual no es deseado), para el escenario más desfavorable: las 6 centrífugas correspondientes a los edificios de tratamiento I y II funcionando simultáneamente en condiciones extremas; es decir, evacuando un caudal total de 2.892 m3/d[49]. La red de desagües está prevista para materializarse con caños de PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio) y el tramo más crítico tiene un diámetro nominal de 800 mm y una pendiente de 0,65 ‰ [Ver Plano **G1-HID-003:** *Conexión de descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta*].

Empleando la Ley de Chezy-Manning, se determina el caudal máximo que puede circular por el tramo más crítico, considerando que trabaja a un 95% de su capacidad . Luego, este caudal se compara con el máximo de producción de lodos para los dos edificios, en condiciones extremas.

De esta forma, en Tabla N°37 se resumen los cálculos realizados y se presenta el ratio obtenido.

CAÑERÍA DESAGÜE GENERAL DE LA PLANTA - VERIFICACIÓN TRAMO MÁS SOLICITADO	
Material	PRFV
Diámetro nominal [mm]	800
Espesor [mm]	13.6
Diámetro interior [mm]	772.80
Tirante=95% øi	734.16
θ [rad]	3.22
Pendiente [‰]	0.65
Área [m2]	0.25
Perímetro mojado [m]	1.24
Radio hidráulico [m]	0.20
η	0.01
Q máx [m3/s]	0.21
Q total de agua centrifugas Qc [m3/s]	0.033
Ratio Qc / Q máx	0.157

Tabla N°37 - *Verificación del tramo más solicitado del desagüe general de la Planta.*

[49]Ver "Anexo 2 - 2.2 - Lodos para condiciones extremas"

Así, para esta situación resulta que el caudal máximo de efluentes provenientes de las 6 centrífugas representa un 15,70% del máximo caudal que puede circular por el tramo más solicitado trabajando a un 95% de su sección.

Si bien no es un porcentaje despreciable, puede considerarse factible -desde el nivel de proyecto académico que reviste el presente informe- el aporte de las centrífugas a la red de drenajes ya proyectada para la Etapa II de la Planta, no debiéndose realizar modificaciones en ninguno de los tramos de cañerías. Esto se fundamenta teniendo en cuenta la muy escasa probabilidad de ocurrencia de todos los eventos desfavorables simultáneamente; esto es: desborde de uno de los módulos de tratamiento, lluvia de diseño, lavado de filtros y producción de lodos en condiciones extremas en ambos módulos de tratamiento.

5 - CÓMPUTOS

Para la evaluación del cómputo de materiales que involucra la obra, se analizan los ítems de más incidencia, ya sea por los elevados costos unitarios que poseen como también por la cantidad de dicho material a utilizar. Fundamentalmente, se analizan los principales rubros de la obra (hidráulico, sanitario, estructural y vial) y los ítems más significativos de cada uno de ellos. Todos los rubros abarcan en sus valores finales los Edificios de Tratamiento de Lodos I y II, ambos previstos en este proyecto.

El cómputo se presenta a continuación en Tabla Nº38.

RUBRO		ÍTEM	SUBITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR GLOBAL	TOTAL ÍTEM
1	Hidráulico	1.1 Cañerías	1.1.1 Cañerías desde tanque ecualizador	PEAD ø75	m	710.0	**710.0 m**
				PVC C-10 ø50	m	19.9	**19.9 m**
				PVC C-10 ø75	m	21.4	**21.4 m**
2	Sanitario	2.1 Equipos	2.1.1 Centrífugas	Alfa Laval i-DW 40	global	6.0	**6 unidades**
3	Estructural	3.1 Hormigón	3.1.1 Losas	Sobre PA, sobre silo y sobre sala de dosificación de polímeros	m3	91.1	**494.4 m3**
			3.1.2 Tabiques	De planta alta y de silos	m3	127.8	
			3.1.3 Vigas	Sobre planta alta (invertida y común), sobre silo y sobre sala de dosificación de polímeros	m3	31.3	
			3.1.4 Columnas	De planta alta y de sala de dosificación de polímeros	m3	22.7	
			3.1.5 Tolvas	Debajo de los tabiques de los silos	m3	41.8	
			3.1.6 Fundaciones	Cabezal superior, pilotes y vigas de fundación	m3	179.6	
		3.2 Acero	3.2.1 Losas	-	kg	2439.0	**30041.3 kg**
			3.2.2 Tabiques	-	kg	9246.4	
			3.2.3 Vigas	-	kg	2147.1	
			3.2.4 Columnas	-	kg	2181.3	
			3.2.5 Tolvas	-	kg	2645.8	
			3.2.6 Fundaciones	-	kg	11381.7	
4	Vial	4.1 Hormigón	4.1.1 Carpeta de rodamiento hormigón H-25	-	m3	140.8	**140.8 m3**
			4.1.2 Base de hormigón pobre H-8	-	m3	114.4	**114.4 m3**

Tabla N°38 - *Cómputo de materiales.*

6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se observó a lo largo del presente trabajo, la problemática en cuestión abarca diversas áreas de la ingeniería civil:

- ***Ingeniería sanitaria*** → tratamiento propiamente dicho de los lodos producto del tratamiento de potabilización.
- ***Ingeniería estructural*** → diseño geométrico y dimensionamiento del edificio de tratamiento, el cual abarca diversos elementos estructurales.
- ***Ingeniería vial*** → verificación geométrica del camino existente y diseño estructural de la ampliación necesaria para la circulación y maniobra de los camiones.
- ***Ingeniería hidráulica*** → verificación de capacidad de los conductos pluviales existentes.

Es claro que estas áreas interactúan entre sí y se encuentran relacionadas, no son independientes. Por lo tanto, la solución final planteada surge a partir de varias iteraciones y propuestas sucesivas vinculando todas las características involucradas. Además, es de destacar la gran incidencia ambiental de este proyecto, siendo esta disciplina transversal a las restantes áreas del mismo.

Resulta importante remarcar que, si bien el Río Paraná posee una gran capacidad de autodepuración, no es justificativo para seguir contaminándolo.

Se destaca que, como se trata de un proyecto meramente académico, los cálculos y dimensionamientos realizados para las distintas áreas constituyen una ingeniería básica a nivel de anteproyecto, no apto para construcción. No obstante ello, se logró mostrar la factibilidad técnica del diseño de una línea de barros para los caudales tratados en esta planta, proyectando la construcción de cada unidad de tratamiento específica. Consideramos que sirve, por un lado, como incentivo para profundizar en este tema, y por otro lado, como fiel antecedente para que en las etapas futuras de ampliación de la Planta Potabilizadora a ejecutarse en los próximos años, sea considerado el tratamiento de los lodos en el proyecto. No debe perderse de vista que con un aumento de módulos de tratamiento - y por consiguiente de volúmenes de agua a procesar -, se producirán mayores volúmenes de lodos que, al descartarse directamente en el Río Paraná, generarán un mayor impacto ambiental.

Por otra parte, se resalta la necesidad de realizar el cómputo completo y presupuesto de la línea de tratamiento de lodos. El presente estudio se limitó a la etapa de cómputo de los elementos más relevantes, restando la evaluación económica de la obra. Se recomienda realizar dicha evaluación, para poder compararla con el monto total del proyecto de la planta. Sobre la inversión tan (pero tan) grande que es el conjunto de instalaciones que requiere una planta potabilizadora, se infiere que tratar estos residuos, cumpliendo con las cuestiones ambientales actuales, en términos porcentuales sobre el total de la inversión no será tan relevante.

Las recomendaciones que se desprenden del exhaustivo estudio realizado son:

- Tratar los lodos generados en las plantas potabilizadoras, evitando así su vuelco en cuerpos receptores y su consecuente daño para el ambiente y la fauna que habita en ellos.
- Elaborar una Normativa Nacional precisa y de aplicación en todas las plantas potabilizadoras de la Argentina que permita, mediante la caracterización química de los residuos, determinar la disposición final adecuada y, si es posible, aprovecharlos para realizar algo útil.
- En la Planta de Gro. Baigorria, en caso de realizarse el tratamiento de lodos, debería considerarse también el agua de lavado de filtros, ya que estos retienen gran cantidad de flocs. De hacerse el esfuerzo de tratar los residuos, sería conveniente que se consideren todos los caudales y el tratamiento sea completo.

7 - INDICE DE PLANOS

A continuación se enlistan los planos realizados, considerando el orden en que se presentan:

- Planos generales

  G1-GEN-001: Plano de ubicación geográfica general.

  G1-GEN-002: Plano de ubicación geográfica general.

  G1-GEN-003: Plano de ubicación del edificio de tratamiento de lodos.

- Plano topográfico

  G1-TOP-001: Relevamiento topográfico. Sector edificio de tratamiento de lodos.

- Planos hidráulicos

  G1-HID-001: Bombas de impulsión de lodos desde tk ecualizador a centrífugas.

  G1-HID-002: Trazado de impulsión de lodos desde tk ecualizador a centrífugas.

  G1-HID-003: Conexión descarga de efluentes de centrífugas al desagüe general de la planta.

- Planos de arquitectura

  G1-ARQ-001: Plantas y cortes de arquitectura.

  G1-ARQ-002: Fachadas de arquitectura. Detalle típico paquete de piso.

- Planos de encofrado

  G1-EN-001: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas y cortes de encofrado.

  G1-EN-002: Edificio de tratamiento de lodos. Plantas de encofrado. Detalle típico de centrífuga.

  G1-EN-003: Edificio de tratamiento de lodos. Planta de fundaciones.

  G1-EN-004: Edificio de tratamiento de lodos. Detalle típico de fundación.

- Planos viales

  G1-VIAL-001: Cotas del pavimento.

  G1-VIAL-002: Ingreso de camiones.

  G1-VIAL-003: Salida de camiones.

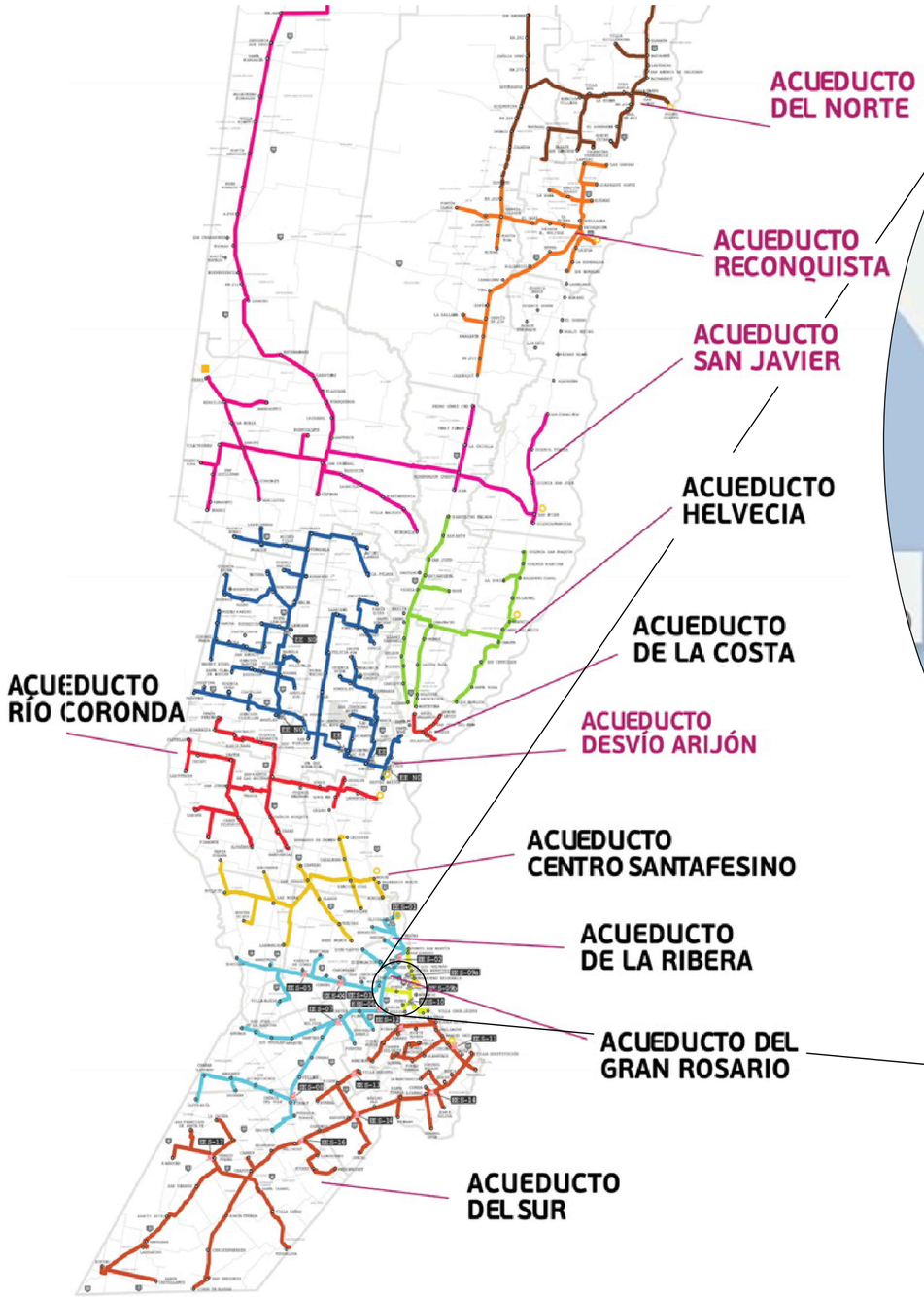
  G1-VIAL-004: Diseño tramo de pavimento rígido. Sector edificio de tratamiento de lodos.

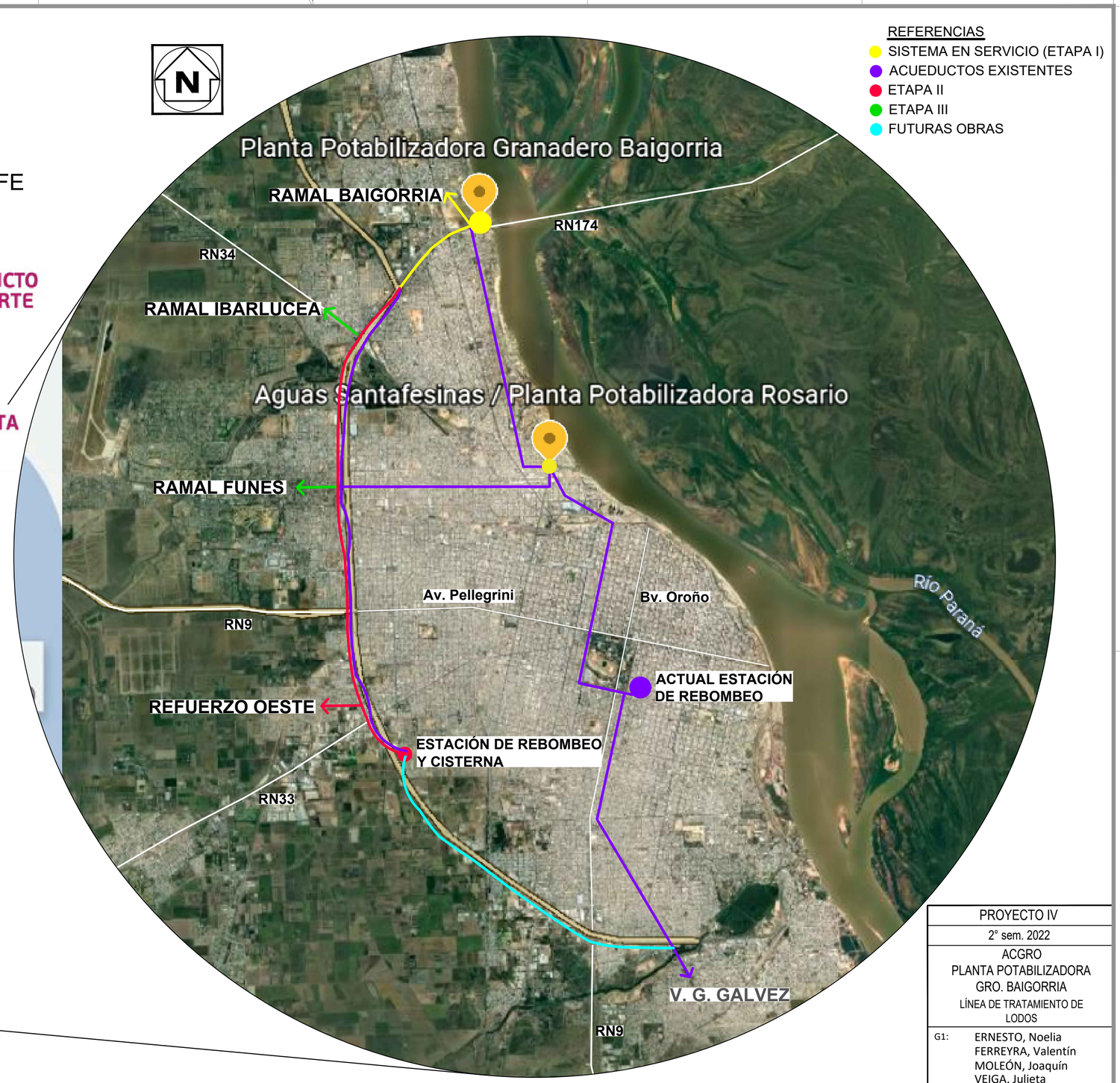
- Planos de procesos

  G1-PC-001: Proceso de potabilización y esquema de tratamiento de lodos proyectado.

  (Corresponde al Anexo 1: *Esquema proceso de potabilización y proyecto tratamiento de lodos*)

SISTEMA PROVINCIAL DE ACUEDUCTOS - SANTA FE



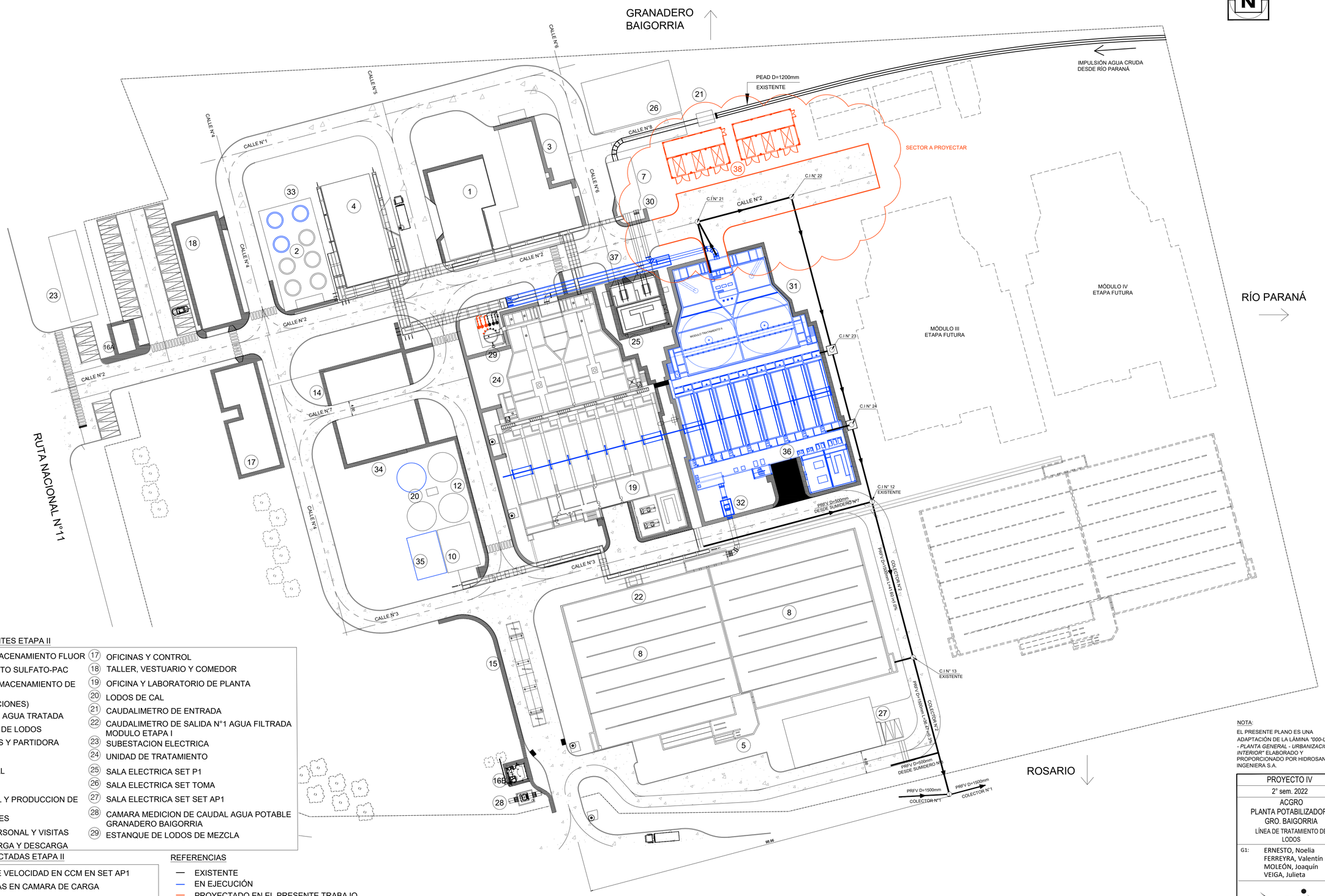


ACUEDUCTOS EN LA CIUDAD DE ROSARIO

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO: PLANO DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA GENERAL	
ESCALA: VARIAS	
TAMAÑO: A2(594X420)	
LÁMINA: G1-GEN-001	REV. B

PROYECTO IV

PLANTA POTABILIZADORA DE GRANADERO BAIGORRIA



CUADRO DE UNIDADES EXISTENTES ETAPA II

1	CARBON ACTIVADO Y ALMACENAMIENTO FLUOR	17	OFICINAS Y CONTROL
2	TANQUES ALMACENAMIENTO SULFATO-PAC	18	TALLER, VESTUARIO Y COMEDOR
3	SALA DE CLORACION Y ALMACENAMIENTO DE CLORO	19	OFICINA Y LABORATORIO DE PLANTA
4	CASA QUIMICA (DOSIFICACIONES)	20	LODOS DE CAL
5	ESTACION ELEVADORA DE AGUA TRATADA	21	CAUDALIMETRO DE ENTRADA
6	PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS	22	CAUDALIMETRO DE SALIDA N°1 AGUA FILTRADA MODULO ETAPA I
7	CAMARA DE CARGA, REJAS Y PARTIDORA	23	SUBESTACION ELECTRICA
8	CISTERNA 12500 m³	24	UNIDAD DE TRATAMIENTO
10	CISTERNA DE AGUA DE CAL	25	SALA ELECTRICA SET P1
12	SATURADORES DE CAL	26	SALA ELECTRICA SET TOMA
14	ALMACENAMIENTO DE CAL Y PRODUCCION DE LECHADA	27	SALA ELECTRICA SET SET AP1
15	BALANZA PESAJE CAMIONES	28	CAMARA MEDICION DE CAUDAL AGUA POTABLE GRANADERO BAIGORRIA
16A	CONTROL DE ACCESO PERSONAL Y VISITAS	29	ESTANQUE DE LODOS DE MEZCLA
16B	CONTROL DE ACCESO CARGA Y DESCARGA		

CUADRO DE UNIDADES PROYECTADAS ETAPA II

- 27 MONTAJE VARIADORES DE VELOCIDAD EN CCM EN SET AP1
- 30 INSTALACION COMPUERTAS EN CAMARA DE CARGA
- 31 MODULO DE TRATAMIENTO PROYECTADO ETAPA II
- 32 CAUDALIMETRO DE SALIDA N°2 AGUA FILTRADA MODULO ETAPA II
- 33 TANQUES ALMACENAMIENTO SULFATO-PAC PROYECTADOS
- 34 SATURADOR DE CAL PROYECTADO ETAPA II
- 35 CISTERNA AGUA DE CAL PROYECTADO ETAPA II
- 36 OFICINA Y LABORATORIO DE PLANTA EN MODULO ETAPA II
- 37 CANALETAS DE REACTIVOS PROYECTADAS
- 38 EDIFICIOS DE TRATAMIENTO DE LODOS - ETAPA I Y ETAPA II

REFERENCIAS

- EXISTENTE
- EN EJECUCIÓN
- PROYECTADO EN EL PRESENTE TRABAJO
- FUTURO
- C.I CÁMARA DE INSPECCIÓN

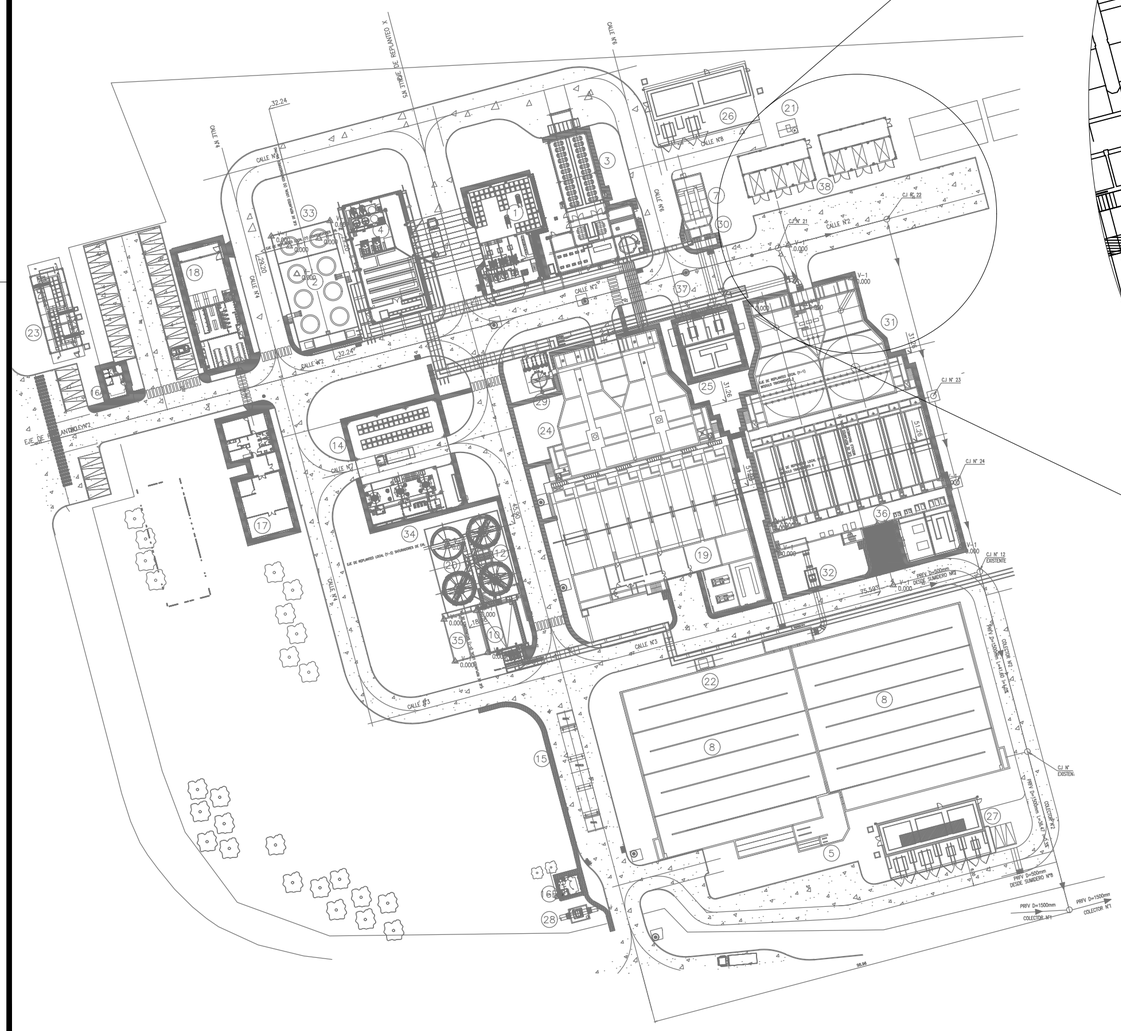
NOTA:
EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO: PLANO DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA GENERAL	
ESCALA: 1:500	
TAMAÑO: A1(841X594)	
LÁMINA: G1-GEN-002	REV. B

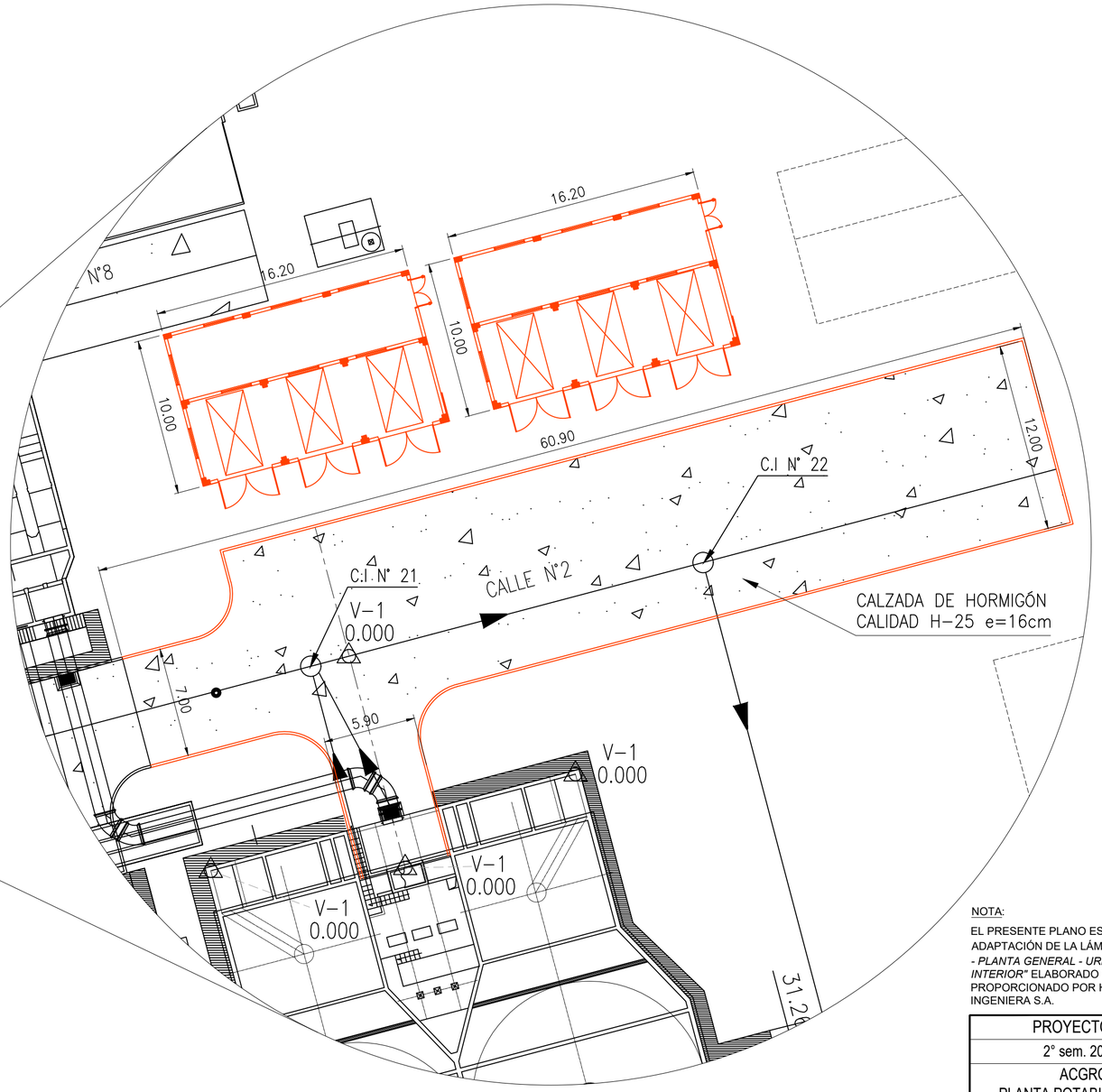
PROYECTO IV

PROYECTO IV

PLANTA POTABILIZADORA DE GRANADERO BAIGORRIA (ESC. 1:1000)



EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS (ESC. 1:250)



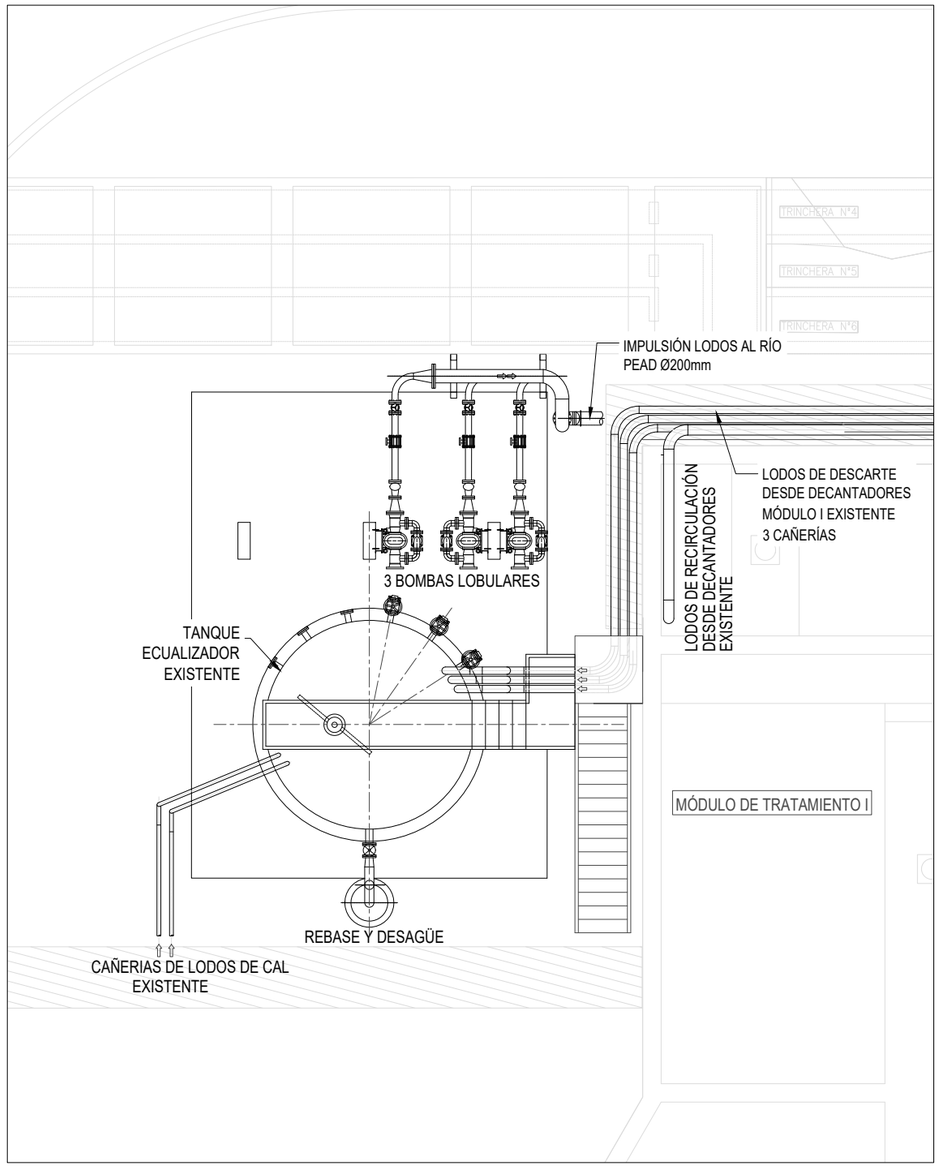
REFERENCIAS

- MÓDULOS PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROYECTADO PARA ETAPA I Y II
- FUTURO
- RED DE DRENAJES PROYECTADA EN ETAPA II DE PRFV, D=800mm
- C.I CÁMARA DE INSPECCIÓN

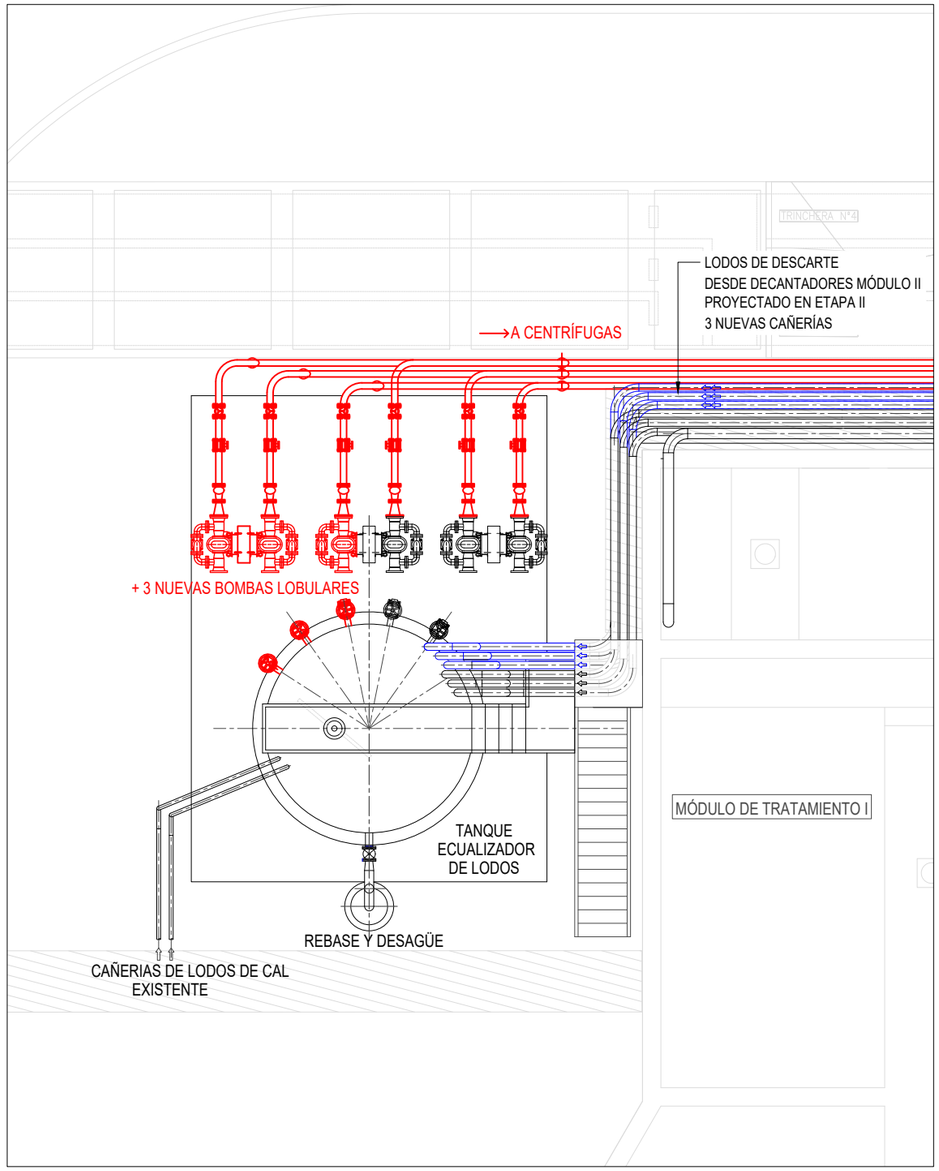
NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

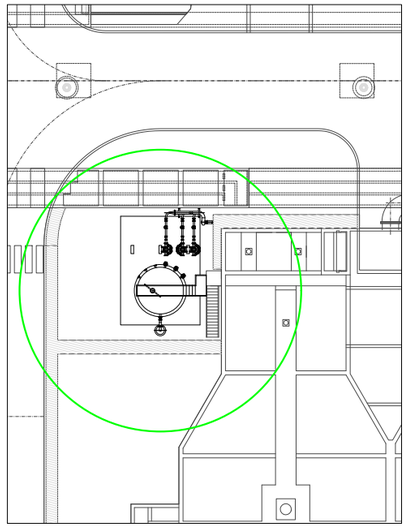
PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	PLANO DE UBICACIÓN DEL EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A2(594X420)
LÁMINA: G1-GEN-003	REV. B



SITUACIÓN ACTUAL



MODIFICACIÓN



REFERENCIAS:

- CAÑERÍAS DE IMPULSIÓN DE LODOS PROYECTADA
- PROYECTO ETAPA II
- EXISTENTE – ETAPA I
- EXISTENTE – ETAPA I

NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"1700-000-HI-01 - RED DE DRENAJES - PLANTA GENERAL"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERÍA S.A.

