UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2018

MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LA RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN TERRENOS DE PUERTO VENTANAS S.A.

TORRES TOBAR, EDGARDO ANDRÉS

https://hdl.handle.net/11673/47781

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO – CHILE

MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LA RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN TERRENOS DE PUERTO VENTANAS S.A.

EDGARDO ANDRÉS TORRES TOBAR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE

CONSTRUCTOR CIVIL

PROFESOR GUÍA :	SR. EDUARDO MONSALVE STANGE
PROFESOR CORREFERENTE :	SR. ANTONIO AGUILAR RODRIGUEZ

NOVIEMBRE 2018

"El agua es una fuerza increíblemente compleja y sutil en una economía. Es la única limitación a la expansión de todas las ciudades, y los banqueros y los ejecutivos corporativos han citado como el único límite natural para el crecimiento económico"

Margaret Catley-Carlson

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Alvarita y Edgardo, por el amor y cariño incondicional, por haberme dejado seguir mis propias convicciones confiando siempre que voy en el camino correcto. Por haberme inculcado grandes valores como el esfuerzo, el sacrificio, la perseverancia y lo más enriquecedor, el valor de la familia.

A mi hermano y hermanas

Franco, Tiare, Millaray, por compartir los mismos valores y principios que transmitieron nuestros padres, como también algunas aficiones; no tengo duda que nuestros caminos van en el horizonte correcto, que los pequeños pero firmes pasos, significarán en un futuro próximo, grandes logros.

También doy las gracias al concho que ilumina de felicidad el núcleo cuando nos visita, Julietita, mi sobrina, que con su ternura, personalidad y desplante ha sabido conquistarnos a todos.

A mi novia

Valentina, por despertar y desarrollar en mí sentimientos y emociones poco explotadas. Por ser partner, amiga y cómplice, por soportarme y quererme como soy, por apañarme en mis locuras y corduras.

Por ser parte de una etapa bonita, en la que hemos crecido juntos y hemos llegado a construir un hogar.

A mis familiares cercanos

Por ser apoyo y presión para agotar esta etapa, por el cariño incondicional y por la preocupación de que culmine de mejor manera la etapa más enriquecedora que he tenido intelectualmente hablando, la universidad.

A mis amigos

Jorge (George), Sebastián (Monja), Rodrigo (Huevo), Nicolás G. (Nico), Juan (Juancete), Enrique (Kike), William (Willy), Francisco (Panchote), Diego, Nicolás M. (Nico), Claudia (Clau), Raimundo (Rai), Joaquín (Billy), Camila (Cami), Estefanie (Tefi), Lucile, Agustín (Agus), Julien, Pablo (Novy), José (Pepelota), Jimena (Jime), Nicolás Y. (Nicotine), Waldo, Cesar; entre otros incontables y grandes amigos de la universidad, del colegio y de la vida; quienes marcaron etapas y momentos inolvidables y a quienes he dejado de ver pero al momento de retomar vínculos, siento como si el tiempo no transcurriera

A mis colegas

Eduardo, Jaime, Pablo, Sebastián, Álvaro, Francisco, Albino y Andrés por apoyarme y darme la oportunidad de crecer y desarrollarme profesionalmente en el Puerto, por confiar en mis capacidades y ponerme desafíos enriquecedores.

RESUMEN

Puerto Ventanas S.A. es una empresa privada que posee un puerto con instalaciones destinadas al almacenamiento, acopio y transporte de gráneles sólidos y líquidos; en la última década la construcción de nuevas obras ha influido de manera directa con la disminución de superficies infiltrantes, por esta razón es que frente a eventos pluviométricos la capacidad de la red de aguas lluvias se ha visto limitada. Actualmente existe una red de captación y conducción de aguas lluvias que cubre alrededor de un 27% del sector de emplazamiento de las principales bodegas de acopio, denominado Terminal Costa, debido a la poca mantención y un diseño obsoleto de la red es que en época invernal se producen inundaciones de áreas de tránsito e inmediaciones de las bodegas. Gran parte de la escorrentía captada en la red existente es destinada al mar, previo tratamiento en una planta cuya capacidad es de 300$[m^3/día]$, sin embargo, esta planta se ha visto sobre pasada en carga respecto a las áreas aportantes, por tanto, se presencian rebalses aguas arriba del tratamiento los que producen socavones y evacuación directa al mar.

El trabajo de la presente memoria surge a partir de dicha problemática, en esta se propondrán soluciones bajo la utilización de técnicas alternativas de drenaje, lo que implica que el agua lluvia captada pueda ser infiltrada parcialmente o almacenada de manera temporal, eliminando los sólidos cerca del lugar de origen con disminución de volúmenes de escorrentía aguas abajo; para ello se propone un conjunto de soluciones constructivas y de gestión, incorporando recursos eficientes que permitan sanear de manera integral el área en estudio. Además de la solución de drenaje de aguas lluvias se propone la reconstrucción de pavimento asfáltico de una superficie cercana a los 2130 $[m^2]$ para empalmarse a la solución propuesta.

Durante la etapa de construcción se propone un plan de mitigación para el impacto vial que estas obras tendrán con las áreas de tránsito, asegurando la continuidad de la operación mediante vías alternativas establecidas para la circulación; finalmente se destaca la importancia que tiene la mantención y conservación de los sistemas de drenaje para una operación exitosa y sustentable a largo plazo, para ello se propone un plan de mantenciones preventivas aplicable tanto a las obras existentes como futuras, mediante el cual se establecen aspectos fundamentales que deben tenerse presentes para un correcto desempeño de la red de drenaje. El conjunto de soluciones planteadas corresponde a lo que se denomina “Mejoramiento integral de la red de saneamiento de aguas lluvias en terrenos de Puerto Ventanas – Terminal Costa”.

ABSTRACT

Puerto Ventanas S.A. is a private company that owns a port with facilities for storage and transportation of solid and liquid bulk. Over the last decade, the construction of new civil works has directly influenced the decrease of infiltrating surfaces, which is why, in the face of rainfall events, the rainwater network capacity has been limited. The current rainfall capture and handling system covers about 27% of the main warehouse site, called Terminal Costa. Given the lack of maintenance and the obsolete design of the system, flooding of the transportation areas around the exterior of the warehouse is common in wintertime when it rains. The majority of the runoff captured in the current system is directed to the ocean after treatment in a water treatment plant with a 300 $[m^3/day]$ capacity, nevertheless, the plant has been overloaded, leading to overflowing of some of the runoff directly into the ocean.

The topic of this report emerged due to this problem, and this report proposes solutions by using alternative drainage techniques, through partially infiltrated or temporary storage of captured rainfall, thus eliminating solids near the place of origin and decreasing the amount of runoff downstream; to achieve this, the report proposes a set of construction and management solutions, incorporating efficient resources in order to sanitize the area being studied. In addition to the rainwater drainage solution, the author proposes reconstructing the asphalt pavement of a 2130 $[m^2]$ surface.

During the construction stage, a traffic mitigation plan is proposed to reduce the impact these projects will produce on the traffic in the transit areas, ensuring operational continuity through alternative traffic routes. Finally, the maintenance and conservation of the drainage systems are important for a successful and sustainable long-term operation, thus a preventive maintenance plan for current and future drainage systems is recommended, establishing fundamental aspects to keep in mind for optimal performance of the drainage system. The proposed set of solutions corresponds to the project titled: "Comprehensive improvement of the rainwater sanitation network at Puerto Ventanas – Terminal Costa".

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 3
RESUMEN 4
ABSTRACT 5
ÍNDICE 6
ÍNDICE DE FIGURAS 9
ÍNDICE DE TABLAS 13
ÍNDICE DE ECUACIONES 15
CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DE LA MEMORIA 16
1.1 INTRODUCCIÓN 16
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 17
1.2.1 Objetivos generales 17
1.2.2 Objetivos específicos 17
1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO 17
1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA 18
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA 20
2.1 DATOS GENERALES 20
2.2 VISIÓN 20
2.3 MISIÓN 21
2.4 VALORES Y PRINCIPIOS CORPORATIVOS 21
2.5 ÁREAS DE NEGOCIOS 21
2.6 INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO 22
2.6.1 Instalaciones Marítimas 22
2.6.2 Instalaciones Terrestres 22
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO 24
3.1 LAS AGUAS LLUVIAS Y EL DRENAJE URBANO 24
3.2 HIDROLOGÍA EN EL DRENAJE URBANO 24
3.3 TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE URBANO 25
3.4 NORMATIVA PARA LA DESCARGA DE CONTAMINANTES DE AGUAS LLUVIAS 26
CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES GENERALES 30
4.1 ANTECEDENTES RECOPILADOS 30
4.2 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR 30

4.3 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DEL PROYECTO 31
4.4 DESCRIPCIÓN DEL SUELO 33
4.5 TOPOGRAFÍA 35
CAPÍTULO 5. ESTUDIOS EXISTENTES 36
5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 36
CAPÍTULO 6. DESCRIPCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL 39
6.1 ÁREAS APORTANTES 39
6.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL 40
6.2.1 Domo Melón 40
6.2.2 Bodega La Greda 42
6.2.3 Bodega Codelco Andina 43
6.2.4 Bodega Los Bronces 50
6.2.5 Bodega Anglo American I 51
6.2.6 Bodegas livianas 53
6.2.7 Bodega Anglo American II 54
6.2.8 Planta de tratamiento de aguas lluvias 56
CAPÍTULO 7. DESARROLLO DEL TEMA 61
7.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE ESCORRENTÍA 61
7.1.1 Antecedentes pluviométricos 61
7.1.2 Determinación de curvas I-D-F 62
7.1.3 Cálculo de caudales máximos de aguas lluvias 65
7.2 PLAN DE SOLUCIÓN 69
7.2.1 Criterios de selección 69
7.2.2 Domo Melón 70
7.2.3 Bodega La Greda 76
7.2.4 Bodega Codelco Andina 77
7.2.5 Bodega Los Bronces 86
7.2.6 Bodega Anglo American I 87
7.2.7 Bodega Anglo American II 92
7.3 PAVIMENTOS PORTUARIOS 93
7.4 ANÁLISIS DE COSTOS 97
7.4.1 Costo estimativo 97
7.4.2 Análisis comparativo 100
7.5 PLAN POR ETAPAS CONSTRUCTIVAS 101

7.6 PLAN DE INTERVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO VIAL 105
7.8 PLAN DE MANTENCIÓN DE OBRAS 110
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES 113
CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES 115
CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA 116
CAPÍTULO 11. GLOSARIO Y SIMBOLOGIA 118
CAPÍTULO 12. ANEXOS i
A. PLANOS DEL PROYECTO i
B. ESTUDIO HIDROLÓGICO ii
C. PRESUPUESTO POR PRECIOS UNITARIOS iii
D. MEMORIA DE CÁLCULO iv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – Composición de la carga movilizada en toneladas 20
Figura 2-2 – Esquema conceptual de las áreas de negocio de PVSA. 21
Figura 2-3 – Características operacionales y equipamiento de los sitios de atraque de PVSA. 22
Figura 2-4 – Emplazamiento de los terminales terrestres de PVSA. 23
Figura 4-1 – Vista aérea de instalaciones dentro del Terminal Costa, PVSA. 32
Figura 4-2 – Vista en planta de instalaciones dentro del Terminal Costa, PVSA. 32
Figura 4-3 – Identificación de las principales bodegas del Terminal Costa, PVSA. 33
Figura 4-4 – Ubicación sondajes LEMCO 34
Figura 4-5 – Ubicación sondaje IDEAS 34
Figura 4-6 – Imagen 3D de escáner laser. 35
Figura 4-7 – Scanner terrestre láser RIEGL VZ-400 35
Figura 6-1 – Subdivisión de áreas de drenaje. 39
Figura 6-2 –Áreas aportantes sector Domo Melón 40
Figura 6-3 – Red aislada aguas lluvias, sector norte, domo Melón. 41
Figura 6-4 – Inundación calle de tránsito sector colindante Domo Melón, vista sur oriente. . 41
Figura 6-5 – Inundación calle de tránsito sector poniente de los silos de carga, vista ampliada. 41
Figura 6-6 – Fracturas y grietas de la carpeta de rodadura 42
Figura 6-7 –Superficie identificada con mayor deterioro de pavimento en sector norponiente Domo Melón 42
Figura 6-8 –Áreas aportantes sector Bodega La Greda 42
Figura 6-9 – Punto de descarga de aguas lluvias de la Bodega La Greda, SU-20. 43
Figura 6-10 –Áreas aportantes sector Bodega Andina 44
Figura 6-11 – Edificio acoplado Bodega Andina, sector norte. 44
Figura 6-12 – Principales instalaciones referenciadas al Norte de la Bodega Andina. 44
Figura 6-13 – Sector norte Bodega Andina, elevación correa C3. 45
Figura 6-14 – Sumidero 23 inundado fuera de la sala donde se emplaza la polea de cola de la correa C4. 46
Figura 6-15 – Sala de resguardo de polea de cola completamente inundada. 46
Figura 6-16 – Entrada inundada de la Subestación Eléctrica N°1, vista sur poniente. 46
Figura 6-17 – Entrada inundada de la Subestación Eléctrica N°1, vista sur. 46
Figura 6-18 – Cota baja de terreno representada por la curva de nivel 6,50, norponiente Bodega Andina. 47

Figura 6-19 – Inundación sector norponiente Bodega Andina, vista norponiente. 47

Figura 6-20 – Inundación sector norponiente Bodega Andina, vista norte. 47

Figura 6-21 – Sumideros captadores de aguas lluvias proveniente de la techumbre oriente de Andina. 48

Figura 6-22 –Escorrentía conducida por calle de tránsito sector oriente Bodega Andina, vista norte. 48

Figura 6-23 – Escorrentía conducida por calle de tránsito sector sur Bodega Andina, vista poniente. 48

Figura 6-24 – Sumidero 24 de atravieso que capta parte de la escorrentía de la techumbre poniente de la Bodega Andina. 49

Figura 6-25 –Apozamiento presenciado en sector poniente Bodega Andina, vista sur. 49

Figura 6-26 – Falla de pavimento tipo "piel de cocodrilo" en el sector poniente de la Bodega Andina, vista sur. 49

Figura 6-27 –Superficie deteriorada de pavimento en sector poniente y norponiente Bodega Andina. 49

Figura 6-28 –Áreas aportantes sector Bodega los Bronces 50

Figura 6-29 – Emplazamiento Bodega los Bronces, observando SU-20 y rieles de la línea férrea. 50

Figura 6-30 – Línea férrea con acumulación de agua, sector sur Bodega Los Bronces, vista nororiente. 50

Figura 6-31 – Línea férrea con acumulación de agua, sector sur Bodega Los Bronces, vista surponiente. 50

Figura 6-32 –Áreas aportantes sector Bodega Anglo American I 51

Figura 6-33 – Canaleta hojalatería sector Norte Bodega Anglo American I, vista oriente. 52

Figura 6-34 – Pozos de infiltración prefabricados colmatados, sector Norte Bodega Anglo American I. 52