PROYECTO IV

2° sem. 2022

ACGRO
PLANTA POTABILIZADORA
GRO. BAIGORRIA
LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

G1: ERNESTO, Noelia
FERREYRA, Valentín
MOLEÓN, Joaquín
VEIGA, Julieta

CONTENIDO:
BOMBAS DE IMPULSIÓN DE LODOS DESDE TK ECUALIZADOR A CENTRÍFUGAS

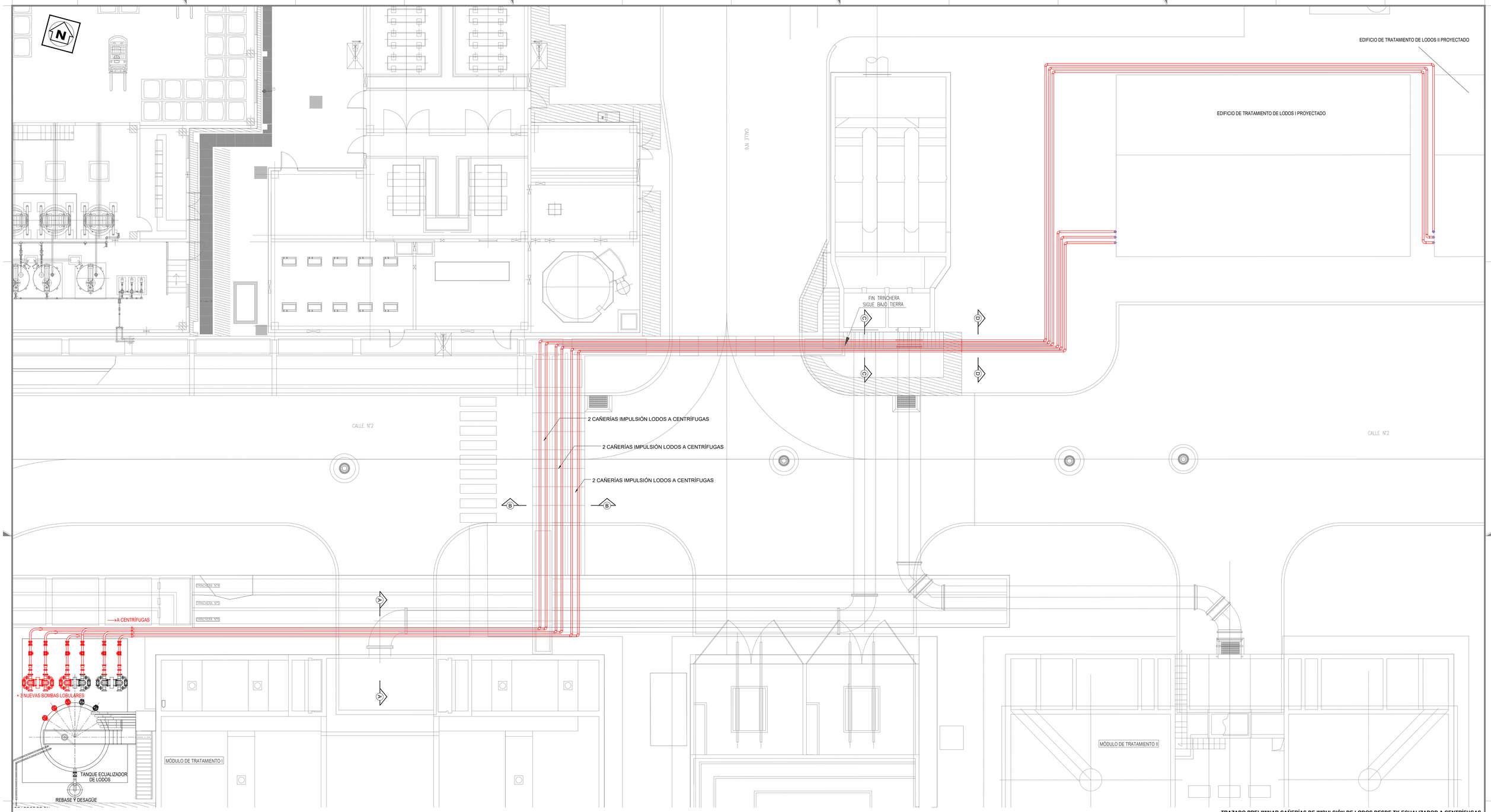
ESCALA: 1:100

TAMAÑO: A3(420X297)

LÁMINA: G1-HID-001

REV. B

PROYECTO IV



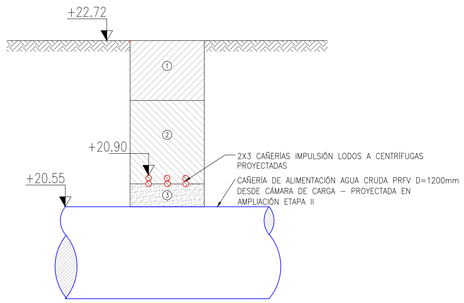
TRAZADO PRELIMINAR CAÑERÍAS DE IMPULSIÓN DE LODOS DESDE TK ECUALIZADOR A CENTRÍFUGAS
ESCALA 1:40

REFERENCIAS:

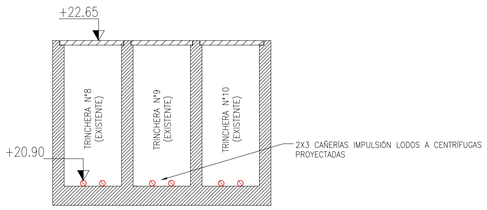
- CAÑERÍAS DE IMPULSIÓN DE LODOS PROYECTADA
- PROYECTO ACTUAL LICITACIÓN AMPLIACIÓN ETAPA II
- EXISTENTE – ETAPA I

1. RELLENO FINAL: MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LAS EXCAVACIONES LIBRE DE DESECHOS O MATERIA ORGÁNICA COLOCADO EN CAPAS DE HASTA 0,30m Y COMPACTADO CON PLACA VIBRADORA.
2. RELLENO INICIAL: MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LAS EXCAVACIONES LIBRE DE DESECHOS O MATERIA ORGÁNICA COLOCADO EN CAPAS DE HASTA 0,20m Y COMPACTADO CON PISÓN MANUAL.
3. CAMA DE ARENA: COLOCACIÓN EN UNA CAPA DE ESPESOR MÍNIMO DE 0,10m COMPACTADA CON PISÓN MANUAL.

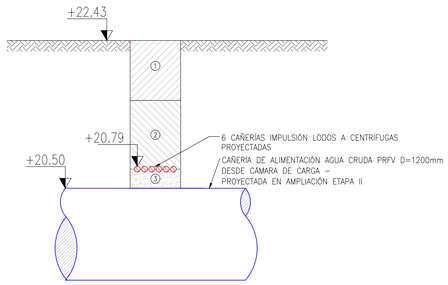
NOTAS:
- COTAS Y MEDIDAS EN METROS
- COTAS REFERIDAS AL +0.00 DEL I.G.N.



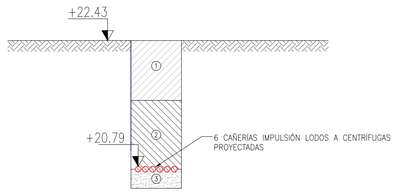
CORTE "A-A" - CAÑERÍAS IMPULSIÓN DE LODOS POR TIERRA
ESCALA 1:40



CORTE "B-B" - CAÑERÍAS IMPULSIÓN DE LODOS POR TRINCHERAS EXISTENTES
ESCALA 1:40



CORTE "C-C" - CAÑERÍAS IMPULSIÓN DE LODOS POR TIERRA
ESCALA 1:40



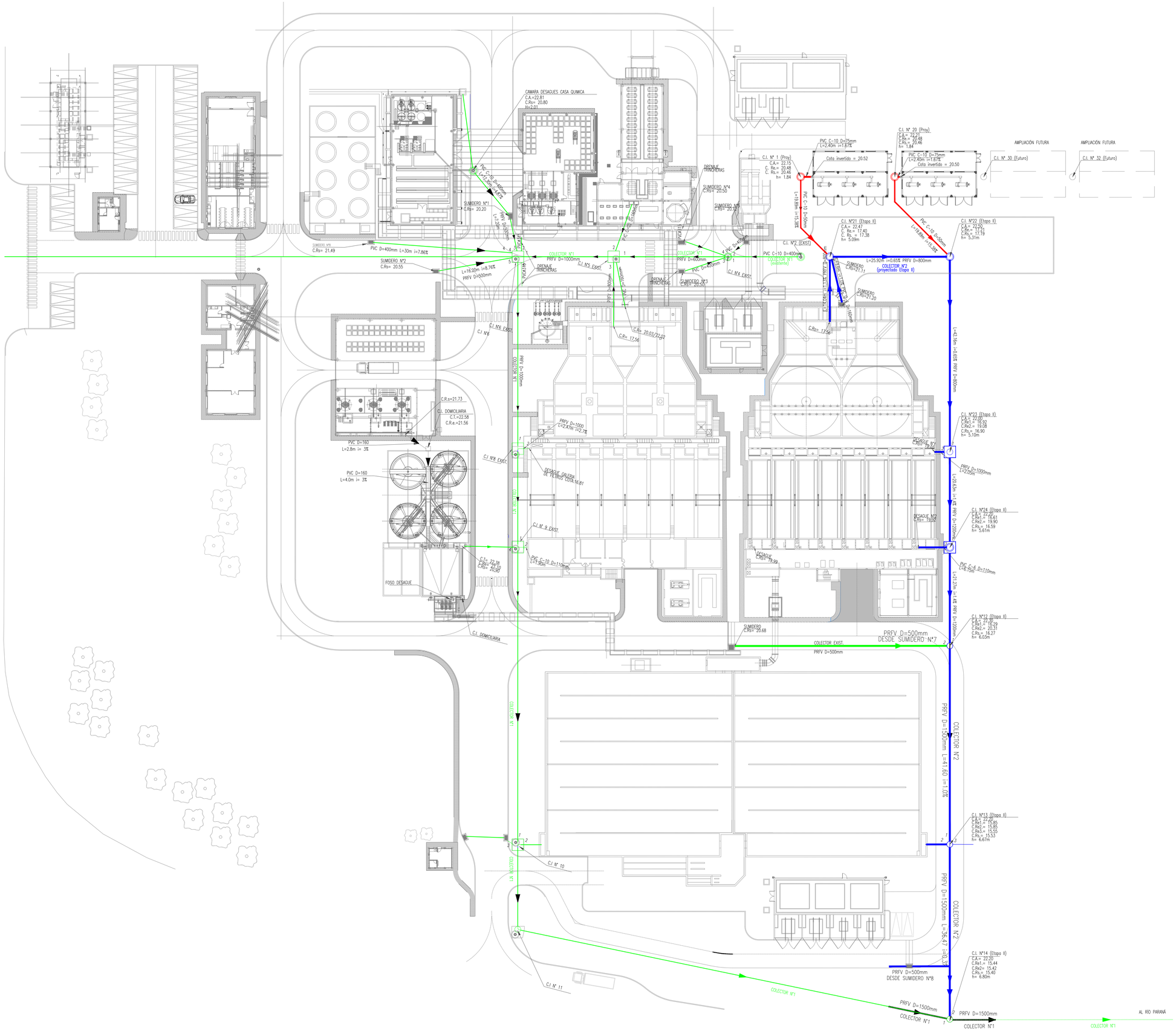
CORTE "D-D - CAÑERÍAS IMPULSIÓN DE LODOS POR TIERRA
ESCALA 1:40

NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"1700-000-GEN-01 - PLANTA DE TRATAMIENTO - LAY -OUT"* ELABORADO Y PROPPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERÍA S.A.

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO: TRAZADO PRELIMINAR DE IMPULSIÓN DE LODOS DESDE TK ECUALIZADOR A CENTRÍFUGAS	
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A1(841X594)
LÁMINA: G1-HID-002	REV. A

PROYECTO IV



REFERENCIAS:

- DESCARGA EFLUENTES CENTRÍFUGAS PROYECTADA
- RED DE DRENAJES PROYECTADA EN ETAPA II
- RED DE DRENAJES EXISTENTE – ETAPA I

C.A. COTA TERRENO O ANILLO
C.Re. COTA INVERTIDO ENTRADA
C.Rs. COTA INVERTIDO SALIDA
h ALTURA DE CÁMARA

NOTA:

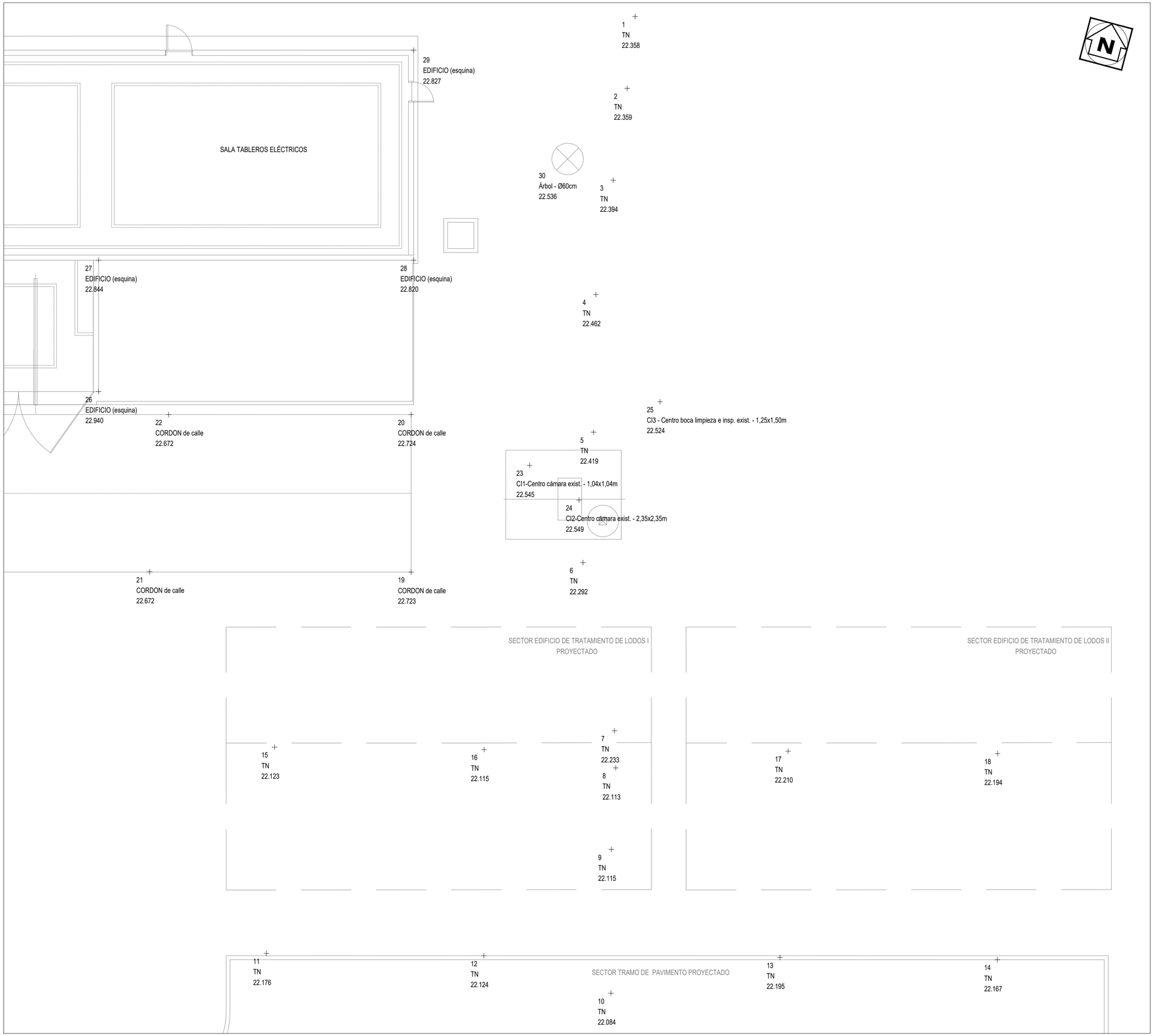
Los largos de los colectores están medidos entre centros de cámaras de inspección.

NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"1700-000-HI-01 - RED DE DRENAJES - PLANTA GENERAL"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERÍA S.A.

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRÓ. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO: CONEXIÓN DESCARGA DE EFLUENTES DE CENTRÍFUGAS A DESAGÜE GENERAL DE LA PLANTA	
ESCALA: 1:400	
TAMAÑO: A1(841X594)	
LÁMINA: G1-HID-003	REV. B

PROYECTO IV



REFERENCIAS:

6	Número de punto
TN	Descripción
22.292	Cota referida al IGN

NOTAS:

- Cotas referidas al +0.00 del IGN
- "TN" = Terreno natural

[Relevamiento realizado en obra el día 3/10/22 por el técnico Paulo Mendoza (de la empresa Werk Constructora S.R.L.), en presencia y con el apoyo del estudiante Valentín Ferreyra, mediante el uso de una estación total].

PROYECTO IV

2° sem. 2022

ACGRO
PLANTA POTABILIZADORA
GRO. BAIGORRIA
LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

G1: ERNESTO, Noelia
FERREYRA, Valentín
MOLEÓN, Joaquín
VEIGA, Julieta

FCEIA

CONTENIDO:
RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO
SECTOR EDIFICIO TRATAMIENTO DE LODOS

ESCALA: 1:100

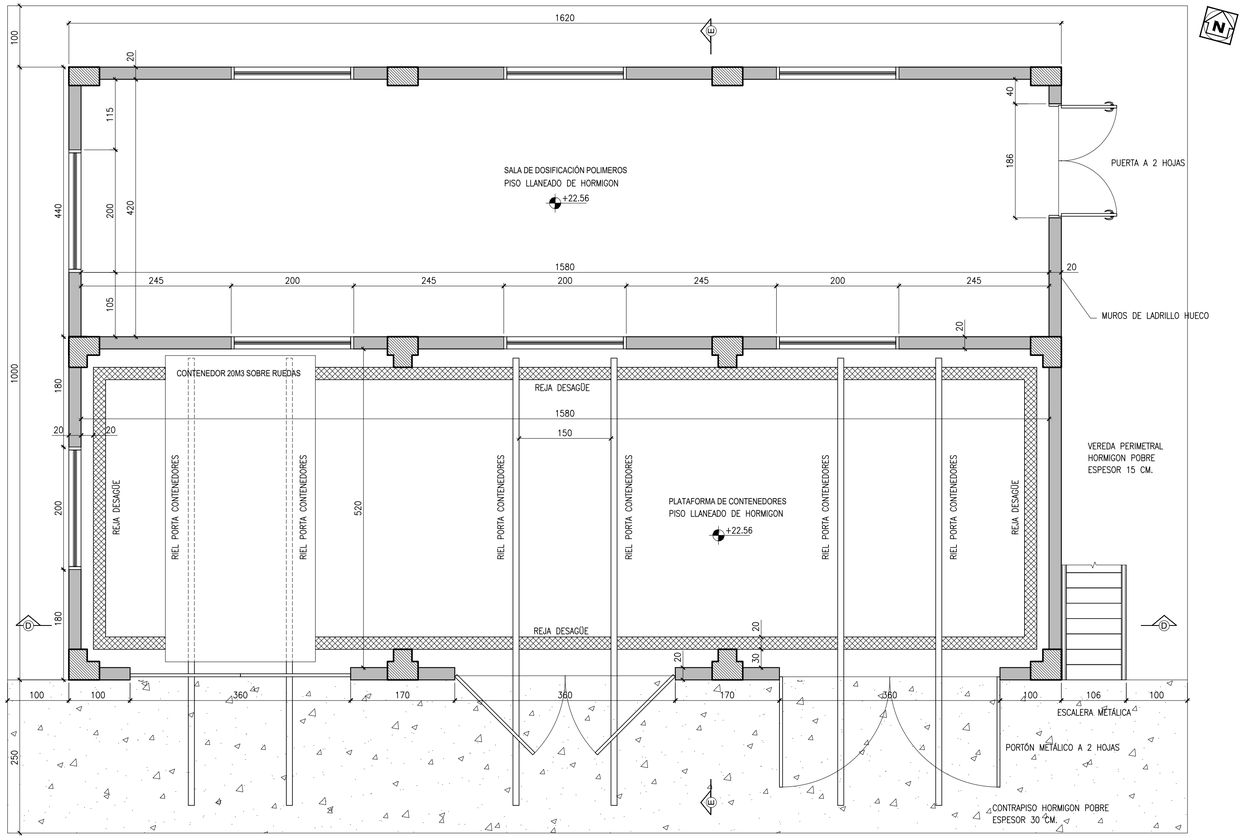
TAMAÑO: A2(841X594)

LÁMINA: G1-TOP-001

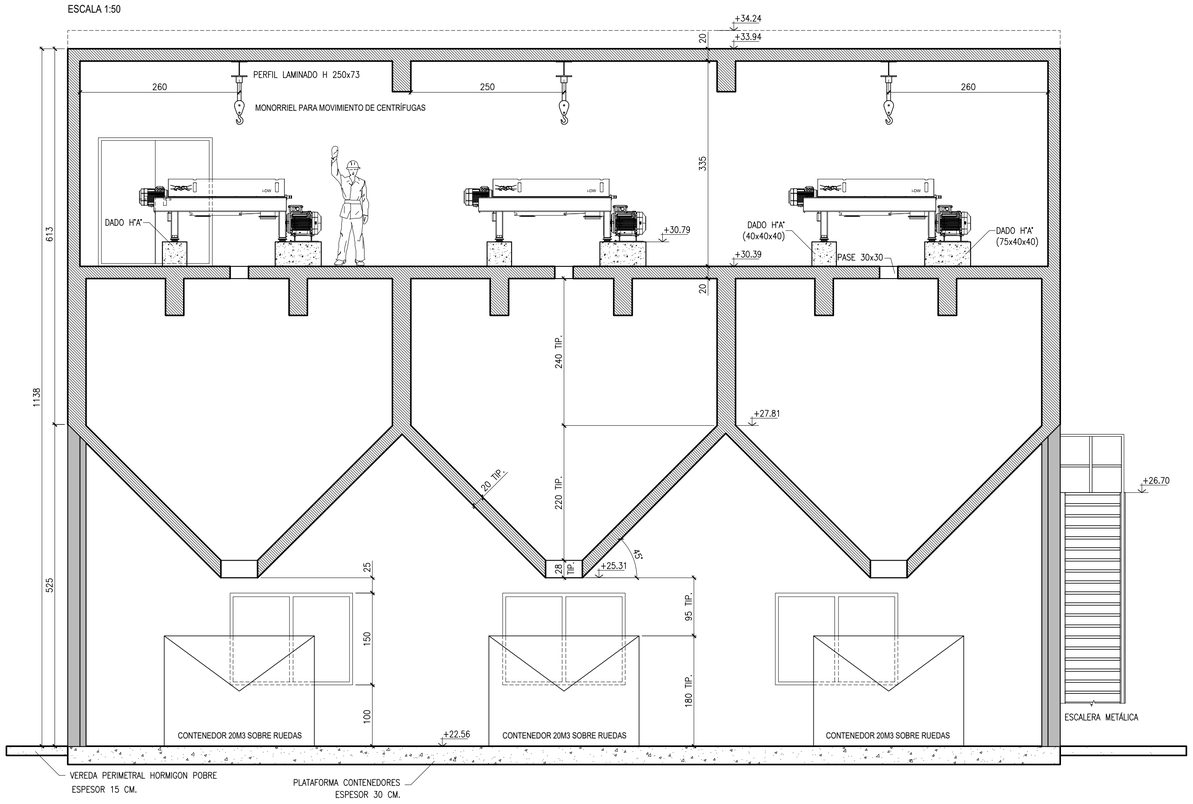
REV. B

PROYECTO IV

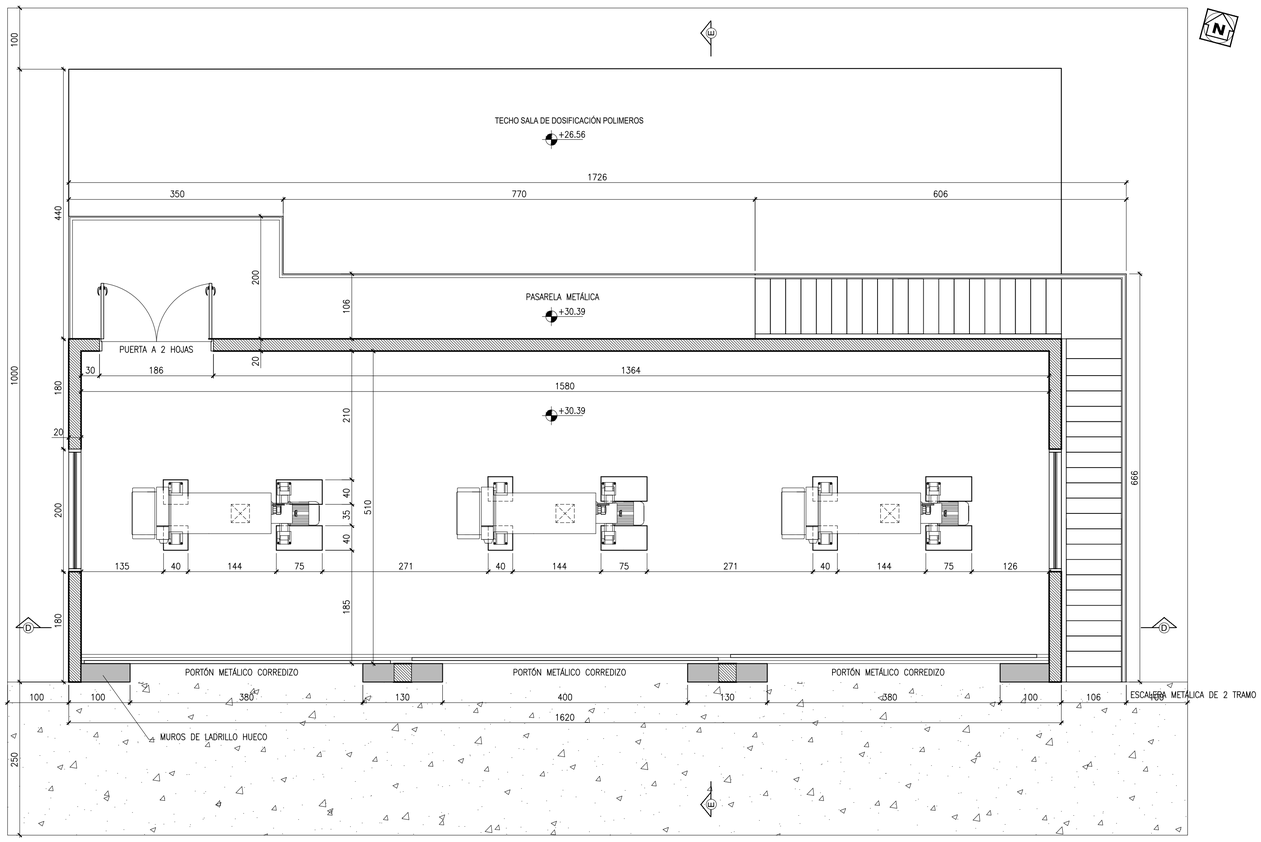
PLANTA DE ARQUITECTURA PB
ESCALA 1:50



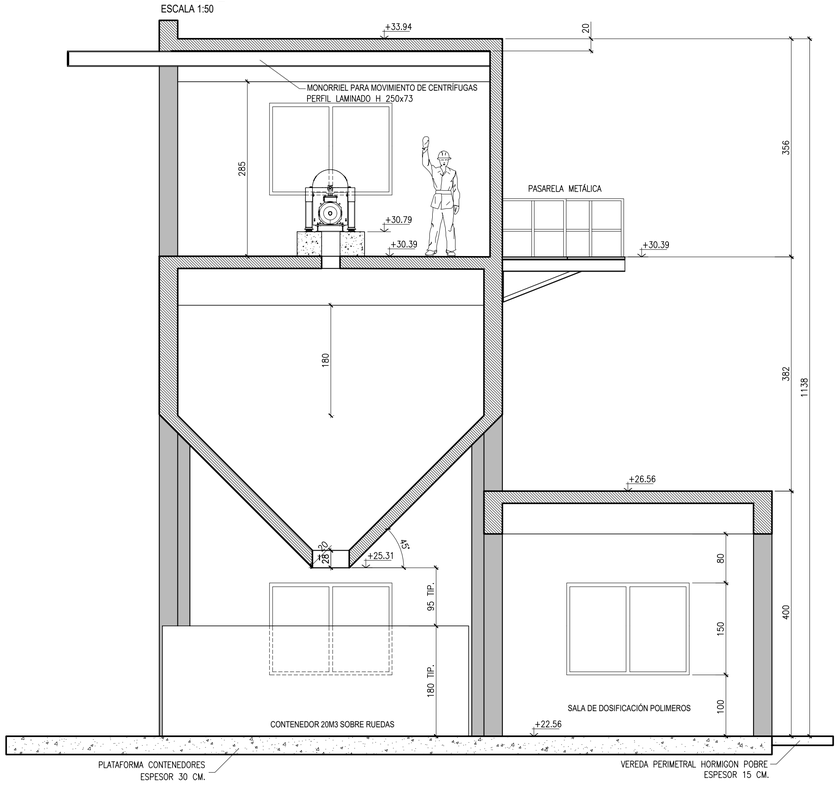
CORTE D-D
ESCALA 1:50



PLANTA DE ARQUITECTURA SALA DE CENTRÍFUGAS
ESCALA 1:50



CORTE E-E
ESCALA 1:50



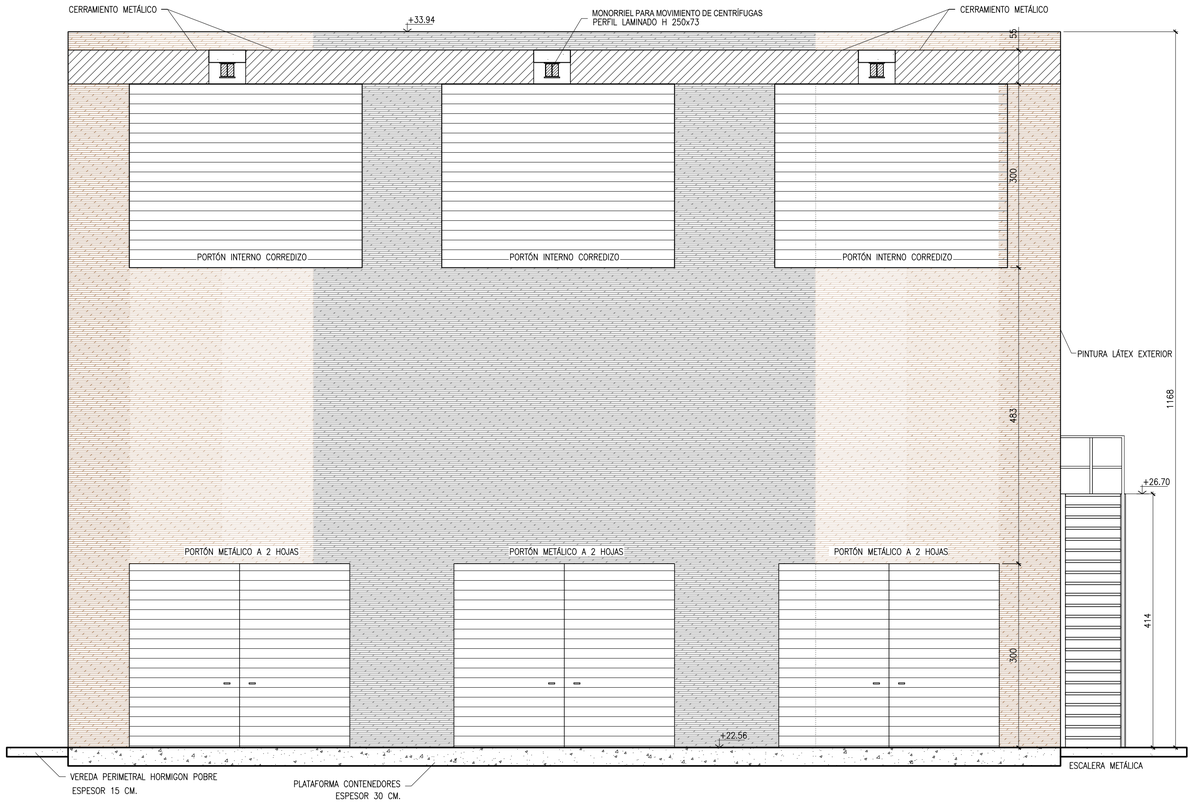
NOTAS

- MEDIDAS EN CENTIMETROS
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

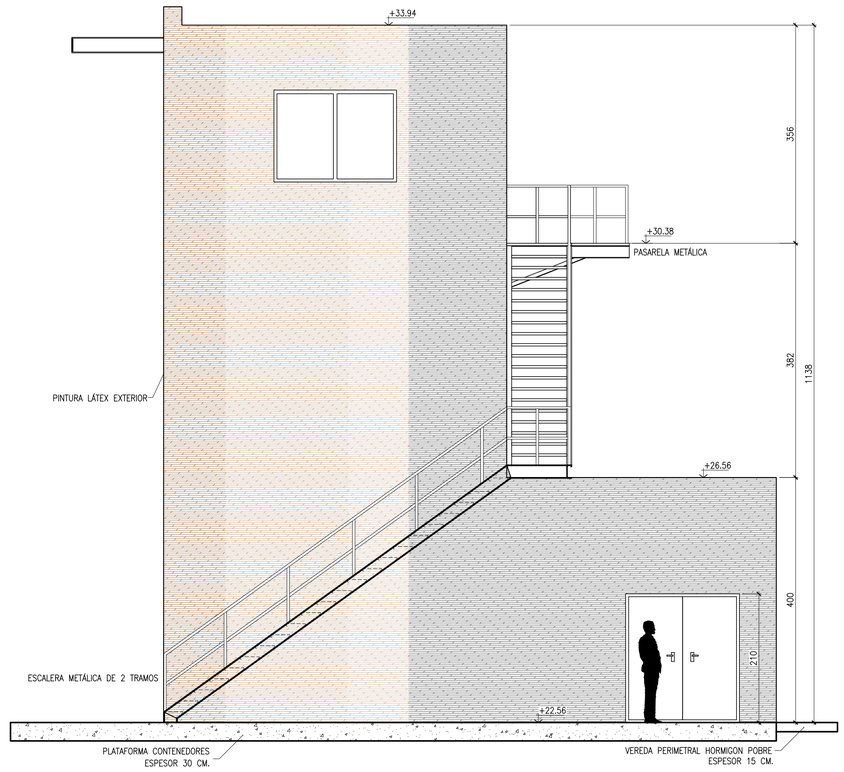
PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO:	PLANTAS Y CORTES DE ARQUITECTURA
ESCALA: 1:50	
TAMAÑO: A1(841X594)	
LÁMINA: G1-ARQ-001	REV. A

PROYECTO IV

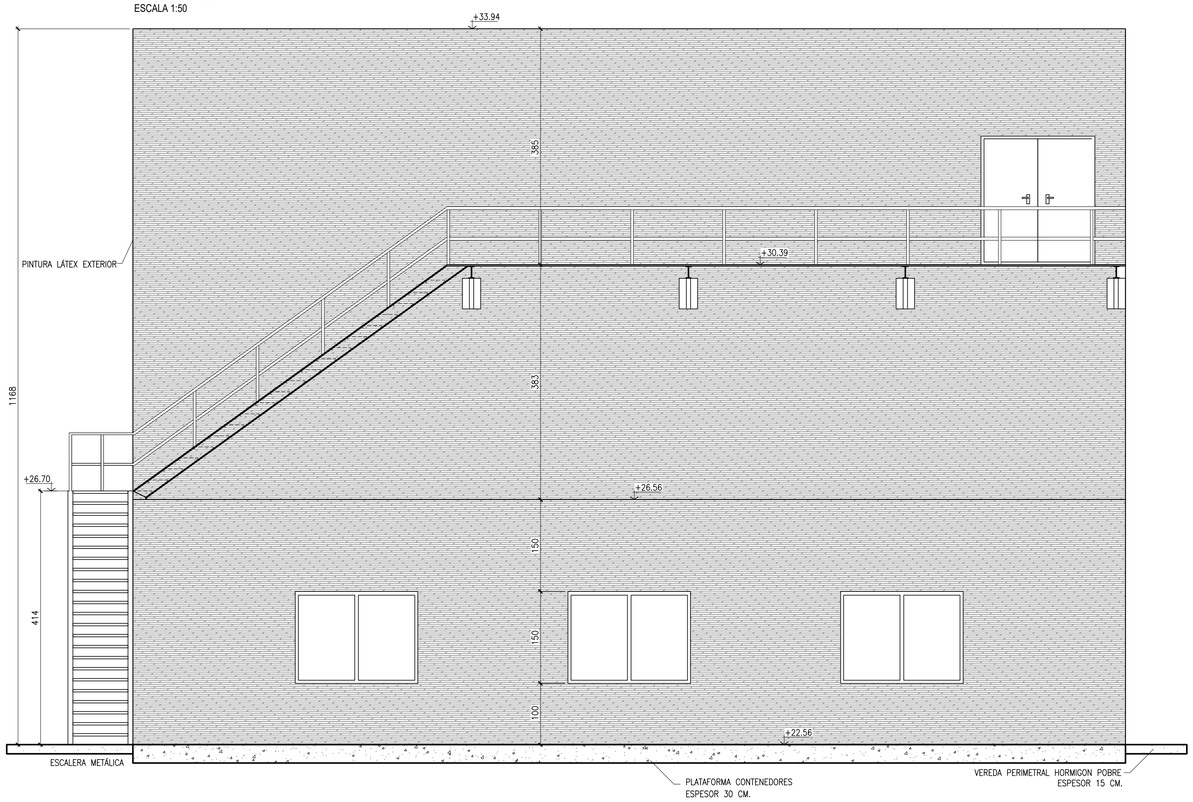
FACHADA SUR
ESCALA 1:50



FACHADA ESTE
ESCALA 1:50

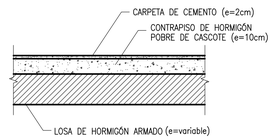


FACHADA NORTE
ESCALA 1:50



FACHADA OESTE
ESCALA 1:50

DETALLE TÍPICO PAQUETE DE PISO
ESCALA 1:10



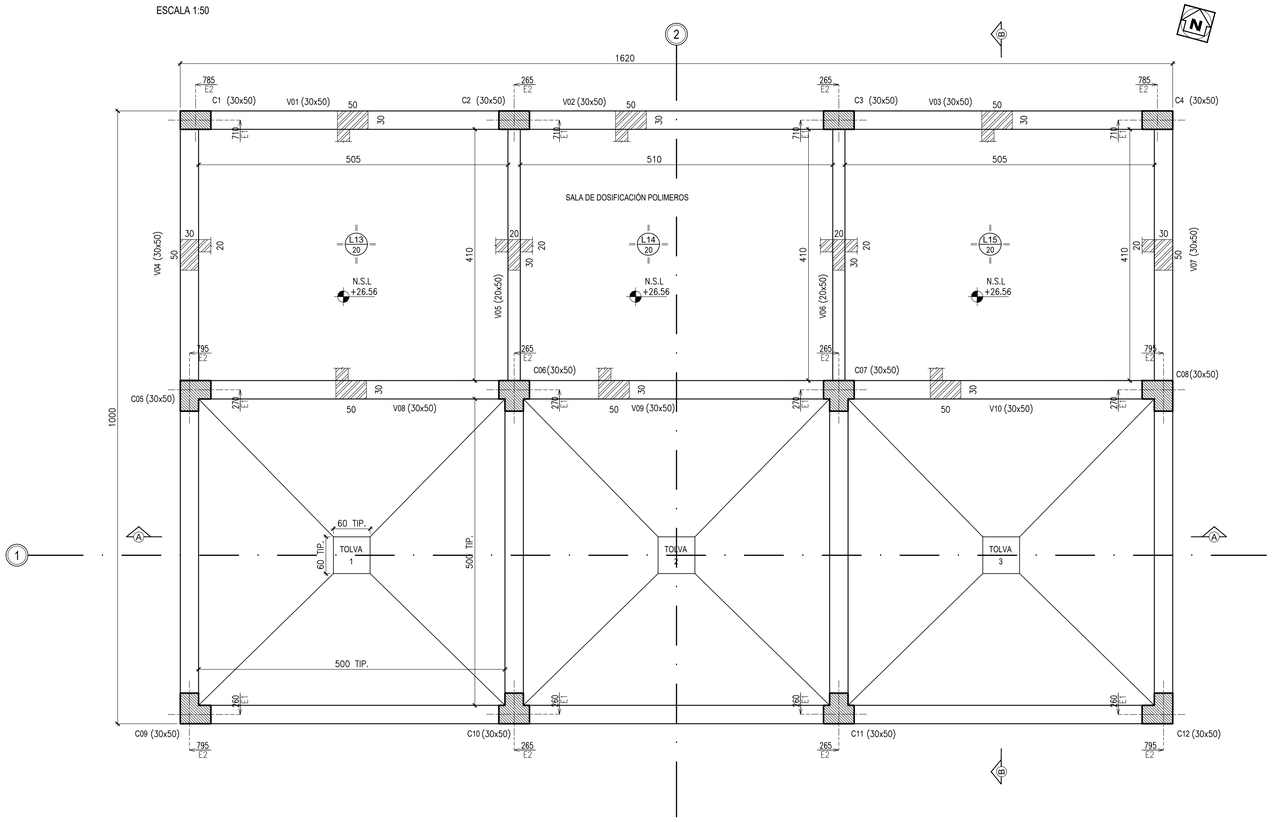
NOTAS

- MEDIDAS EN CENTIMETROS
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

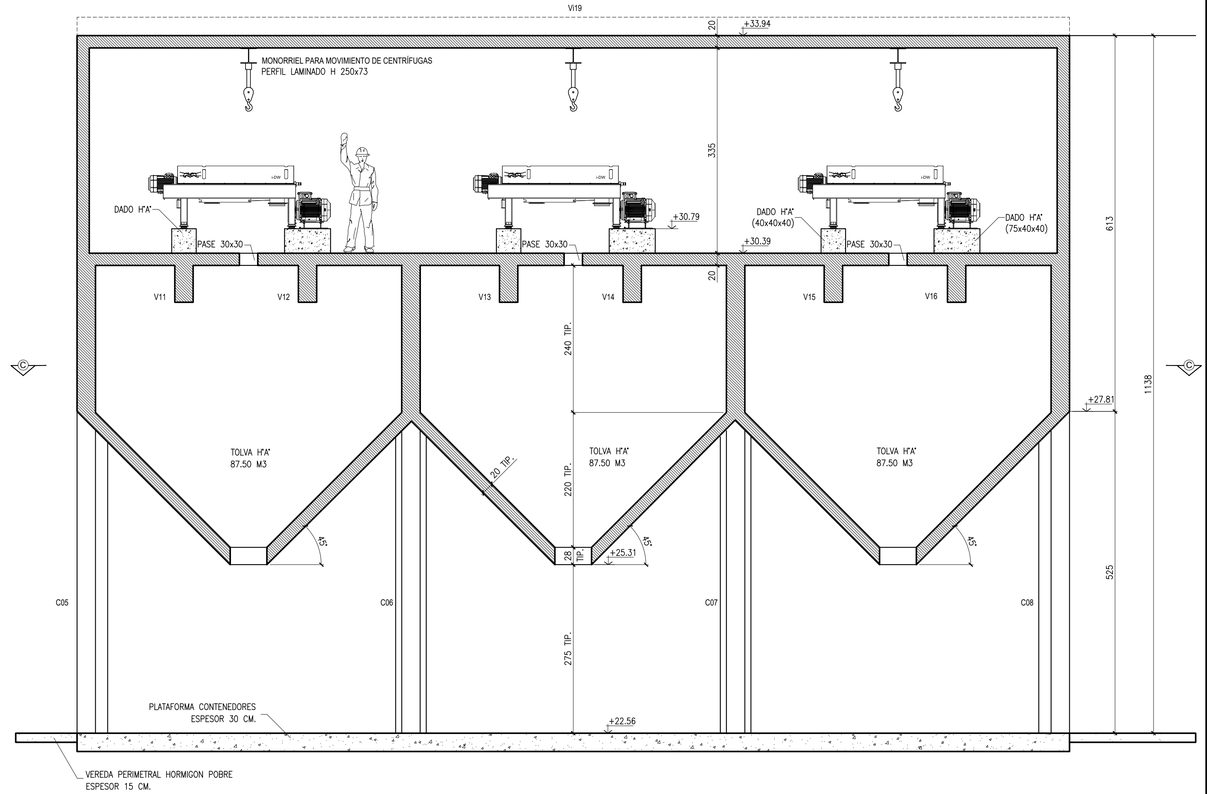
PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO:	FACHADAS DE ARQUITECTURA DETALLE TÍPICO PAQUETE DE PISO
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A1(841X594)
LÁMINA: G1-ARQ-002	REV. A

PROYECTO IV

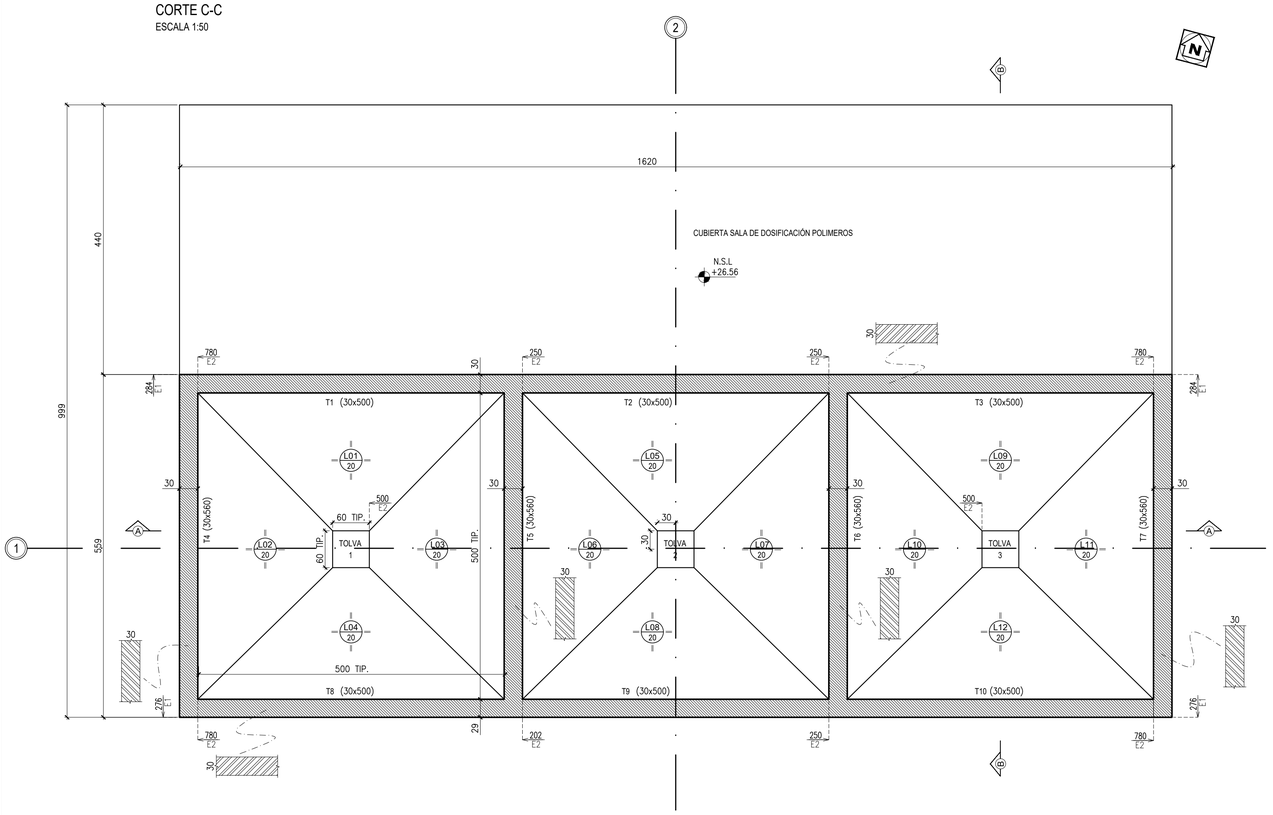
ENCOFRADO S° PB
ESCALA 1:50



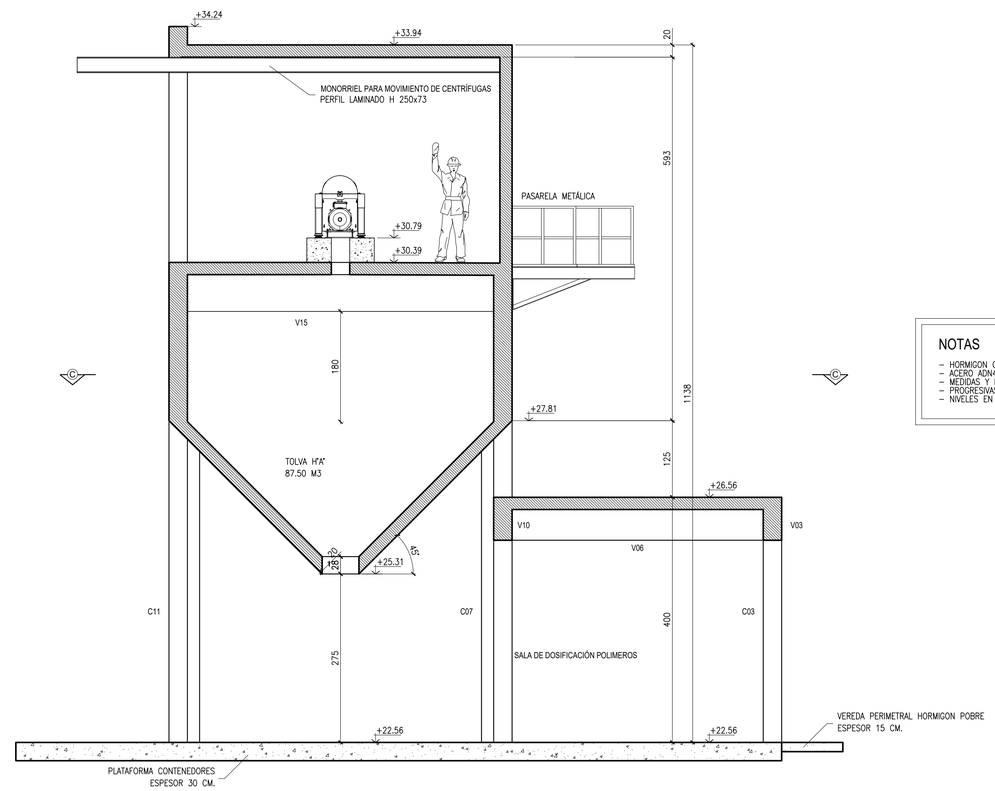
CORTE A-A
ESCALA 1:50



CORTE C-C
ESCALA 1:50



CORTE B-B
ESCALA 1:50



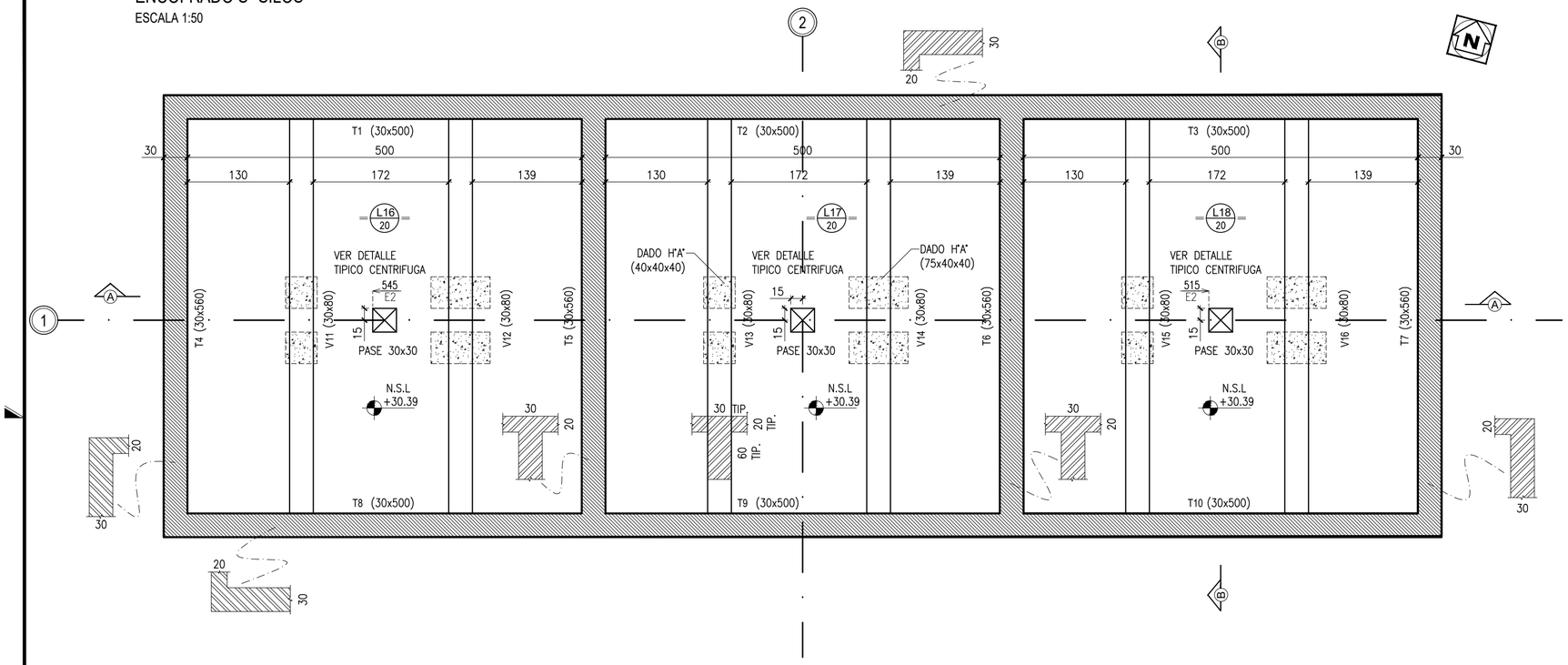
NOTAS

- HORMIGON CALIDAD H-30
- ACERO ADN420
- MEDIDAS Y PROGRESIVAS EN CENTIMETROS.
- PROGRESIVAS LOCALES RESPECTO A EJE "X", EJE "Y"
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

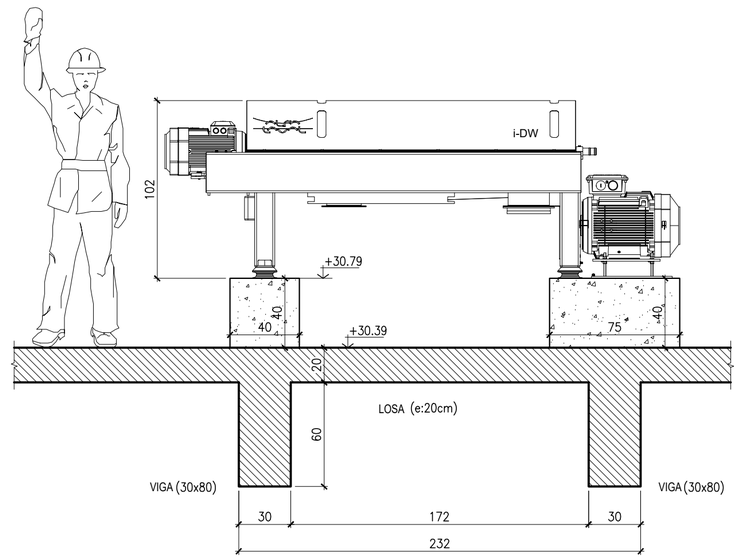
PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO:	EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS PLANTAS Y CORTES DE ENCOFRADO
ESCALA: 1:50	
TAMAÑO: A1(841X594)	
LÁMINA: G1-EN-001	REV. A

PROYECTO IV

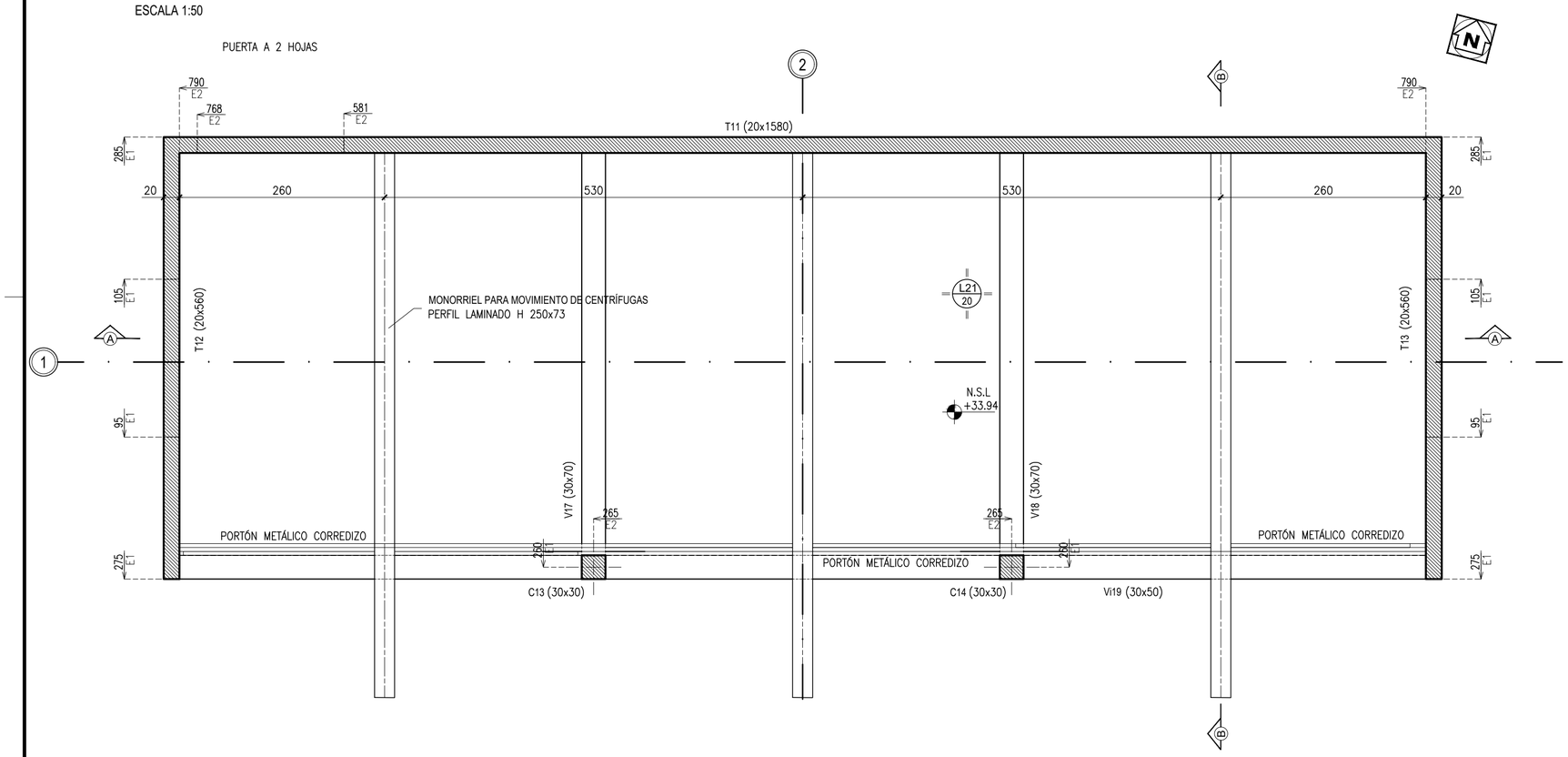
ENCOFRADO Sº SILOS
ESCALA 1:50



DETALLE TIPICO CENTRÍFUGA
ESCALA 1:25



ENCOFRADO Sº SALA CENTRIFUGAS
ESCALA 1:50



NOTAS

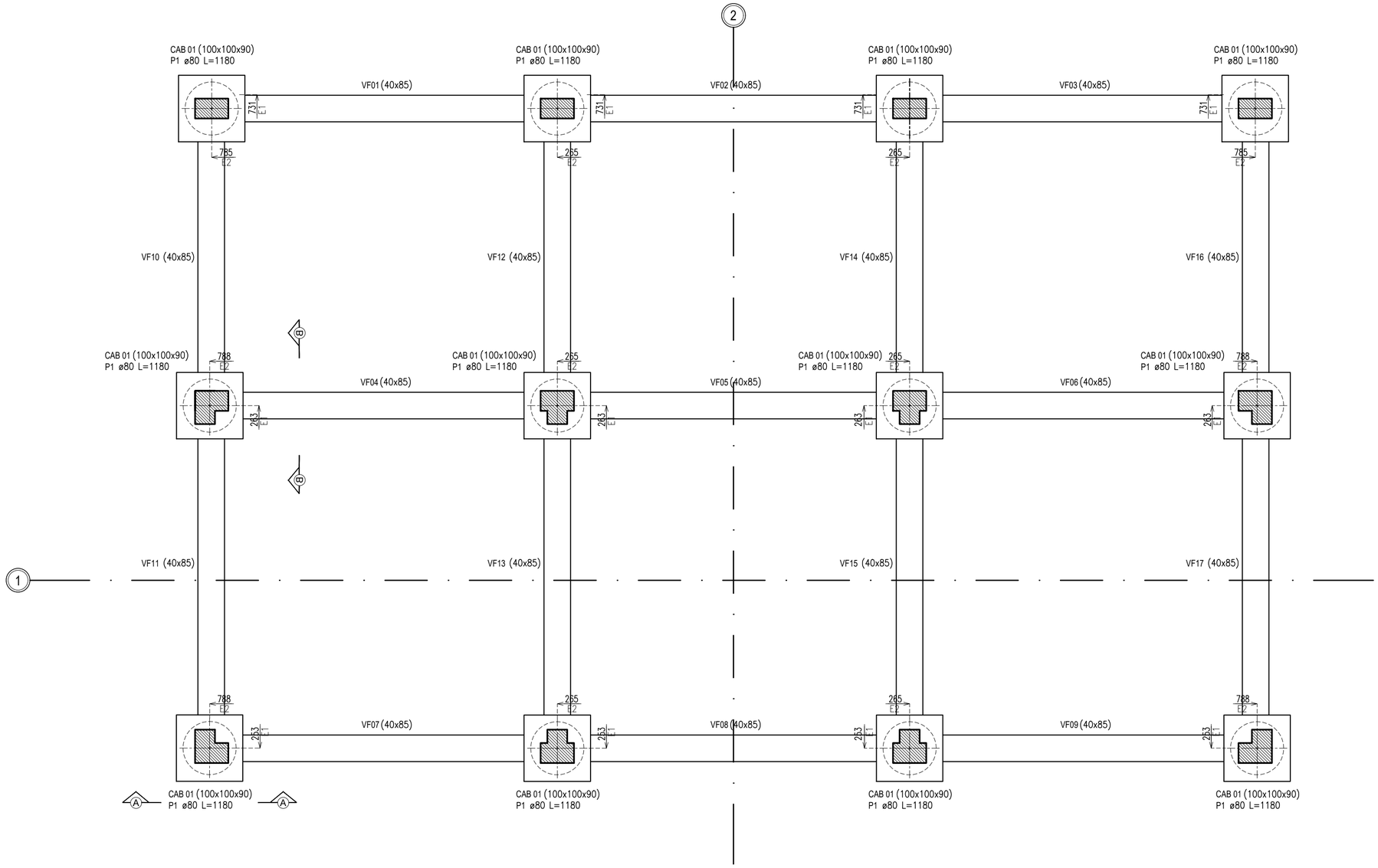
- HORMIGON CALIDAD H-30
- ACERO ADN420
- MEDIDAS Y PROGRESIVAS EN CENTIMETROS
- PROGRESIVAS LOCALES RESPECTO A EJE "X", EJE "Y"
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS PLANTAS DE ENCOFRADO DETALLE TIPICO CENTRIFUGA
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A2(594X420)
LÁMINA: G1-EN-002	REV. A

PROYECTO IV

FUNDACIONES

ESCALA 1:50



NOTAS

- HORMIGON CALIDAD H-30
- ACERO ADN420
- MEDIDAS Y PROGRESIVAS EN CENTIMETROS
- PROGRESIVAS LOCALES RESPECTO A EJE "X", EJE "Y"
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

ELEMENTO	SECCIÓN	ALTURA	CANTIDAD
CABEZAL	100x100	90	12
PILOTE	ø80	1180	12

PROYECTO IV

2° sem. 2022

ACGRO
PLANTA POTABILIZADORA
GRO. BAIGORRIA
LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

G1: ERNESTO, Noelia
FERREYRA, Valentín
MOLEÓN, Joaquín
VEIGA, Julieta

CONTENIDO:
EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS
PLANTA DE FUNDACIONES
DETALLE TIPICO FUNDACIÓN

ESCALA: 1:50

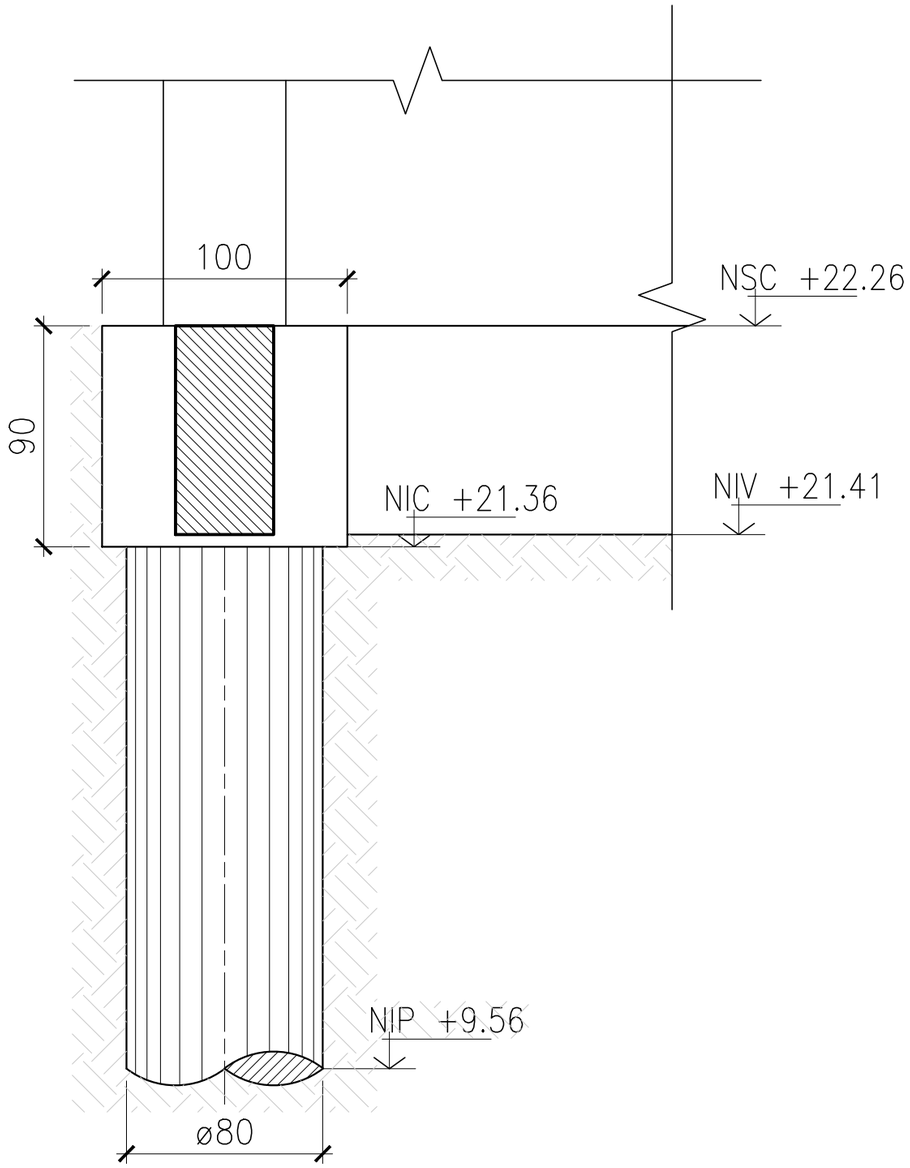
TAMAÑO: A2(594X420)