Figura 6-35 – Sector Norte B. Anglo American I, Sumidero 8. 52

Figura 6-36 – Canaleta deteriorada sector norte B. Anglo American I. 52

Figura 6-37 – Empozamiento de aguas lluvias al ingreso de Pavo de descarga N°1, B. Anglo American I, vista oriente. 53

Figura 6-38 –Áreas aportantes sector Bodegas Livianas 54

Figura 6-39 –Apozamiento aportado por Bodegas Livianas 54

Figura 6-40 –Áreas aportantes sector Bodega Anglo American II. 54

Figura 6-41 –Elementos de conducción, tratamiento y evacuación (Anglo II Sector Sur) 55

Figura 6-42 – Elevación de aguas lluvias desde la cámara ALL-16, sector surponiente Bodega Anglo II. 55

Figura 6-43 – Emplazamiento SU-8, el cual alimenta la planta de tratamiento por el sector sur. 55

Figura 6-44 – Planta de tratamiento y decantador primario, vista sur poniente. 56
Figura 6-45 – Planta de tratamiento y decantador primario, vista norte. 56
Figura 6-46 – Áreas de alimentación PTALL ; 25.692 m2 57
Figura 6-47 – Esquema isométrico planta de tratamiento de aguas lluvia existente. 58
Figura 6-48 – Rebalse de decantador primario y evacuación de aguas hacia la playa. 59
Figura 6-49 – Socavón sector Sur PTALL. 59
Figura 7-1 – Familia de curvas IDF [mm/hr] para una duración comprendida entre 5 min y 24 hrs. 64
Figura 7-2 – Solución propuesta sector norte Domo Melón. 70
Figura 7-3 – Sub áreas de drenaje sector norte Domo Melón. 70
Figura 7-4 – Solución existente sector oriente del Domo Melón. 72
Figura 7-5 – Sub áreas de drenaje sector oriente Domo Melón. 72
Figura 7-6 – Solución propuesta sector poniente del Domo Melón 72
Figura 7-7 – Sub áreas de drenaje sector poniente Domo Melón. 72
Figura 7-8 – Sedimentador N°1, costado poniente Domo Melón 73
Figura 7-9 – Detalle de zanja infiltrante y última cámara de rebase de sedimentador N°1 ... 75
Figura 7-10 – Corte de zanja infiltrante y canaleta de piso. 75
Figura 7-11 – Solución propuesta Bodega La Greda 76
Figura 7-12 – Sub áreas de drenaje Bodega La Greda. 76
Figura 7-13 – Solución propuesta Bodega La Greda. 77
Figura 7-14 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Norte. 77
Figura 7-15 – Solución propuesta sector Correa C3 ,C4 y torre TCVR-3, Andina norte. 78
Figura 7-16 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Norte; Correa C3 ,C4 y torre TCVR-3. 78
Figura 7-17 – Solución propuesta Andina oriente. 80
Figura 7-18 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina oriente. 80
Figura 7-19 – Detalle canaleta, Andina oriente. 81
Figura 7-20 – Canal transversal nororiente, Bodega Andina. 82
Figura 7-21 – Canal transversal suroriente, Bodega Andina. 82
Figura 7-22 – Solución propuesta edificio adosado, Andina sur. 83
Figura 7-23 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Sur. 83
Figura 7-24 – Solución propuesta sector norponiente Andina 84
Figura 7-25 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina poniente. 84
Figura 7-26 – Solución propuesta Bodega Los Bronces 86
Figura 7-27 – Sub áreas de drenaje Bodega Los Bronces 86

Figura 7-28 – Solución propuesta sector norponiente, Bodega Anglo American I 87

Figura 7-29 – Solución propuesta sector surponiente, Bodega Anglo American I 87

Figura 7-30 – Sub áreas de drenaje Bodega Anglo American I..... 88

Figura 7-31 – Sedimentador N°2, costado sur bodega Anglo American I 89

Figura 7-32 – Sedimentador N°2, costado sur bodega Anglo American I 90

Figura 7-33 – Solución propuesta sector poniente, Bodega Anglo American I 90

Figura 7-34 – Solución propuesta Bodega Anglo II. 92

Figura 7-35 – Sub áreas de drenaje Bodega Anglo American II..... 92

Figura 7-36 – Superficies de pavimentos críticos..... 93

Figura 7-37 – Deterioro de pavimento sector norporiente Bodega Andina, vista poniente. ... 93

Figura 7-38 – Deterioro de pavimento sector poniente Bodega Andina, vista norte. 93

Figura 7-39 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica..... 95

Figura 7-40 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica..... 95

Figura 7-41 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica..... 96

Figura 7-42 – Subdivisión de áreas por etapas constructivas..... 101

Figura 7-43 – Programa tentativo de obras para la Etapa 1, 50 días de ejecución. 103

Figura 7-44– Programa tentativo de obras para la Etapa 2, 54 días de ejecución. 103

Figura 7-45– Programa tentativo de obras para la Etapa 3, 64 días de ejecución. 104

Figura 7-46 – Zonas de intervención críticas durante la ejecución de obras. 106

Figura 7-47 – Zona N°1 de intervención crítica, silos de carga Melón. 107

Figura 7-48 – Carriles de circulación de camiones en sector silos de carga Melón..... 107

Figura 7-49 – Zona N°2 de intervención crítica, sector nororiente Bodega Andina. 107

Figura 7-50 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°2. 107

Figura 7-51 – Zona N°3 de intervención crítica, sector suroriente Bodega Andina..... 108

Figura 7-52 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°3. 108

Figura 7-53 – Zona N°4 de intervención crítica, sector norponiente Bodega Andina..... 108

Figura 7-54 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°4. 108

Figura 7-55 – Zona N°5 de intervención crítica, sector sur poniente Bodega Andina..... 109

Figura 7-56 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°5. 109

Figura 7-57 – Zona N°6 de intervención crítica, sector surponiente Bodega Anglo American I. 109

Figura 7-58 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°6. 109

Figura 7-59 – Remoción de sedimentos sumidero existente, inspección y mantención preventiva de obras. 110

Figura 7-60 – Remoción de basuras y escombros en sumidero existente, inspección y mantención preventiva de obras. 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 – Concentraciones permisibles de contaminantes según Normas de Emisión a cuerpos de Agua (D.S. N°90/2000, 2001) y Norma Chilena de Agua Potable (Nch 409/1 Of.84) 27

Tabla 4-2 – Concentraciones permisibles de contaminantes según Normas de Emisión a cuerpos de Agua (D.S. N°90/2000, 2001) y Norma Chilena de Agua Potable (Nch 409/1 Of.84) 28

Tabla 4-3 – Valores establecidos por la Norma de Emisión de Aguas Subterráneas (D.S. N°46, 2003) 29

Tabla 5-1 – Matriz comparativa de estudios preliminares de aguas lluvias en PVSA. 37

Tabla 5-2 – Matriz comparativa de estudios preliminares de aguas lluvias en PVSA. 38

Tabla 6-1 – Superficie total de áreas aportantes 39

Tabla 6-3 – Tabla resumen de áreas aportantes y caudales de tratamiento de la planta de aguas lluvias. 59

Tabla 7-1 – Tabla resumen de precipitaciones diaria máxima anual según diversos estudios y criterios. 62

Tabla 7-2– Coeficientes de duración entre 1 y 24 horas para la estación de Valparaíso. 63

Tabla 7-3– Coeficientes de frecuencia entre T=2 años y T=100 años para la estación de Valparaíso. 63

Tabla 7-4 – Coeficientes de duración de Bell, entre 5 y 60 minutos para la estación de Valparaíso. 64

Tabla 7-5 – Coeficientes de frecuencia de Bell entre T=2 años y T=100 años para la estación de Valparaíso 64

Tabla 7-6 – Determinación de familia de curvas IDF [mm/hr] para una duración comprendida entre 5 min y 24 hrs. 65

Tabla 7-7 – Coeficientes de escorrentía para zonas urbanizadas (MINVU, 2005) 67

Tabla 7-8 – Coeficientes de escorrentía más frecuentes en el terminal Costa, PVSA. 67

Tabla 7-9 – Superficies aportantes y caudales máximos de diseño para un tiempo de concentración de 10 min y período de retorno de 2 y 10 años. 68

Tabla 7-10 – Dimensionamiento de canales Norte Melón 71
Tabla 7-11 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°1 73
Tabla 7-12 – Dimensionamiento de Sedimentador N°1 74
Tabla 7-13 – Dimensionamiento de canal Poniente Melón 74
Tabla 7-14 – Dimensionamiento de tuberías Bodega La Greda 76
Tabla 7-15 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina Norte 77
Tabla 7-16 – Dimensionamiento de tuberías Andina Norte 77
Tabla 7-17 – Dimensionamiento de canal de piso C4, Andina Norte 79
Tabla 7-18 – Dimensionamiento de tuberías Andina Norte 79
Tabla 7-19 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina oriente 81
Tabla 7-20 – Dimensionamiento de tuberías Andina oriente 81
Tabla 7-21 – Dimensionamiento de canales de piso, Andina Oriente 82
Tabla 7-22 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina sur 83
Tabla 7-23 – Dimensionamiento de tuberías Andina sur 83
Tabla 7-24 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina poniente 84
Tabla 7-25 – Dimensionamiento de tuberías Andina poniente 85
Tabla 7-26 – Dimensionamiento de canales de piso, Andina poniente 85
Tabla 7-27 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina poniente 86
Tabla 7-28 – Dimensionamiento de tuberías Bodega Anglo I 88
Tabla 7-29 – Dimensionamiento de canales de piso, Bodega Anglo I 89
Tabla 7-30 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°2 91
Tabla 7-31 – Dimensionamiento de Sedimentador N°2 91
Tabla 7-32 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°3 92
Tabla 7-33 – Tabla resumen, presupuesto estimativo de obras, incluyendo obras de pavimentación - noviembre 2017. 97
Tabla 7-34 – Tabla resumen, presupuesto estimativo de obras, no incluye obras de pavimentación - noviembre 2017. 98
Tabla 7-35 – Tabla resumen, valor unitario de obras. 99
Tabla 7-36 – Resumen de costos, solución propuesta v/s aumento de la capacidad planta de tratamiento. 100
Tabla 7-37 – Subdivisión de áreas por etapas constructivas 101
Tabla 7-38 – Resumen de costos, presupuesto estimativo de obras por etapas constructivas. 102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1 – Caudal instantáneo máximo establecido según el método racional 25
Ecuación 7-1 – Precipitación con periodo de retorno de T años y duración t horas 62
Ecuación 7-2 – Intensidad de la lluvia de duración t horas 63
Ecuación 7-3 – Coeficiente de frecuencia de Bell para 2<T<100 años. 63
Ecuación 7-4 – Coeficiente de duración de Bell para 5<t<60 minutos. 64
Ecuación 7-5 – Caudal máximo aportante 66

CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN DE LA MEMORIA

1.1 INTRODUCCIÓN

Puerto Ventanas S.A. posee diversas instalaciones operativas destinadas al almacenaje y transporte de gráneles, dentro de las instalaciones principales destacan bodegas para el almacenaje de concentrado de cobre y concentrados varios, domo de almacenaje de clinker, una cancha de acopio de Petcoke, bodegas de granos limpios, patio descubierto para cargas generales, un aciducto y el muelle de embarque y desembarque.

El sector en donde se emplazan las bodegas de concentrado de cobre y concentrados varios junto al domo de Clinker, se denomina Terminal Costa, en este lugar en época invernal se presencian importantes inundaciones producto de las lluvias, estas inundaciones se originan mayoritariamente por la inoperancia de una red de saneamiento que permita colectar y evacuar las aguas caídas, acumulándose así en los lugares de tránsito y en torno a bodegas e infraestructura operacional en general.

Cabe destacar que el sector en estudio cuenta con una red de saneamiento establecida, pero esta fue construida en base a un diseño con un número acotado de instalaciones y zonas impermeables, por lo tanto, actualmente el diseño de esta red de saneamiento está obsoleto y necesita contemplarse un mejoramiento que permita la correcta evacuación de las aguas lluvias. Junto a la capacidad limitada del sistema de saneamiento, se suma la falta de mantención que reciben las obras de aguas lluvias, observándose colmatación y embanque en sumideros, rejillas en mal estado, embanque de canales y obstrucción de tuberías.

Por otro lado, parte de las aguas lluvias se conducen a una planta de tratamiento para ser clarificadas y posteriormente ser evacuadas al mar, previo a la evacuación, la planta tiene por objetivo eliminar los metales, sólidos suspendidos y todo aquel residuo que sobrepase a los límites normados para la evacuación de aguas lluvias hacia el mar según el DS 90/00, por el hecho de que la escorrentía producida puede arrastrar residuos industriales y material particulado en reposo. No obstante, la capacidad de tratamiento de esta planta es limitada e inferior a la requerida, lo que ha derivado en la paralización operativa de la misma, así como en inundaciones en sus inmediaciones.

Considerando que la planta de tratamiento no da abasto actualmente, pese a que el sistema de drenaje cubre una pequeña porción del sector en estudio, la conexión y saneamiento de otras áreas aportantes implicaría una mayor carga para la planta, por tanto existen tres escenarios posibles para solucionar esta problemática, en primer lugar el almacenamiento temporal de las aguas captada para dosificar el volumen de control a tratar, en segundo lugar la infiltración al subsuelo de una fracción del agua conducida y en tercer lugar la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento.

En base a los antecedentes y estudios preliminares de aguas lluvias realizados en Puerto Ventanas es que se realizarán obras de drenaje en conjunto con obras de reposición de pavimento, cumpliendo los criterios básicos de diseño que obedecen a las necesidades de la empresa y tienen que ver con una solución que permita realizar mantenciones de forma periódica y de forma accesible a la red, con el propósito de tener obras de saneamiento funcionales, capaces de conservar y prolongar la vida útil de pavimentos, fundaciones, muros, pilotes, entre otros elementos constructivos de la infraestructura portuaria.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivos generales

- Proponer soluciones técnicas y económicamente factibles para el mejoramiento del sistema de saneamiento de aguas lluvias en el Terminal Costa, Puerto Ventanas.
- Generar un plan integrado de ejecución, operación y mantención de aguas lluvias en el Terminal Costa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar los estudios y catastros a la infraestructura existente del sistema de saneamiento de aguas lluvias en Puerto Ventanas para reconocer deficiencias.
- Realizar un estudio hidrológico actualizado en base a estadísticas pluviales de la Estación Meteorológica Principal de Puchuncaví y la estación de la base aérea de Quintero durante el período 1966 - 2015.
- Realización del diseño constructivo integro de la red de saneamiento de aguas lluvias.
- Proponer el sistema de mejoramiento por etapas según las zonas con mayor conflicto, que permitan la continuidad operacional tratando de minimizar el impacto del desarrollo del proyecto de las obras en construcción.
- Proponer un plan de mantención para la operación continua de la red existente y la nueva red de saneamiento a diseñar.
- Proponer plan de mejoras de pavimento portuario con obras de saneamiento.