LÁMINA: G1-EN-003

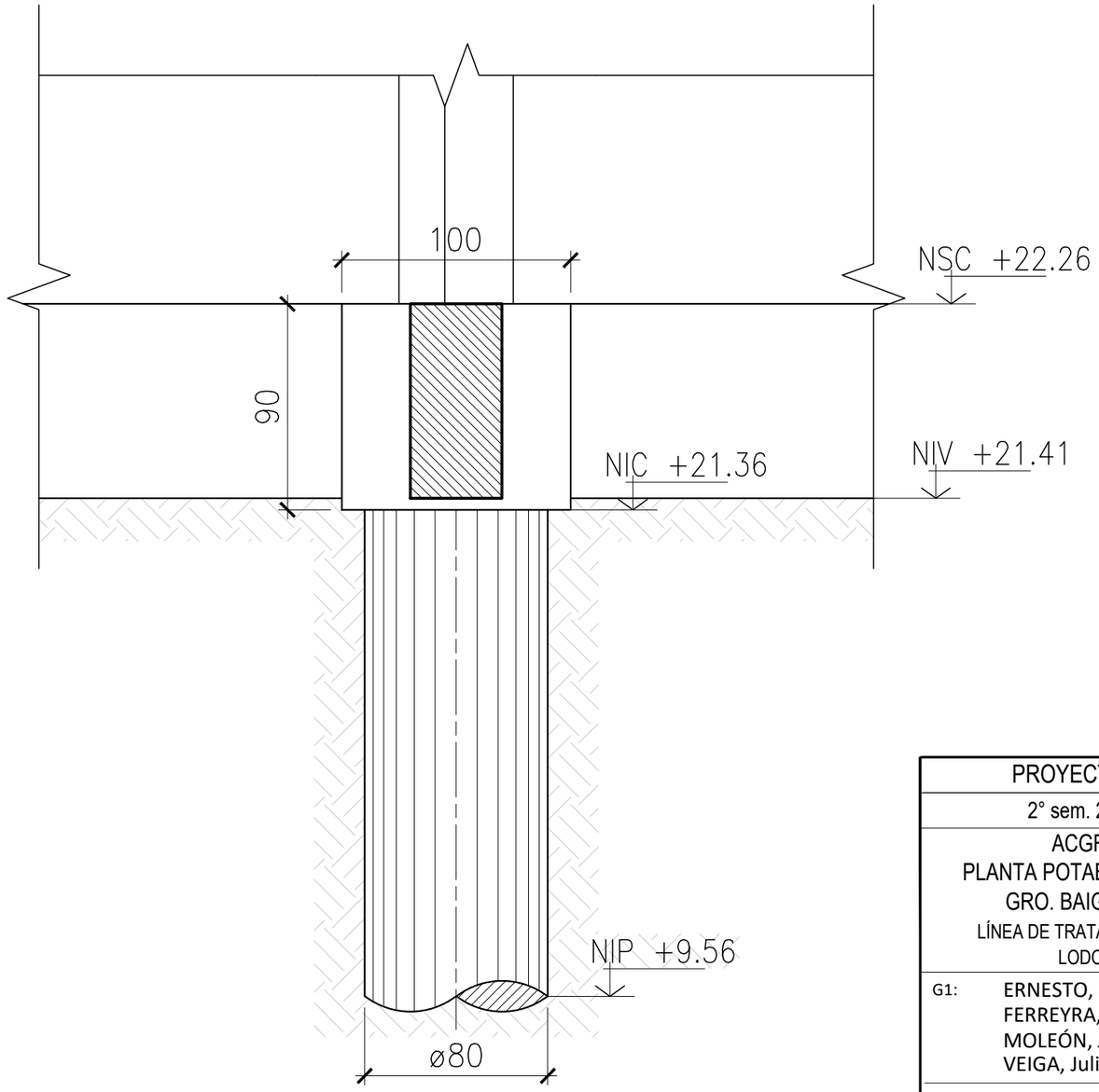
REV. A

PROYECTO IV

DETALLE TIPICO FUNDACIÓN A-A
ESCALA 1:25



DETALLE TIPICO FUNDACIÓN B-B
ESCALA 1:25



NOTAS

- HORMIGON CALIDAD H-30
- ACERO ADN420
- MEDIDAS Y PROGRESIVAS EN CENTIMETROS
- PROGRESIVAS LOCALES RESPECTO A EJE "X", EJE "Y"
- NIVELES EN METROS REFERIDOS NIVEL +0.00 DE I.G.M

ELEMENTO	SECCIÓN	ALTURA	CANTIDAD
CABEZAL	100x100	90	12
PILOTE	ø80	1180	12

PROYECTO IV

PROYECTO IV

2° sem. 2022

ACGRO
PLANTA POTABILIZADORA
GRO. BAIGORRIA
LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

G1: ERNESTO, Noelia
FERREYRA, Valentín
MOLEÓN, Joaquín
VEIGA, Julieta

CONTENIDO:

EDIFICIO DE TRATAMIENTO DE LODOS
DETALLE TIPICO FUNDACIÓN

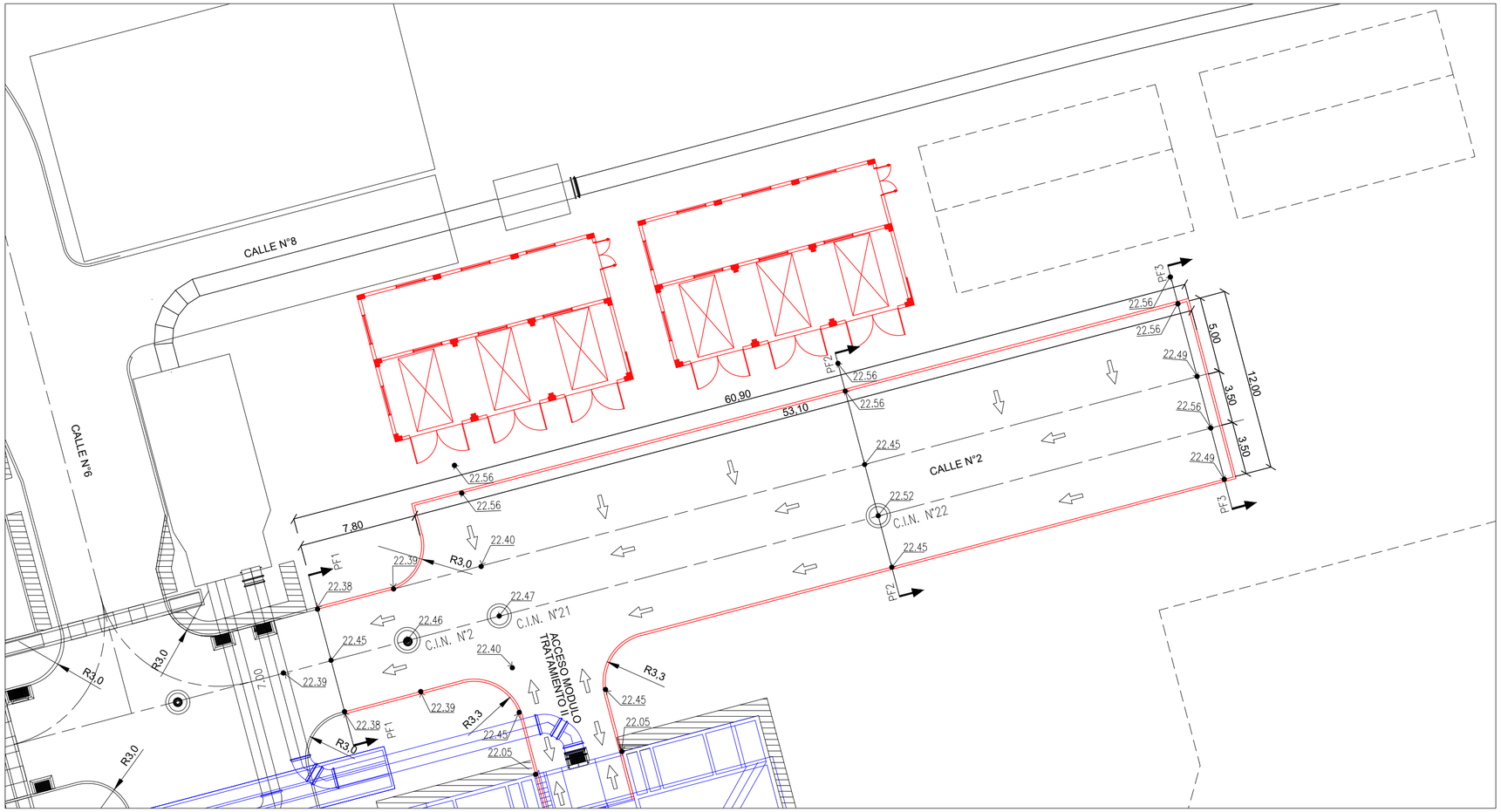
ESCALA: 1:25

TAMAÑO: A2(594X420)

LÁMINA: G1-EN-004

REV. A

PLANTA GENERAL (ESC. 1:250)



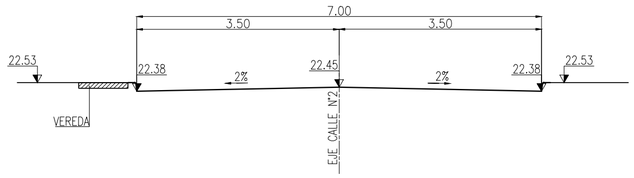
REFERENCIAS

- EXISTENTE
- EN EJECUCIÓN
- PROYECTADO
- FUTURO

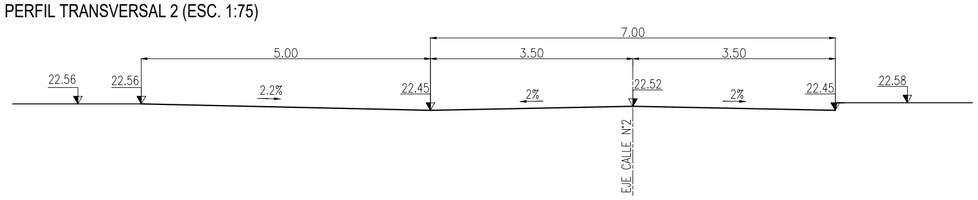
NOTAS:

- COTAS Y MEDIDAS EN METROS
- COTAS REFERIDAS AL +0.00 DEL I.G.N

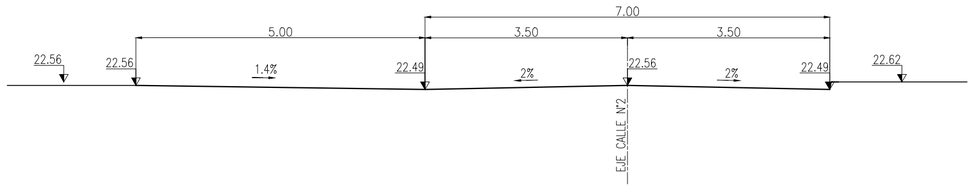
PERFIL TRANSVERSAL 1 (ESC. 1:75)



PERFIL TRANSVERSAL 2 (ESC. 1:75)



PERFIL TRANSVERSAL 3 (ESC. 1:75)



PERFIL LONGITUDINAL (ESC. 1:75)

Cota Ref.: 0

		INTERSECCION CALLE EXISTENTE	C.I. N°2 EXISTENTE	C.I. N°21 PROYECTADA		C.I. N°22 PROYECTADA		FIN CALLE PROYECTADA
DISTANCIA (m)	PARCIALES	5.20	6.30		25.91		23.34	
	ACUMULADO	0.00	5.20	11.50		37.42		60.75
PENDIENTE (°/oo)		i = 2.00						
COTA (m)	TERRENO	22.33	22.30	22.26		22.07		21.94
	RASANTE	22.45	22.46	22.47		22.52		22.56

RASANTE
TERRENO

NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

PROYECTO IV

2° sem. 2022

ACGRO
PLANTA POTABILIZADORA
GRO. BAIGORRIA
LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

G1: ERNESTO, Noelia
FERREYRA, Valentín
MOLEÓN, Joaquín
VEIGA, Julieta

FCEIA

CONTENIDO:

COTAS DEL PAVIMENTO

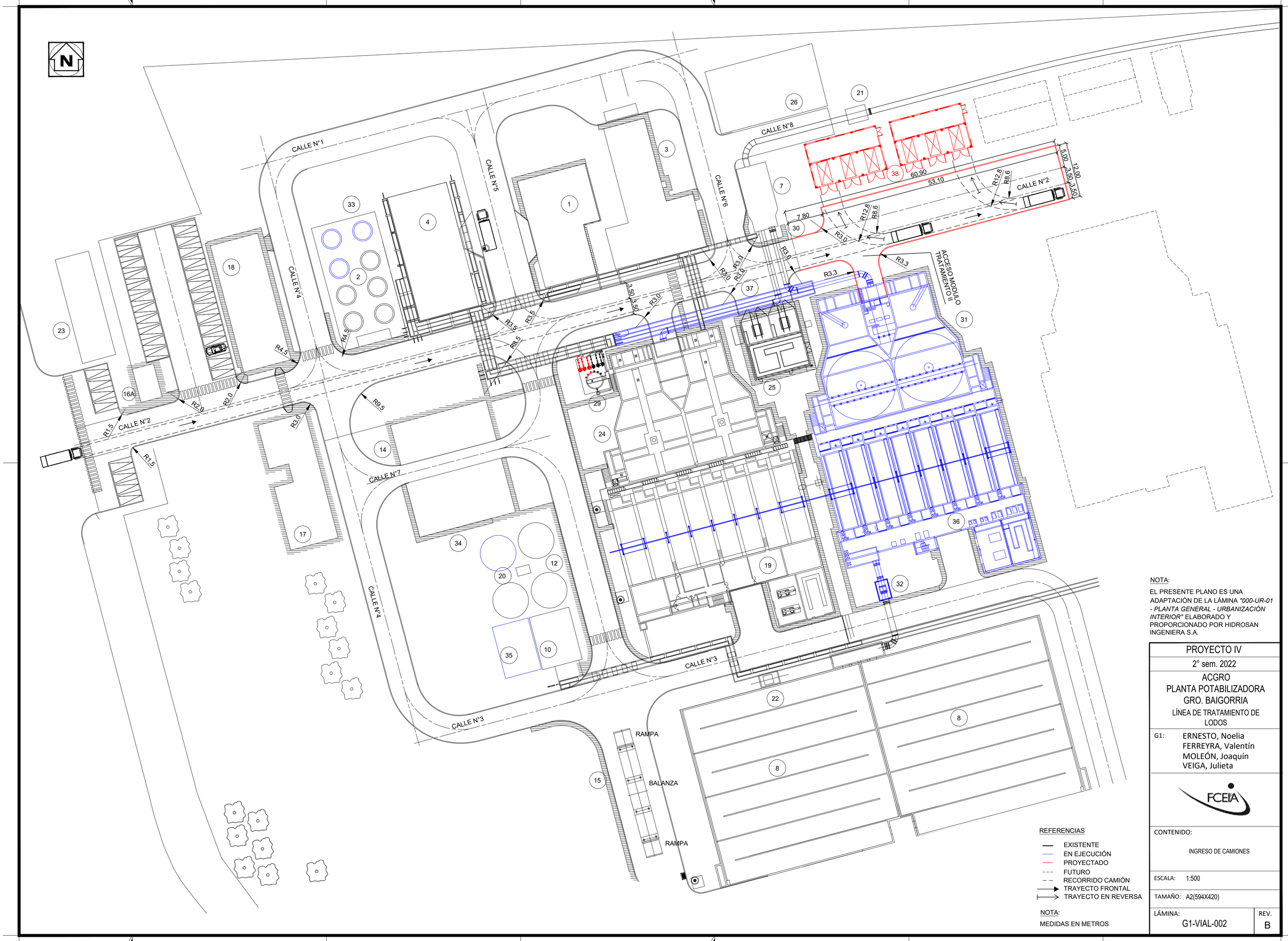
ESCALA: VARIAS

TAMAÑO: A2(594X420)

LÁMINA: G1-VIAL-001

REV. B

PROYECTO IV



NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

REFERENCIAS

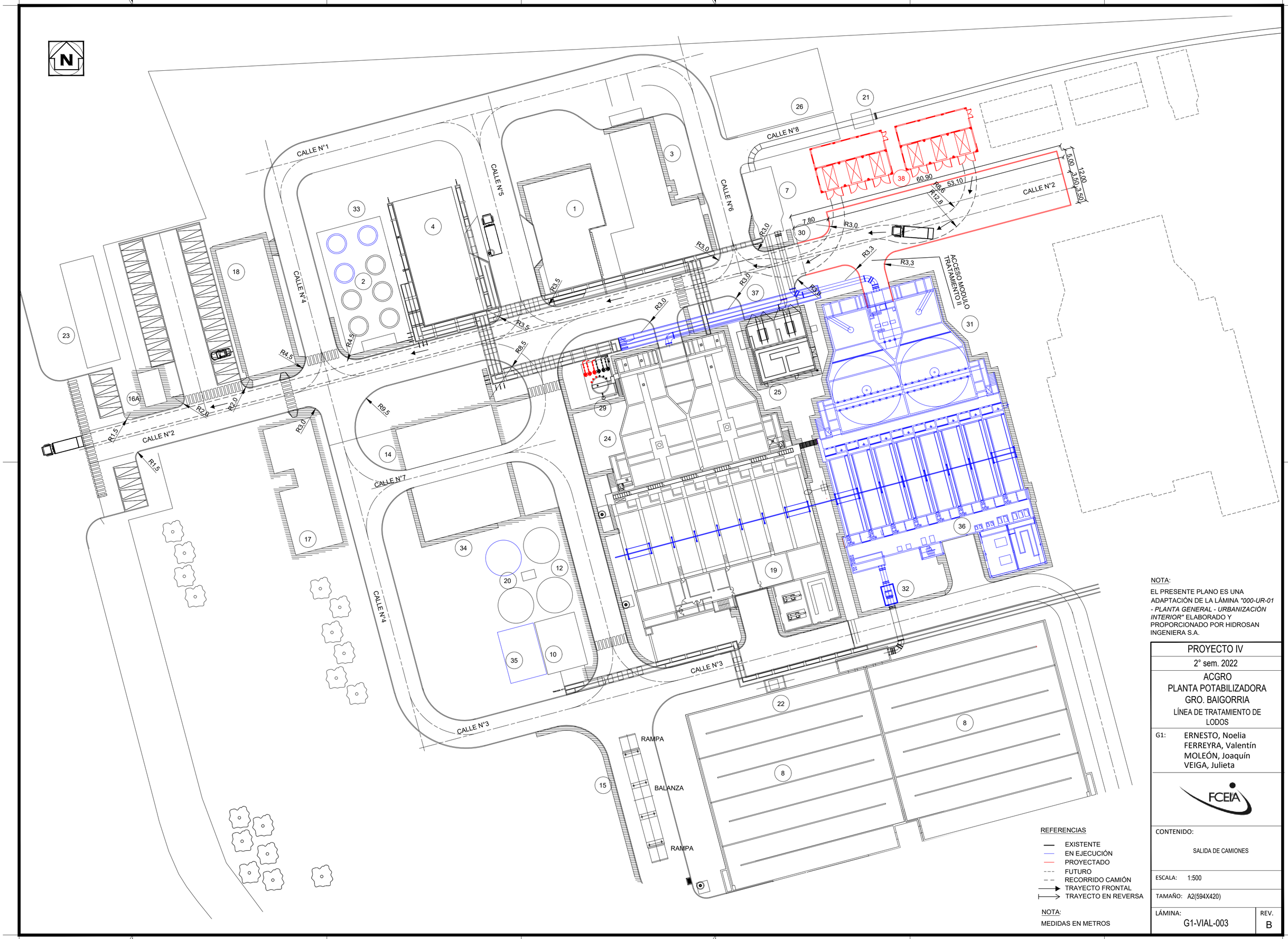
- EXISTENTE
- EN EJECUCIÓN
- PROYECTADO
- FUTURO
- RECORRIDO CAMIÓN
- TRAYECTO FRONTAL
- TRAYECTO EN REVERSA

NOTA:

MEDIDAS EN METROS

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	INGRESO DE CAMIONES
ESCALA:	1:500
TAMAÑO:	A2(594X420)
LÁMINA: G1-VIAL-002	REV. B

PROYECTO IV



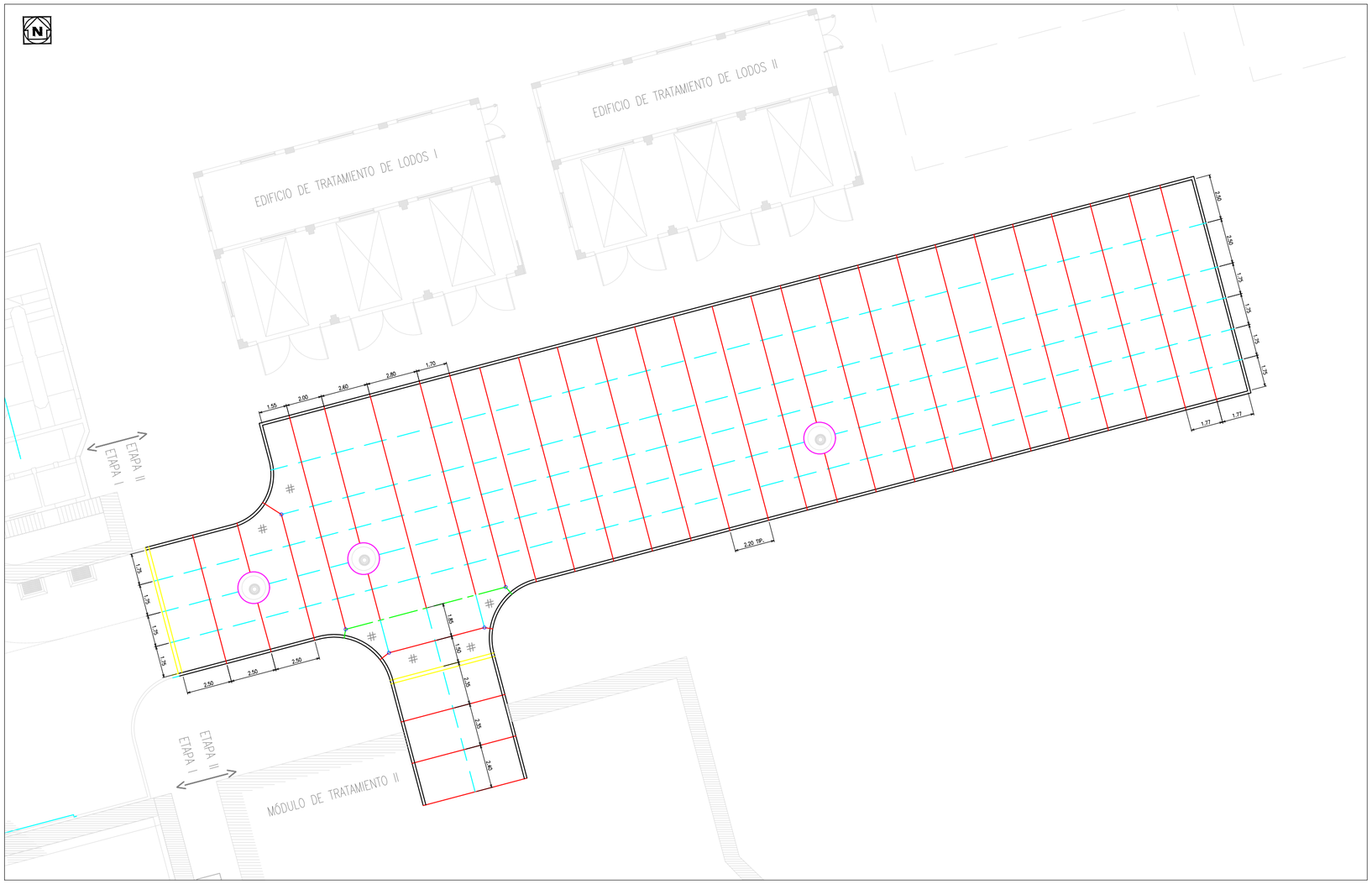
NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
FCEIA	
CONTENIDO: SALIDA DE CAMIONES	
ESCALA: 1:500	
TAMAÑO: A2(594X420)	
LÁMINA: G1-VIAL-003	REV. B

PROYECTO IV

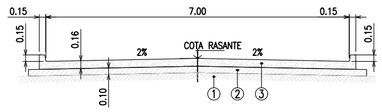
DISEÑO DE JUNTAS - ESCALA 1:200



REFERENCIAS:

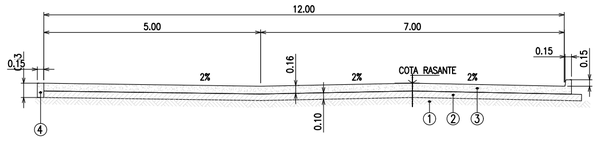
- JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN
- JUNTAS LONGITUDINALES DE ARTICULACIÓN
- JUNTAS LONGITUDINALES ENSAMBLADAS A BORDE LIBRE
- JUNTAS TRANSVERSALES DE DILATACIÓN O EXPANSIÓN
- JUNTAS DE AISLACIÓN
- # LOSA ARMADA MALLA Ø8mm (15x15) en el plano medio de la junta
- ○ CALADO DE Ø15cm en cruce de juntas en "T"con relleno posterior de hormigón

PERFIL TIPO - TRAMO DE ANCHO 7,00m



1. ESCARIFICADO Y RECOMPACTADO DE LA SUBRASANTE
2. SUB BASE DE HORMIGÓN H-8 e=0.10m
3. CALZADA CON CORDÓN INTEGRADO DE HORMIGON SIMPLE H-25 e=0.16m

PERFIL TIPO - TRAMO DE ANCHO 12,00m

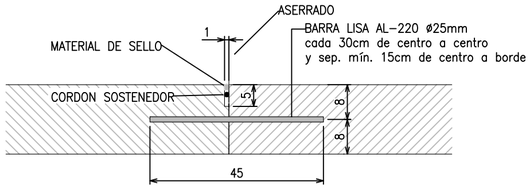


1. ESCARIFICADO Y RECOMPACTADO DE LA SUBRASANTE
2. SUB BASE DE HORMIGÓN H-8 e=0.10m
3. CALZADA CON CORDÓN INTEGRADO DE HORMIGON SIMPLE H-25 e=0.16m
4. CORDÓN PROTECTOR DE BORDE DEL PAVIMENTO

(1) Se colocarán barras de unión:
- en todas las juntas longitudinales, en el sector de ancho 7,00m
- en las juntas longitudinales extremas, en el sector de ancho 12,00m

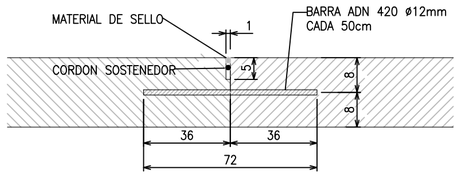
DETALLES JUNTAS - ESCALA 1:10

DETALLE JUNTA TRANSVERSAL DE CONTRACCIÓN - TIPO A-2

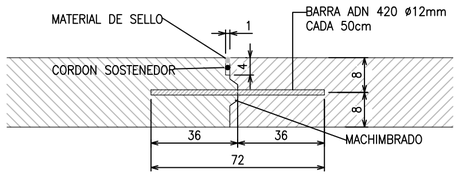


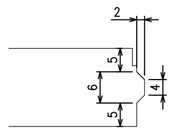
DETALLE JUNTA LONGITUDINAL DE CONTRACCIÓN - TIPO C-1

[Ver nota (1)]



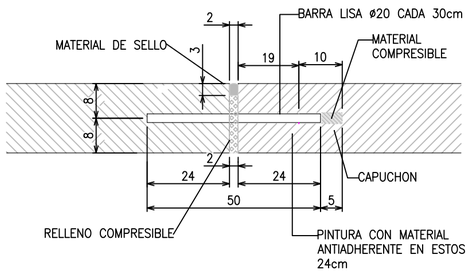
DETALLE JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN - TIPO D-1



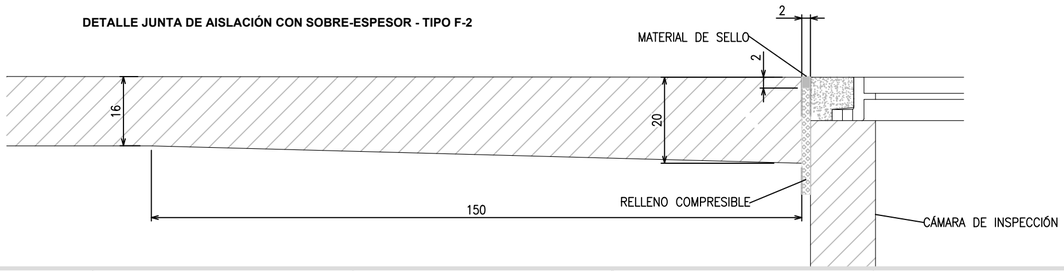


DETALLE DEL MACHIMBRADO

DETALLE JUNTA TRANSVERSAL DE DILATACIÓN O EXPANSIÓN - TIPO E

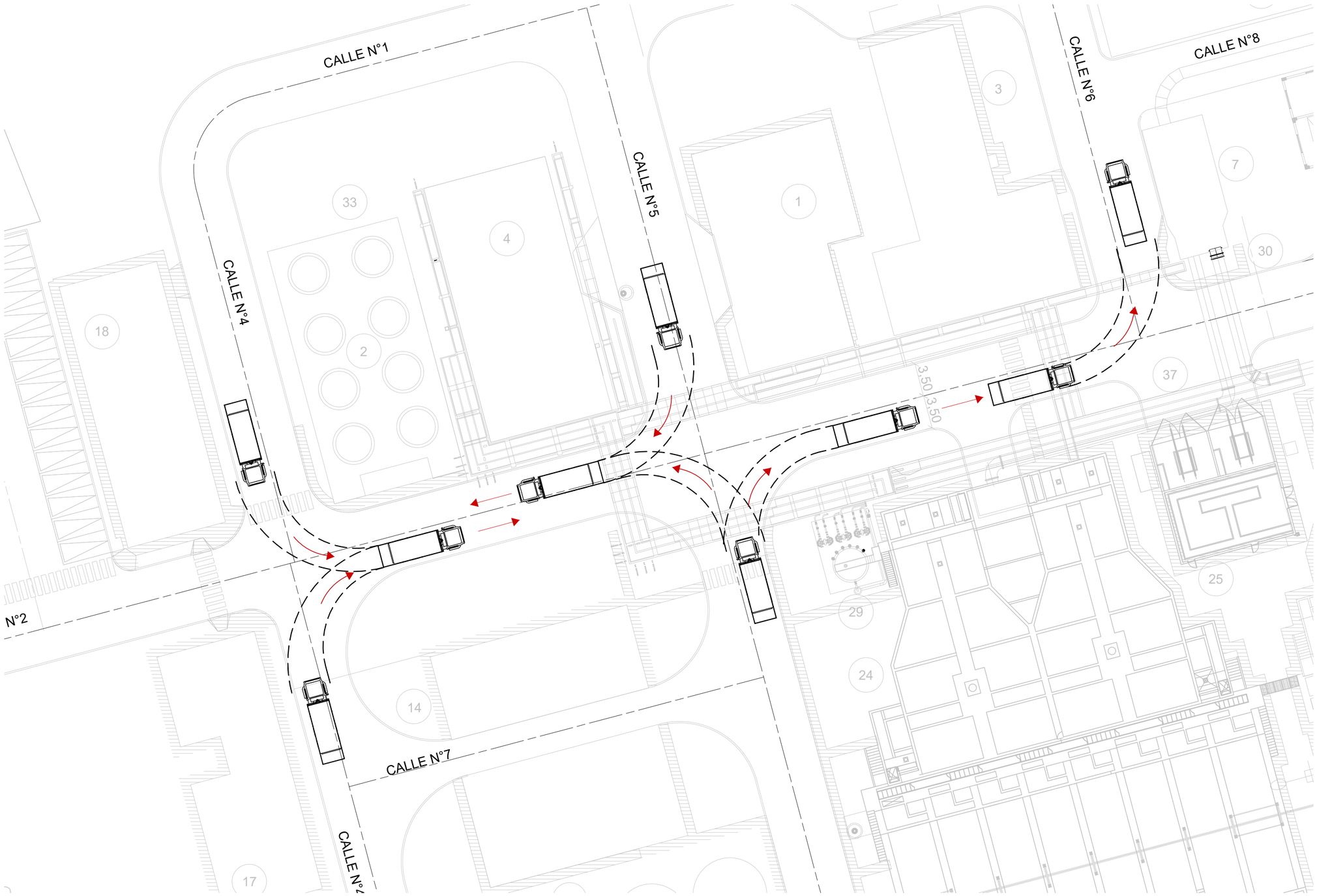


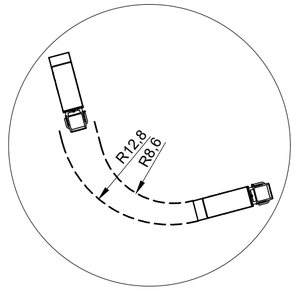
DETALLE JUNTA DE AISLACIÓN CON SOBRE-ESPESOR - TIPO F-2



PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	DISEÑO DE TRAMO DE PAVIMENTO RÍGIDO INGRESO Y SALIDA DE CAMIONES SECTOR EDIFICIOS DE TRATAMIENTO DE LODOS
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A2(841X594)
LÁMINA: G1-VIAL-004	REV. A

PROYECTO IV





DETALLE TIP. TRAYECTORIA VEHÍCULO

REFERENCIAS

- EDIFICACIONES
- EJE DE CALZADA
- RECORRIDO CAMIÓN
- GIRO

NOTA:

MEDIDAS EN METROS

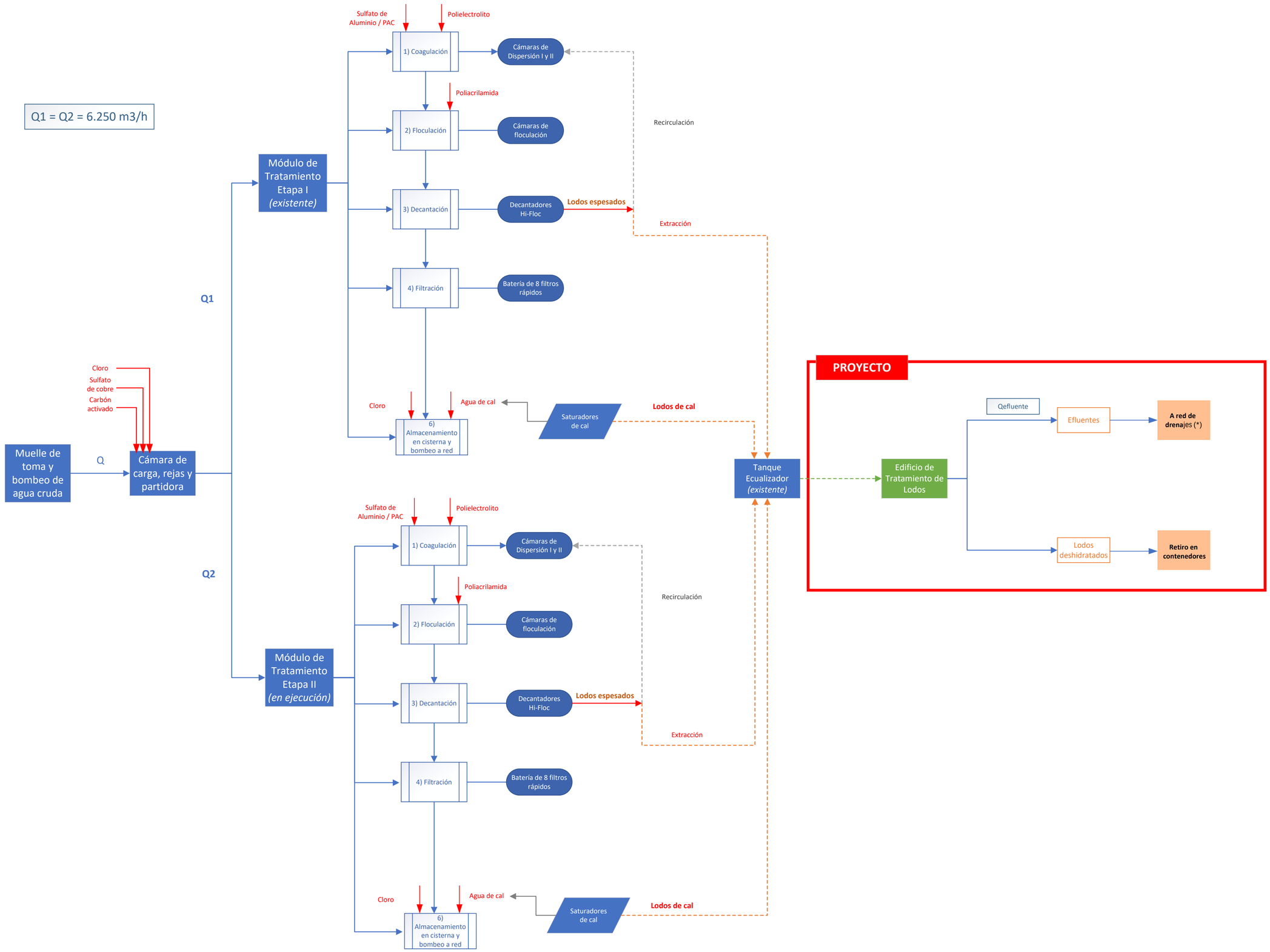
NOTA:

EL PRESENTE PLANO ES UNA ADAPTACIÓN DE LA LÁMINA *"000-UR-01 - PLANTA GENERAL - URBANIZACIÓN INTERIOR"* ELABORADO Y PROPORCIONADO POR HIDROSAN INGENIERA S.A.