1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

En el presente estudio se presenta la generación de un Plan Integrado de Aguas lluvias que permita cubrir de manera adecuada las inmediaciones de bodegas, áreas de tránsito e infraestructura operacional en terrenos de PVSA, en el sector Terminal Costa. El alcance del estudio abarca la solución de colección, conducción y evacuación de las aguas lluvias, aguas arriba de la planta de tratamiento existente.

El trabajo contempla un análisis preliminar del catastro de la infraestructura existente, para determinar las obras en desuso, colmatadas y fuera de funcionamiento, las cuales serán evaluadas para rehabilitarlas o utilizarlas como trazado guía para construir las nuevas obras, con el propósito de que al momento de realizar las excavaciones se minimice el encuentro con interferencias del tipo eléctrica, gas, sanitaria, agua potable, aire comprimido o alguna otra canalización no identificada.

Posterior al catastro se realiza la identificación de problemáticas y deficiencias por sectores para proponer soluciones técnicas y económicamente factibles a las insuficiencias que presenta el drenaje del Terminal Costa, con las soluciones propuestas se realizan un presupuesto estimativo de obras y determinación de plazos de la obra abordada en su totalidad como también en etapas; además se realiza un análisis comparativo con la opción del aumento de la capacidad de la planta de tratamiento.

1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

- ***Capítulo 1: Definición de la memoria***

Se introduce al lector al tema, entregando un enfoque amplio del trabajo realizado, posteriormente se exponen los objetivos generales y específicos del estudio junto al alcance del proyecto.

- ***Capítulo 2: Presentación de la empresa***

Se describe la empresa en términos amplios, con el propósito de situar al lector en las instalaciones, terminales terrestres y marítimos que se mencionan a lo largo del estudio.

Además, se pretende dar a conocer una serie de datos relevantes que generarán una atmosfera que permite adentrar al lector al funcionamiento operativo de la empresa.

- ***Capítulo 3: Marco teórico***

Se expone en este capítulo el concepto de las aguas lluvias y el drenaje urbano, luego se referencia la importancia de la hidrología como la ciencia que estudia el agua y específicamente el comportamiento de las aguas lluvias como escurrimiento para la base del diseño de sistemas de drenaje; posteriormente se exponen las últimas investigaciones y métodos aplicables al manejo de las aguas lluvias, para finalmente involucrar las normativas ambientales vigentes en la legislación chilena que regulan las emisiones en cuerpos receptores de agua.

- ***Capítulo 4: Antecedentes generales***

Se precisa realizar una descripción general del lugar y especifica del proyecto, junto a la caracterización del suelo y topografía.

- ***Capítulo 5: Estudios existentes***

Se presentan en este capítulo los tres estudios principales que representan soluciones históricas que se han propuesto en las instalaciones de PVSA.

- ***Capítulo 6: Descripción y situación actual***

En este acápite se presentan la subdivisión de áreas aportantes y la problemática actual en el terminal, sectorizado por las principales bodegas e infraestructura operacional.

- ***Capítulo 7: Desarrollo del tema***

En este capítulo se concentra el cuerpo del trabajo, en él se presenta la determinación de caudales de diseño, con estos datos se da paso a la determinación de alternativas y plan de solución tanto de obras de drenaje como pavimentos portuarios, a continuación se desglosan los costos estimativos de la totalidad del proyecto, como de las obras separadas por etapas

constructivas; posteriormente se expone el plan de intervención y mitigación del impacto vial y el plan de conservación / mantención de obras de saneamiento.

- ***Capítulo 8: Conclusiones***

Se exponen las principales conclusiones obtenidas del estudio en cuestión basándose en el cumplimiento de objetivos propuestos, para ello se genera una síntesis global del trabajo.

- ***Capítulo 9: Recomendaciones***

En este capítulo se exponen recomendaciones recogidas a lo largo del desarrollo del trabajo y que pueden presentar mejoras en el proyecto propuesto.

- ***Capítulo 10: Bibliografía***

Se presentan los diferentes textos de apoyo para la elaboración de este estudio.

- ***Capítulo 11: Glosario***

Se exponen las definiciones de términos y siglas que son claves para comprender el cuerpo del trabajo.

- ***Capítulo 12: Anexos***

Se exponen los distintos documentos que complementan el proyecto principal.

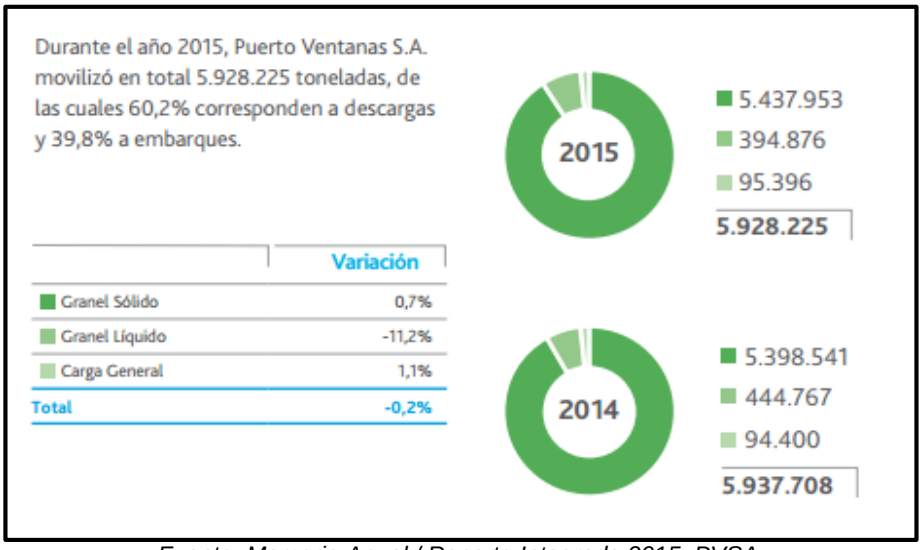
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

2.1 DATOS GENERALES

Puerto Ventanas S.A., del Grupo Sigdo Kopper, es un puerto privado de uso público emplazado en la bahía de Quintero, comuna de Puchuncaví, cuya política es ofrecer a sus clientes un servicio integral de carga y descarga de gráneles sólidos, gráneles líquidos y en menor escala carga general.

La empresa se ha especializado en el manejo de gráneles sólidos, concentrando a diciembre de 2015 el 61% de participación de mercado del total de gráneles sólidos en los puertos de la V Región, para ello cuenta con sistemas mecanizados que permiten rendimientos de carga y descarga según el sitio de atraque de hasta 18.000 $[ton/día]$ ≈ 750 $[ton/hr]$.

Figura 2-1 – Composición de la carga movilizada en toneladas



Fuente: Memoria Anual / Reporte Integrado 2015, PVSA.

Puerto Ventanas cuenta en la actualidad con cuatro sitios de atraque habilitados, los que permiten la carga y descarga de naves de hasta 70.000 $[ton]$ y 14,3 $[m]$ de calado. Además, cuenta con instalaciones terrestres necesarias para el almacenaje y manipulación de la carga movilizada. Posee terrenos con una superficie total de 218 $[ha]$, de las cuales aproximadamente el 84% está disponible para nuevos negocios o ampliación de los negocios actuales.

De manera simultánea al negocio portuario, la empresa tiene inversiones en Ferrocarril del Pacífico S.A. (FEPASA) con el 51,82% de la propiedad, permitiendo tener control del negocio de la compañía líder en transporte de carga ferroviaria.

2.2 VISIÓN

Ser reconocidos como la mejor empresa portuaria en materia de servicios, y como referentes en la búsqueda continua del desarrollo sustentable; económico, ambiental y social, permitiendo el crecimiento de manera sostenible.

2.3 MISIÓN

Contribuir al progreso sustentable de Chile, entregando a los clientes alta calidad en los servicios portuarios, generando valor y oportunidades de desarrollo a la comunidad, accionistas, proveedores y colaboradores.

2.4 VALORES Y PRINCIPIOS CORPORATIVOS

El principal compromiso es utilizar responsablemente el recurso marítimo y la zona costera en donde se emplaza el Puerto, procurando favorecer el desarrollo sostenible, el medio ambiente y los actores involucrados en el negocio.

Los principios que guían el actuar de la compañía son: participación, transparencia, valor compartido, respeto a los derechos humanos y a los marcos legales aplicables a la actividad.

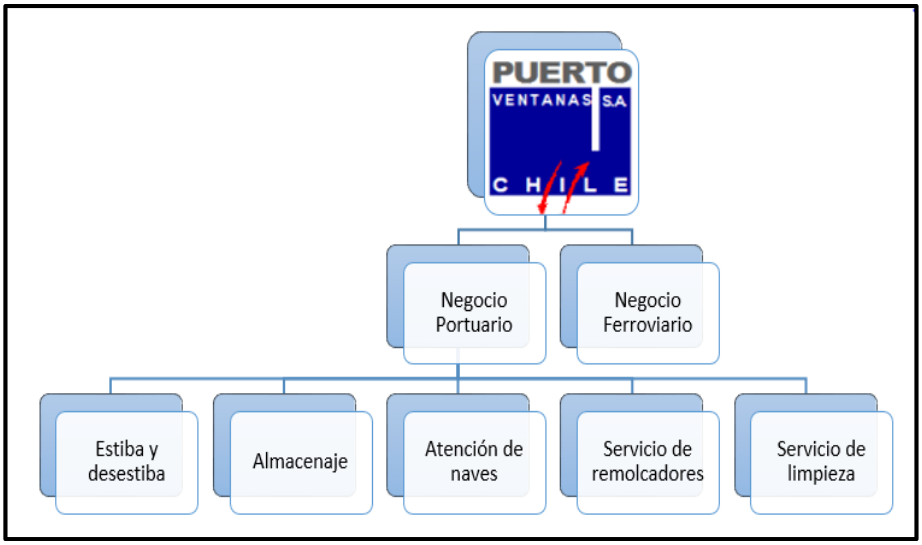
Con cada uno de los grupos de interés se busca generar una colaboración a largo plazo, inspirada en los valores y principios. Los compromisos de la empresa se establecen con colaboradores, accionistas, comunidad, clientes, proveedores y medioambiente.

2.5 ÁREAS DE NEGOCIOS

Puerto Ventanas S.A. cuenta con un modelo de negocios en el que ha volcado sus competencias industriales, tecnológicas y comerciales.

Sus actividades están centradas en la transferencia de gráneles, incluyendo la estiba y desestiba de naves y el almacenamiento de la carga en caso de requerirse.

Figura 2-2 – Esquema conceptual de las áreas de negocio de PVSA.



Fuente: Elaboración propia.

2.6 INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO

2.6.1 Instalaciones Marítimas

El Puerto cuenta en la actualidad con un muelle, el cual posee cuatro sitios de atraque habilitados, los que permiten la carga y descarga de naves de hasta 70.000 $[ton]$, 14,3 $[m]$ de calado y 245 $[m]$ de eslora.

Figura 2-3 – Características operacionales y equipamiento de los sitios de atraque de PVSA.

Fuente: Memoria Anual / Reporte Integrado 2015, PVSA.

2.6.2 Instalaciones Terrestres

En conjunto a las instalaciones marítimas, Puerto Ventanas cuenta con tres terminales terrestres necesarios para el transporte, almacenaje y manipulación de la carga movilizada; estos son: Terminal Costa, Terminal de Granos Limpios y Terminal de Petcoke.

Figura 2-4 – Emplazamiento de los terminales terrestres de PVSA.

Fuente: Google Earth, 2016.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 LAS AGUAS LLUVIAS Y EL DRENAJE URBANO

Las aguas lluvias son una manifestación del ciclo hidrológico, y por lo tanto, corresponden a una expresión del recurso hídrico. Sin lugar a duda, la intervención humana materializada en nuevas edificaciones, generan un gran impacto sobre las cuencas naturales. Las zonas urbanas, entiéndase como el área en la que funciona fundamentalmente la industria y los servicios, desde el punto de vista de la hidrología se traducen en cambios de uso de suelo masivos que afectan significativamente los procesos del ciclo hidrológico, el balance hídrico en general, y la calidad de las aguas.

La impermeabilización de los suelos propia del desarrollo urbano significa una pérdida de la capacidad natural de infiltración, del almacenamiento sub superficial y la evapotranspiración, siendo estos procesos reemplazados por una mayor generación de escorrentía directa superficial. Estos cambios, junto con la construcción de una red de drenaje artificial superficial y sub superficial, alteran tanto la hidrología local como el régimen de caudales, los que se manifiesta en mayores volúmenes escurridos, mayores caudales y tiempos de respuestas más cortos. Esta alteración de las condiciones naturales no sólo genera eventos de inundación, sino que también se traducen en impactos radicales, pero más silenciosos, sobre los cursos y cuerpos de aguas receptores, su estabilidad geomorfológica y los ecosistemas que en ellos se desarrollan.

3.2 HIDROLOGÍA EN EL DRENAJE URBANO

La hidrología estudia el comportamiento del agua en la naturaleza. Desde el punto de vista del drenaje urbano de aguas lluvias, o de las aguas generadas directamente por las precipitaciones una vez que estas alcanzan el suelo, el conocer el comportamiento de ellas es esencial, ya que constituyen la demanda básica del sistema. Por otra parte, el entender como estas aguas lluvias se transforman en escurrimiento superficial, es básico para el dimensionamiento del sistema de drenaje. Estos dos aspectos se analizan a continuación, con énfasis en una mirada cuantitativa para que sirva en la planificación, el diseño, dimensionamiento y la operación de las obras.

Las precipitaciones, expresadas como altura de agua, se miden en forma continua o esporádica llevando registros continuos de la precipitación acumulada en función del tiempo. Estos registros se recogen en pluviómetros que miden la lluvia acumulada de manera análoga o digital.

Las características principales de un evento de precipitación, desde la perspectiva de usar la información para diseñar sistemas de drenaje urbano, son su duración, magnitud total, variación de la intensidad en el tiempo, hietograma de diseño, variación de la lluvia en el espacio y probabilidad de ocurrencia. En un registro de precipitaciones en el tiempo una tormenta puede observarse ya sea con un gráfico de intensidad para cada intervalo de tiempo, o de precipitación acumulada en función del tiempo.

Una manera de resumir y caracterizar el comportamiento de las precipitaciones es mediante las relaciones entre sus propiedades, en particular entre Intensidad, Duración y Frecuencia. Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída.

Para la estimación de la oferta hídrica existen métodos directos e indirectos para llegar a definir un caudal de diseño para una obra de drenaje urbano, los cuales son más o menos pertinentes en distintas situaciones, dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca. Todos ellos tienen un cierto grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

Del abanico de procedimientos existentes, el método racional desarrollado por Mulvaney a mediados del siglo XIX determina el caudal instantáneo máximo de descarga en una cuenca hidrográfica, razón por la cual se ha convertido en el modelo hidrológico más simple y usado para diseños de drenaje urbano. Este método considera la cuenca total como una superficie única y uniforme en tiempo y espacio, con un tamaño igual al área de la cuenca; sin embargo es apropiado para ser usado en áreas pequeñas ($< 50[ha]$), preferentemente impermeables.

Básicamente, el método racional se encuentra establecido a través de la ecuación universal

$$Q = C * I * A$$

Ecuación 3-1 – Caudal instantáneo máximo establecido según el método racional

Donde Q es el caudal máximo, C el coeficiente de escorrentía, I la intensidad de lluvia y A, el área de la cuenca.

3.3 TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE URBANO

El problema de las aguas lluvias en zonas urbanas tradicionalmente se ha enfrentado de manera de drenar y evacuar rápidamente los posibles excesos conduciéndolos mediante redes de colectores hacia el cauce natural más cercano. Recientemente se han planteado algunas observaciones ambientales a este esquema debido a los impactos que esta práctica produce en el sistema natural de drenaje hacia aguas abajo de los lugares de descarga, fundamentalmente en relación al incremento de los riesgos de inundación y el aumento de erosión y sedimentación en los cauces. Adicionalmente también se cuestiona que el enfoque tradicional afecta el balance hídrico natural, causa efectos de choque por la descarga concentrada de contaminantes, o contribuye al mal funcionamiento de unidades de tratamiento en el caso de sistemas que reciben flujos contaminados de aguas servidas y aguas lluvias. En respuesta a estos problemas algunas comunidades han propuesto un tratamiento distinto basado en la disposición local, más cerca de las fuentes de las aguas lluvias. Eso se logra infiltrando total o parcialmente las aguas lluvias, o almacenándolas para evacuarlas con posterioridad a las tormentas de manera de disminuir el volumen y los gastos máximos durante las tormentas. En el ambiente técnico este esquema se conoce como de control en la fuente.

Las soluciones alternativas a la evacuación directa ponen en juego almacenamientos temporales para restituir los volúmenes con gastos menores una vez que pasan los períodos críticos, o mediante la disminución de los volúmenes de escurrimiento por medio de la infiltración en el suelo. Para presentarlas de manera ordenada y sistemática, se clasifican de acuerdo a la forma en que actúan sobre el escurrimiento, ya sea mediante almacenamiento o infiltración o una combinación de ellos. En ambos tipos de soluciones se puede optar por alternativas que actúan de manera más o menos difusa o por otras que lo hacen claramente localizadas.

a. Almacenamiento de aguas lluvias. Tienen por objeto diferir en el tiempo la alimentación de aguas lluvias hacia las redes de drenaje o los cauces receptores. Su principal efecto

consiste en disminuir el valor de los gastos máximos a evacuar sin que necesariamente afecten el volumen total escurrido. En esta categoría se incluyen almacenamientos difusos y localizados de las más variadas geometrías.

b. Infiltración de aguas lluvias. Conduce a una disminución de los gastos máximos y de los volúmenes a evacuar. También se considera que disminuyen la carga de contaminantes que llega a los cauces superficiales al quedar retenidos en el suelo o atrapados al infiltrarse parte importante de ellos. La respuesta de estos dispositivos puede variar enormemente dependiendo del grado de saturación de los suelos involucrados. La capacidad del suelo para absorber aguas lluvias depende, entre otros factores, de la cubierta vegetal, el tipo y condiciones del suelo, las características del acuífero en el lugar y la calidad de las aguas lluvias. Los dispositivos de este tipo también pueden clasificarse como concentrados o difusos.
c. Combinaciones de almacenamiento e infiltración. Corresponden a combinaciones de las obras mencionadas en los párrafos anteriores las cuales se diseñan de manera de lograr una disminución de los caudales máximos por retención y una disminución de los volúmenes mediante infiltración. En general en las obras alternativas de drenaje se trata de lograr una adecuada combinación de ambos efectos, por lo tanto, este tipo de soluciones son las más favorecidas.

3.4 NORMATIVA PARA LA DESCARGA DE CONTAMINANTES DE AGUAS LLUVIAS

La contaminación de las aguas lluvias urbanas tiene cada vez mayor importancia en la medida que se solucionan otros problemas de contaminación más graves, como por ejemplo, los de aguas servidas y descargas industriales. De todos modos, el impacto del escurrimiento urbano de las grandes ciudades sobre los cuerpos de agua receptores, como acuíferos, ríos, lagos o la costa, puede ser eventualmente significativo.

En Chile las aguas lluvias no son consideradas como residuos líquidos para efectos de las descargas en cuerpos receptores, las que están reguladas en base a las siguientes normas:

- Decreto 90, 7 de marzo de 2001, Establece Norma de Emisión Para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. (D.S. N°90/2000, 2001).
- Decreto 46, 17 de enero de 2003, Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (D.S. N°46, 2003).
- Decreto 609, 8 de septiembre de 2004, Establece Norma de Emisión Para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado (D.S. N°609, 2004).

La tabla que se expone a continuación resume los principales parámetros y límites de concentraciones permisibles de contaminantes para la emisión a cuerpos de agua, decreto 90 (D.S. N°90/2000, 2001), y la norma de agua potable (NCh 409/1 Of.84) como referencia.

Tabla 3-1 – Concentraciones permisibles de contaminantes según Normas de Emisión a cuerpos de Agua (D.S. N°90/2000, 2001) y Norma Chilena de Agua Potable (Nch 409/1 Of.84)

Parámetro	Unidad	Cuerpos de Agua Fluviales	Cuerpos de Agua Lacustres	Cuerpos de Agua Marinos Dentro de la Zona de Protección Litoral	Cuerpos de Agua Marinos Fuera de la Zona de Protección Litoral	Infiltración a Aguas Subterráneas Acuíferos Vulnerabilidad		Agua Potable
						Media	Baja	
Aceites y Grasas	mg/L	20,00	20,00	20,00	350,00	10,0	10,0	
Aluminio	mg/L	5,00	1,00	1,00	10,00	5,0	20,0	
Amoniaco	mg/L					1,0	5,0	0,25
Arsénico	mg/L	0,50	0,10	0,20	0,50	0,01	0,01	0,05
Benceno	mg/L					0,01	0,01	
Boro	mg/L	0,75				0,75	3,0	
Cadmio	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,50	0,002	0,002	0,01
Cianuro	mg/L	0,20	0,50	0,50	1,00	0,2	0,2	0,20
Cloruros	mg/L	400,00				250,0	250,0	250,00
Cobre Total	mg/L	1,00	0,10	1,00	3,00	1,0	3,0	1,00
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/ 100 ml	1.000,00	1.000 – 70	1.000 – 70				
Cromo Hexavalente	mg/L	0,05	0,20	0,20	0,50	0,05	0,2	0,05
Cromo Total	mg/L		2,50	2,50	10,00			
DBO5	mg /L	35,00	35,00	60,00				
Estaño	mg/L		0,50	0,50	1,00			
Fluoruro	mg/L	1,50	1,00	1,50	6,00	1,5	5,0	1,50
Fósforo	mg/L	10,00	2,00	5,00				
Hidrocarburos Fijos	mg/L	10,00						
Hidrocarburos	mg/L		5,00	10,00	20,00			
Totales								
Hidrocarburos Volátiles	mg/L			1,00	2,00			
Hierro Disuelto	mg/L	5,00	2,00	10,00				
Hierro Total	mg/L					5,0	10,0	0,30
Índice de Fenol	mg/L	0,50	0,50	0,50	1,00			

Fuente: Manual de drenaje urbano, 2013.

Tabla 3-2 – Concentraciones permisibles de contaminantes según Normas de Emisión a cuerpos de Agua (D.S. N°90/2000, 2001) y Norma Chilena de Agua Potable (Nch 409/1 Of.84)

Parámetro	Unidad	Cuerpos de Agua Fluviales	Cuerpos de Agua Lacustres	Cuerpos de Agua Marinos Dentro de la Zona de Protección Litoral	Cuerpos de Agua Marinos Fuera de la Zona de Protección Litoral	Infiltración a Aguas Subterráneas Acuíferos Vulnerabilidad		Agua Potable
						Media	Baja	
Magnesio	mg/L							125,00
Manganeso	mg/L	0,30	0,50	2,00	4,00	0,5	2,0	0,10
Mercurio	mg/L	0,001	0,005	0,005	0,02	0,001	0,001	0,001
Molibdeno	mg/L	1,00	0,07	0,10	0,50	1,0	2,5	
Níquel	mg/L	0,20	0,50	2,00	4,00	0,2	0,5	
Nitrato	mg/L					10,0	15,0	10,00
Nitrito	mg/L							1,00
Nitrógeno Total*	mg/L		10,00					
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	50,00		50,00		15,0	20,0	
Pentaclorofenol	mg/L	0,009				0,009	0,009	
pH	Unidad	6,0 – 8,5	6,00 – 8,50	6,0 – 9,0	5,50 – 9,00	6–8,5	6–8,5	
Plomo	mg/L	0,05	0,20	0,20	1,00	0,05	0,05	0,05
Poder Espumógeno	mm	7,00						
SAAM	mg/L		10,00	10,00	15,00			
Selenio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Sólidos Sedimentables	m1/1/h		5,00	5,00	50,00			
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80,00	80,00	100,00	700,00			
Sulfatos	mg/L	1.000,00	1.000,00			250,0	500,0	250,00
Sulfuros	mg/L	1,00	1,00	1,00	5,00	1,0	5,0	
Temperatura	C°	35,00	30,00	30,00				
Tetracloroeteno	mg/L	0,04				0,04	0,04	
Tolueno	mg/L	0,70				0,7	0,7	
Triclorometano	mg/L	0,20				0,2	0,2	
Xileno	mg/L	0,50				0,5	0,5	
Zinc	mg/L	3,00	5,00	5,00	5,00	3,0	20,0	5,00

Fuente: Manual de drenaje urbano, 2013.

Si bien en Chile no existe una norma para la descarga de residuos líquidos a la zona no saturada, se dispone del decreto 46 (D.S. N°46, 2003), que indica la prohibición de la infiltración directa en la zona saturada, o en la zona no saturada si se ha definido el acuífero

como de vulnerabilidad alta. Para el resto de los casos (acuíferos de vulnerabilidad media y baja), se permite la infiltración de residuos líquidos en la zona no saturada cumpliendo ciertos estándares. En estos casos la norma funciona, de modo muy resumido, del siguiente modo. Se define como fuente emisora, aquellas descargas que superan en carga media diaria ciertos valores límites en cualquiera de los parámetros establecidos en la norma. A su vez se exige que la fuente emisora no sobrepase en concentración los valores máximos permitidos para un conjunto de contaminantes. Estas exigencias pueden ser distintas dependiendo si la fuente emisora está ubicada en una zona con un acuífero de vulnerabilidad media o baja. La norma establece que la vulnerabilidad del acuífero lo define la Dirección General de Aguas (DGA) a partir de un estudio de las características locales de cada fuente emisora particular.

Tabla 3-3 – Valores establecidos por la Norma de Emisión de Aguas Subterráneas (D.S. N°46, 2003)

Grupo	Contaminante	Valores característicos para definir una descarga como fuente emisora Carga Media Diaria (g/d)	Límite máximo permitido para una fuente emisora. Concentración (mg/L)	
			Acuíferos de Vulnerabilidad Media	Acuíferos de Vulnerabilidad Baja
Indicadores Físicos y Químicos	pH	-	6 – 8,5 unidades de pH	6 – 8,5 unidades de pH
Inorgánicos	Amoniaco	4,000	1,000	5,000
	Cianuros	3,200	0,200	0,200
	Cloruros	6.400,000	250,000	250,000
	Fluoruro	24,000	1,500	5,000
	Nitrato	240,000	10,000	15,000
	Sulfatos	4.800,000	250,000	500,000
	Sulfuros	48,000	1,000	5,000
Orgánicos	Aceites y Grasas	960,000	10,000	10,000
	Benceno	0,160	0,010	0,010
	Pentaclorofenol	0,144	0,009	0,009
	Tetracloroeteno	0,640	0,040	0,040
	Tolueno	11,200	0,700	0,700
	Triclorometano	3,200	0,200	0,200
	Xileno	8,000	0,500	0,500
Metales	Aluminio	16,000	5,000	20,000
	Arsénico	0,800	0,010	0,010
	Boro	12,800	0,750	3,000
	Cadmio	0,1600	0,002	0,002
	Cobre	16,000	1,000	3,000
	Cromo Hexavalente	0,800	0,050	0,200
	Fierro	16,000	5,000	10,000
	Manganeso	4,800	0,500	2,000
	Mercurio	0,020	0,001	0,001
	Molibdeno	1,120	1,000	2,500
	Níquel	1,600	0,200	0,500
	Plomo	3,200	0,050	0,050
	Selenio	0,160	0,010	0,020
	Zinc	16,000	3,000	20,000
Nutrientes	Nitrógeno Total	800,000	15,000	20,000

Fuente: Manual de drenaje urbano, 2013.

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES GENERALES

4.1 ANTECEDENTES RECOPILADOS

Para el desarrollo del presente trabajo se precisó recurrir a diversos documentos preliminares de utilidad que ha solicitado Puerto Ventanas a diversas consultoras y laboratorios para la construcción de sus instalaciones, estos antecedentes corresponden a planos y documentos de construcción de las principales bodegas del Terminal Costa, estudios de mecánicas de suelos, informes y planos de topografía, especificaciones técnicas, planos de diversas especialidades y una recopilación de otros documentos relevantes los cuales han sido consultados para la realización de este trabajo de título.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

El proyecto se emplazará al interior de Puerto Ventanas, localizado en la bahía de Quintero, Comuna de Puchuncaví, V región de Valparaíso, a 32º 47' de Latitud Sur y 71º 33' de Longitud Oeste.

Su tipo climático se clasifica como templado cálido con lluvias invernales, estación seca prolongada y gran nubosidad, que es el que se presenta en toda la costa de la región, haciéndose sentir incluso hacia el interior, a través de los valles. Este clima se caracteriza por débiles oscilaciones térmicas diarias y anuales, además de altos valores de humedad relativa y precipitaciones.

Las condiciones climáticas y ambientales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4-1 – Tabla de condiciones climáticas y ambientales del proyecto.

Tipo de clima	Mediterráneo costero	
Temperatura ambiente	Extrema registrada	33,7 (°C)
	Promedio Máximo	17,4 (°C)
	Promedio Anual	13,7 (°C)
	Mínima Registrada	-0,1 (°C)
	Máx. Variación Diario	10 (°C)
Humedad relativa	Máxima Registrada	100%
	Mínima Registrada	35%
	Promedio	86%
Precipitaciones	Mínima Anual	57 mm
	Máxima Anual	609 mm
	Máxima diaria	166,3 mm
	Período de lluvia	Abril a Octubre
Sismicidad	Las condiciones de lugar son equivalentes a las de la Zona 3 según NCh 2369	
Velocidad del viento	Según Nch 432, Of. 2010	
Elevación de la planta	6 m.s.n.m.	
Condiciones ambientales	Alta corrosión, producto de la zona marina e industrial donde se emplaza.	