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	MANIOBRA DE CAMIONES
ESCALA:	1:300
TAMAÑO:	A2(594X420)
LÁMINA: G1-VIAL-005	REV. A

PROYECTO IV

Anexo 1 - Esquema proceso de potabilización y proyecto de tratamiento de lodos – Planta Potabilizadora Gro. Baigorria – ACGRO



(*) De cumplirse Normativa de Vuelco en Cursos Receptores (Resolución Nº 1089/82)

PROYECTO IV	
2° sem. 2022	
ACGRO PLANTA POTABILIZADORA GRO. BAIGORRIA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	
G1:	ERNESTO, Noelia FERREYRA, Valentín MOLEÓN, Joaquín VEIGA, Julieta
CONTENIDO:	PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y ESQUEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PROYECTADO
ESCALA:	VARIAS
TAMAÑO:	A2(841X594)
LÁMINA: G1-PC-001	REV. B

Anexo 2 - Masas y volúmenes de lodos

Los siguientes valores de masas y volúmenes de lodos que se generan en cada una de las etapas del proceso de potabilización fueron extraídos de la MEMORIA DESCRIPTIVA Y CÁLCULOS - SISTEMA DE LODOS" elaborada por la empresa *Hidrosan Ingeniería S.A.*, y constituyen una hipótesis de partida para el desarrollo del proyecto.

2.1 - Lodos para condiciones normales

Las masas y volúmenes de **generación de lodos para condiciones normales**, para una única etapa del proceso, son los siguientes:

Caudal de cada módulo/etapa: 6.250 m3/h

Lodos provenientes del proceso de potabilización

Sólidos que aporta el agua cruda: 120 mg/l

Sólidos que aportan los reactivos: 13,6 mg/l

→ Sumatoria de sólidos a eliminar: 120 + 13,6 = 133,6 mg/ l

Sólidos a eliminar para el diseño: 140 mg/l = 140 g/m3

Concentración de sólidos de diseño: 50 g/l = 50 kg/m3

Masa de lodos proveniente del proceso de potabilización:

140 g/m3 x 6.250 m3/h x 24 h/d x10-3 kg/g = 21.000 kg/d

Masa de lodos de diseño proveniente del proceso de potabilización: **23.100 kg/d**

Lodos provenientes de los saturadores de cal

Dosis máxima de droga técnica: 22 mg/l

Pureza de la droga técnica: 64%

Consumo diario de cal: 6.250m3/h x 24h x 22mg/l / 1000 = 3.300 kg/d

Porcentaje de lodos sobre el consumo de cal: 100% - 64% = 36%

Masa de lodos proveniente de los saturadores de cal: 3.300 kg/d x 0,36 = 1.188 kg/d

Masa de lodos de diseño proveniente de los saturadores de cal: 1.600 kg/d

Masa de lodos totales de diseño del tanque ecualizador: 23.100 kg/d + 1.600 kg/d = 24.700 kg/d

Relación masa de lodos de cal / total: 1.188 kg/d / (1.188 kg/d + 21.000 kg/d) = 5.35%

Volumen diario lodos proceso de potabilización

Volumen diario de lodos de diseño proveniente del proceso de potabilización: 23.100 kg/d / 50kg/m3 = **462 m3/d**

Volumen diario lodos saturadores de cal

Caudal de purga por saturador de cal: 2 m3/h

Caudal de agua de cal generado por diseño por saturador: 77 m3/h

Caudal de agua de cal consumida: 59 m3/h

Purga horaria resultante: 59 m3/h / 77 m3/h x 2 m3/h = 1,53 m3/h

Volumen diario de lodos proveniente de los saturadores de cal: 1,53 m3/h x 24 h = 37 m3/d

Volumen diario de lodos de diseño proveniente de los saturadores de cal: **38 m3/d**

Sumatoria de volumen de lodos: 420 m3/d + 38 m3/d = 458 m3/d

Volumen diario de lodos totales de diseño del tanque ecualizador: 462 m3/d + 38 m3/d **= 500 m3/d**

2.2 - Lodos para condiciones extremas

De forma análoga, las masas y volúmenes de **generación de lodos para condiciones extremas**, para una única etapa del proceso, son:

Caudal de cada módulo/etapa: 6.250 m3/h

Sólidos que aporta el agua cruda: 400 mg/l

Sólidos que aportan los reactivos: 45,3 mg/l

→ Sumatoria de sólidos a eliminar: 400 mg/l + 45,3 mg/l= 445,3 mg/ l

Sólidos a eliminar para el diseño: 450 mg/l = 450 g/m3

Concentración de sólidos de diseño: 50 g/l = 50 kg/m3

Masa de lodos proveniente del proceso de potabilización:

450 g/m3 x 6.250 m3/h x 24 h/d x10-3 kg/g = 67.500 kg/d

Masa de lodos de diseño proveniente del proceso de potabilización: **67.500 kg/d**

Dosis máxima de droga técnica: 73,3 mg/l

Pureza de la droga técnica: 64%

Consumo diario de cal: 6.250m3/h x 24h x 73,3 mg/l/ 1.000 = 10.995 kg/d

Porcentaje de lodos sobre el consumo de cal: 100% - 64% = 36%

Masa de lodos proveniente de los saturadores de cal: 10.995 kg/d x 0,36 = 3.958 kg/d

Masa de lodos de diseño proveniente de los saturadores de cal: 4.032 kg/d

Masa de lodos totales de diseño del tanque ecualizador: 67.500 kg/d + 4.032 kg/d **= 71.532 kg/d**

Volumen diario lodos proceso de potabilización

Volumen diario de lodos proveniente del proceso de potabilización: 67.500 kg/d / 50 kg/m3 = **1.350 m3/d**

Volumen diario lodos saturadores de cal

Caudal de purga por saturador de cal: 2 m3/h

Cantidad de saturadores en operación: 2

Volumen diario de lodos proveniente de los saturadores de cal: 2m3/h x 2 x 24 h = 96 m3/d

Volumen lodos al tanque ecualizador

Sumatoria de volumen de lodos: 1.350 m3/d + 96 m3/d = 1.446 m3/d

Volumen diario de lodos totales de diseño del tanque ecualizador: 1.446 m3/d

Relación masa de lodos de cal / potabilización: 5.54 %

Impulsión lodos desde decantadores Hifloc hacia el tanque ecualizador

Las **bombas de impulsión** desde los hifloc hacia el ecualizador, **en condiciones normales**, llevan los siguientes caudales:

Tiempo de bombeo: 20 h

Bombas en funcionamiento: 2

Caudal de lodos de diseño proveniente del proceso de potabilización: 462 m3/d

Caudal por bomba: 462 m3/d / 2 bombas / 20 h/d = 11,55 m3/h

Las **bombas de impulsión** desde los hifloc hacia el ecualizador, **en condiciones extremas**, llevan los siguientes caudales:

Tiempo de bombeo: 24 h

Bombas en funcionamiento: 3

Volumen diario de lodos de diseño proveniente del proceso de potabilización: 1.350 m3/d

Caudal por bomba: 1.350 m3/d / 3 bombas / 24 h/d = 28,125 m3/h

Diseño tanque ecualizador

El diseño del **tanque ecualizador** se realiza para **condiciones normales y considerando Etapa I y Etapa II**. Para condiciones extremas se reduce el tiempo de retención. Los cálculos se detallan a continuación:

Tiempo de retención condiciones normales: 30 minutos

Caudal de llegada de los Hifloc: 11,55 m3/h por bomba x 2 bombas x 2 etapas = 46,2 m3/h

Caudal de llegada del sistema de cal: 1,9 m3/h x 2 etapas = 3,8 m3/h

Caudal total de llegada: 46,2 m3/h + 3,8 m3/h = 50 m3/h

Volumen horario necesario para cada etapa: 50 m3/h / 2 = 25 m3

Volumen horario de diseño para cada etapa: 30 m3

Diámetro: 3,4 m

Altura líquida máxima: 3,4 m

Tiempo de retención condiciones extremas: 30m3 / (1.446 m3/d x 2 etapas / 24h/d) x 60min/h = 15 min

Luego del tanque ecualizador, se encuentran las **bombas que actualmente envían los lodos directo al río** en un esquema de 2 + 1 en condiciones normales y 3 + 0 en condiciones extremas de ser requerido. La impulsión de las bombas es individual y cuentan con un medidor de caudal en la impulsión de cada una.

Los caudales de las bombas de impulsión al río, en **condiciones normales**, son:

Volumen total a bombear desde el tanque ecualizador: 500 m3/d

Cantidad de bombas: 2+1

Tiempo de bombeo: 20 horas

Caudal por bomba: 500 m3/d / 2 bombas / 20h = 12,5 m3/h

Los caudales de las bombas de impulsión al río, en **condiciones extremas**, son:

Volumen total a bombear desde el tanque ecualizador: 1.446 m3/d

Cantidad de bombas: 3+0

Tiempo de bombeo: 24 horas

Caudal por bomba: 1.446 m3/d / 3 bombas / 24h = 20,1 m3/h

Estos últimos resultados resultan los más importantes a la hora del proyecto del tratamiento de lodos, ya que constituyen los datos de partida para el dimensionamiento de los equipos centrífugos para la deshidratación de los lodos.

Anexo 3 - Sólidos salientes de las centrífugas

En condiciones extremas se obtienen los siguientes valores:

Masa de lodos diario ingresantes al ecualizador: 71.532 kg/d

Volumen diario de lodos ingresantes al ecualizador: 1.446 m3/d

Concentración de lodos: 71.532 kg/d / 1446 m3/d = 49,47 g/l

Porcentaje de sequedad: 30%

Masa de lodo húmedo: 71.532 kg/d / 0,30 = 238.440 kg/d

Densidad estimada: 1,04 ton/m3

Volumen total de lodo húmedo total saliente por las centrífugas: 238.440 kg/d / 1.040 kg/m3 = 229 m3/d

Caudal de ingreso por centrifuga: 20,1 m3/h

Flujo másico por centrífuga: 49,47 g/l x 20,1 m3/h = 994,35 kg MS/h

Centrífugas en operación: 3

Horas por día de operación: 24

Volumen de lodo deshidratado saliente por cada centrífuga: 229 m3/d / 24 d/h / 3 = 3,18 m3/h

INFORME TÉCNICO

ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE LA FUNDACIÓN DE NUEVOS TANQUES

UBICACIÓN DE LA OBRA:
Av. San Martín y Av. Circunvalación – Gdero Baigorria
Provincia de Santa Fe – República Argentina

COMITENTE:
Werk Constructora SRL
Dorrego 745. – Rosario
Provincia de Santa Fe – República Argentina

SUMARIO DE ESTE INFORME:

I. Objetivos del Informe. Simbología
II. Descripción de la Metodología de Trabajo
III. Croquis de Ubicación de las Perforaciones
IV. Clasificación de los Suelos
V. Perfil Estratigráfico
VI. Cuadro de Cotas y Tensiones Admisibles
VII. Análisis de la Capacidad Portante
VIII. Análisis de Probables Asentamientos
IX. Capacidad Portante de Pilotes
X. Tabla de Pilotes
XI. Estabilidad de excavaciones verticales
XII. Ensayos de Laboratorio
XIII. Conclusiones

I. - OBJETIVOS DEL INFORME

- Analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo que determinan las características de su comportamiento geotécnico.
- Determinar los parámetros de diseño necesarios para el cálculo de las fundaciones.
- Estudiar distintos sistemas de fundación y recomendar las alternativas más convenientes.
- Establecer un cuadro de cotas y tensiones admisibles.

SIMBOLOGÍA UTILIZADA.

θ	Cota de Referencia
⊕ B.P.	Boca de Pozo.
N	Nº de golpes del Ensayo de Penetración Terzaghi.
ω	Humedad Natural.
γ	Densidad aparente húmeda.
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
#200	Tamiz de malla nº 200 (74 micrones)
φ	Ángulo de fricción interna.
C	Cohesión.
mv	Módulo edométrico.
∇	Nivel de napa freática
M.A.	Muestra alterada.
T.N.	Terreno Natural.
S.U.C.S.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
H.R.B.	Highway Research Board
ν	Coeficiente de Seguridad
σadm	Tensión admisible
Df	Cota de fundación
E=1/mv	Módulo de Young.
ε	Deformación unitaria.
G	Peso específico del suelo.
e	Relación de vacíos.
n	Porosidad

II. - RESEÑA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

A.- DE CAMPO:

Los trabajos de campo fueron llevados a cabo en el mes de Marzo de 2022.

Se realizaron tres perforaciones de 15,00 m de profundidad respecto a boca de pozo. En las mismas se efectuó el Ensayo de Penetración Normalizado de Terzaghi (SPT) según Norma IRAM 10517/70, con toma-muestra de puntas intercambiables, a cada metro de profundidad aproximadamente. Con este procedimiento se toman muestras de cada estrato, y se acondicionan para mantener sus características inalteradas hasta la posterior realización de los ensayos de laboratorio.

Un técnico especializado en mecánica de suelos realizó en campaña un reconocimiento de las características generales del suelo en cada uno de los estratos detectados.

Respecto a hechos existentes en el predio se localizó la ubicación de los sondeos. Así mismo se determinaron las cotas de bocas de pozo mediante nivel óptico en referencia a una cota fija de fácil accesibilidad.

Recopilación de antecedentes técnicos de la zona en la cual se emplazará la obra.

Determinación de la ubicación del agua subterránea, de encontrarse en la profundidad sondeada.

B.- DE LABORATORIO

A partir de las muestras tomadas en campaña, se las extrae con sumo cuidado y se confeccionan probetas para la realización de los siguientes ensayos:

Determinación de humedad según IRAM 10.519.

Determinación de densidad natural, densidad de suelo seco según ASTM D 2937.

Determinación de límite líquido según IRAM 10.513.

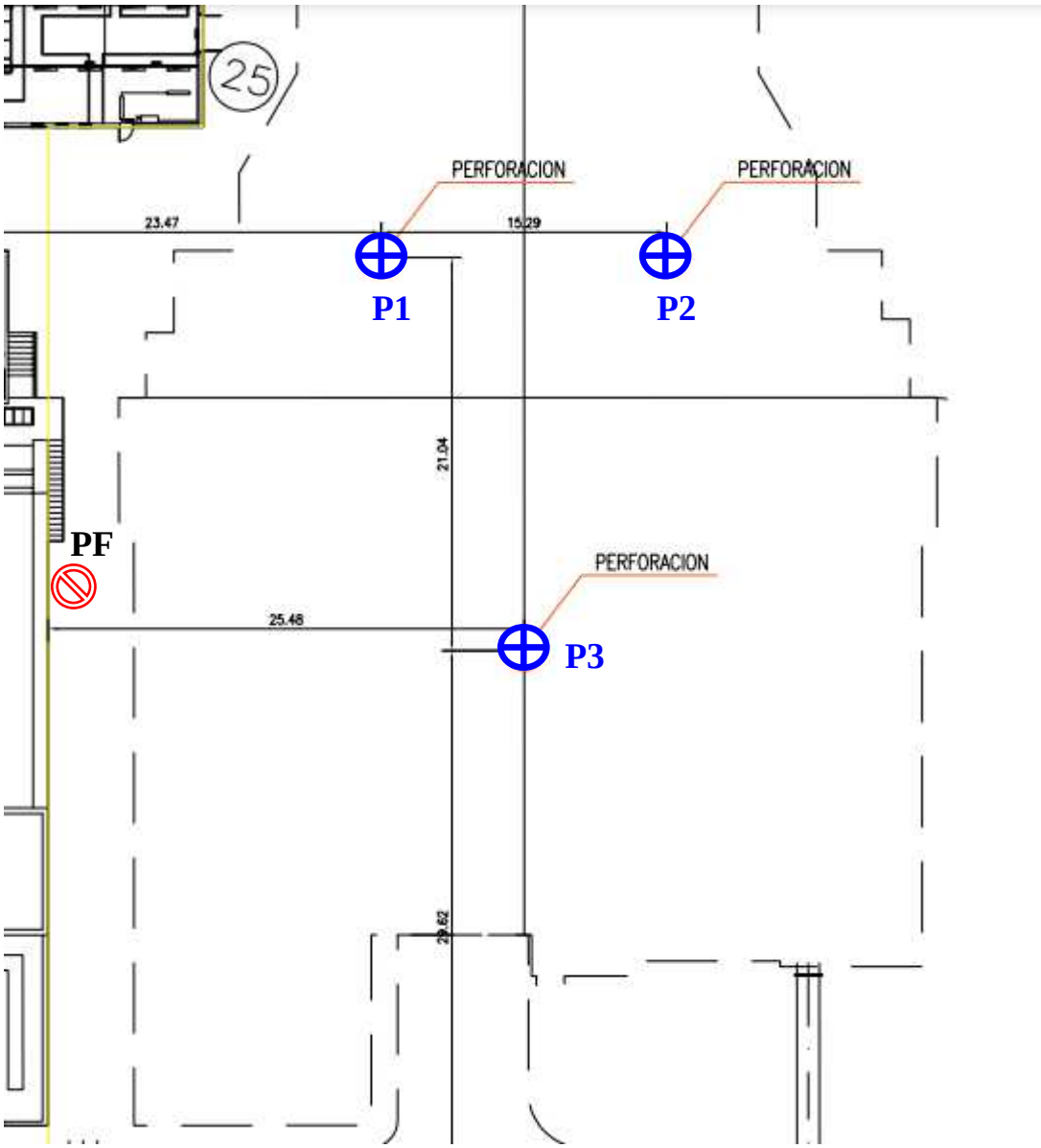
Determinación de límite plástico e índice de plasticidad según IRAM 10.502.

Clasificación de suelos por S.U.C.S. (Casagrande) según AASHTO M145-66 - IRAM 10.509.

Ensayos granulométricos sobre tamices según IRAM 10.507.

Ensayos triaxiales escalonados rápidos según IRAM 10.529/74.

III. - CROQUIS DE UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES



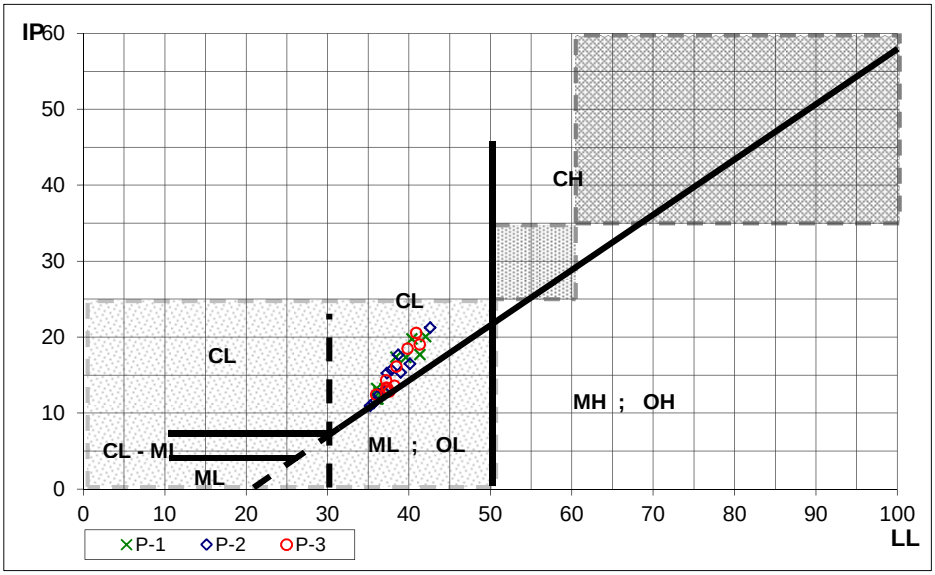
Cotas de referencia: Punto Fijo: Vereda existente en en el sector = 0,00 m.

P-1 = -0,06 m P-2 = -0,11 m P-2 = -0,19 m

IV.- CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (S.U.C.S. - Casagrande)

DIVISION PRINCIPAL			SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS	
SUELOS DE GRANO GRUESO 50% o más es retenido por el tamiz nº 200.	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz nº 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien graduadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos.	Clasificación basada en el porcentaje de finos. Menos del 5% pasa por el tamiz nº 200 GW, GP, SW, SP. Más del 12% pasa por el tamiz nº 200 GM, GC, SM, SC. Entre el 5 y el 12 % se utilizan simbolos dobles (ej SM-SW)
			GP	Gravas y mezclas de grava y arena mal graduadas con pocos finos o sin finos.	
		GRAVAS CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezclas de grava arena y limo.	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava arena y arcilla.	
	ARENAS más del 50 % de la fracción gruesa pasa el tamiz nº 4.	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o sin finos.	
			SP	Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o sin finos.	
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena y arcilla.	
SUELOS DE GRANO FINO 50% o más pasa por el tamiz nº 200.	LIMOS Y ARCILLAS límite líquido de 50 % o inferior.		ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas.	Con límite líquido, límite plástico se clasifica en la Carta de Casagrande.
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla.	
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
	LIMOS Y ARCILLAS límite líquido superior a 50%.		MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o limos plásticos.	
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media.	
Suelos Altamente orgánicos			PT	Turba, estiercol y otros suelos.	

CARTA DE CASAGRANDE.



Calificación del Potencial de Expansión según W.E.S. (Waterways Experimental Station - U.S. Army Corps of Engineers)

BAJO	LL<50 ; IP<25
MEDIO	50>LL<60 y 25>IP>35
ALTO	LL>60 ; IP>35

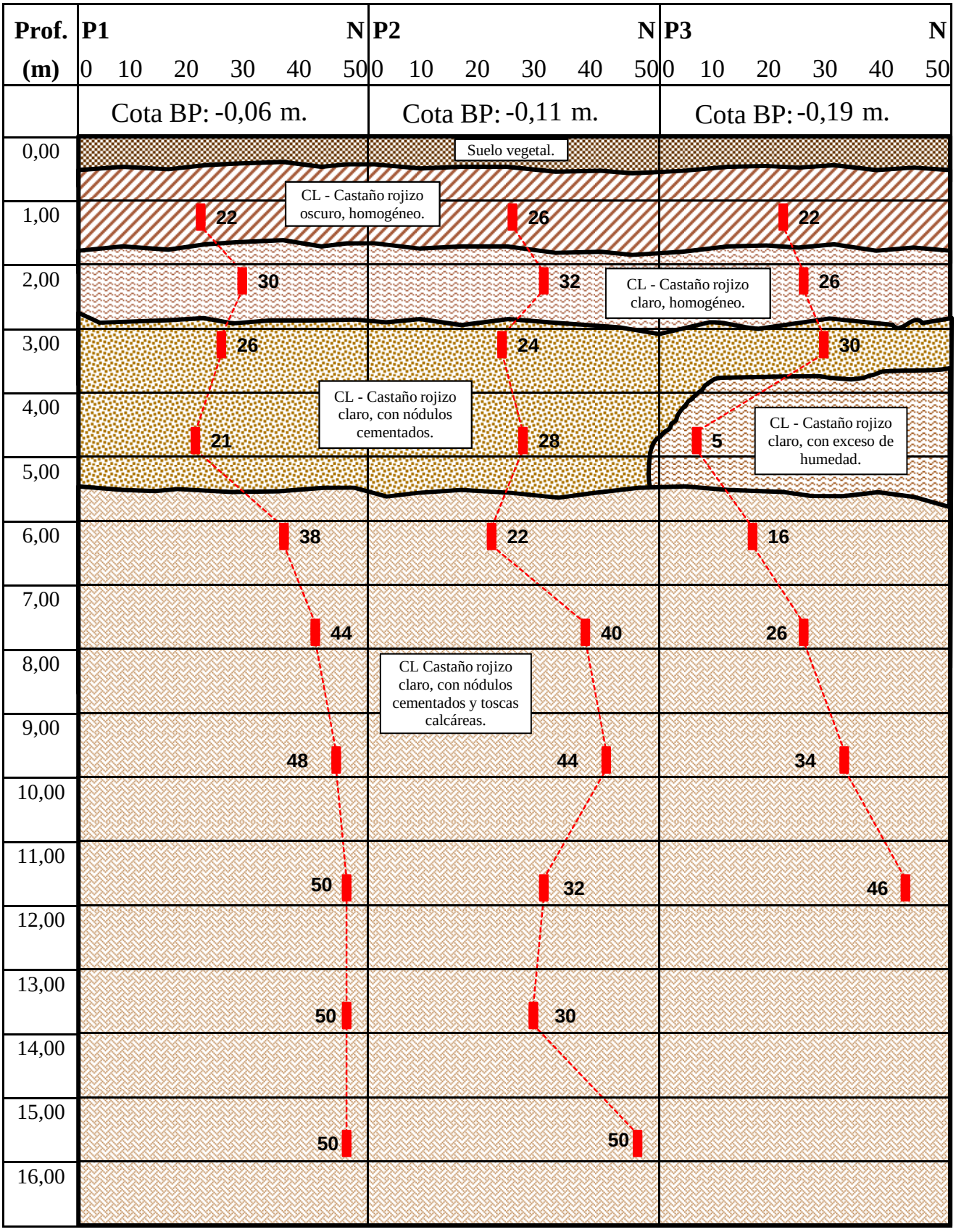
ENSAYO NORMALIZADO DE PENETRACION DE TERZAGHI (S.P.T.)

Durante la ejecución de las perforaciones se llevó a cabo el ensayo de penetración, que consiste en la hinca del sacamuestras a través de 45 cm del suelo, mediante una masa de 70 kg de peso y 70 cm de caída libre. El número de golpes necesario para penetrar los últimos 30 cm es el resultado del ensayo, y el mismo permite valorar la consistencia de los suelos en la siguiente forma:

Número de golpes	Consistencia
0 a 2	muy blanda
2 a 4	blanda
4 a 8	Medianamente compacta
8 a 15	compacta
15 a 30	muy compacta
más de 30	dura

V.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Se representa aquí el perfil tentativo de la estratigrafía del suelo, basado en el reconocimiento y clasificación de las muestras ensayadas en laboratorio. Además, se indican los resultados de las sucesivas realizaciones del Ensayo normalizado de penetración de Terzaghi (SPT).



VI.- CUADRO DE COTAS Y TENSIONES ADMISIBLES DEL SUELO

Con los valores obtenidos del ensayo de Terzaghi (S.P.T.), los datos recopilados en las tareas de campaña y las determinaciones de laboratorio, se ha calculado la capacidad portante del suelo en los distintos niveles y se ha confeccionado el siguiente cuadro de cotas y tensiones admisibles, para cargas estáticas.

En la determinación de estos valores se consideró:

- un coeficiente de seguridad a la rotura del suelo 3
- un asentamiento máximo de: 2,5 cm.

Profundidades referidas a Boca de Pozo	Cotas referidas a Nivel 0,00 de referencia	Tensiones admisibles para bases aisladas Kg/cm2	Coeficiente de Balasto (K30) Kg/cm3	Tensiones admisibles para zapatas continuas Kg/cm2	Tensiones admisibles para plateas rígidas Kg/cm2
0,60	-0,60	- - - - -	3,70	1,50	**2,00 (*)**
1,00	-1,00	- - - - -	8,20	1,90	**2,50 (**)**
1,50	-1,50	2,00	5,00	- - - - -	**2,30 (**)**
2,00	-2,00	1,70	4,20	- - - - -	**2,10 (**)**
3,00	-3,00	1,40	3,50	- - - - -	- - - - -
4,00	-4,00	1,00	2,00	- - - - -	- - - - -
5,00	-5,00	0,75	1,00	- - - - -	- - - - -

Observaciones:

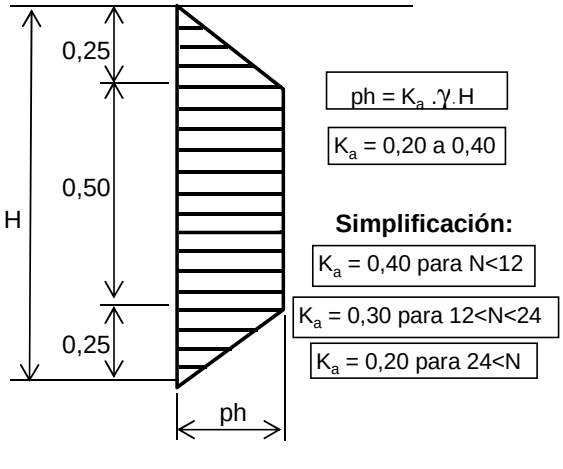
- La napa freática no fue detectada en la profundidad sondeada, durante la ejecución de los trabajos de campaña, realizados en el mes de Marzo de 2022.

(*) Este valor considera un recambio y mejoramiento del suelo de los primeros 0,35 a 0,40 m, Ver XII.- Recomendaciones.-

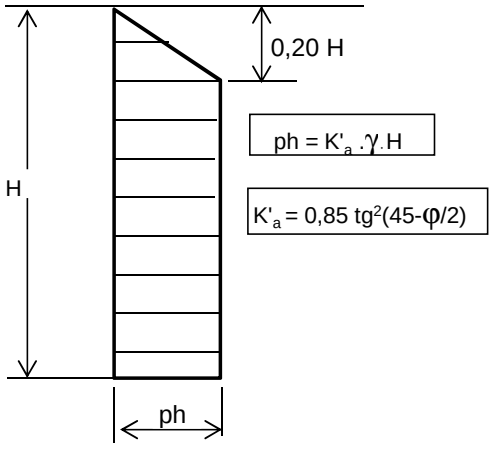
DIAGRAMAS DE EMPUJES EN PARAMENTOS VERTICALES

- Estos diagramas corresponden a las hipotesis de: una rotura plana, para un macizo homogeneo, con superficie libre horizontal, limitado por una pantalla vertical lisa.

a) SUELOS COHESIVOS



b) SUELOS ARENOSOS



VII.- DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES DEL SUELO

A partir de los resultados de los ensayos triaxiales y teniendo presente que la napa de agua subterránea no afecta las cotas de fundación, podemos aplicar a estos valores la fórmula general de capacidad de carga para suelos cohesivos, donde los coeficientes Nc, Nq y Ng son los indicados por Terzaghi.

$$\sigma adm = q / A = \{ C\,Nc + (\gamma-1)\,D\,Nq + (\gamma-1)\,Rm\,N\gamma \} / \nu\,, \quad \nu = 3$$

Para bases aisladas Lado = 2,00 m. Rm = A/4 = 0,500 m.

Profund. Respecto B. P.	Profund. Confin.	Pi Mi	C [kg/cm2]	φ °	γ [t/m3]	Nc	Nq	Ng	q [t/m2]
-2,50	2,00	P1 M2	0,62	20	1,86	14,8	6,1	3,1	**39,18**
-2,50	2,00	P2 M2	0,64	21	1,86	14,8	6,1	3,1	**39,92**
-2,50	2,00	P3 M2	0,60	20	1,95	14,0	5,6	2,7	**36,33**
-3,50	3,00	P2 M3	0,56	18	1,93	13,2	5,1	2,3	**35,29**
-5,00	4,50	P3 M4	0,35	9	1,80	7,4	2,0	1,0	**14,27**

Para plateas rígidas Diam = 10,00 m. Rm = A/4 = 2,500 m.

Profund. Respecto B. P.	Profund. Confin.	Pi Mi	C [kg/cm2]	φ °	γ [t/m3]	Nc	Nq	Ng	q [t/m2]
0,00	0,00	P1 M2	0,62	20,44	1,86	14,8	6,1	3,1	**35,45**
0,00	0,00	P2 M2	0,64	20,66	1,86	14,8	6,1	3,1	**36,20**
0,00	0,00	P3 M2	0,60	19,54	1,95	14,0	5,6	2,7	**32,56**

ν=3

Para zapatas continuas Ancho = 0,60 m. Rm = A/2 = 0,30 m.

Profund. Respecto B. P.	Profund. Confin.	Pi Mi	C [kg/cm2]	φ °	γ [t/m3]	Nc	Nq	Ng	q [t/m2]
-1,00	0,50	Valor Ponde-rado	0,60	14	1,85	10,5	3,6	1,2	**22,33**

ν=3

VIII.- ANÁLISIS DE LOS POSIBLES ASENTAMIENTOS INICIALES

Formula general: $S = DH\,.\,(st - sc)\,.\,k\,.\,mv$

Nomenclatura:

S: Asentamiento, en centímetros.
DH: Espesor del manto considerado, en centímetros.
sc: Tensión de confinamiento, en Kg/cm2.
st: Tensión aconsejada, en Kg/cm2.
g: Densidad del suelo, en kg/cm
Df: Cota de fundación.
k: Factor de fundación de la profundidad.
mv: Módulo edométrico, en cm2/kg.

Estimación de asentamientos para base de tanque rígida: 2,00 m
Para cota de fundación: -3,00 m. De T.N.
Tensión de trabajo estimada: 1,40 Kg/cm2

Nº	Df cm	γ kg/cm3	sc Kg/cm2	(st-sc) kg/cm2	ΔH cm	k	mv cm2/kg	S cm
1	300	0,0019	0,555	0,845	40	1,0	0,007	0,225
2	340	0,0019	0,629	0,771	40	0,8	0,007	0,162
3	380	0,0019	0,703	0,697	40	0,4	0,007	0,068
4	420	0,0019	0,777	0,623	40	0,2	0,006	0,022
5	460	0,0019	0,851	0,549	40	0,1	0,006	0,013
				ASENTAMIENTO en cm.				**0,491**

IX.- CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES

Cálculo de la capacidad portante de pilotes ejecutados in situ, según el método del ingeniero Zaven Davidian publicado en su obra "Pilotes y cimentaciones sobre pilotes".