Fuente: Criterios de diseño, nueva bodega de concentrados PVSA, Tractebel Engineering.

4.3 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DEL PROYECTO

La infraestructura portuaria existente cuenta con tres terminales terrestres y cuatro sitios de atraque, el área que contempla el emplazamiento de las bodegas de concentrado de cobre, concentrados varios y clinker, corresponde a uno de los tres terminales terrestres, el cual se denomina Terminal Costa, o también llamado Patio de concentrados. Este terminal se ubica inmediatamente al oriente del muelle, posee una superficie de 9,5$[ha]$ y resguarda a las bodegas de acopio de los principales gráneles sólidos que manipula el Puerto.

A modo de presentar el sector anteriormente descrito, se muestran fotografías de las instalaciones que lo conforman.

Figura 4-1 – Vista aérea de instalaciones dentro del Terminal Costa, PVSA.

Fuente: Fotografía propia (Dron DJI Phantom)

Figura 4-2 – Vista en planta de instalaciones dentro del Terminal Costa, PVSA.

Fuente: Fotografía propia (Dron DJI Phantom)

Figura 4-3 – Identificación de las principales bodegas del Terminal Costa, PVSA.

Fuente: Google Earth, 2016.

4.4 DESCRIPCIÓN DEL SUELO

Se cuenta con múltiples antecedentes de mecánica de suelos del Terminal Costa, sin embargo, el informe geotécnico de Geo Consultores destinado a caracterizar y tipificar el suelo de fundación donde se encuentra en construcción la nueva bodega de concentrado de cobre es el más representativo y con validez a la fecha.

La exploración se realizó en base a 4 sondajes de rotación con realización de ensayos de penetración estándar (SPT) en profundidad. Tres de estos ensayos fueron ejecutados por el laboratorio LEMCO entre junio y Julio del año 2014, el ensayo restante fue ejecutado por laboratorio IDEAS, el que tuvo como objetivo validar la información disponible.

A continuación, se presenta el modelo estratigráfico del sondaje.

- H-1 (0,1 – 3,75 $[m]$) Arena limosa, color café, de plasticidad nula y compacidad densa a muy densa. Presencia de gravas de tamaño máximo 11/2".

- H-2 (3,75 a 10,3 $[m]$) Arena limosa de finos no plásticos, compacidad densa. Presenta un porcentaje de finos entre 7 y 17% y clasifica según el sistema unificado como SP-SM.

- El nivel freático fue detectado a los 4,6 $[m]$ al momento de la exploración (03/12/2014 - 04/12/2014).

Figura 4-4 – Ubicación sondajes LEMCO

Fuente: Informe geotécnico Geoconsultores, 2014.

Figura 4-5 – Ubicación sondaje IDEAS

Fuente: Informe geotécnico Geoconsultores, 2014.

En lo que respecta a la permeabilidad del subsuelo (tasa de flujo o drenaje de agua a través del estrato), para uno del tipo arenoso fino, se tiene de la literatura hidráulica especializada que el coeficiente de permeabilidad K o coeficiente de Darcy corresponde aprox. a $10^{-2}[cm/s]$, 360 $[mm/hr]$.

Por otro lado, en el estudio de "Evacuación Aguas Lluvia Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas (2006)", se utiliza un valor de 150 $[mm/hr]$ para este coeficiente, siendo este valor muy conservativo en comparación con el teórico.

En base a antecedentes de un ensayo Porchet efectuado el año 2010 por el Laboratorio de Viña del Mar se observa que el material es 100% permeable ya que absorbe toda el agua antes de llegar a la lectura, por tanto el criterio a emplear en este informe será una ponderación conservativa entre los dos valores anteriormente expuestos igual a **210** $[\boldsymbol{mm/hr}]$.

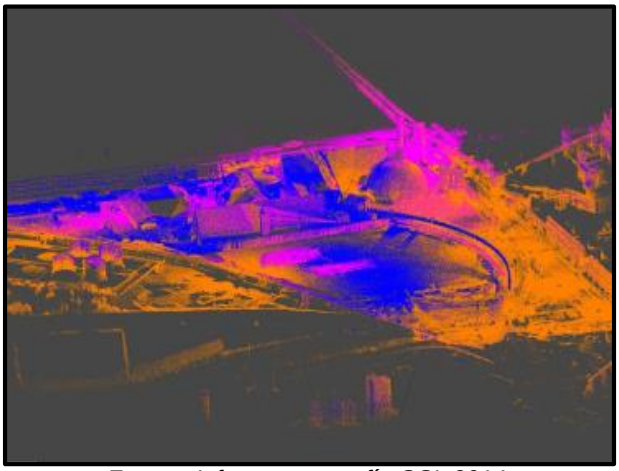
4.5 TOPOGRAFÍA

Se cuenta con un levantamiento destinado a proporcionar la información base para el diseño de una solución para la descarga de aguas lluvias, el levantamiento incluye un informe de geomensura y un plano topográfico, los documentos fueron elaborados por Geomar Ingeniería y solicitado por GSI Ingenieros consultores al momento de realizar el catastro de la infraestructura de drenaje en el año 2014.

La planimetría del sector fue levantada con GPS geodésico doble frecuencia, los vértices base para el levantamiento fueron generados en el apoyo geodésico siendo sus coordenadas las planas definidas por trilateración y la cota NRS definida mediante nivelación.

La definición del relieve topográfico fue obtenida mediante un escaneo realizado con un scanner terrestre láser de alto desempeño y de alta velocidad en el levantamiento de puntos usando un delgado rayo láser infrarrojo junto con un rápido mecanismo de escaneo.

Figura 4-6 – Imagen 3D de escáner laser.



Fuente: Informe topografía GSI, 2014.

Figura 4-7 – Scanner terrestre láser RIEGL VZ-400

Fuente: Informe topografía GSI, 2014.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Riscan Pro el cual permite generar una nube de puntos geo referenciada en 3D. Esta información fue exportada al Software Real Work con el cual se generó la selección de puntos que se representaron en el plano y los cuales serán utilizados para el diseño constructivo de las obras propuestas en este trabajo de título.

CAPÍTULO 5. ESTUDIOS EXISTENTES

5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A la fecha se han realizado tres estudios relacionados a la colección, conducción y evacuación de las aguas lluvias en terrenos de Puerto Ventanas, estos estudios han sido realizados por diversas consultoras de ingeniería que desde el año 2006 han elaborado estudios de utilidad para el manejo de las aguas lluvias.

El primer estudio relevante con el cual se cuenta data del año 2006 y se denomina “Evacuación Aguas Lluvia Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas” el cual corresponde a una memoria de cálculo y un conjunto de planos realizado por el ingeniero Christian Montenegro Araya, este estudio tiene por objeto mejorar el sistema de evacuación de aguas lluvias, tanto para obras existentes como futuras, a modo de que el sistema actúe de manera adecuada.

El segundo estudio con el que se cuenta data del año 2012 y corresponde a una reevaluación por parte del ingeniero Miguel Abumohor Diban del proyecto de ingeniería descrito anteriormente, realizado el año 2006, dado que las condiciones en terreno sufrieron modificaciones, por la existencia de nuevas construcciones como la bodega Angloamerican II o nuevas obras de pavimentación, entre otras. Se ha considerado también la poca mantención que se especificó en dicho informe, por lo cual el criterio base para enfrentar la nueva evaluación tiende a diseñar obras que requieran mínima y fácil mantención, recuperando y manteniendo las obras de aguas lluvias existentes.

El tercer estudio se remonta a noviembre del año 2014 a cargo de GSI Ingeniería, en él se presenta la generación de un Plan Maestro de Aguas Lluvias a nivel de ingeniería conceptual que incluye el catastro, topografía y diagnóstico de la situación actual, así como las obras requeridas para dar cobertura total al saneamiento del área utilizada, tanto para la situación de ocupación actual como futura; conjuntamente se genera un presupuesto y recomendaciones asociado a las obras propuestas. Este trabajo corresponde al más acabado y relevante a la fecha ya que el catastro realizado por la consultora es de gran utilidad para comprender todo el sistema de drenaje actual.

A continuación, se expone una matriz comparativa de los tres principales estudios mencionados anteriormente, esta matriz muestra una división por sectores de estudio orientadas a las principales instalaciones, para cada sector se detecta la problemática que existía en la fecha del estudio y la solución constructiva general que se proyecta para el manejo del agua lluvia por sector.

Tabla 5-1 – Matriz comparativa de estudios preliminares de aguas lluvias en PVSA.

Título	*(2006) Evacuación Aguas Lluvias Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas*		*(2012) Evacuación Aguas Lluvias Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas - Reevaluación*		*(2014) Ingeniería conceptual Plan Maestro de Aguas Lluvias Instalaciones PVSA*	
Autor	Christian Montenegro Araya		Miguel Abumohor Diban		GSI Ingeniería	
Sector en estudio	**Problemática**	**Solución constructiva**	**Problemática**	**Solución constructiva**	**Problemática**	**Solución constructiva**
Domo Melón	Canaleta de piso de hormigón con rejilla colmatada (inoperatividad total).	Mantención de canaleta de HA con rejilla, construcción de badenes, sumideros, sedimentadores y zanjas de infiltración con tuberías de reparto.	Sector norte: sumideros colmatados (inoperatividad total).	Construcción de canaletas de HA con rejilla, tuberías de HDPE, conexión a sumidero existente, disposición final a planta de tratamiento.	Sector norte: batería de sumideros embancados con clinker y rejilla deteriorada; produciendo inundación del sector.	Sector norte: construcción de canaleta HA con rejilla, sumideros, cámaras, tuberías de PVC y acumulación en estanque V1=2200[m3].
			Sector oriente: canaleta de piso de hormigón con rejilla colmatada (inoperatividad total).		Sector oriente: canaleta de piso de hormigón fuera de servicio.	Sector oriente y sur: construcción de canaleta HA con rejilla, sumideros, tuberías de PVC, conexión a sumidero existente y acumulación en estanque V2=2200[m3].
Bodega Codelco Andina	Sector norte: anegamiento en túnel de correa C3.	Mantención de sumideros, canaletas y bajadas de agua; construcción de nuevos sumideros, cámaras, tuberías y sistema tubería CCC - muro de boca con zampeado de piedra.	Sector Poniente: Canaleta de piso no cumple función.	Mantención de sumideros; construcción de canaleta de HA en el poniente, tuberías de HDPE, conexión a cámara decantadora existente, disposición final a planta de tratamiento.	Sector norte: canaletas, sumidero y decantador con embanque de concentrado y basura produciendo inundación del sector.	Sector norte, oriente y poniente: mantención de canaletas y sumidero, desconexión de decantador. Construcción de sumideros, tuberías de PVC, tuberías de HDPE y acumulación en estanque V1=2200[m3].
	Sector sur: canaletas y bajadas en mal estado, la evacuación se realiza a través de cámaras infiltrantes colmatadas.					Sector sur: construcción de sumideros, tuberías de PVC, conexión a cámara existente y acumulación en estanque V2=2200[m3].
Bodega Anglo American I	Sector Norte: Canaletas y bajadas en mal estado, evacuación a través de pozos infiltrantes colmatados, rebalsando al pavimento.	Mantención de canaletas y bajadas de aguas; construcción de baden, sumideros, canaleta de HA con rejilla, cámaras, tuberías de CCC, sedimentador y zanjas de infiltración con tuberías de reparto.	No se especifica	No contemplada.	No se detecta problemática, sin embargo se plantea una mejora.	Sector norte: construcción de sumideros, cámaras, tuberías de PVC y HDPE, conexión a cámara existente y acumulación en estanque V2=2200[m3].
	Sector Norponiente: Anegamiento en calle de tránsito por cota baja de terreno.					Sector sur: construcción de sumideros, cámaras, tuberías de HDPE y acumulación en estanque V2=2200[m3].
Bodega Anglo American II	A la fecha existe sólo un terreno permeable (no edificado ni pavimentado), sin embargo se propone una solución para futuro.	Construcción de canaleta de HA con rejilla, cámaras con rejilla, sedimentador y zanja de infiltración con tuberías de reparto.	No se especifica problemática, sin embargo se plantea una mejora.	Construcción de canaletas de techumbre, bajadas de aguas, sumideros, cámaras de inspección, colectores de HDPE, decantador y evacuación a través de zanja infiltrante con tuberías de reparto.	Cámaras y sumideros en buen estado, sin embargo se evidencia falta de mantención. Sedimentador presenta desborde por nula mantención, provocando socavación en pavimento adyacente.	Mantención a la red existente de sumideros y cámaras, sin embargo se desconecta sedimentador, acumulando en estanque V2=2200[m3].
Bodegas Livianas Codelco	A la fecha existe sólo un terreno permeable (no edificado), sin embargo se propone una solución para futuro.	Construcción de canaleta de HA con rejilla, cámaras, sedimentadores y zanjas de infiltración con tuberías de reparto.	No se especifica.	No contemplada.	No se especifica problemática, sin embargo se plantea una mejora.	Construcción de sumideros, cámaras, tuberías de HDPE y acumulación en estanque V3=1650[m3].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-2 – Matriz comparativa de estudios preliminares de aguas lluvias en PVSA.

Título	*(2006) Evacuación Aguas Lluvias Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas*		*(2012) Evacuación Aguas Lluvias Terminal de Concentrado de Cobre Puerto Ventanas - Reevaluación*		*(2014) Ingeniería conceptual Plan Maestro de Aguas Lluvias Instalaciones PVSA*	
Autor	Christian Montenegro Araya		Miguel Abumohor Diban		GSI Ingeniería	
Sector en estudio	**Problemática**	**Solución constructiva**	**Problemática**	**Solución constructiva**	**Problemática**	**Solución constructiva**
Bodega La Greda	No existe tal infraestructura a la fecha, sin embargo se presencia una canaleta de hormigón llena de arena y partículas finas.	Mantención de canaleta de HA con rejilla; construcción de badenes, sumideros, sedimentadores y zanjas de infiltración con tuberías de reparto.	No existe tal infraestructura a la fecha, sin embargo en la cancha de acopio existente se presencian apozamientos de las aguas lluvias.	Demolición y recarpeteo con pendientes optimas; reconstrucción de canaleta con rejilla, construcción de cámara, conexión a sumidero existente, disposición final a planta de tratamiento.	No se especifica problemática, sin embargo se plantea una mejora.	Construcción de canaleta HA con rejilla, sumideros, tuberías de PVC, conexión a sumidero existente y acumulación en estanque V2=2200[m3].
Descarga de trenes	Canaleta de piso de hormigón con rejilla colmatada de arena y partículas finas (inoperatividad parcial).	Mantención de canaleta de HA y sumideros; construcción de cámara y conexión a sumidero existente.	Inundación de foso debido a ingreso de agua por el sector oriente, canaleta de piso no cumple función.	Reconstrucción de canaleta con rejilla, construcción de cámara decantadora, conexión a sumidero existente, disposición final a planta de tratamiento.	No se especifica problemática, sin embargo se plantea una mejora.	Mantención a sumideros y cámaras, conexión a cámara existente y acumulación en estanque V2=2200[m3].
Calle de acceso principal	Canaleta de piso de hormigón con rejilla colmatada de arena y partículas finas (inoperatividad parcial).	Mantención de sumideros y canaleta de HA con rejilla; construcción de sedimentador, zanjas de infiltración con tuberías de reparto en el oriente y sistema tubería-muro de boca con zampeado de piedra en el poniente.	No se especifica.	No contemplada.	Canaletas con basura y sumideros sin conectividad a colectores, produciendo socavación con el linde de AES Gener.	Mantención a sumideros, cámaras y canaletas de HA con rejilla; construcción de sumideros, cámaras, tuberías de PVC y HDPE y acumulación en estanque V1=2200[m3].
Planta de tratamiento de aguas lluvias	No existente.	No contemplada.	No se especifica.	No contemplada.	Decantador primario sobrepasado en días de lluvia intensa, desbordándose y socavando el terreno al lado sur.	Construcción de 3 grandes estanques de almacenamiento con plantas elevadoras para contener y tratar el agua lluvia en la planta de manera parcializada.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6. DESCRIPCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

6.1 ÁREAS APORTANTES

La superficie total que ocupa el Terminal Costa abarca un área aproximada de 94.865 $[m^2]$, sin embargo para efectos de este estudio el área a sanear dentro de este terminal abarca 50.004 $[m^2]$ comprendiendo las inmediaciones de las principales bodegas, esto corresponde a aproximadamente un 53% del total de la superficie del terminal.

Utilizando el levantamiento topográfico existente, así como la configuración de la infraestructura operativa del terreno en estudio, es posible dividir la totalidad del recinto de PVSA en áreas de drenaje, en función de los puntos altos y bajos a nivel de suelo, orientación de techumbres y pendientes del terreno.

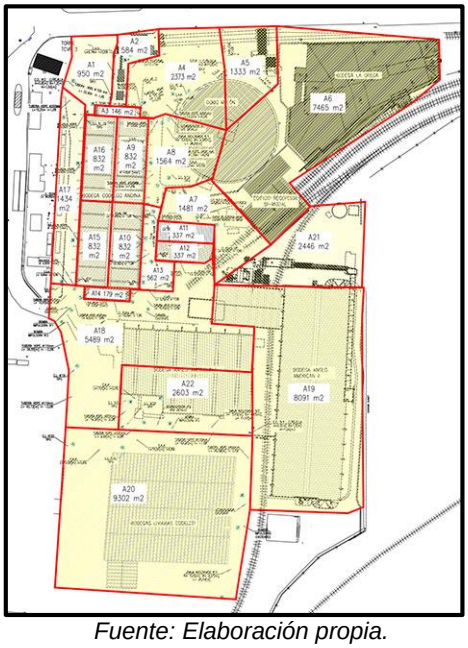
Con esto, se obtienen 2 antecedentes relevantes para el estudio:

- Esquematización de la dirección del flujo superficial del agua caída.
- Detección de zonas bajas, de potencial acumulación de aguas lluvias.

Dicha información permite determinar el área efectivamente cubierta por el sistema de aguas lluvia existente actualmente en el recinto de PVSA, además de facilitar la ubicación de nuevas obras de drenaje.

En Anexo A – Planos del Proyecto, se incluye un plano detallado con la delimitación de áreas aportantes. A continuación, se muestra un esquema general de las áreas de drenaje y la superficie de cada área delimitada.

Figura 6-1 – Subdivisión de áreas de drenaje.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-1 – Superficie total de áreas aportantes

ÁREAS APORTANTES			
#	[m2]	#	[m2]
A1	950	A12	337
A2	584	A13	562
A3	146	A14	179
A4	2.373	A15	832
A5	1.333	A16	832
A6	7.465	A17	1.434
A7	1.481	A18	5.489
A8	1.564	A19	8.091
A9	832	A20	9.302
A10	832	A21	2.446
A11	337	A22	2.603
TOTAL			**50.004**

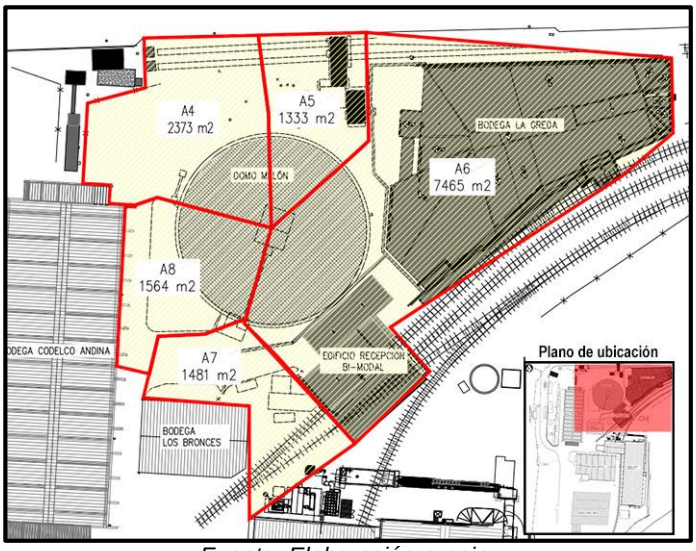
Fuente: Elaboración propia.

6.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL

Para poder describir de la mejor manera la problemática de evacuación de aguas lluvias en la planta, se precisará utilizar las principales instalaciones y sus áreas aportantes descritas anteriormente como puntos de referencia, de manera conjunta el plano del catastro de la infraestructura existente de GSI será utilizado para poder referenciar y situar al lector en los sectores a describir. Si bien el plano referenciado es del año 2014 y no aparecen todas las instalaciones actuales, representa una buena guía debido a que los elementos de drenaje no han presentado cambios.

6.2.1 Domo Melón

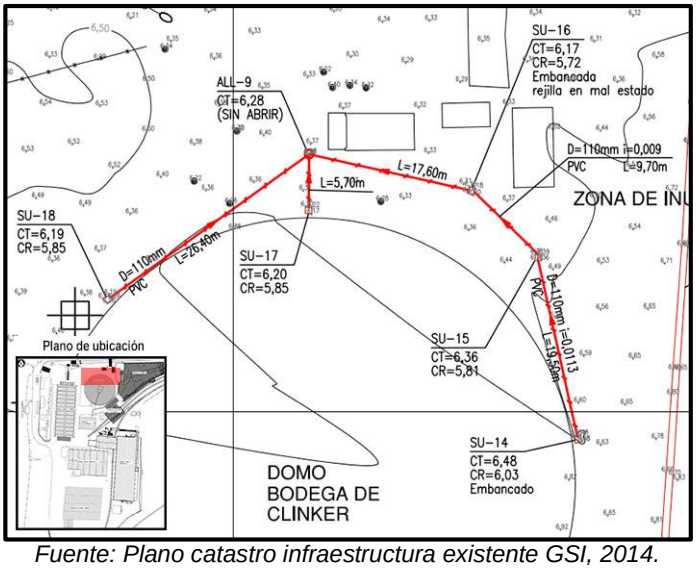
Figura 6-2 –Áreas aportantes sector Domo Melón



Fuente: Elaboración propia.

En sectores colindantes del domo Melón (**A4** y **A5**), se observa que la red del sistema de aguas lluvias corresponde a una red aislada desconectada de la planta de tratamiento, actualmente se encuentra inoperativa por el embanque de sedimentos, tanto los sumideros como las cámaras de inspección se encuentran colmatados o sellados por el óxido. Conjunto a su inoperatividad actual, esta red presenta un mal diseño intrínseco debido a que la conducción de las aguas está construida en PVC de 110 $[mm]$, diseño sub dimensionado para el volumen de escorrentía y área alimentadora captada por los sumideros del sector.

Figura 6-3 – Red aislada aguas lluvias, sector norte, domo Melón.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Análogamente el sector norte del Domo y poniente de los silos de carga de camiones (**A5**) no cuentan con una red de drenaje, al no incorporar elementos de evacuación de aguas lluvias y combinado con la pavimentación de un nuevo acceso de camiones, el cual modifica la pendiente de evacuación de las aguas, el sector se convierte en una zona de inundación al igual que el sector colindante del domo como se expone en las siguientes fotografías.

Figura 6-4 – Inundación calle de tránsito sector colindante Domo Melón, vista sur oriente.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-5 – Inundación calle de tránsito sector poniente de los silos de carga, vista ampliada.

Fuente: Fotografía propia.

La sub área (**A4**) constituye una zona de inundación por no tener el drenaje adecuado, además la frecuente operación de tránsito de alto tonelaje ha propiciado a que los pavimentos se han ido fracturando por el asentamiento que presentan las bases granulares producto de un mal drenaje de calzadas. Este sector corresponde al con mayor criticidad en cuanto a pavimentos

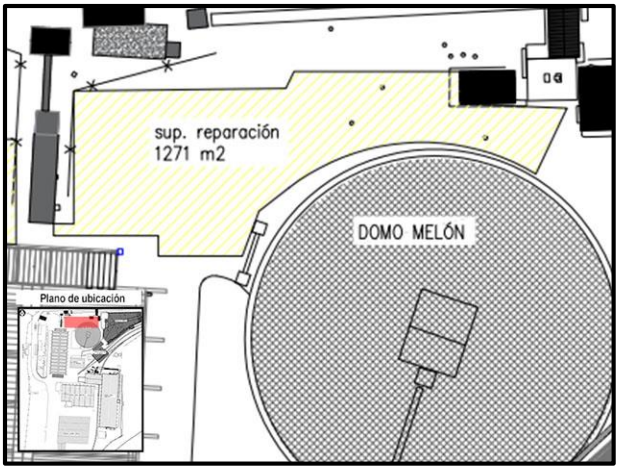
se refiere dentro del terminal, la falla frecuente que se observa es la comúnmente denominada “piel de cocodrilo”.

Figura 6-6 – Fracturas y grietas de la carpeta de rodadura

.

Fuente: Fotografía propia.

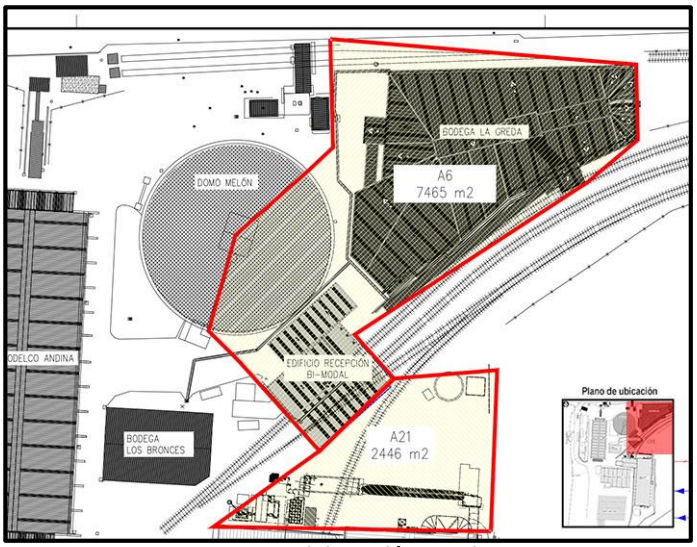
Figura 6-7 –Superficie identificada con mayor deterioro de pavimento en sector norponiente Domo Melón



Fuente: Plano de repavimentación, elaboración propia.

6.2.2 Bodega La Greda

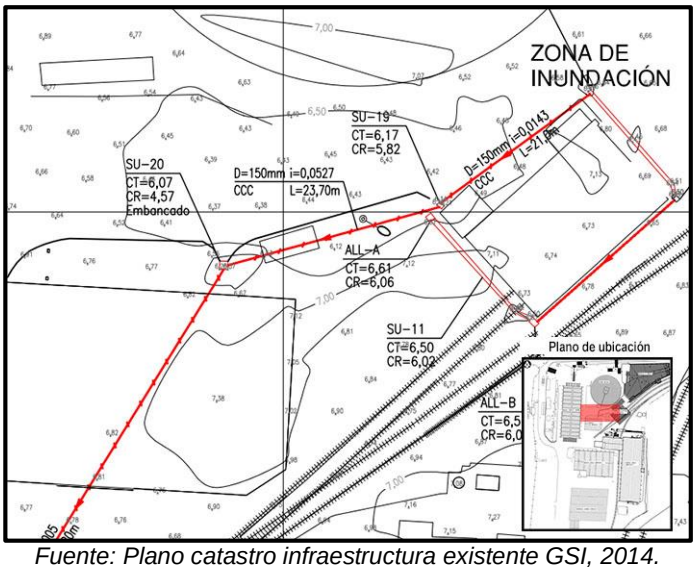
Figura 6-8 –Áreas aportantes sector Bodega La Greda



Fuente: Elaboración propia.

La nueva bodega de concentrado, junto a su edificio de recepción bimodal, cuenta con una solución de drenaje propia del proyecto, el agua será captada por canales de techo y descargas verticales, luego conducida por canales abiertas de piso con rejilla y tapa ciega, según corresponda, posteriormente toda el agua conducida será evacuada a un sumidero existente (SU-20), el cual alimenta de forma directa la planta de tratamiento de aguas lluvias. La contribución de esta nueva área aportante provocará que la capacidad de la planta se vea aún más sobrepasada, experimentando mayores desbordes y socavones aguas arriba del decantador primario, alimentado en el sector sur.

Figura 6-9 – Punto de descarga de aguas lluvias de la Bodega La Greda, SU-20.

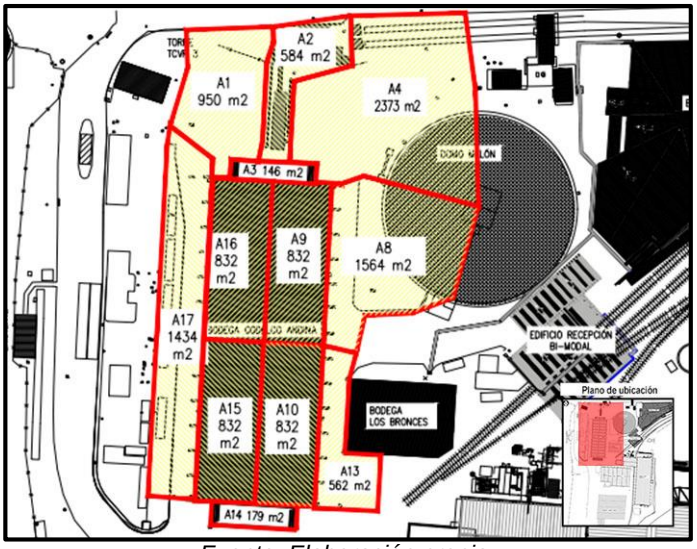


Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

6.2.3 Bodega Codelco Andina

La Bodega Codelco Andina es la primera bodega de concentrados edificada en terrenos de Puerto Ventanas, posee una antigüedad de alrededor de 50 años y una capacidad de acopio de 30.000 $[ton]$. La cubierta de esta bodega es de plástico reforzado con fibras FRP, sin embargo, con el paso de los años, los rayos UV y el ambiente marino-corrosivo han deteriorado las fijaciones que mantienen las planchas en su lugar, posibilitando que el agua lluvia escurra sobre la cubierta y parte de ella ingrese a la Bodega en forma de filtraciones puntuales y goteras que pueden observarse ante un evento pluviométrico.