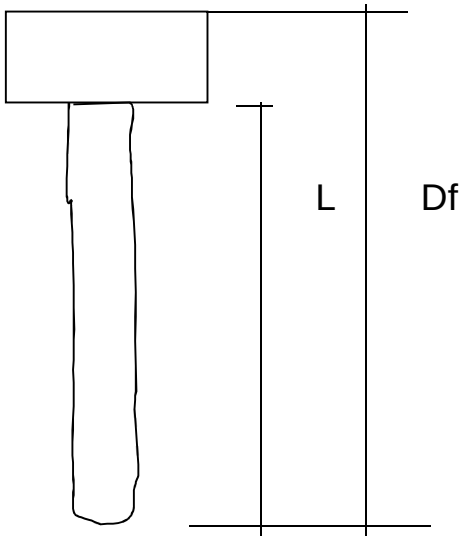
CARACTERÍSTICAS DEL PILOTE Y DEL SUELO:

Diámetro (ϕ):	0,50	m	napa de agua (CN):	-16,00	m	Sin Bulbo (ϕ):	0,00	m
Longitud (L):	7,50	m	γs:	1,85	kg/dm3			
Cota Punta (Df):	8,50	m	F. de cabezal:	1,00	m			

ESTRATO 1: de 1,00 m a 3,00 m
ϕ1: 18 C1: 0,56 kg/cm2
Longitud 1: 2,00 m

ESTRATO 2: de 3,00 m a 5,50 m
ϕ2: 9 C2: 0,35 kg/cm2
Longitud 2: 2,50 m

ESTRATO 3: de 5,50 m a 8,50 m
ϕ3: 17 C3: 0,54 kg/cm2
Longitud 3: 3,00 m



COEFICIENTES:

Factores de fricción:	ϕ1:	18	S32:	0,39	S5:	1,81
	ϕ2:	9	S32:	0,17	S5:	1,53
	ϕ3:	17	S32:	0,46	S5:	2,28
Factores de capacidad carga:	ϕ3:	17	Nc:	12,5	Nq:	4,6
Factor de forma y profundidad:	Df / ϕ:	17	ϕ / L:	0,07	sc . dc :	1,56

RESISTENCIA DE PUNTA:

q = γs . Df - 1,00 . (Df - CN) 15,73 t/m2

qp = (c' . Nc + q . Nq) . sc . dc / ν = 72,64 t/m2

νp = 3

RESISTENCIA POR FRICCION LATERAL:

qf = (1/2 . γs . Df . S_{32} + c' . S_5) / ν

qf 1 = 4,34 t/m2
qf 2 = 2,41 t/m2 νf = 2,5
qf 3 = 6,12 t/m2

EJEMPLO DE APLICACIÓN:

Diám. de pta. (ϕ):	0,50	m	Bulbo Punta ϕ=	0,00	m	Reducción L3 a =	3,00	m
Longitud (L):	7,50	m	Area apoyo =	0,1963	m2	Perímetro fuste =	1,571	m2
Cota Punta (Df):	8,50	m	Volumen pilote=	1,4726	m3	Vol adic bulbo=	0,0000	m3

Capacidad por punta:	qp * Area =	14,26	ton
Capacidad por fricción E1:	qf1 * Perimetro * L1 =	13,63	ton
Capacidad por fricción E2:	qf2 * Perimetro * L2 =	9,46	ton
Capacidad por fricción E3:	qf3 * Perimetro * L3 =	28,82	ton
Descuento Peso Propio pilote:	Vol * Pe(Hº) =	-3,53	ton

CAPACIDAD PORTANTE TOTAL = 62,64 toneladas

VALORES CARACTERÍSTICOS PARA EL CÁLCULO DE PILOTES

En el siguiente cuadro se brindan los parámetros medios de resistencia de punta, resistencia por frición, cohesión, ángulo de fricción interna, densidad y coeficiente de balasto horizontal necesarios para el cálculo de la capacidad portante de pilotes ejecutados in situ.

PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES						
PROFUNDIDAD (m)	Capacidad de Punta (kg/cm^2)	Capacidad por fricción lateral (kg/cm^2)	Coef. de Balasto Horizontal (kg/cm^3)	Cohesión (kg/cm^2)	Fricción (º)	Densidad (kg/dm3)
0,00 m a 3,00 m	----	0,43	110/B(cm)	0,56	18	1,85
3,00 m a 5,50 m	----	0,24	35/B(cm)	0,35	9	1,85
5,50 m a 8,50 m	5,80 - 7,30 (*)	0,42 - 0,61 (*)	125/B(cm)	0,54	17	1,85
8,50 m a 15,00 m	9,0 - 14,00 (*)	0,72 - 0,96 (*)	140/B(cm) - 190/B(cm) (*)	0,59	20	1,85

B = Diámetro del Pilote

(*) Para profundidades intermedias se considera válida una interpolación lineal

Nota Importante: Para considerar la tensión de punta en un estrato, la punta del pilote debe ingresar por lo menos dos diámetros en dicho estrato.

La tabla presedente es valida en pilotes que verifiquen relaciones L/D > 10

XI.- ESTABILIDAD DE TALUDES DE EXCAVACIÓN

El análisis de la estabilidad de un talud vertical libre, desprovisto de entibación, puede comenzarse suponiendo un tipo de rotura plana, según la superficie marcada como 1-3 en la figura. Nos interesa determinar la altura crítica (h_{cr}), es decir, la altura que podrá excavarse con seguridad, sin necesidad de apuntalamientos. Del equilibrio de fuerzas y momentos surge la expresión siguiente:

$$h_{cr} = \frac{4 \cdot c}{\gamma} \cdot tg\,(45^o + \phi/2)$$

donde c: cohesión interna del suelo
γ: densidad del suelo
ϕ: ángulo de fricción interna

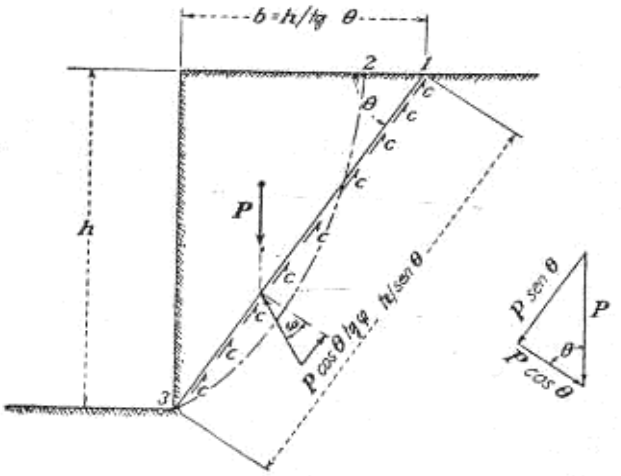
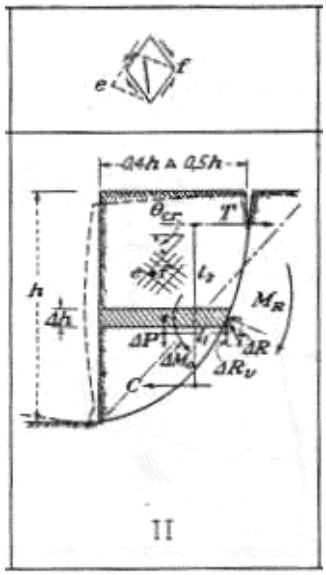


FIG. 8-1.—Análisis de la estabilidad de un talud vertical.

Sin embargo, tanto este estudio como el realizado por Fellenius sobre superficies de rotura circulares (2-3 en la figura), arrojan valores de altura crítica demasiado altos respecto de los que demuestra la experiencia.

A partir de esta observación, comenzaron a estudiarse los efectos de las tracciones que se producen en el suelo en la proximidad de la superficie, según se ve en la figura de más abajo.



Terzaghi tiene en cuenta este efecto, reduciendo la altura crítica calculada según la expresión anterior con un factor 2/3, y recomienda tomar los valores característicos del suelo en forma conservadora, adoptando además un coeficiente de seguridad no menor a dos ($\nu = 2$).

Si se arrimara un equipo pesado (rodados) al borde de la excavación, o si se acopian materiales, produciéndose una solicitación adicional valorada como p (fuerza repartida en unidad de área, por ejemplo kg/cm^2), debe tenerse en cuenta una disminución de h_{cr}, dada por la siguiente relación:

$$Rh = p / \gamma$$

Resumiendo todas las consideraciones y efectos antes citados, la expresión de la altura crítica queda:

$$h_{cr} = \frac{2 \,.\, 4 \,.\, c}{3 \,.\, \gamma \,.\, \nu} \, tg\,(45^o + \phi/2) - Rh$$

A partir de la información disponible de los Estudios de Suelos realizados en la zona, se adoptaron como paramentros promedio del suelo los siguientes valores:

De 0,00 m hasta 4,00 m de profundidad desde boca de pozo, resulta

$c = 0{,}56\ kg/cm^2$
$\phi = 18$
$\gamma = 1{,}88\ kg/dm^3$

Tomando un coeficiente de seguridad $\nu = 2{,}50$, para conocer cual es la máxima altura que se puede excavar en condiciones de estabilidad, se obtiene:

$$h_{cr\ max.1} = 4{,}30\ m, \ \ con\ \nu = 2{,}50$$

<u>Conclusiones</u>:

El suelo será estable sin entibación hasta una profundidad aproximada de 4.30 m, con un coeficiente de seguridad $\nu = 2{,}50$. A partir de esa profundidad se deberá entibar.

Este valor estará condicionado por los siguientes factores:

1- Se han empleado valores obtenidos del Estudio de Suelos, pudiendo variar los parámetros del suelo por tratarse de un material heterogéneo.
2- Al mismo tiempo, sobre los parámetros de corte disponibles, se adoptó el valor más reducido.
3- Este análisis tiene en cuenta que **<u>no</u>** se colocarán cargas de ningún tipo, en las proximidades de la excavación.

4- En aquellas zonas donde fuera detectado material de relleno, estas consideraciones no son válidas, requiriendo un tratamiento especial si se necesitan realizar excavaciones en esas zonas.
5- En caso de verificarse la existencia de zanjas de instalaciones en la zona de influencia de la cuña de rotura, se deberá omitir este cálculo.
6- Ante la presencia de humedad en exceso (que produzca saturación o colapsabilidad de la masa de suelo), en cualquier estrato durante la excavación, debido a la pérdida de alguna instalación que conduzca líquidos o acumulación de agua arbitraria e impredecible, se deberá omitir este cálculo.
7- La presencia de árboles de mediano y gran porte, afectarán notoriamente la estabilidad del talud y se deberá desestimar esta altura libre de entibación.
8- Los lineamientos del presente análisis no eximen de tener en cuenta todas las medidas competentes al área de Seguridad e Higiene.
9- Es recomendable en toda excavación con presencia de personal de obra por debajo del nivel de terreno natural, el uso de arnés vinculado de forma segura a un cabo de vida sujetado por otra persona al pie de la excavación.

XII.- ENSAYOS DE LABORATORIO

DENSIDAD NATURAL

HUMEDAD NATURAL

LIMITES DE ATTERBERG

GRANULOMETRIA SOBRE #200

COHESIÓN

ÁNGULO DE FRICCIÓN

MÓDULO EDOMÉTRICO

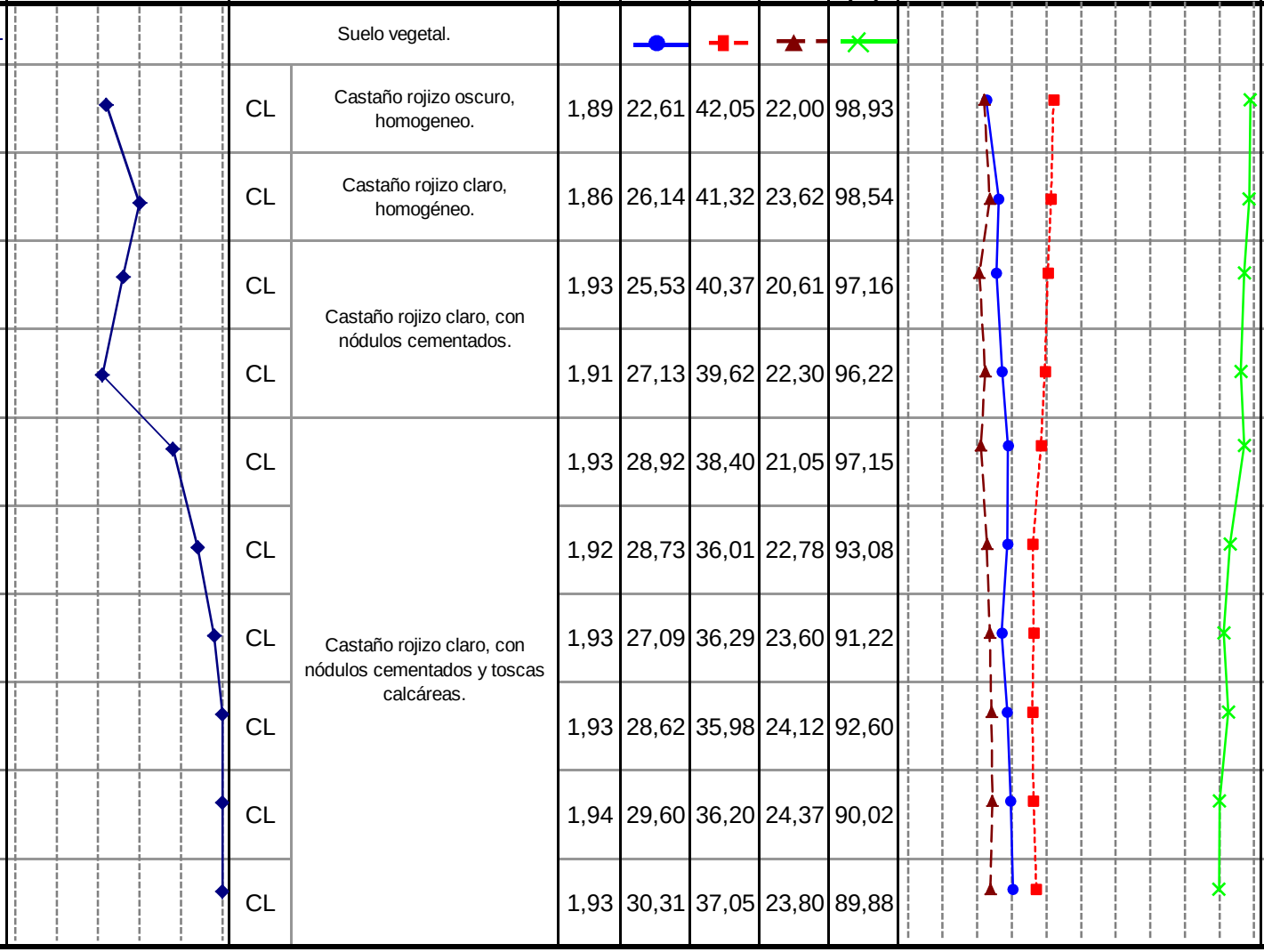
SONDEO 1

FECHA: Marzo de 2022.

COTA DE LA NAPA FREATICA: **No detectada**

COTA DE BOCA DE POZO: **-0,06 m**

Muestra	PROF a B.P. [m]	Cotas [m]	N S.P.T.	Clasificacion S.U.C.S. y descripción del suelo		γ g/cm3	ω %	LL %	LP %	Pasa #200 (%)	C [kg/cm2]	ϕ [º]	mv [cm2/kg]
B.P.	0.00	-0,06		Suelo vegetal.									
1	1,50	-1,56	22	CL	Castaño rojizo oscuro, homogeneo.	1,89	22,61	42,05	22,00	98,93			
2	2,50	-2,56	30	CL	Castaño rojizo claro, homogéneo.	1,86	26,14	41,32	23,62	98,54	0,62	20	0,006
3	3,50	-3,56	26	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados.	1,93	25,53	40,37	20,61	97,16			
4	5,00	-5,06	21	CL		1,91	27,13	39,62	22,30	96,22			
5	6,50	-6,56	38	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados y toscas calcáreas.	1,93	28,92	38,40	21,05	97,15	0,65	22	0,006
6	8,00	-8,06	44	CL		1,92	28,73	36,01	22,78	93,08			
7	10,00	-10,06	48	CL		1,93	27,09	36,29	23,60	91,22			
8	12,00	-12,06	50	CL		1,93	28,62	35,98	24,12	92,60			
9	14,00	-14,06	50	CL		1,94	29,60	36,20	24,37	90,02			
10	16,00	-16,06	50	CL		1,93	30,31	37,05	23,80	89,88			



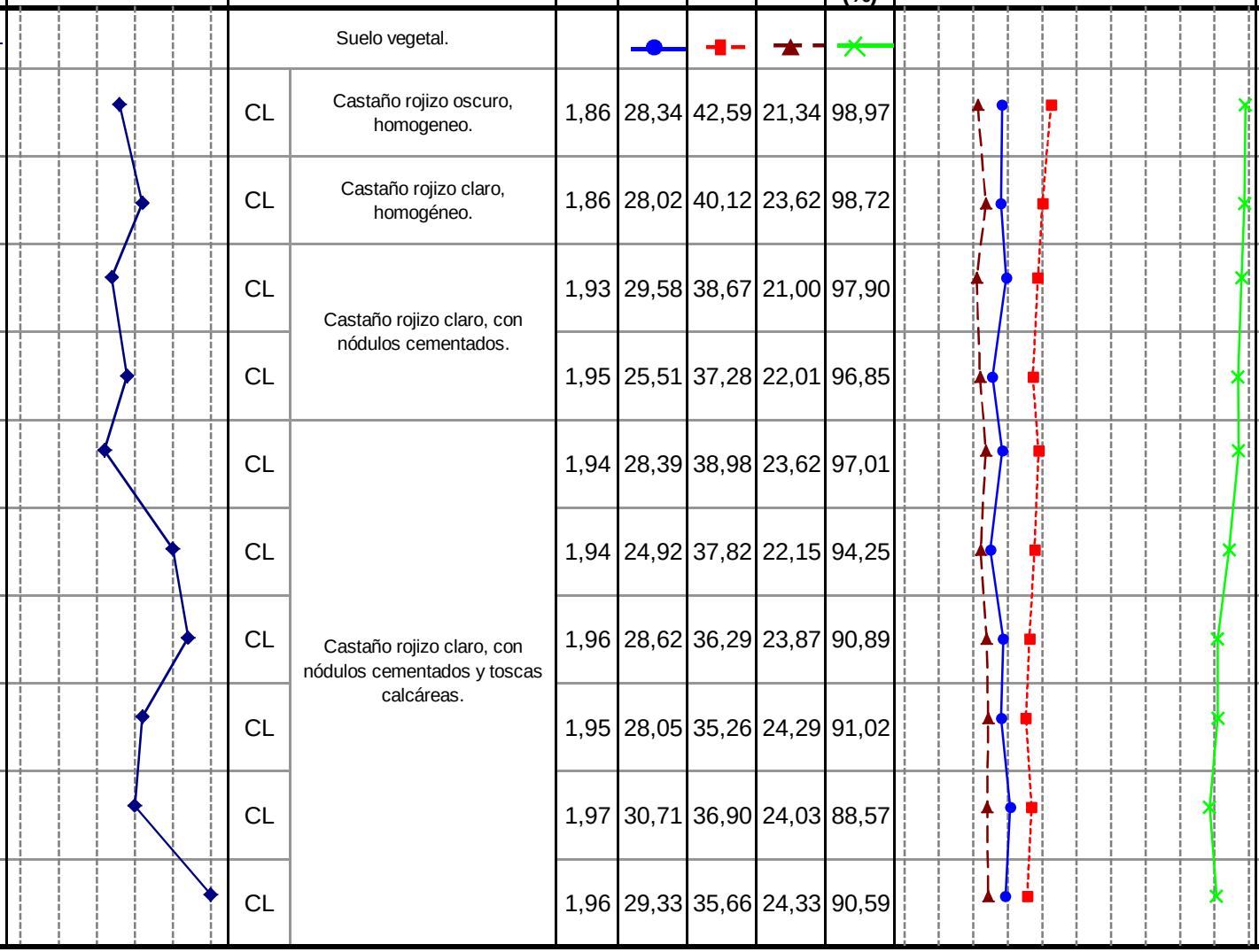
SONDEO 2

FECHA: Marzo de 2022.

COTA DE LA NAPA FREATICA: **No detectada**

COTA DE BOCA DE POZO: **-0,11 m**

Muestra	PROF a B.P. [m]	Cotas [m]	N S.P.T.	Clasificacion S.U.C.S. y descripción del suelo		γ g/cm3	ω %	LL %	LP %	Pasa #200 (%)	C [kg/cm2]	ϕ [º]	mv [cm2/kg]
B.P.	0.00	-0,11		Suelo vegetal.									
1	1,50	-1,61	26	CL	Castaño rojizo oscuro, homogeneo.	1,86	28,34	42,59	21,34	98,97			
2	2,50	-2,61	32	CL	Castaño rojizo claro, homogéneo.	1,86	28,02	40,12	23,62	98,72	0,64	21	0,007
3	3,50	-3,61	24	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados.	1,93	29,58	38,67	21,00	97,90	0,56	18	0,008
4	5,00	-5,11	28	CL		1,95	25,51	37,28	22,01	96,85			
5	6,50	-6,61	22	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados y toscas calcáreas.	1,94	28,39	38,98	23,62	97,01	0,54	17	0,008
6	8,00	-8,11	40	CL		1,94	24,92	37,82	22,15	94,25			
7	10,00	-10,11	44	CL		1,96	28,62	36,29	23,87	90,89			
8	12,00	-12,11	32	CL		1,95	28,05	35,26	24,29	91,02			
9	14,00	-14,11	30	CL		1,97	30,71	36,90	24,03	88,57			
10	16,00	-16,11	50	CL		1,96	29,33	35,66	24,33	90,59			



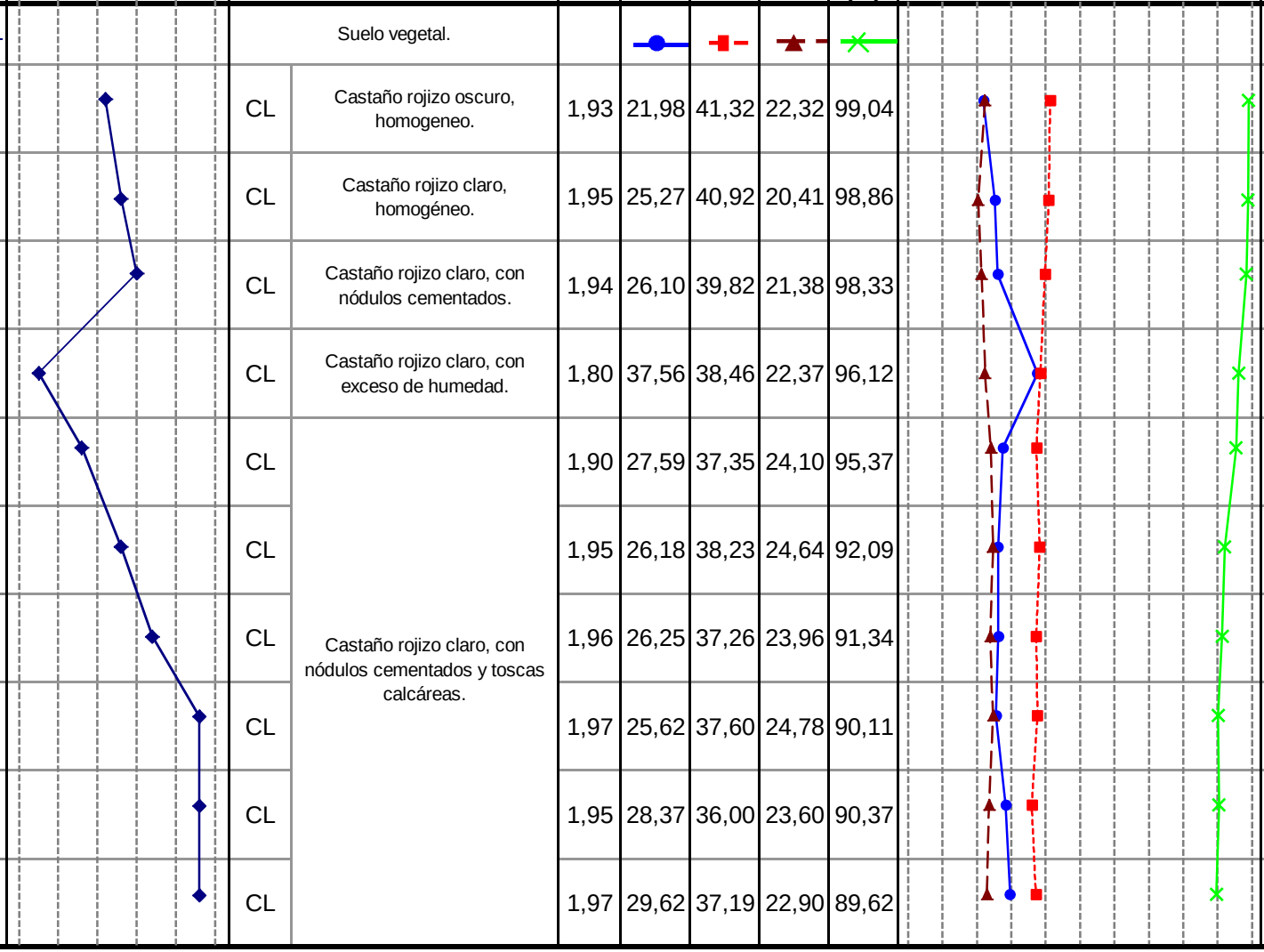
SONDEO 3

FECHA: Marzo de 2022.

COTA DE LA NAPA FREATICA: **No detectada**

COTA DE BOCA DE POZO: **-0,19 m**

Muestra	PROF a B.P. [m]	Cotas [m]	N S.P.T.	Clasificacion S.U.C.S. y descripción del suelo		γ g/cm3	ω %	LL %	LP %	Pasa #200 (%)	C [kg/cm2]	ϕ [º]	mv [cm2/kg]
B.P.	0.00	-0,19		Suelo vegetal.									
1	1,50	-1,69	22	CL	Castaño rojizo oscuro, homogeneo.	1,93	21,98	41,32	22,32	99,04			
2	2,50	-2,69	26	CL	Castaño rojizo claro, homogéneo.	1,95	25,27	40,92	20,41	98,86	0,60	20	0,007
3	3,50	-3,69	30	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados.	1,94	26,10	39,82	21,38	98,33			
4	5,00	-5,19	5	CL	Castaño rojizo claro, con exceso de humedad.	1,80	37,56	38,46	22,37	96,12	0,35	9	0,017
5	6,50	-6,69	16	CL	Castaño rojizo claro, con nódulos cementados y toscas calcáreas.	1,90	27,59	37,35	24,10	95,37	0,46	17	0,010
6	8,00	-8,19	26	CL		1,95	26,18	38,23	24,64	92,09	0,59	20	0,006
7	10,00	-10,19	34	CL		1,96	26,25	37,26	23,96	91,34			
8	12,00	-12,19	46	CL		1,97	25,62	37,60	24,78	90,11			
9	14,00	-14,19	46	CL		1,95	28,37	36,00	23,60	90,37			
10	16,00	-16,19	46	CL		1,97	29,62	37,19	22,90	89,62			



XIII.- CONCLUSIONES

A) Características generales del suelo:

A partir de haber reconocido, ensayado y clasificado en laboratorio las muestras obtenidas en campo, se puede realizar una descripción de las características generales de los suelos.

Se detecta la siguiente configuración estratigráfica:

- Un primer estrato de suelo arcilloso CL, de coloración castaño rojizo oscuro, homogéneo, de consistencia muy compacta, que se extiende hasta una profundidad de 1,70 m aproximadamente.
- Le sigue un estrato de suelo arcilloso CL, de coloración castaño rojizo claro, homogéneo, de consistencia entre muy compacta y dura, que alcanza una profundidad cercana a los 3,00 m.
- En seguida se detecta un estrato de suelo arcilloso CL, de coloración castaño rojizo claro, con presencia de nódulos cementados, de consistencia entre muy compacta y dura en algunos sectores, que alcanza una profundidad cercana a los 5,50 m. En la zona de P3, se detectó una porción de suelo con exceso o concentración extraordinaria de humedad, que condiciona notablemente su consistencia respecto al resto de las perforaciones.
- A continuación, en el final de los sondeos realizados, el suelo detectado clasifica como arcilloso CL, de coloración castaño claro, con presencia de nódulos cementados y toscas calcáreas en cantidad diversa, de consistencia entre muy compacta y dura en algunos sectores.

El nivel de aguas subterráneas no fue detectad en la profundidad sondeada, durante la ejecución de los trabajos de campaña, realizados en el mes de Marzo de 2022.

B) Recomendaciones:

Teniendo presente las características de los suelos encontrados y la tipología de las estructuras a fundar, se consideran aplicables las siguientes recomendaciones:

Para la fundación de tanques puede optarse por una fundación superficial a través de una platea rígida utilizando los valores de tensión admisible detallados en el cuadro del punto VI, donde para un nivel de fundación a partir de 2,00 m (aproximado, variable según proyecto) la tensión admisible alcanza un valor de 2,10 kg/cm^2 si se tiene en cuenta un coeficiente de seguridad igual a 3. En el caso de una pileta o reservorio de fondo plano se

podrá ejecutar una platea, por lo que una vez excavado hasta la cota de proyecto, recompactar con maquinaria vial apropiada, ejemplo rodillo liso o pata de cabra, a fin de detectar heterogeneidades a causa de la forma de excavación de una retropala o similar. En el caso de detectar excesos de humedad ó zonas de acumulación de suelos de baja consistencia aparente, se deberá sanear dicho sector restituyendo la consistencia típica de la profundidad, o con el relleno de arena que luego quedará confinada.

Para una fundación profunda o indirecta mediante pilotes, en el punto IX se da el ejemplo de cálculo de la capacidad portante de un pilote preexcavado y hormigonado in situ, de diámetro 0,50 m, con la punta apoyada a –8,50 m (desde NTN), y una longitud de fuste de 7,50 m, que arroja una capacidad portante del orden de 62 toneladas. En el punto X se brinda una tabla con los parámetros necesarios para el diseño de pilotes de otro diámetro o cota de punta. En el punto Z se expone una tabla con los parámetros necesarios para dimensionar pilotes de diferentes diámetros y cotas de punta.

Para el colado del Hormigón dentro de los pilotes se deberá emplear la técnica de flujo inverso, utilizando un caño buzo por el interior de la armadura hasta el fondo de la excavación, procediendo al llenado con hormigón desde el fondo del pilote. La precaución necesaria es cuidar que la boca del caño siempre se encuentre sumergida un metro dentro de la masa de hormigón, y que el mismo tenga el asentamiento necesario para poder deslizarse con facilidad (asentamiento 17 a 20 cm con el empleo de súper-fluidificantes). El empleo de cualquier otra metodología de llenado, no asegurará el contacto del hormigón con el suelo natural en la pared del pilote, en cuyo caso no se podrá considerar la colaboración de la resistencia por fricción lateral del pilote en la magnitud propuesta.

Los suelos encontrados presentan sensibilidad al agua desde el punto de vista de su comportamiento mecánico. Es decir, son susceptibles de reducir sus parámetros resistentes y variar su volumen ante variaciones de su contenido de humedad. Por lo tanto, se recomienda diseñar y ejecutar las obras de desagües cuidando que el agua no afecte el suelo de fundación, en especial para el caso de fundaciones superficiales realizar una vereda perimetral en las instalaciones, para evitar la infiltración concentrada del agua de lluvia. Es por esto que no se recomienda fundar con bases aisladas a profundidades inferiores a 1,20 a 1,50 m respecto del NTN. Además es necesario estudiar en detalle las condiciones de drenaje de toda la planta a fin de proponer obras (como pozos de bombeo y otras) para evitar acumulación indeseable de agua que reduzcan la vida útil de instalaciones y perjudiquen el correcto funcionamiento de la planta.

Al momento de la apertura de excavaciones y/o perforaciones se recomienda una especial atención por parte del director de obra a fin de observar cualquier anomalía que eventualmente pudiera presentarse y pudiera afectar las fundaciones, y que no hubiera sido detectada en los sondeos puntuales del presente informe. **Es el caso de la zona de menor consistencia de P3 donde se debe prestar especial atención.**

Ante las solicitaciones originadas por el efecto de viento calculadas de acuerdo al CIRSOC 102, las tensiones admisibles pueden incrementarse en un 20%.

Rosario, 21 de abril de 2022.

ANÁLISIS DE CARGA

Hormigon	H-30	-
Peso propio H°	25	KN/m3
E	2574296.0	KN/m2
Acero	ADN 420	-
Peso propio A°	77.0	KN/m3

LOSA SOBRE PA			
Carga permanente	Hormigón	5.00	KN/m2
	Monorriel	0.80	KN/m
	Centrífugas	12.00	KN
Sobrecarga	Utilización Lr	0.60	KN/m2
	Mov. centrifugas*	6.00	KN
*Cabe aclarar que el efecto dinámico del monorriel transportando el equipo en la losa de planta alta, se consideró el 50% del peso del mismo, según el apartado 4.6.1 del CIRSOC 101.			
LOSA SOBRE SILO			
Carga permanente	Hormigon	5.00	KN/m2
	Contrapiso e:10 cm	1.60	KN/m2
	Hormigon llaneado e: 2 cm	0.42	KN/m2
Sobrecarga	Uso	3.00	KN/m2
LOSA SOBRE SALA DOSIFICACION POLÍMEROS			
Carga permanente	Hormigon	5.00	KN/m2
Sobrecarga	Uso	3.00	KN/m2
VIGA INVERTIDA SOBRE PA			
Carga permanente	Hormigón	3.75	KN/m
	Reacción de losa	6.62	KN/m
	Peso monorriel + centrífuga	14.80	KN
Sobrecarga	Reacción de losa	0.79	KN/m
	Mov. centrífuga	6.00	KN
VIGA SOBRE PA			
Carga permanente	Hormigón	3.75	KN/m
	Reacción de losa	6.51	KN/m
Sobrecarga	Reacción de losa	0.78	KN/m
VIGAS SOBRE SILOS			
Se analizan las vigas más solicitadas, para luego poder adoptar dicho diseño geométrico y estructural para el resto de caracteristicas similares			
Carga permanente	Hormigon	6.00	KN/m
	Centrífuga	12.00	KN
	Dado hormigon 40x40x40	1.60	KN
	Dado hormigon 75x40x40	3.00	KN
	Losa (ancho inf = 1,81m)	12.71	KN/m
Sobrecarga	Losa (ancho inf = 1,81m)	5.43	KN/m

Sobrecarga	Mov. centrífugas	6.00	KN
VIGAS SALA DOSIFICACION POLIMEROS			
Se analizan las vigas más solicitadas, para luego poder adoptar dicho diseño geométrico y estructural para el resto de caracteristicas similares			
Carga permanente	Hormigon	3.75	KN/m
	Reacción de losa	6.42	KN/m
Sobrecarga	Reacción de losa	3.85	KN/m
TABIQUE S/ PA			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	28.20	KN/m
	Losa (reacción repartida)	7.86	KN/m
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	1.31	KN/m
TABIQUE S/ SILO T10			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18.00	KN/m
	Viga (reacción puntual)	58.57	KN
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2
Sobrecarga	Viga (reacción puntual)	20.39	KN
TABIQUE S/ SILO T3			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m
	Viga (reacción puntual)	58.57	KN
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2
	Tabique (reacción repartida)	36.06	KN/m
Sobrecarga	Viga (reacción puntual)	20.39	KN
	Tabique (reacción repartida)	1.31	KN/m
TABIQUE S/ SILO T6			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m
	Losa (reacción repartida)	8.25	KN/m
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	4.95	KN/m
TABIQUE S/ SILO T7			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m
	Losa (reacción repartida)	4.00	KN/m
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2
	Tabique (reacción repartida)	36.06	KN/m
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	2.4	KN/m
	Tabique (reacción repartida)	1.31	KN/m
COLUMNA S/ PA			
Carga permanente	Reacción de la viga	26.67	KN
	Peso de la columna	6.98	KN
Sobrecarga	Reacción de la viga	2.03	KN
COLUMNA MÁS CARGADA S/ SILO C02			

Carga permanente	Reacción de la viga s/ SDP	152.61	KN
	Peso de la columna	19.69	KN
Sobrecarga	Reacción de la viga s/ SDP	57.816	KN
COLUMNA MÁS CARGADA S/ SILO C06			
Carga permanente	Reacción del tabique tipo T3 (doble)	690.22	KN
	Reacción del tabique tipo T6	139.13	KN
	Reacción de la viga s/ SDP	44.77	KN
	Peso de la columna	27.56	KN
	Reacción tolva	47.00	KN
Sobrecarga	Reacción del tabique tipo T3 (doble)	54.67	KN
	Reacción del tabique tipo T6	26.24	KN
	Reacción de la viga s/ SDP	16.96	KN
	Reacción tolva	513.00	KN
BASE DE LA COLUMNA 06			
Carga permanente	Reacción del tabique tipo T3 (doble)	690.22	KN
	Reacción del tabique tipo T6	139.13	KN
	Reacción de la viga s/ SDP	44.77	KN
	Peso de la columna	27.56	KN
	Reacción de la tolva	47.00	KN
Sobrecarga	Reacción del tabique tipo T3 (doble)	54.67	KN
	Reacción del tabique tipo T6	26.24	KN
	Reacción de la viga s/ SDP	16.96	KN
	Reacción de la tolva	513.00	KN
VIGA DE FUNDACIÓN			
Carga permanente	Peso propio	6.38	KN/m
	Reacción del muro superior	16.54	KN/m
	Momento flector en el extremo por excentricidad de la columna	94.87	KNm
Sobrecarga	Momento flector en el extremo por excentricidad de la columna	61.09	KNm
Viento	Reacción horizontal del viento	39.54	KN
	Momento flector en el extremo	224.98	KNm

Anexo 6 - Cargas de viento

Las flechas horizontales son debidas a las cargas del viento, estas últimas se determinan con el Procedimiento Analítico descripto en el Cap. 5 del Reglamento CIRSOC 102.