Figura 6-10 –Áreas aportantes sector Bodega Andina



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3.1 Sector norte B. Andina

Para el sector norte de la Bodega Andina actualmente se encuentra adosado un edificio acoplado (**A3**), construido durante el año 2016 con el propósito de ampliar la capacidad de almacenaje de la bodega. Este edificio actualmente cuenta con techumbre de FRP cuya pendiente posibilita que la evacuación sea hacia la calle de tránsito norte, la que reparte la escorrentía hacia el sector oriente y poniente; dos zonas por cierto con serios problemas de inundación.

Figura 6-11 – Edificio acoplado Bodega Andina, sector norte.

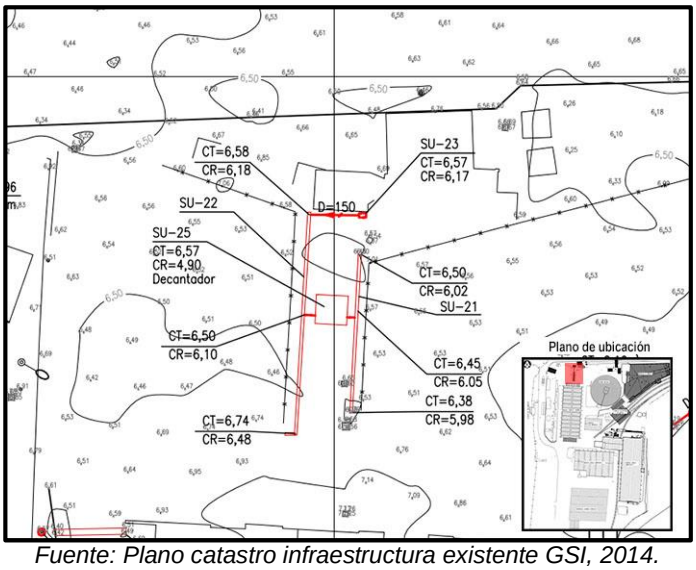
Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-12 – Principales instalaciones referenciadas al Norte de la Bodega Andina.

Fuente: Google Earth, 2016.

Más al norte del edificio acoplado se encuentra la elevación de la correa subterránea C3 (**A2**), la cual cuenta para el sistema de evacuación de aguas lluvias con dos canales abiertos de hormigón, los cuales poseen rejilla metálica para el tránsito peatonal (SU-21; SU-22), sin embargo, tanto la rejilla como los ángulos de asentamiento de esta misma se encuentran deteriorados por acción de la corrosión. De manera conjunta estos dos canales tienen conexión con una cámara decantadora que se encuentra bajo la correa transportadora (SU-25), esta cámara en su interior presenta una tubería de 200 $[mm]$ la cual se puede suponer que corresponde a una suerte de dren infiltrante, debido a que tanto la información existente como la inspección de dicho elemento no posibilitan encontrar la conexión con alguna cámara o elemento similar.

Figura 6-13 – Sector norte Bodega Andina, elevación correa C3.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Observando la figura anteriormente expuesta se puede apreciar un cuarto “sumidero” en el sector, denominado SU-23, el cual capta las aguas que escurren por la techumbre de la sala de la polea de cola de la correa C4, sin embargo, este sumidero posee embanque, dimensiones muy pequeñas y una tubería de 150 $[mm]$ de diámetro de evacuación que se encuentra completamente colmatada. Adicionalmente en este sector ocurre un problema particular de inundación y es que existe una sección de la correa C4 que no se encuentra revestida ni protegida de la intemperie, es por lo que ante un evento pluviométrico parte de las precipitaciones escurren por el pasillo de la correa hacia aguas abajo depositándose en la sala de resguardo, inundando el sector y generando inminentes peligros por los equipos eléctricos que se encuentran en su interior. Esta situación se expone en las siguientes figuras.

Figura 6-14 – Sumidero 23 inundado fuera de la sala donde se emplaza la polea de cola de la correa C4.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-15 – Sala de resguardo de polea de cola completamente inundada.

Fuente: Fotografía propia.

Inmediatamente al nororiente del edificio donde se encuentra la polea de cola de la correa C4 (**A2**), se ubica la Subestación Eléctrica N°1, actualmente la entrada de la subestación se encuentra confinada por soleras y nula pendiente, por tanto, ante un evento de lluvia tal sector se transforma en una verdadera piscina pudiendo hacer ingreso de aguas a las trincheras eléctricas de la subestación y producir inminentes riesgos de electrificación a equipos y personas.

Figura 6-16 – Entrada inundada de la Subestación Eléctrica N°1, vista sur poniente.

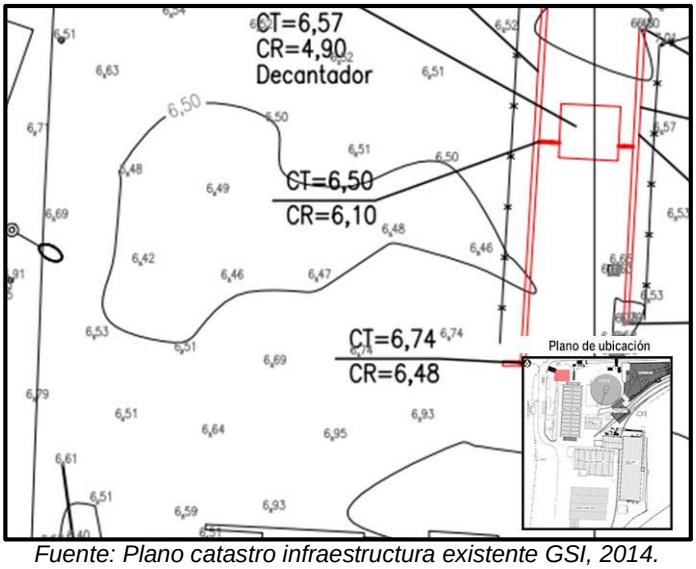
Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-17 – Entrada inundada de la Subestación Eléctrica N°1, vista sur.

Fuente: Fotografía propia.

Otro sector crítico lo constituye el norponiente de la bodega Andina (**A1**), allí se observa un punto bajo del terreno, representado por una curva de nivel en el plano de GSI, el cual posibilita la acumulación de aguas que confluyen de las calles de tránsito, transportando caudales de escorrentía provenientes de techumbres principalmente.

Figura 6-18 – Cota baja de terreno representada por la curva de nivel 6,50, norponiente Bodega Andina.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Figura 6-19 – Inundación sector norponiente Bodega Andina, vista norponiente.

Fuente: Fotografía propia.

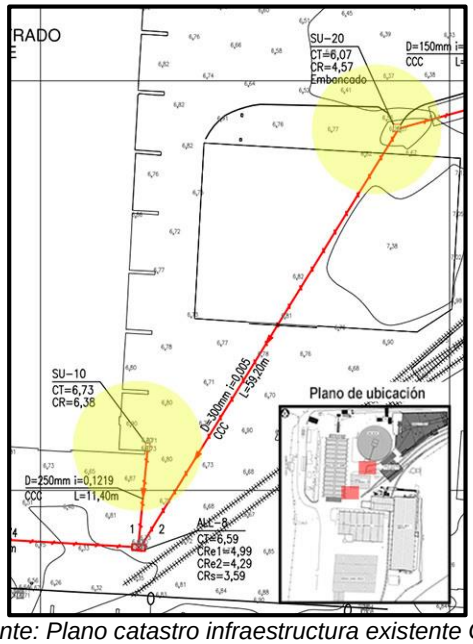
Figura 6-20 – Inundación sector norponiente Bodega Andina, vista norte.

Fuente: Fotografía propia.

6.2.3.2 Sector oriente B. Andina

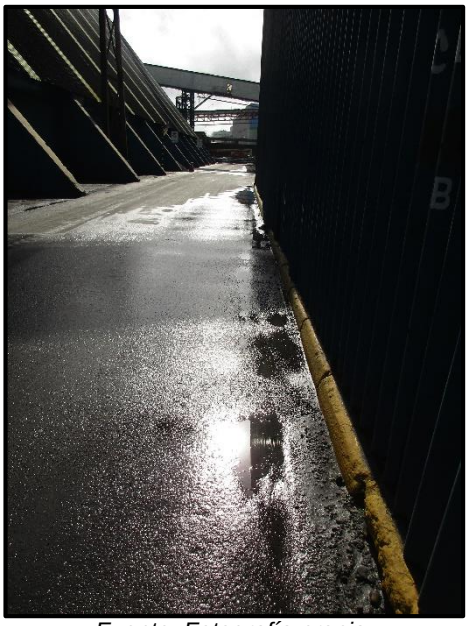
Para el sector oriente de la Bodega Andina, las aguas que escurren por la techumbre de esta instalación recaen sobre la calle de transito la cual conduce las aguas en el sector nororiente hacia el sector norte del Domo Melón, en el sector centro-oriente las aguas son captadas por el sumidero SU-20 y en el sector sur oriente el agua es captada por el sumidero SU-10.

Figura 6-21 – Sumideros captadores de aguas lluvias proveniente de la techumbre oriente de Andina.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Figura 6-22 –Escorrentía conducida por calle de tránsito sector oriente Bodega Andina, vista norte.

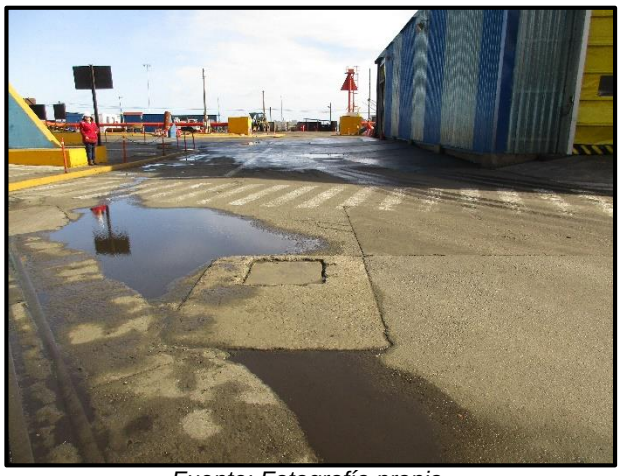


Fuente: Fotografía propia.

6.2.3.3 Sector sur B. Andina

Para el sector sur se observa una situación análoga a la del sector norte, debido a que también se construyó un edificio que evacúa las aguas a la calle de transito de tal sector sin poder ser conducida ni evacuada a un elemento en particular.

Figura 6-23 – Escorrentía conducida por calle de tránsito sector sur Bodega Andina, vista poniente.

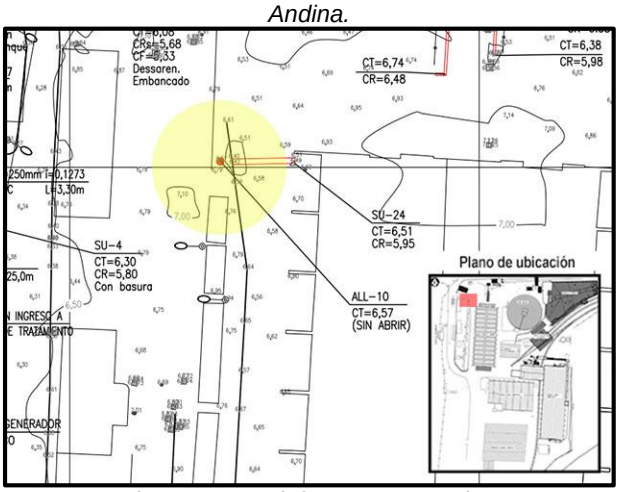


Fuente: Fotografía propia.

6.2.3.4 Sector poniente B. Andina

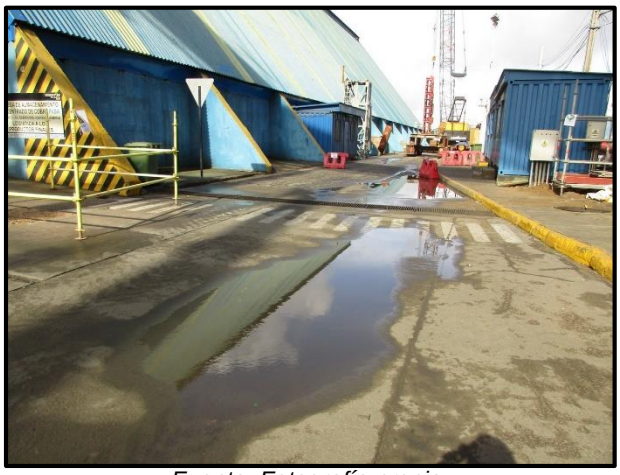
Para el sector poniente, igualmente se observa que el agua que escurre de la techumbre es conducida por la calle de tránsito, en este tramo se observa un canal de hormigón con rejilla de alto tráfico que se encuentra en el atravieso de la calle y capta parte de esas aguas (SU-24), tal canal se comunica con una cámara de inspección (ALL-10) la cual descarga hacia la planta de tratamiento.

Figura 6-24 – Sumidero 24 de atravieso que capta parte de la escorrentía de la techumbre poniente de la Bodega Andina.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

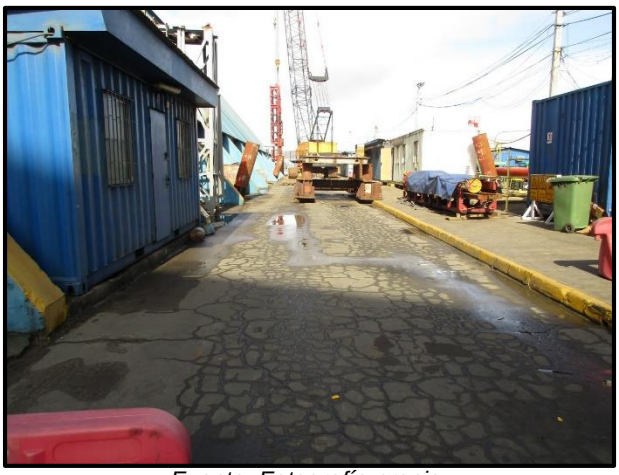
Figura 6-25 –Apozamiento presenciado en sector poniente Bodega Andina, vista sur.



Fuente: Fotografía propia.