Dicho método tiene validez para estructuras que cumplan las siguientes condiciones:

1. La estructura es de forma regular
2. La estructura no posee características de respuesta que den lugar a cargas transversales de viento, desprendimientos de vórtices, inestabilidad debida a galope o flameo. Por su ubicación, tampoco deben merecer consideración especial los efectos de canalización o golpeteo en la estela debido a las obstrucciones a barlovento.

Se determina entonces la presión de diseño p, mediante la siguiente fórmula:

$$p = q\,G\,Cp - qi\,(G\,Cpi)\left[N/m^2\right]$$ [49]

Donde:

p: presión de diseño.

q: presión dinámica.

G: factor de ráfaga.

Cp: coeficiente de presión externa.

G.Cpi: coeficiente de presión interna.

La presión dinámica q, evaluada a la altura z, se calcula como:

$$qz = 0,613\,K_z\,K_{zt}\,K_d\,V^2\,I\left[N/m^2\right]$$ [50]

Donde:

V: Velocidad básica.

Kz: Coeficiente de exposición.

Kd: Factor direccionalidad.

I: Factor de importancia.

Kzt: Factor topográfico.

qh: la presión dinámica calculada a la altura h, en función del ángulo de la cubierta.

[49] INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 102.* Capítulo *5: Método 2 - Procedimiento analítico. Ec. 15*
[50] INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 102.* Capítulo *5: Método 2 - Procedimiento analítico. Ec. 13*

La estructura en estudio se encuentra ubicada en la localidad de Gro. Baigorria, por lo que a partir de la Figura 1B - Cap. 6, y por la cercanía con la ciudad de Rosario, se determina la velocidad del viento de **50 m/s.**

La exposición de la estructura es **tipo C**: "Terrenos abiertos: obstrucciones dispersas, alturas generalmente menores a 10 m, incluye campo abierto plano y terrenos agrícolas". Por lo tanto, el coeficiente de exposición se debe calcular con las fórmulas que se muestran en la Figura NºA.6.1., en función de la altura analizada.

Para $5\ m \leq z \leq z_g$:	Para $z < 5\ m$:
$K_z = 2{,}01(z / z_g)^{2/\alpha}$	$K_z = 2{,}01(5 / z_g)^{2/\alpha}$

Figura NºA.6.1 - *Coeficiente de exposición Kz.*[51]

Donde los coeficientes Zg y α son determinados de la Figura NºA.6.2.

Tabla 4 — **Constantes de exposición del terreno**

Exposición	α	z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	ℓ (m)	$\bar{\varepsilon}$	z_{min} (m)
A	5,0	457	1/5	0,64	1/3,0	0,30	0,45	55	1/2,0	18,3
B	7,0	366	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	98	1/3,0	9,2
C	9,5	274	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152	1/5,0	4,6
D	11,5	213	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198	1/8,0	2,1

Figura NºA.6.2 - *Coeficientes Zg y α.*[52]

El factor de direccionalidad define la probabilidad de ocurrencia de la dirección del viento en función del tipo de estructura, dicho valor se determina en la Figura NºA.6.3.

[51]INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 102. Tablas. Tabla 5*
[52]INTI - CIRSOC. [2005]. *Reglamento 102. Tablas. Tabla 4*

Tabla 6 — **Factor de direccionalidad del viento, K_d**

Tipo de estructura	Factor de direccionalidad K_d *
Edificios	
Sistema principal resistente a la fuerza de viento	0,85
Componentes y revestimientos	0,85
Cubiertas abovedadas	0,85
Chimeneas, tanques y estructuras similares	
Cuadradas	0,90
Hexagonales	0,95
Redondas	0,95
Carteles llenos	0,85
Carteles abiertos y estructura reticulada	0,85
Torres reticuladas	
Triangular, cuadrada, rectangular	0,85
Toda otra sección transversal	0,95

Figura NºA.6.3 - *Factor de direccionalidad del viento Kd.*

El factor de importancia se determina en función de la categoría del edificio. La situación en estudio se trata de una **categoría tipo IV**, de acuerdo con la Tabla A-1 del CIRSOC 102, la cual menciona entre otras edificaciones "Instalaciones de almacenamiento de agua". Por lo tanto, según la Figura NºA.6.4., el factor de importancia es de **1,15.**

Tabla 1 — **Factor de importancia, I (Cargas de viento)**

Categoría	I
I	0,87
II	1,00
III	1,15
IV	1,15

Figura NºA.6.4 - *Factor de importancia I. Fuente: Tabla 1, Pág. 45, CIRSOC 102.*

El factor topográfico se considera igual a **1** debido que el edificio se encuentra en zona de llanura, donde los efectos del aumento de la velocidad del viento sobre lomas, escarpas y colinas no tiene incidencia.

Por lo tanto, la presión dinámica irá variando en la altura debido a que el coeficiente de exposición depende de la misma. En la Tabla NºA.6.1. se observan los resultados obtenidos.

CÁLCULO DE qz			
h (m)	Kz	qz [N/m2]	qz [KN/m2]
2.5	0.865	1296.15	1.296
5	0.865	1296.15	1.296
7.5	0.942	1411.65	1.412
10	1.001	1499.78	1.500
11.38	1.029	1541.16	**1.541**

Tabla NºA.6.1. - *Presión dinámica del viento.*

El coeficiente de presión interna G.Cpi se determina en función del tipo de cerramiento del edificio, de acuerdo con la Figura NºA.6.5., considerando un edificio parcialmente cerrado (por la gran cantidad de portones, puertas y ventanas que pueden estar abiertas al mismo tiempo), el coeficiente es de **± 0,55.**

Tabla 7	Coeficientes de presión interna para edificios, *GCpi*

Clasificación de cerramiento	GC_{pi}
Edificios abiertos	0,00
Edificios parcialmente cerrados	+ 0,55 - 0,55
Edificios cerrados	+ 0,18 - 0,18

Figura NºA.6.5 - *Coeficiente de presión interna GCpi. Fuente: Tabla 7, Pág. 54, CIRSOC 102.*

El factor de ráfaga (G) tiene en cuenta los efectos de carga en la dirección del viento debidos a la interacción estructura-turbulencia del viento. Para estructuras rígidas, el factor de efecto de ráfaga se debe adoptar igual a **0,85.**

Para la determinación del coeficiente de presión externa (Cp), se seguirá el procedimiento del Cap 6 - Pág. 32. De acuerdo con las tablas que se muestran a continuación, el coeficiente varía según se analicen paredes a barlovento, paredes a sotavento, paredes laterales, o cubiertas.

Sistema principal resistente a la fuerza del viento		Para todo h
Figura 3 (cont.)	Coeficientes de presión externa, C_p	Paredes y cubiertas
Edificios cerrados total o parcialmente		

Coeficientes de presión en paredes, C_p

Superficie	L/B	C_p	Usar con
Pared a barlovento	Todos los valores	0,8	q_z
Pared a sotavento	0 – 1	-0,5	q_h
	2	-0,3	
	≥4	-0,2	
Paredes laterales	Todos los valores	- 0,7	q_h

Coeficientes de presión para cubiertas, C_p, para usar con q_h

Dirección del viento	Barlovento Ángulo θ en grados									Sotavento Ángulo θ en grados		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥60#	10	15	≥20
Normal a la cumbrera para θ≥10°	≤0,25	-0,7	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,3	-0,2 0,3	0,0* 0,4	0,4	0,01θ	-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,2	-0,2 0,3	0,0* 0,4	0,01θ	-0,5	-0,5	-0,6
	≥1,0	-1,3**	-1,0	-0,7	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,2	0,0* 0,3	0,01θ	-0,7	-0,6	-0,6

Dirección del viento	h/L	Distancia horizontal desde el borde a barlovento	C_p
Normal a la cumbrera para θ<10° y paralela a la cumbrera para todo θ	≤0,5	0 a h/2	-0,9
		h/2 a h	-0,9
		h a 2h	-0,5
		> 2h	-0,3
	≥1,0	0 a h/2	-1,3**
		> h/2	-0,7

* Se da el valor para fines de interpolación

** El valor puede reducirse linealmente con el área sobre la cual es aplicable como sigue:

Area (m^2)	Factor de reducción
≤ 10	1,0
25	0,9
≥ 100	0,8

Figura NºA.6.6 - *Coeficiente de presión externa Cp. Fuente: Figura 3 (cont.), Pág. 32, CIRSOC 102.*

La presión dinámica a tener en cuenta depende del elemento analizado:

- q = qz para paredes a barlovento evaluada a la altura z sobre el terreno;
- q = qh para paredes a sotavento, paredes laterales y cubiertas, evaluada a la altura media de cubierta, h;
- qi = qh para paredes a barlovento, paredes laterales, paredes a sotavento y cubiertas de edificios cerrados y para la evaluación de la presión interna negativa en edificios parcialmente cerrados;
- qi = qz para la evaluación de la presión interna positiva en edificios parcialmente cerrados donde la altura z está definida como el nivel de la abertura más elevada del edificio que podría afectar la presión interna positiva. Para la evaluación de la presión interna positiva, qi se puede calcular conservativamente a la altura h (qi = qh);

En las Figuras Nº35 y Nº36 se observan los términos necesarios para el cálculo de las presiones de diseño. Cabe destacar que se analizaron dos direcciones de viento: Viento “A” el cual se considera perpendicular al frente del edificio (fachada sur) y Viento “B” paralelo al frente.

A continuación, se muestra un esquema en planta de los vientos analizados:

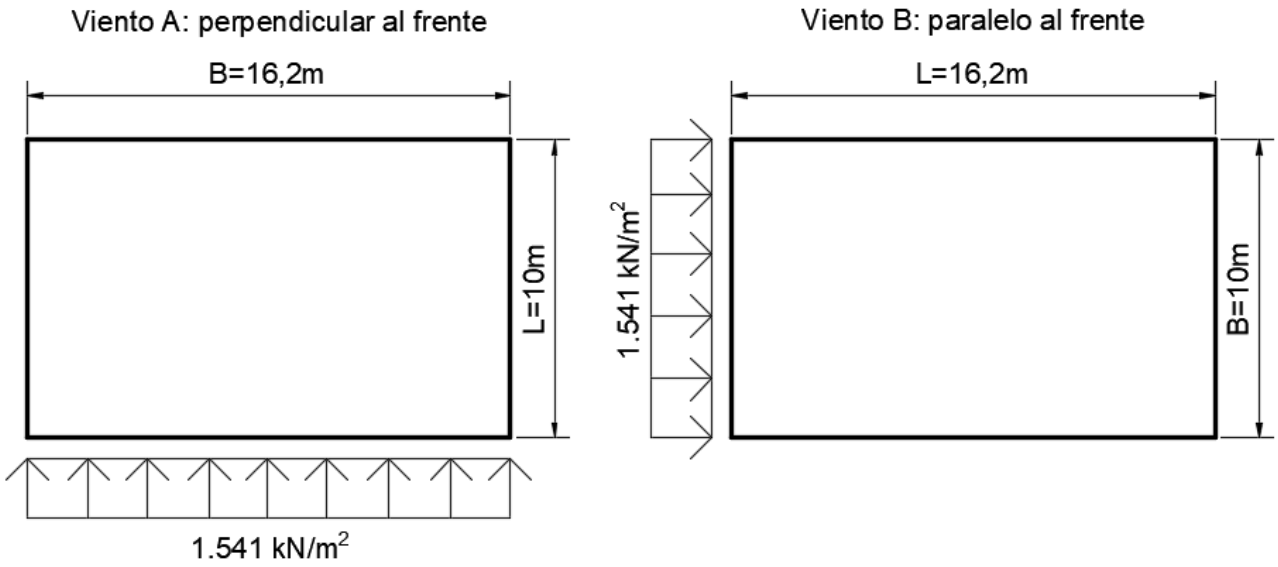


Figura NºA.6.7 - *Vientos analizados.*

VIENTO "A" PERPENDICULAR AL FRENTE												
Superficie	Clasificación	L (m)	B (m)	h (m)	L/B	h/L	z (m)	Cp	Cp.G.qz (N/m2)		G.Cpi.qz (N/m2)	-(G.Cpi).qz(N/m2)
Pared	Barlovento	10	16.2	-	0.62	-	2.5	0.8	Presión	881.38	712.88	-712.88
							5			881.38	712.88	-712.88
							7.5			959.92	776.41	-776.41
							10			1019.85	824.88	-824.88
							11.38			1047.99	847.64	-847.64
	Sotavento						11.38	-0.5	Succión	-654.99	847.64	-847.64
	Lateral							-0.7		-916.99	847.64	-847.64
Cubierta	-		-	11.38	-	1.14		-0.7		-916.99	847.64	-847.64
Nota: se considera como frente del edificio la fachada Sur.												

Figura NºA.6.8 - *Cálculo del Viento "A".*

VIENTO "B" PARALELO AL FRENTE												
Superficie	Clasificación	L (m)	B (m)	h (m)	L/B	h/L	z (m)	Cp	Cp.G.qz (N/m2)		G.Cpi.qz (N/m2)	-(G.Cpi).qz(N/m2)
Pared	Barlovento	16.2	10	-	1.62	-	2.5	0.8	Presión	881.38	712.88	-712.88
							5			881.38	712.88	-712.88
							7.5			959.92	776.41	-776.41
							10			1019.85	824.88	-824.88
							11.38			1047.99	847.64	-847.64
	Sotavento						11.38	-0.38	Succión	-497.80	847.64	-847.64
	Lateral							-0.7		-916.99	847.64	-847.64
Cubierta	-		-	11.38	-	0.70		-0.7		-916.99	847.64	-847.64
Nota: se considera como frente del edificio la fachada Sur.												

Figura NºA.6.9 - *Cálculo del Viento "B".*

Finalmente, se procede a calcular la presión interna y la succión interna como:

Presión interna (superficial): $Cp\ G\ q - G\ Cpi\ qh$

Succión interna (superficial): $Cp\ G\ q - G\ (-Cpi)\ qh$

Luego, para llevar estas cargas superficiales a cargas lineales (repartidas en la altura), se las multiplica por el ancho (B) que corresponda según el viento analizado. Los resultados se muestran en las Figuras NºA.6.10 y NºA.6.11.

VIENTO "A" PERPENDICULAR AL FRENTE					
Superficie	Clasificación	Pres int (N/m2)	Succ int (N/m2)	Pres int (kN/m2)	Succ int (kN/m2)
Pared	Barlovento	168.50	1594.26	0.168	1.594
		168.50	1594.26	0.168	1.594
		183.51	1736.33	0.184	1.736
		194.97	1844.74	0.195	1.845
		200.35	1895.63	0.200	1.896
	Sotavento	-1502.63	192.65	-1.503	0.193
	Lateral	-1764.63	-69.35	-1.765	-0.069
Cubierta	-	-1764.63	-69.35	-1.765	-0.069

Figura NºA.6.10 - *Cálculo del Viento "A".*

VIENTO "B" PARALELO AL FRENTE					
Superficie	Clasificación	Pres int (N/m2)	Succ int (N/m2)	Pres int (kN/m2)	Succ int (kN/m2)
Pared	Barlovento	168.50	1594.26	0.168	1.594
		168.50	1594.26	0.168	1.594
		183.51	1736.33	0.184	1.736
		194.97	1844.74	0.195	1.845
		200.35	1895.63	0.200	1.896
	Sotavento	-1345.43	349.84	-1.345	0.350
	Lateral	-1764.63	-69.35	-1.765	-0.069
Cubierta	-	-1764.63	-69.35	-1.765	-0.069

Figura NºA.6.11 - *Cálculo del Viento "B".*

A continuación, se muestra un esquema en planta de las fuerzas horizontales resultantes de las acciones externas e internas:

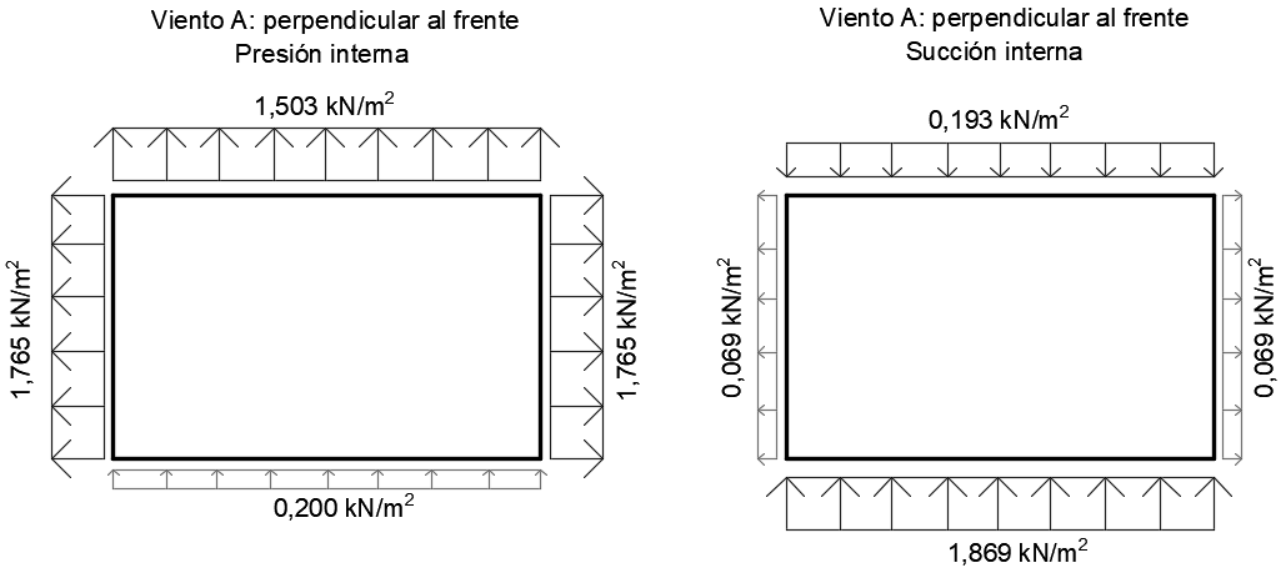


Figura NºA.6.12 - Vista en planta. *Presiones resultantes debido al "Viento A".*

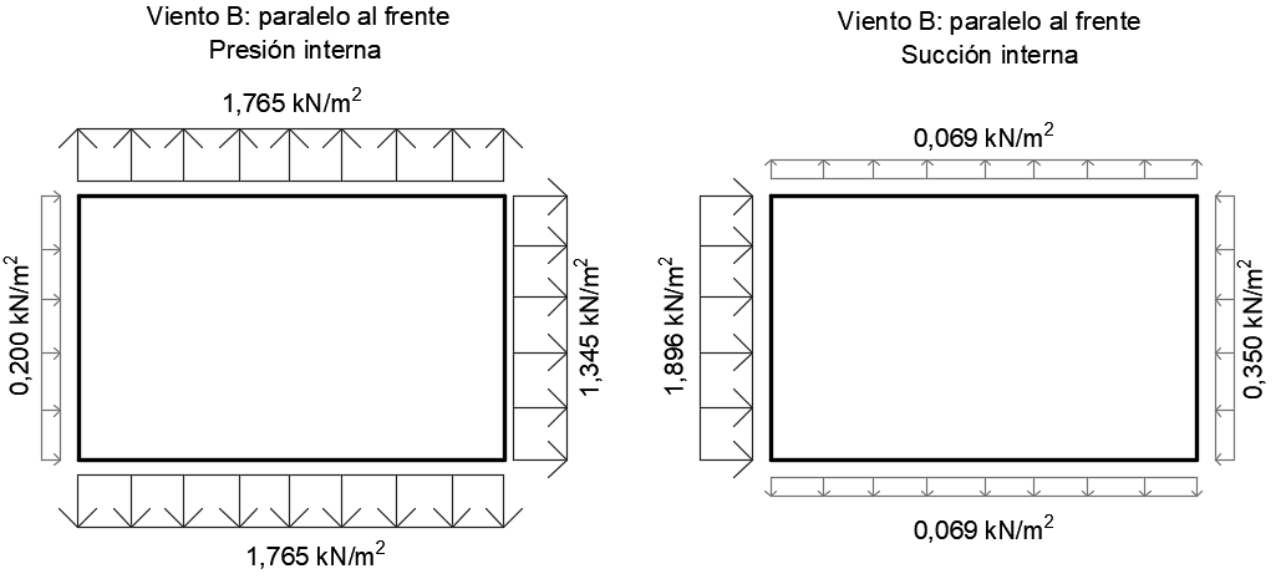


Figura NºA.6.13 - Vista en planta. *Presiones resultantes debido al "Viento B".*

LOSA S/ PA

Carga permanente	Hormigón	5.00	KN/m2
	Monorriel	0.80	KN/m
	Centrífugas	12.00	KN
Sobrecarga	Utilización Lr	0.60	KN/m2
	Mov. centrifugas	6.00	KN

Observación: para valorar el máximo Mf de la losa, se llevan a cargas superficiales con un factor de seguridad las relativas al monorriel y centrífuga.

				Adoptada	
Carga permanente	Hormigón	5.00	KN/m2	6	KN/m2
	Monorriel	0.20	KN/m2		
	Centrífugas	0.44	KN/m2		
Sobrecarga	Utilización Lr	0.60	KN/m2	1	
	Mov. centrifugas	0.22	KN/m2		

U1=1.4D	8.4	KN/m2
U2=1.2D+1.6L	8.8	KN/m2

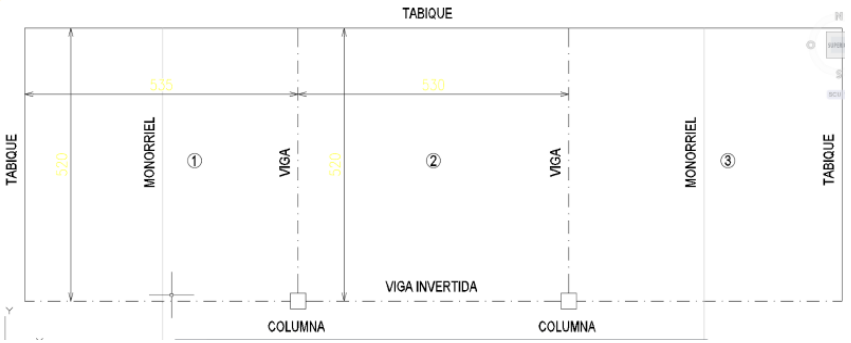
lx [m]	5.20		
ly [m]	5.30		
η=ly/lx	1.02		
q [KN/m2]	8.8		
Q=q.lx.ly	242.528		
ηmx	0.038	γx	0.254
ηmy	0.036	γy	0.246
Mx [KNm/m]	9.11		
My [KNm/m]	8.73		

Observación: notar que Mx y My corresponden a las londitudes x e y anteriormente informadas. Sin embargo, dichas longitudes están invertidas para poder ingresar a la tabla correctamente. Consecuentemente, los momentos flectores también lo están.

ARMADURAS EN X INFERIOR	
Mf max [KNm/m]	8.73
Mn [KNm/m]	9.70
Mn [MNm/m]	0.01
e [m]	0.20
rec [cm]	2.00
øx [mm]	10.00
øy [mm]	10.00
d [m]	0.18
kd	1.78
ke	24.77
As [cm2/m]	1.37
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	

ARMADURAS EN Y INFERIOR	
Mf max [KNm/m]	9.11
Mn [KNm/m]	10.12
Mn [MNm/m]	0.01
e [m]	0.20
rec [cm]	2
øx [mm]	10
øy [mm]	10
d [m]	0.17
kd	1.64
ke	24.30
As [cm2/m]	1.49
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en direccion y.	

Cuantía volumétrica [kg/m3]	29.50



ESQUEMA ESTRUCTURAL

$\lambda = l_y/l_x$ \ $\eta_{..}$	η_{m_x}	η_{m_y}	$\eta_{y\,max}$	η_r	γ_y	γ_x	$\gamma = \frac{c}{l_y}$
	Gleichlast						
	Momente $Q = q \cdot l_x \cdot l_y$; $m_{..} = \eta_{..} \cdot Q$				Stützlasten $Q_{.} = \gamma \cdot Q$		Scheitel-beiwert
1,0	0,0368	0,0368	0,0368	±0,0464	0,250	0,250	0
1,1	0,0407	0,0326	0,0326	±0,0461	0,227	0,273	0,091
1,2	0,0438	0,0287	0,0287	±0,0452	0,208	0,292	0,167
1,3	0,0459	0,0249	0,0249	±0,0439	0,192	0,308	0,231
1,4	0,0475	0,0217	0,0218	±0,0424	0,179	0,321	0,286
1,5	0,0486	0,0187	0,0192	±0,0410	0,167	0,333	0,333
1,6	0,0491	0,0161	0,0173	±0,0393	0,156	0,344	0,375
1,7	0,0493	0,0138	0,0158	±0,0376	0,147	0,353	0,412
1,8	0,0491	0,0119	0,0145	±0,0359	0,139	0,361	0,445
1,9	0,0488	0,0101	0,0134	±0,0345	0,132	0,368	0,474
2,0	0,0482	0,0087	0,0124	±0,0331	0,125	0,375	0,500

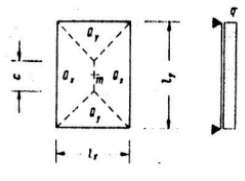


TABLA DE ERTURKE EN CONFIGURACIÓN APOYADA EN LOS 4 BORDES

LOSA S/ SILO

Carga permanente	Hormigon	5.00	KN/m2
	Contrapiso e:10 cm	1.60	KN/m2
	Hormigon llaneado e: 2 cm	0.42	KN/m2
Sobrecarga	Uso	3.00	KN/m2

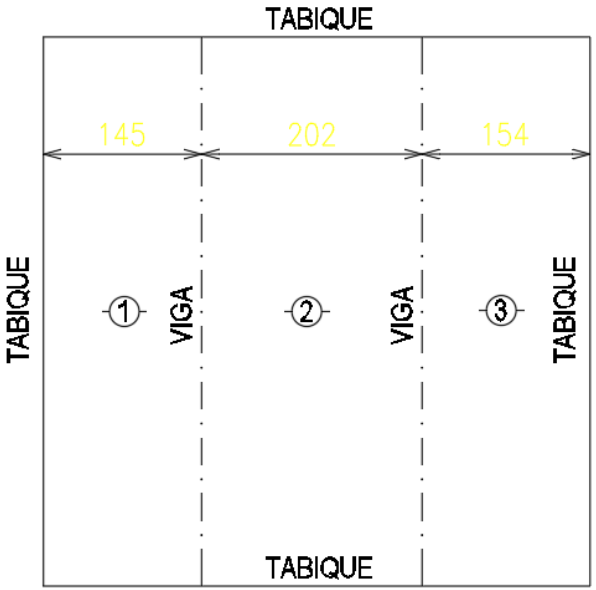
			Mu total [KNm/m]
U1=1.4D	9.83	KN/m	5.01
U2=1.2D+1.6L	13.22	KN/m	**6.74**

lx [m]	2.02
ly [m]	1.00

ARMADURAS EN X INFERIOR	
Mf max [KNm/m]	6.74
Mn [KNm/m]	7.49
Mn [MNm/m]	0.01
e [m]	0.20
rec [cm]	2.00
øx [mm]	10.00
øy [mm]	8.00
d [m]	0.18
kd	2.02
ke	24.30
As [cm2/m]	1.04
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	

ARMADURAS EN Y INFERIOR	
As [cm2/m]	0.21
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
sep adop [m]	0.22
Se adopta 1ø8 c/21 en la cara inferior, en direccion Y.	

Cuantía volumétrica [kg/m3]	30.67



ESQUEMA ESTRUCTURAL

LOSA S/ SALA DOSIFICACIÓN

Carga permanente	Hormigon	5.00	KN/m2
Sobrecarga	Uso	3.00	KN/m2

U1=1.4D	7	KN/m2
U2=1.2D+1.6L	10.8	KN/m2

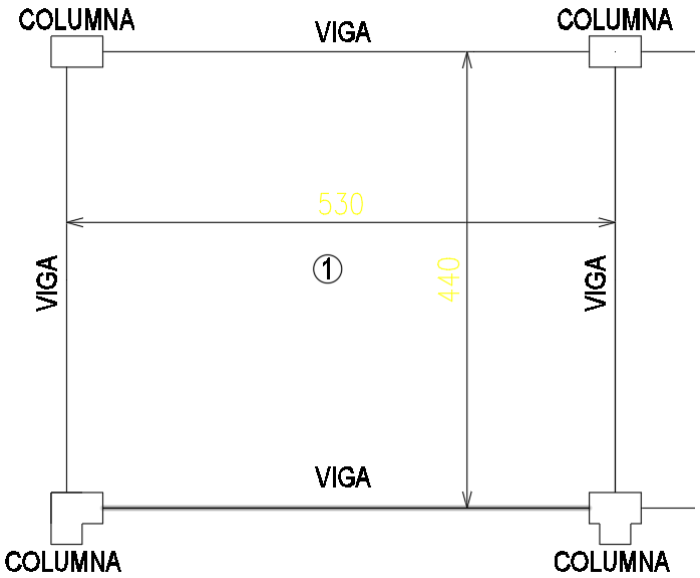
lx [m]	4.40		
ly [m]	5.30		
η=ly/lx	1.20		
q [KN/m2]	10.8		
Q=q.lx.ly	251.856		
ηmx	0.044	γx	0.292
ηmy	0.029	γy	-0.208
Mx [KNm/m]	11.03		
My [KNm/m]	7.23		

Observación: notar que Mx y My corresponden a las londitudes x e y anteriormente informadas. Sin embargo, dichas longitudes están invertidas para poder ingresar a la tabla correctamente. Consecuentemente, los momentos flectores también lo están.

ARMADURAS EN X INFERIOR	
Mf max [KNm/m]	7.23
Mn [KNm/m]	8.03
Mn [MNm/m]	0.01
e [m]	0.20
rec [cm]	2.00
øx [mm]	10.00
øy [mm]	10.00
d [m]	0.18
kd	1.95
ke	24.30
As [cm2/m]	1.12
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en dirección X.	

ARMADURAS EN Y INFERIOR	
Mf max [KNm/m]	11.03
Mn [KNm/m]	12.26
Mn [MNm/m]	0.01
e [m]	0.20
rec [cm]	2
øx [mm]	10
øy [mm]	10
d [m]	0.17
kd	1.49
ke	24.30
As [cm2/m]	1.81
As min [cm2/m]	3.60
As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.22
sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø10 c/21 en la cara inferior, en direccion y.	

Cuantía volumétrica [kg/m3]	19.35



ESQUEMA ESTRUCTURAL

TABIQUE SOBRE PA			
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	28.20	KN/m
	Losa (reacción repartida)	7.86	KN/m
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	1.31	KN/m
U1=1.4D	D repartida	50.49	50.49
U2=1.2D+1.6L	D repartida	43.28	45.37
	L repartida	2.10	

e [cm]	30.00
lc [cm]	365
lw [cm]	403
βd	0.95
k	1.00
r [cm]	9.00
λ	40.56
λ>34: aplicar MMA	
Ec [MN/m2]	25742.96
Ig [m2]	0.0091
EI [MNm2]	47.79
Pc [MN]	0.32
Pu [MN]	0.24
δns	94.30
M2min [MNm]	0.0057
Mc [MNm]	0.5391
ÁBACO DE INTERACCIÓN I.14	
m [MPa]	1.486
n [MPa]	0.20
f´c [MPa]	30.00
rec [cm]	2
øv [mm]	16.00
øh [mm]	10.00
γ	0.76
ρ	1%
Asv [cm2/m]	23.03
Asv min [cm2/m]	3.60
Asv adop [cm2/m]	23.03
separación [cm]	17.46
separación máx [cm]	30.00
separación adop [cm]	17.00
Ash min [cm2/m]	6
separación [cm]	26.18
separación máx [cm]	30.00
separación adop [cm]	26.00
Se adopta armadura vertical 1ø16 c/17 y armadura horizontal 1ø10 c/26.	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	77.70

TABIQUE SOBRE SILO T10 (VGA a compresión y flexión)					
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18.00	KN/m		
	Viga (reacción puntual)	58.57	KN		
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2		
Sobrecarga	Viga (reacción puntual)	20.39	KN		
				Cargas uniformemente repartidas:	Adoptada:
U1=1.4D	D repartida	25.20	KN/m	56.14	-
	D puntual	82.00	KN		
U2=1.2D+1.6L	D repartida	**21.60**	KN/m	**60.43**	61
	D puntual	**70.29**	KN		
	L puntual	**32.62**	KN		
U1=1.4D	D horizontal	**34.94**	KN/m2	CARGAS HORIZONTALES	
U2=1.2D+1.6L	D horizontal	29.95	KN/m2		

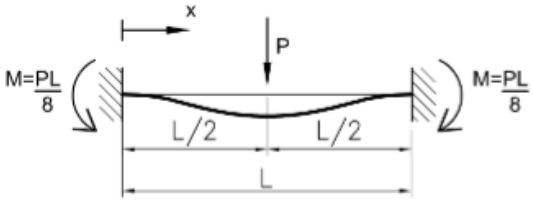
Se calculan los tabiques de manera simplificada como vigas de gran altura, con todas las verificaciones pertinentes, ya que el tabique apoya en dos columnas.

h [m]	2.40
l [m]	5.30
b [m]	0.3
d [m]	2.15
h/l	0.45
Al ser h/l>0.25 (según criterio del CIRSOC) y muy cercano a 0.50 (criterio del Cuaderno 240), se considera efectivamente una viga de gran altura.	
q [KN/m]	61.00
L/50	0.106
¿e>L/50?	Verifica pandeo lateral
σcompresión [KN/m2]	1.08
ϕ	0.65
σadm [MN/m2]	16.58
Verifica	
Vu [KN]	161.65
ϕ	0.75
5/6 √f´c b.d [KN]	2944.01
Verifica	
Tabla 4.1 del Cuaderno 240.	
Zf/P	0.37
Zf [KN]	0.12
ϕ	0.90
As [cm2]	3.16
Asmin flex [cm2]	21.50
As adop [cm2]	21.50
øppal [mm]	16.00
Cant.	10.69
Cant. adop	12.00
øv / øh [mm]	12
Asvmin/s VGA [cm2/m]	7.50
s máx [cm]	30.00
sv [cm]	15.08
sv adop [cm]	15.00
Ashmin/s VGA [cm2/m]	4.5

Análisis del tabique a flexión, causado por la presión del material ensilado. Se considera el siguiente esquema estático, considerando que cada tabique empotra al que se encuentra perpendicular a el.

U1=1.4D	D repartida*	34.94	KN/m2

*Se considera que dicha carga actúa con su máximo valor (en el fondo) y como un fluido, aunque no es realmente así. Sin embargo, dicha consideración es conservadora, por lo que estamos del lado de la seguridad.



$$\Delta_{max} = \frac{P L^3}{192\ EI}$$

Mf max [KNm/m]	122.70
ϕ	0.90
Mn [KNm]	136.33
rec [cm]	3.00
øhoriz [mm]	16.00
øvert [mm]	10.00
d [m]	0.25
FLEXIÓN	
kd	0.67
ke	25.01
As [cm2/m]	13.69
NORMAL	
Nu [KN/m]	92.60
ϕ	0.90
Nn [KNm]	102.89
As [cm2/m]	2.72
ARMADURA HORIZONTAL	
As nec [cm2/m]	16.41
Ash min silo [cm2/m]	7.50
s [cm]	24.50
smax [cm]	20.00
s adop [cm]	20.00
Se adopta: armadura principal de tracción en los 50 cm inferiores 6ø16 en cada cara, armadura vertical 1ø12 c/15, y armadura horizontal 1ø16 c/20	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	72.34

TABIQUE SOBRE SILO T3 (VGA a compresión y flexión)					
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m		
	Viga (reacción puntual)	58.57	KN		
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2		
	Tabique (reacción repartida)	36.06	KN/m		
Sobrecarga	Viga (reacción puntual)	20.39	KN		
	Tabique (reacción repartida)	1.31	KN/m		
				Cargas uniformemente repartidas:	Adoptada:
U1=1.4D	D repartida	75.69	KN/m	106.63	-
	D puntual	82.00	KN		
U2=1.2D+1.6L	D repartida	64.88	KN/m	**115.27**	116
	D puntual	70.29	KN		
	L puntual	57.70	KN		
	L repartida	2.10	KN/m		
U1=1.4D	D horizontal	**34.94**	KN/m2	CARGAS HORIZONTALES	
U2=1.2D+1.6L	D horizontal	29.95	KN/m2		

Se calculan los tabiques de manera simplificada como vigas de gran altura, con todas las verificaciones pertinentes, ya que el tabique apoya en dos columnas.

h [m]	2.40
l [m]	5.30
b [m]	0.30
d [m]	2.15
h/l	0.45
Al ser h/l>0.25 (según criterio del CIRSOC) y muy cercano a 0.50 (criterio del Cuaderno 240), se considera efectivamente una viga de gran altura.	
q [KN/m]	116.00
L/50	0.11
¿e>L/50?	Verifica pandeo lateral
σcompresión [KN/m2]	2.05
ϕ	0.65
σadm [MN/m2]	16.58
Verifica	
Vu [KN]	307.40
ϕ	0.75
5/6 √f´c b.d [KN]	2944.01
Verifica	
Tabla 4.1 del Cuaderno 240.	
Zf/P	0.37
Zf [KN]	0.23
ϕ	0.90
As [cm2]	6.02
Asmin flex [cm2]	21.50
As adop [cm2]	21.50
øppal [mm]	16.00
Cant.	10.69
Cant. adop	12.00
øv / øh [mm]	12.00
Asvmin/s VGA [cm2/m]	7.50

s máx [cm]	30.00
sv [cm]	15.08
sv adop [cm]	15.00
Ashmin/s VGA [cm2/m]	4.50

Análisis del tabique a flexión, causado por la presión del material ensilado. Se considera el siguiente esquema estático, considerando que cada tabique empotra al que se encuentra perpendicular a el.

U1=1.4D	D repartida*	34.94	KN/m2

*Se considera que dicha carga actúa con su máximo valor (en el fondo) y como un fluido, aunque no es realmente así. Sin embargo, dicha consideración es conservadora, por lo que estamos del lado de la seguridad.

Mf max [KNm/m]	122.70
ϕ	0.90
Mn [KNm]	136.33
rec [cm]	3.00
øhoriz [mm]	16.00
øvert [mm]	10.00
d [m]	0.25
FLEXIÓN	
kd	0.67
ke	25.01
As [cm2/m]	13.69
NORMAL	
Nu [KN/m]	92.60
ϕ	0.90
Nn [KNm]	102.89
As [cm2/m]	2.72
ARMADURA HORIZONTAL	
As nec [cm2/m]	16.41
Ash min silo [cm2/m]	7.50
s [cm]	24.50
smax [cm]	20.00
s adop [cm]	20.00
Se adopta: armadura principal de tracción en los 50 cm inferiores 6ø16 en cada cara, armadura vertical 1ø12 c/15, y armadura horizontal 1ø16 c/20	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	72.34

TABIQUE SOBRE SILO T6 (VGA a compresión y flexión)					
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m		
	Losa (reacción repartida)	8.25	KN/m		
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2		
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	4.95	KN/m		
				Cargas uniformemente repartidas:	Adoptada:
U1=1.4D	D repartida	36.75	KN/m	36.75	-
U2=1.2D+1.6L	D repartida	31.50	KN/m	**39.42**	40
	L repartida	7.92	KN/m		
U1=1.4D	D horizontal	**34.94**	KN/m2	CARGAS HORIZONTALES	
U2=1.2D+1.6L	D horizontal	29.95	KN/m2		

Se calculan los tabiques de manera simplificada como vigas de gran altura, con todas las verificaciones pertinentes, ya que el tabique apoya en dos columnas.

h [m]	2.40
l [m]	5.30
b [m]	0.30
d [m]	2.15
h/l	0.45
Al ser h/l>0.25 (según criterio del CIRSOC) y muy cercano a 0.50 (criterio del Cuaderno 240), se considera efectivamente una viga de gran altura.	
q [KN/m]	40.00
L/50	0.11
¿e>L/50?	Verifica pandeo lateral
σcompresión [KN/m2]	0.71
ϕ	0.65
σadm [MN/m2]	16.58
Verifica	
Vu [KN]	106.00
ϕ	0.75
5/6 √f´c b.d [KN]	2944.01
Verifica	
Tabla 4.1 del Cuaderno 240.	
Zf/P	0.37
Zf [KN]	0.08
ϕ	0.90
As [cm2]	2.08
Asmin flex [cm2]	21.50
As adop [cm2]	21.50
øppal [mm]	16.00
Cant.	10.69
Cant. adop	12.00
øv / øh [mm]	12.00
Asvmin/s VGA [cm2/m]	7.50
s máx [cm]	30.00
sv [cm]	15.08
sv adop [cm]	15.00
Ashmin/s VGA [cm2/m]	4.50

Análisis del tabique a flexión, causado por la presión del material ensilado. Se considera el siguiente esquema estático, considerando que cada tabique empotra al que se encuentra perpendicular a el.

U1=1.4D	D repartida*	34.94	KN/m2

*Se considera que dicha carga actúa con su máximo valor (en el fondo) y como un fluido, aunque no es realmente así. Sin embargo, dicha consideración es conservadora, por lo que estamos del lado de la seguridad.

Mf max [KNm/m]	122.70
ϕ	0.90
Mn [KNm]	136.33
rec [cm]	3.00
øhoriz [mm]	16.00
øvert [mm]	10.00
d [m]	0.25
FLEXIÓN	
kd	0.67
ke	25.01
As [cm2/m]	13.69
NORMAL	
Nu [KN/m]	92.60
ϕ	0.90
Nn [KNm]	102.89
As [cm2/m]	2.72
ARMADURA HORIZONTAL	
As nec [cm2/m]	16.41
Ash min silo [cm2/m]	7.50
s [cm]	24.50
smax [cm]	20.00
s adop [cm]	20.00
Se adopta: armadura principal de tracción en los 50 cm inferiores 6ø16 en cada cara, armadura vertical 1ø12 c/15, y armadura horizontal 1ø16 c/20	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	72.34

TABIQUE SOBRE SILO T7 (VGA a compresión y flexión)					
Carga permanente	Hormigón (e = 0.30 m)	18	KN/m		
	Losa (reacción repartida)	4.00	KN/m		
	Máx presión material ensilado - peso específico = 10.40 KN/m3	24.96	KN/m2		
	Tabique (reacción repartida)	36.06	KN/m		
Sobrecarga	Losa (reacción repartida)	2.4	KN/m		
	Tabique (reacción repartida)	1.31	KN/m		
				Cargas uniformemente repartidas:	Adoptada:
U1=1.4D	D repartida	81.29	KN/m	**81.29**	82
U2=1.2D+1.6L	D repartida	69.68	KN/m	75.61	-
	L repartida	5.94	KN/m		
U1=1.4D	D horizontal	**34.94**	KN/m2	CARGAS HORIZONTALES	
U2=1.2D+1.6L	D horizontal	29.95	KN/m2		

Se calculan los tabiques de manera simplificada como vigas de gran altura, con todas las verificaciones pertinentes, ya que el tabique apoya en dos columnas.

h [m]	2.40
l [m]	5.30
b [m]	0.30
d [m]	2.15
h/l	0.45
Al ser h/l>0.25 (según criterio del CIRSOC) y muy cercano a 0.50 (criterio del Cuaderno 240), se considera efectivamente una viga de gran altura.	
q [KN/m]	82.00
L/50	0.11
¿e>L/50?	Verifica pandeo lateral
σcompresión [KN/m2]	1.45
ϕ	0.65
σadm [MN/m2]	16.58
Verifica	
Vu [KN]	217.30
ϕ	0.75
5/6 √f´c b.d [KN]	2944.01
Verifica	
Tabla 4.1 del Cuaderno 240.	
Zf/P	0.37
Zf [KN]	0.16
ϕ	0.90
As [cm2]	4.25
Asmin flex [cm2]	21.50
As adop [cm2]	21.50
øppal [mm]	16.00
Cant.	10.69
Cant. adop	12.00
øv / øh [mm]	12.00
Asvmin/s VGA [cm2/m]	7.50
s máx [cm]	30.00
sv [cm]	15.08
sv adop [cm]	15.00

Ashmin/s VGA [cm2/m]	4.50

Análisis del tabique a flexión, causado por la presión del material ensilado. Se considera el siguiente esquema estático, considerando que cada tabique empotra al que se encuentra perpendicular a el.

U1=1.4D	D repartida*	34.94	KN/m2

*Se considera que dicha carga actúa con su máximo valor (en el fondo) y como un fluido, aunque no es realmente así. Sin embargo, dicha consideración es conservadora, por lo que estamos del lado de la seguridad.

Mf max [KNm/m]	122.70
ϕ	0.90
Mn [KNm]	136.33
rec [cm]	3.00
øhoriz [mm]	16.00
øvert [mm]	10.00
d [m]	0.25
FLEXIÓN	
kd	0.67
ke	25.01
As [cm2/m]	13.69
NORMAL	
Nu [KN/m]	92.60
ϕ	0.90
Nn [KNm]	102.89
As [cm2/m]	2.72
ARMADURA HORIZONTAL	
As nec [cm2/m]	16.41
Ash min silo [cm2/m]	7.50
s [cm]	24.50
smax [cm]	20.00
s adop [cm]	20.00
Se adopta: armadura principal de tracción en los 50 cm inferiores 6ø16 en cada cara, armadura vertical 1ø12 c/15, y armadura horizontal 1ø16 c/20	
Cuantía volumétrica [kg/m3]	72.34

VIGA INVERTIDA S/ PA					
Carga permanente	Hormigón	3.75	KN/m		
	Reacción de losa	6.62	KN/m		
	Peso monorriel + centrífuga	14.80	KN		
Sobrecarga	Reacción de losa	0.79	KN/m		
	Mov. centrífuga	6.00	KN		
				Mui [KNm]	Mu total [KNm]
U1=1.4D	D repartida	14.5	KN/m	51.0	78.4
	D puntual	20.7	KN	27.5	
U2=1.2D+1.6L	D repartida	12.4	KN/m	43.7	**84.4**
	D puntual	17.8	KN	23.5	
	L repartida	1.3	KN/m	4.5	
	L puntual	9.6	KN	12.7	

DATOS INICIALES	
L [m]	5.30
h [m]	0.50
b [m]	0.30
Mf max [KNm]	84.38
ϕ	0.90
Mn [KNm]	93.76
rec [cm]	2.00
øppal [mm]	16.00
øest [mm]	6.00
d [m]	0.47
FLEXIÓN	
kd	0.83
ke	24.77
As [cm2]	4.98
As min [cm2]	4.66
As adop [cm2]	4.98
Cant barras	2.48
Cant barras adoptadas	3.00
CORTE	
Vu [KN]	163.80
ϕ	0.75
Vn [KN]	218.40
Vc [KN]	127.62
Vs [KN]	90.78
<= 2/3*raiz(f/c)bd?	SI
>= 1/3*raiz(f/c)bd?	NO
Separación máx 23.3	
Av/s calc [cm2/m]	4.64
Avmin/s [cm2/m]	2.45
Av/s [cm2/m]	4.64
sep calc [m]	12.19
sep adoptada [m]	12.00
long estribo [cm]	156
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/12 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volum [kg/m3]	61.32

VIGA S/ PA					
Carga permanente	Hormigón	3.75	KN/m		
	Reacción de losa	6.51	KN/m		
Sobrecarga	Reacción de losa	0.78	KN/m		
				Mui [KNm]	Mu total [KNm]
U1=1.4D	D repartida	14.4	KN/m	48.5	48.5
U2=1.2D+1.6L	D repartida	12.3	KN/m	41.6	**45.8**
	L repartida	1.2	KN/m	4.2	

DATOS INICIALES	
L [m]	5.20
h [m]	0.50
b [m]	0.30
Mf max [KNm]	48.54
ϕ	0.90
Mn [KNm]	53.93
rec [cm]	2.00
øppal [mm]	16.00
øest [mm]	6.00
d [m]	0.47
FLEXIÓN	
kd	1.10
ke	24.30
As [cm2]	2.81
As min [cm2]	4.66
As adop [cm2]	4.66
Cant barras	2.32
Cant barras adoptadas	3.00
CORTE	
Vu [KN]	35.25
ϕ	0.75
Vn [KN]	47.00
Vc [KN]	127.62
Vs [KN]	-80.62
<= 2/3*raiz(f/c)bd?	SI
>= 1/3*raiz(f/c)bd?	NO
Separación máx 23.3	
Av/s calc [cm2/m]	-4.12
Avmin/s [cm2/m]	2.45
Av/s [cm2/m]	2.45
sep calc [m]	23.13
sep adoptada [m]	23.00
long estribo [cm]	156
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/23 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volum [kg/m3]	52.13

VIGA S/ SILO					
Carga permanente	Hormigon	6.00	KN/m		
	Centrífuga	12.00	KN		
	Dado hormigon 40x40x40	1.60	KN		
	Dado hormigon 75x40x40	3.00	KN		
	Losa (ancho inf = 1,81m)	12.71	KN/m		
Sobrecarga	Losa (ancho inf = 1,81m)	5.43	KN/m		
	Mov. centrífugas	6.00	KN		
				Mui [KNm]	Mu total [KNm]
U1=1.4D	D repartida	26.2	KN/m	92.0	121.6
	D puntual	12.6	KN	29.6	
U2=1.2D+1.6L	D repartida	22.4	KN/m	78.8	**157.3**
	D puntual	10.8	KN	25.4	
	L repartida	8.69	KN/m	30.5	
	L puntual	9.6	KN	22.6	

DATOS INICIALES	
L [m]	5.30
h [m]	0.60
b [m]	0.30
Mf max [KNm]	157.26
ϕ	0.90
Mn [KNm]	174.74
rec [cm]	2.00
øppal [mm]	16.00
øest [mm]	10.00
d [m]	0.56
FLEXIÓN	
kd	0.74
ke	24.77
As [cm2]	7.70
As min [cm2]	5.62
As adop [cm2]	7.70
Cant barras	3.83
Cant barras adoptadas	4.00
CORTE	
Vu [KN]	337.65
ϕ	0.75
Vn [KN]	450.20
Vc [KN]	153.91
Vs [KN]	296.29
<= 2/3*raiz(f/c)bd?	SI
>= 1/3*raiz(f/c)bd?	NO
Separación máx 28.1	
Av/s calc [cm2/m]	12.55
Avmin/s [cm2/m]	2.45
Av/s [cm2/m]	12.55
sep calc [m]	12.51
sep adoptada [m]	20.00
long estribo [cm]	176
Se adoptan 4ø16, estribos de dos ramas 1ø10 c/20 , perchas 2ø8 y 2ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volum [kg/m3]	78.37

VIGA S/ SALA DOSIF POLIMEROS					
Carga permanente	Hormigon	3.75	KN/m		
	Reacción de losa	6.42	KN/m		
Sobrecarga	Reacción de losa	3.85	KN/m		
				Mui [KNm]	Mu total [KNm]
U1=1.4D	D repartida	14.2	KN/m	50.0	50.0
U2=1.2D+1.6L	D repartida	12.2	KN/m	42.9	**64.5**
	L repartida	6.2	KN/m	21.7	

DATOS INICIALES	
L [m]	5.30
h [m]	0.40
b [m]	0.30
Mf max [KNm]	64.52
ϕ	0.90
Mn [KNm]	71.69
rec [cm]	2.00
øppal [mm]	16.00
øest [mm]	6.00
d [m]	0.37
FLEXIÓN	
kd	0.75
ke	24.77
As [cm2]	4.85
As min [cm2]	3.66
As adop [cm2]	4.85
Cant barras	2.41
Cant barras adoptadas	3.00
CORTE	
Vu [KN]	48.70
ϕ	0.75
Vn [KN]	64.93
Vc [KN]	100.23
Vs [KN]	-35.31
<= 2/3*raiz(f/c)bd?	SI
>= 1/3*raiz(f/c)bd?	NO
Separación máx 18.3	
Av/s calc [cm2/m]	-2.30
Avmin/s [cm2/m]	2.45
Av/s [cm2/m]	2.45
sep calc [m]	23.13
sep adoptada [m]	18.00
long estribo [cm]	136
Se adoptan 3ø16, estribos de dos ramas 1ø6 c/18 , perchas 2ø8 y 1ø8 en cada cara intermedios.	
Cuantía volum [kg/m3]	66.59

ANEXO 10 - Dimensionamiento de columnas

COLUMNAS S/ PA			
Geometria			
Columna		**C13**	
EN SENTIDO X		**EN SENTIDO Y**	
b [m]	0.3	b [m]	0.3
h [m]	0.3	h [m]	0.3
Área bruta [cm2]	900		900
lc [m]	3.1	lc [m]	3.1
Cargas			
Pu [MN]		0.05	
Esbeltez			
EN SENTIDO X		EN SENTIDO Y	
Rx	0.09	Ry	0.09
k	1	k	1
λ	34.44	λ	34.44
λlím	34	λlím	34
COLUMNA ESBELTA		COLUMNA ESBELTA	
E [MN/m2]	25742.96	E [MN/m2]	25742.96
I [m4]	0.0007	I [m4]	0.0007
β	1.40	β	1.40
EI [MNm2]	2.90	EI [MNm2]	2.90
Cm	1.00	Cm	1.00
Pc [MN]	2.97	Pc	2.97
Δ	1.02	Δ	1.02
M2 min	0.0007	M2 min	0.0007
Mu	0.0007	Mu	0.0007
Armadura			
Se utiliza abaco de interacción tipo 2			
Se dimensiona para la peor situacion			
γ	0.83		
m	0.03		
n	0.52		
ρ	0.01		
As nec [cm2]	9.0		
Ø barra [cm]	1.2		
Cantidad calc	8.0		
Cantidad adop	8		
Ø estribos [cm]	0.6		
Sep estribos [cm]	30		
Long. estribo [m]	1.16		
Se adoptan 8ø12 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/30			
Cuantía volumétrica [kg/m3]		88.45	

COLUMNAS S/ SILO			
Geometria			
Columna		**C06**	
EN SENTIDO X		**EN SENTIDO Y**	
b [m]	0.5	b [m]	0.5
h [m]	0.3	h [m]	0.3
Área bruta [cm2]	2100		
lc [m]	5.25	lc [m]	5.25
Cargas			
Pu [MN]		2.12	
Esbeltez			
EN SENTIDO X		EN SENTIDO Y	
Rx	0.15	Ry	0.15
k	1	k	1
λ	35	λ	35
λlím	34	λlím	34
COLUMNA ESBELTA		COLUMNA ESBELTA	
E [MN/m2]	25742.96	E [MN/m2]	25742.96
I [m4]	0.0031	I [m4]	0.0031
β	2.23	β	2.23
EI [MNm2]	9.96	EI [MNm2]	9.96
Cm	1.00	Cm	1.00
Pc [MN]	3.57	Pc	3.57
Δ	4.78	Δ	4.78
M2 min	0.03	M2 min	0.03
Mu	0.15	Mu	0.15
Armadura			
Se utiliza abaco de interacción tipo 2			
Se dimensiona para la peor situacion			
γ	0.89		
m	2.02		
n	14.11		
ρ	0.01		
As nec [cm2]	21.0		
Ø barra [cm]	1.6		
Cantidad calc	10.4		
Cantidad adop	12		
Ø estribos [cm]	0.6		
Sep estribos [cm]	30		
Long. estribo [m]	1.84		
Se adoptan 12ø16 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/30			
Cuantía volumétrica [kg/m3]		96.67	

COLUMNAS S/ SALA DOFISICACION			
Geometria			
Columna		**C02**	
EN SENTIDO X		**EN SENTIDO Y**	
b [m]	0.5	b [m]	0.5
h [m]	0.3	h [m]	0.3
Área bruta [cm2]	1500	Área bruta [cm2]	1500
lc [m]	3.3	lc [m]	3.3
Cargas			
Pu [MN]		0.30	
Esbeltez			
EN SENTIDO X		EN SENTIDO Y	
Rx	0.15	Ry	0.15
k	1	k	1
λ	22	λ	22.00
λlím	34	λlím	34
NO CONSIDERAR EFECTOS DE ESBELTEZ		NO CONSIDERAR EFECTOS DE ESBELTEZ	
		E [MN/m2]	25742.96
		I [m4]	0.0031
		β	1.43
		EI [MNm2]	13.25
		Cm	1.00
		Pc	12.01
		Δ	1.03
		M2 min	0.004
		Mu	0.350
Armadura			
Se utiliza abaco de interacción tipo 2			
-			
Ø barra [cm]	1.2	γ	0.89
ρ supuesta	0.01	m	4.67
Ag nec [cm2]	192.88	n	1.97
50% Ag [cm2]	750	ρ	0.01
As min [cm2]	7.5	As nec [cm2]	15.0
Cantidad calc	6.6	Ø barra [cm]	1.6
Cantidad adop	8	Cantidad calc	7.5
		Cantidad adop	8
		Ø estribos [cm]	0.6
		Sep estribos [cm]	19.2
		Sep adop [cm]	19
		Long. estribo [m]	1.44
Se adoptan 8ø16 repartidos en el perímetro y estribos 1ø6 c/19			
Cuantía volumétrica [kg/m3]		95.28	

TOLVA			
ARMADURAS EN X INFERIOR		**ARMADURAS EN Y INFERIOR**	
Mf max [KNm/m]	20.60	Mf max [KNm/m]	23.50
Mn [KNm/m]	22.89	Mn [KNm/m]	26.11
Mn [MNm/m]	0.02	Mn [MNm/m]	0.03
e [m]	0.20	e [m]	0.20
rec [cm]	2.00	rec [cm]	2
øx [mm]	8.00	øx [mm]	8.00
øy [mm]	8.00	øy [mm]	8.00
d [m]	0.18	d [m]	0.17
kd	1.16	kd	1.04
ke	24.30	ke	24.30
As min [cm2/m]	3.60	As min [cm2/m]	3.60
As nec [cm2/m]	3.16	As nec [cm2/m]	3.78
As adop [cm2/m]	3.60	As adop [cm2/m]	3.78
sep [m]	0.14	sep [m]	0.13
sep max [m]	0.30	sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø8 c/13 en la cara inferior, en dirección X.		**Se adopta 1ø8 c/13 en la cara inferior, en direccion y.**	
ARMADURAS EN X SUPERIOR		**ARMADURAS EN Y SUPERIOR**	
Mf max [KNm/m]	23.90	Mf max [KNm/m]	3.25
Mn [KNm/m]	26.56	Mn [KNm/m]	3.61
Mn [MNm/m]	0.03	Mn [MNm/m]	0.00
e [m]	0.20	e [m]	0.20
rec [cm]	2.00	rec [cm]	2
øx [mm]	8.00	øx [mm]	8.00
øy [mm]	8.00	øy [mm]	8.00
d [m]	0.18	d [m]	0.18
kd	1.08	kd	2.93
ke	24.77	ke	24.77
As min [cm2/m]	3.60	As min [cm2/m]	3.60
As nec [cm2/m]	3.74	As nec [cm2/m]	0.51
As adop [cm2/m]	3.74	As adop [cm2/m]	3.60
sep [m]	0.13	sep [m]	0.14
sep max [m]	0.30	sep max [m]	0.30
Se adopta 1ø8 c/13 en la cara superior, en dirección X.		**Se adopta 1ø8 c/13 en la cara superior, en direccion y.**	
Cuantía volum [kg/m3]		63.30	

PILOTES

Máx Pu [KN]	2115.79	
Máx Vu [KN]	39.50	Se considera despreciable para el análisis en comparación con Pu
ø pilote [m]	0.60	

CABEZAL	
altura h [m]	0.90
largo [m]	1.00
ancho [m]	1.00
Max Mu por excentricidad de 10 cm [KNm]	211.58
d [m]	0.72
Pu [KN]	293.86
As calc [cm2]	7.77
Ø barra ppal [cm]	2.00
Cantidad de barras [U]	3.00
Ag adop [cm2]	9.42
ESTADO	**B.C**
As sup [cm2]	1.88
Ø barra sup [cm]	1.20
Cantidad de barras [U]	2.00
Ag adop [cm2]	2.26
ESTADO	**B.C**
Ø estribo [cm]	1.00
sep [cm]	20.00
Long estribos [m]	3.52
As piel [cm2]	0.75
ø armadura de piel [cm]	0.6
Cantidad de barras [U]	4
Ag adop [cm2]	1.13
ESTADO	**B.C**
Se adoptan 3ø20 inferiores, 2ø12 superiores, estribos 1ø10 c/20 y armadura de piel 2ø6 c/cara.	
Cuantía volum [kg/m3]	23.24

Profundidad	Potencia del estrato [m]	Nf [KN]	Nf acum [KN]	Np [KN]	N acum [KN]
0.6m a 3m	2.4	190.83	190.83	0.00	190.83
3m a 5.5m	2.5	110.95	301.78	0.00	301.78
5.5m 8.5m	3.0	338.39	640.17	160.88	801.05
8.5m a 15m	6.5	1153.86	1794.04	388.32	2182.36
Los valores en esta tabla son los máximos admisibles para cada estrato en su máxima profundidad. Se utilizan para decidir en que profundidad fundar.					

Carga permanente	Peso propio	6.38	KN/m
	Reacción del muro superior	16.54	KN/m
	Momento flector en el extremo por excentricidad de la columna	94.87	KNm
Sobrecarga	Momento flector en el extremo por excentricidad de la columna	61.09	KNm
Viento	Reacción horizontal del viento	39.54	KN
	Momento flector en el extremo	224.98	KNm

U1=1.4D	Carga repartida	32.08	KN/m
	Momento flector	132.81	KNm
U2=1.2D+1.6L	Carga repartida	27.50	KN/m
	Momento flector	211.58	KNm
U3=1.2D+1.6L+W	Carga repartida	27.50	KN/m
	Momento flector	436.56	KNm
U4=0.9D+1.6W	Carga repartida	20.62	KN/m
	Momento flector	445.35	KNm
U5=1.2D+1.6W+0.5L	Carga repartida	**27.50**	KN/m
	Momento flector	**504.36**	KNm

MONOPILOTE	
- Se decide fundar a cota -9	
Ps [KN]	1559.54
Peso propio cabezal [KN]	22.50
CSP [m]	-0.90
CFP [m]	-12.70
Longitud adop pilote [m]	11.80
Peso propio pilote [KN]	83.41
Ps total [KN]	1642.95
Coef cap. friccion lateral [KN/m2]	85.85
Coef. cap. por punta [KN/m2]	1199.84
Nf [KN]	1319.79
Np [KN]	339.25
N resistente [KN]	1659.04
Estado	**B.C**
Φ	0.65
ρ supuesta	0.01
Ag nec [cm2]	1381.84
0.01 Ag nec [cm2]	13.82
0.01 50% Ag nec [cm2]	6.91
Ag det [cm2]	13.82
Ø barra [cm]	1.20
Cantidad de barras [U]	14.00
Ag adop [cm2]	15.83
ESTADO	**B.C**
Ø estribo [cm]	0.6
Sep. estribos [cm]	14.4
Long estribo en espiral [m]	11.26
Se adoptan 14ø12 ubicados en el perímetro y estribos 1ø6 c/14	
Cuantía volum [kg/m3]	52.80

VIGA DE FUNDACIÓN	
L [m]	5.3
b [m]	0.4
h [m]	0.85
qu [KN/m]	27.50
Mu máx centro [KNm]	96.54
Mu máx extremo [KNm]	504.36
ϕ	0.90
Mn [KNm]	560.40
rec [cm]	5.00
øppal [mm]	20.00
øest [mm]	10.00
d [m]	0.78
FLEXIÓN	
kd	0.66
ke	25.00
As [cm2]	17.96
As min [cm2]	10.40
As adop [cm2]	17.96
Cant barras	5.72
Cant barras adoptadas	6.00
CORTE	
Vu [KN]	72.86
ϕ	0.75
Vn [KN]	97.15
Vc [KN]	284.82
Vs [KN]	-187.67
<= 2/3*raiz(f/c)bd?	SI
>= 1/3*raiz(f/c)bd?	NO
Separación máx 39.	
Av/s calc [cm2/m]	-5.73
Avmin/s [cm2/m]	3.26
Av/s [cm2/m]	3.26
sep calc [m]	48.18
sep adoptada [m]	20.00
long estribo [cm]	222
Se adoptan 6ø20 superiores e inferiores, estribos de dos ramas 1ø10 c/20 y 2ø12 en cada cara intermedios.	
Cuantía volum [kg/m3]	117.61

Anexo 13 - Inspección ocular del pavimento existente

Se muestran a continuación imágenes del recorrido realizado en campo el día 18 de Noviembre de 2022 con el objeto de realizar una inspección ocular de la situación del pavimento de la Calle Nº2 de la Planta.

Se considera como Pr 000,00 el ingreso a la Planta por Av. San Martín (Granadero Baigorria), según se indica en la Figura N° A.13.1.

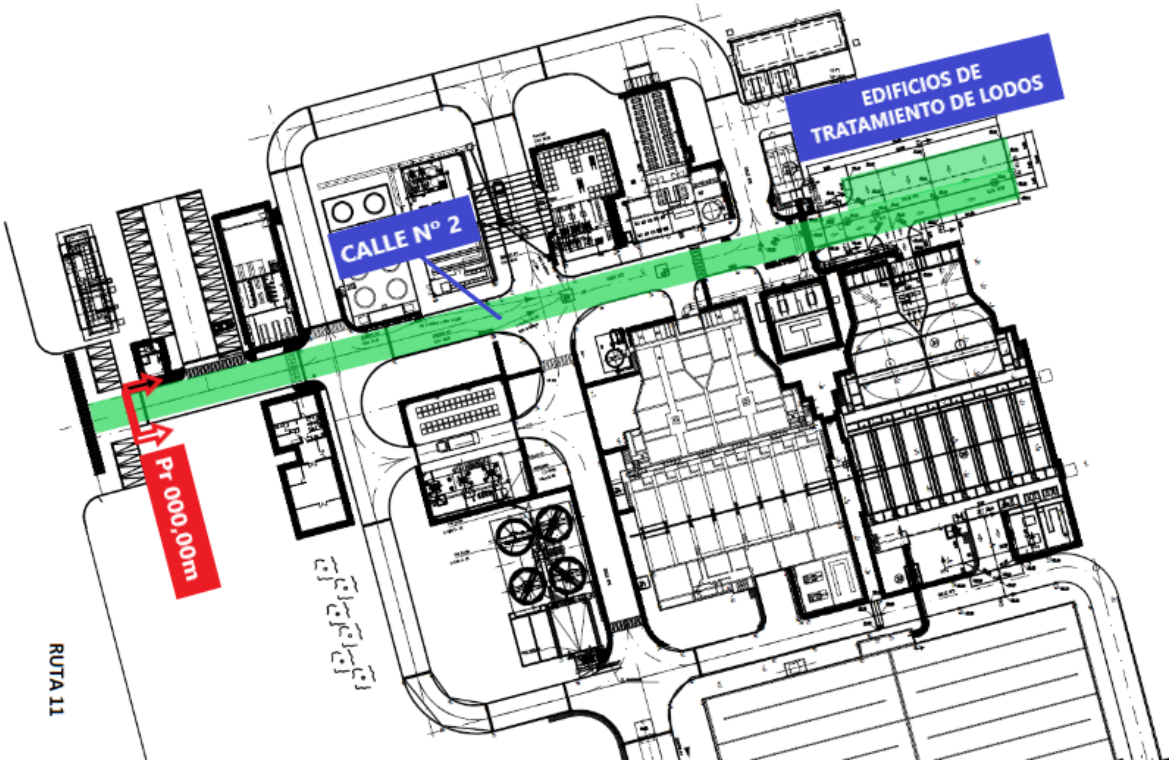


Figura N° A.13.1 - *Esquema de juntas longitudinales.*

Figura N° A.13.2 - *Pr 000,00m*

Figura N° A.13.3 - *Pr 014,00m*

Figura N° A.13.4 - *Pr 025,00m*

Figura N° A.13.5 - *Pr 035,00m*

Figura N° A.13.6 - *Pr 045,00m*

Figura N° A.13.7 - *Pr 050,00m*

Figura N° A.13.8 - *Pr 060,00m*

Figura N° A.13.9 - *Pr 070,00m*

Figura N° A.13.10 - *Pr 075,00m*

Figura N° A.13.11 - *Pr 080,00m*

Figura N° A.13.12 - *Pr 090,00m*

Figura N° A.13.13 - *Pr 095,00m*

Figura N° A.13.14 - *Pr 100,00m*

Figura N° A.13.15 - *Pr 115,00m*

Figura N° A.13.16 - *Pr 115,00m (vista hacia el sur). Ingreso a Módulo de Tratamiento I*

Figura N° A.13.17 - *Pr 120,00m*

Figura N° A.13.18 - *Pr 130,00m*

Figura N° A.13.19 - *Pr 135,00m*

Figura N° A.13.20 - *Pr 140,00m*

Figura N° A.13.21 - *Pr 145,00m*

Figura N° A.13.22 - *Pr 150,00m*

Anexo 14 - Imágenes del sector a intervenir

Figura Nº A.14.1 - *Zona de emplazamiento de los Edificios de Tratamiento de Lodos I y II (a izquierda del cerco) y tramo de calle a pavimentar (a derecha del cerco).*

Figura Nº A.14.2 - *Fin pavimento existente Calle Nº2 y comienzo de tramo a proyectar.*