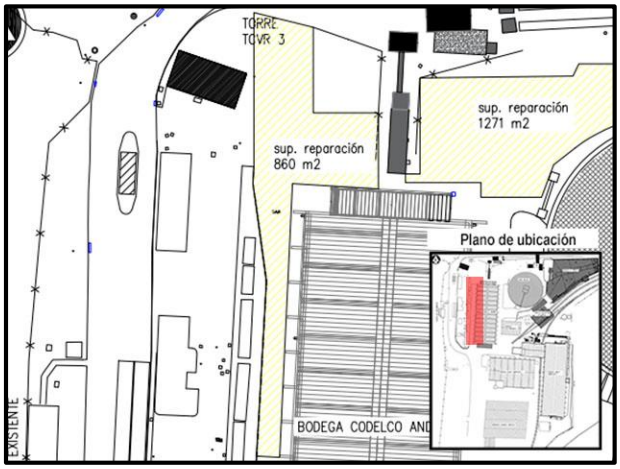
La acumulación de lluvia en este sector (**A17**) por el mal diseño de pendientes en la calzada de tránsito conlleva a un mal drenaje de las aguas lluvias, esto combinado con el frecuente tránsito de vehículos con carga han precipitado el deterioro de los pavimentos, observando fallas del tipo “piel de cocodrilo” en algunos paños de la zona en cuestionamiento.

Figura 6-26 – Falla de pavimento tipo “piel de cocodrilo” en el sector poniente de la Bodega Andina, vista sur.



Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-27 –Superficie deteriorada de pavimento en sector poniente y norponiente Bodega Andina.

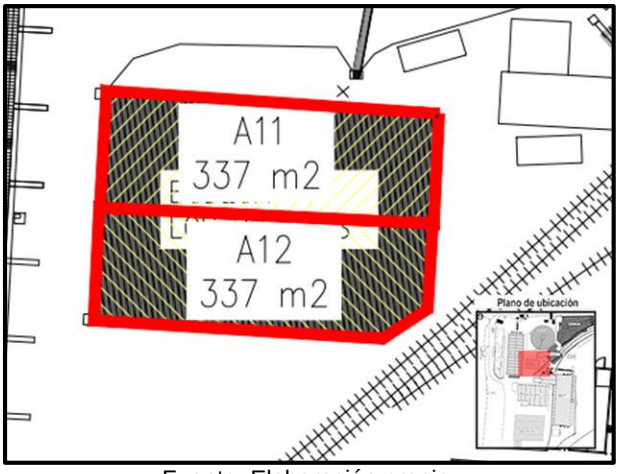


Fuente: Plano de repavimentación, elaboración propia.

6.2.4 Bodega Los Bronces

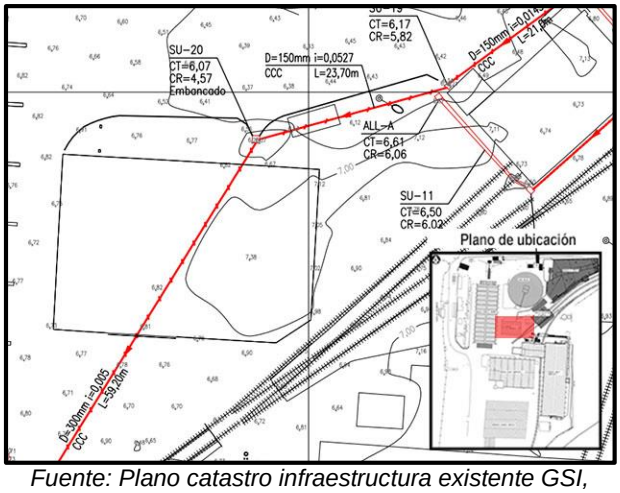
En la bodega los Bronces (**A11** y **A12**) la lluvia que escurre de su techumbre tiene dos caídas, una en dirección norte la cual es captada en parte por el SU-20 y en el sector sur, el agua que escurre recae entre los rieles de la línea férrea existente, el sector entre rieles no está pavimentado, sin embargo, el sustrato superficial se encuentra colmatado impidiendo generar una adecuada infiltración al subsuelo.

Figura 6-28 –Áreas aportantes sector Bodega los Bronces



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-29 – Emplazamiento Bodega los Bronces, observando SU-20 y rieles de la línea férrea.

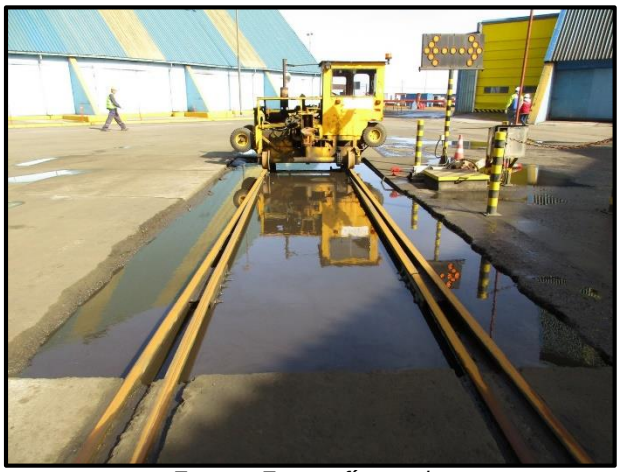


Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Figura 6-30 – Línea férrea con acumulación de agua, sector sur Bodega Los Bronces, vista nororiente.

Fuente: Fotografía propia.

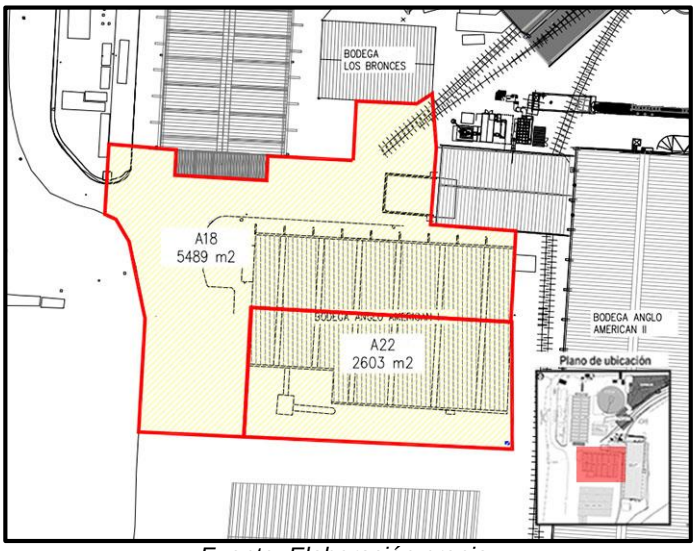
Figura 6-31 – Línea férrea con acumulación de agua, sector sur Bodega Los Bronces, vista surponiente.



Fuente: Fotografía propia.

6.2.5 Bodega Anglo American I

Figura 6-32 –Áreas aportantes sector Bodega Anglo American I



Fuente: Elaboración propia.

La cubierta de esta bodega tiene dos aguas, en sentido norte (**A18**) y en sentido sur (**A22**), para el escurrimiento del ala norte la bodega cuenta con una canaleta de hojalatería y bajadas de aguas de PVC que están conectadas a cámaras prefabricadas de infiltración. Estas cámaras se encuentran completamente colmatadas por su nula mantención y no cumplen su función, por tanto, el agua que es conducida por las bajadas de aguas, recae sobre estos elementos y al no tener función alguna, el escurrimiento es inmediatamente conducido a la calle, la cual transporta parte del caudal a un sumidero existente (SU-8) que capta la escorrentía producida. Conjuntamente existe un tramo de techumbre en el cual la canaleta está en malas condiciones producto de la corrosión.

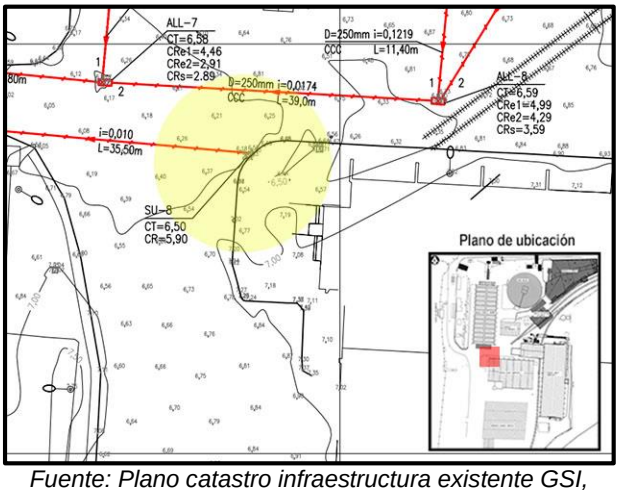
Figura 6-33 – Canaleta hojalatería sector Norte Bodega Anglo American I, vista oriente.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-34 – Pozos de infiltración prefabricados colmatados, sector Norte Bodega Anglo American I.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-35 – Sector Norte B. Anglo American I, Sumidero 8.



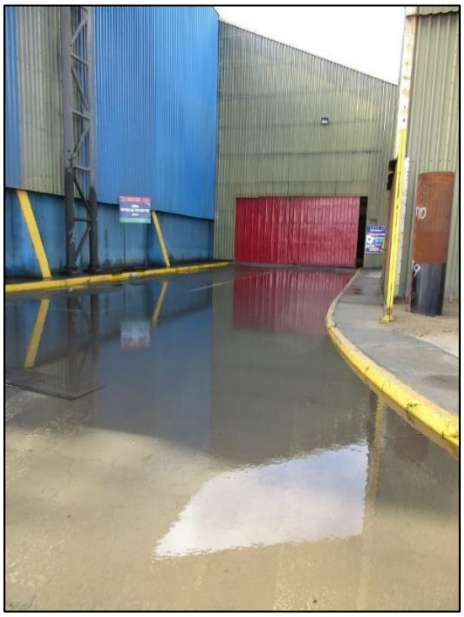
Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Figura 6-36 – Canaleta deteriorada sector norte B. Anglo American I.

Fuente: Fotografía propia.

Para el ala sur, el agua lluvia escurre por la techumbre y gran parte cae directamente en una superficie del terminal que no se encuentra pavimentada la cual posibilita la infiltración al subsuelo, otra parte recae sobre la entrada del pavo de descarga N°1, el cual, al no tener algún elemento de evacuación, el agua se empoza por la topografía del terreno.

Figura 6-37 – Empozamiento de aguas lluvias al ingreso de Pavo de descarga N°1, B. Anglo American I, vista oriente.



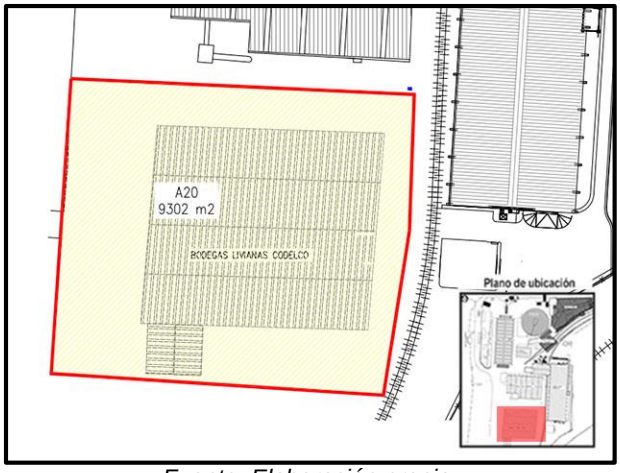
Fuente: Fotografía propia.

Inmediatamente al poniente de la Bodega Anglo American I y ante un evento pluviométrico, existen cotas bajas del terreno pavimentado que también facilitan que el agua se acumule en forma de una gran poza, la cual no tienen como ser evacuada salvo por la evapotranspiración o acción mecánica de algún equipo operativo tipo cargador frontal u otro que la conduzca al sumidero más cercano.

6.2.6 Bodegas livianas

Las bodegas livianas no cuentan con un sistema de drenaje de aguas lluvias debido a que son estructuras provisorias, sin embargo producto de las lluvias la escorrentía producida en este sector aporta de manera directa al sector poniente de Anglo I, en este sector existen cotas bajas del terreno pavimentado que también facilitan que el agua se acumule en forma de una gran poza, la cual no tienen como ser evacuada salvo por la evapotranspiración o acción mecánica de algún equipo operativo tipo cargador frontal u otro que la conduzca al sumidero más cercano.

Figura 6-38 –Áreas aportantes sector Bodegas Livianas



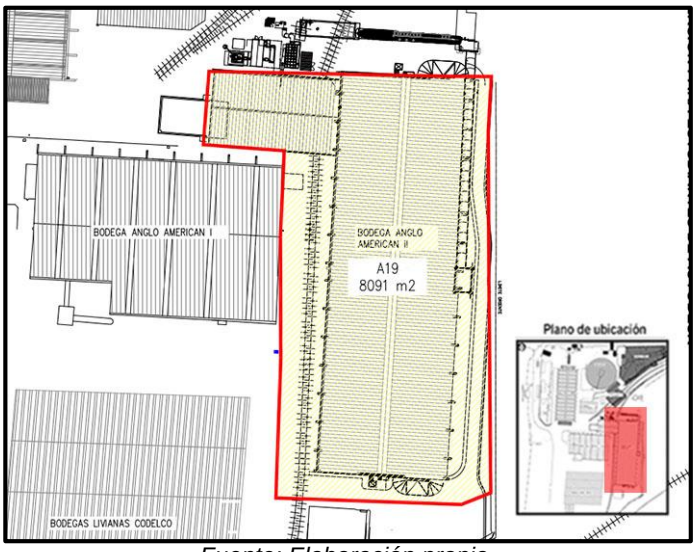
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-39 –Apozamiento aportado por Bodegas Livianas

Fuente: Fotografía propia.

6.2.7 Bodega Anglo American II

Figura 6-40 –Áreas aportantes sector Bodega Anglo American II.



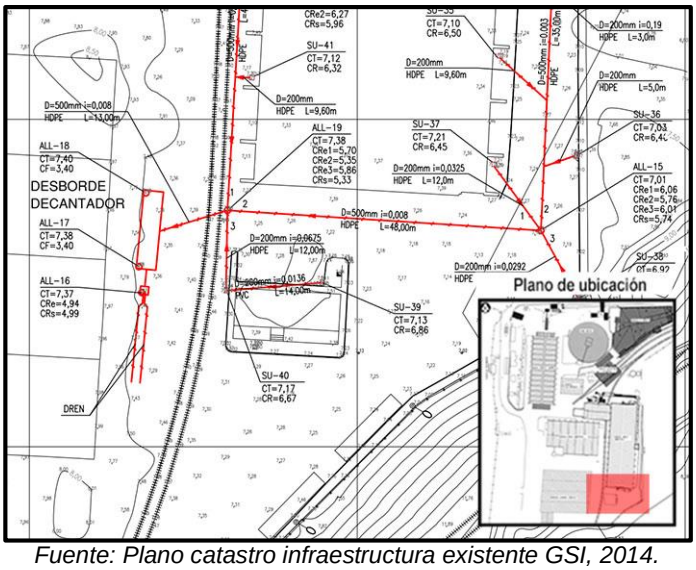
Fuente: Elaboración propia.

Esta bodega fue inaugurada para el año 2012 y dentro del diseño original contempla un completo sistema de evacuación de aguas lluvias, el cual consiste en canaletas de techo de FRP con bajadas de agua de HDPE que se conectan a sumideros los cuales se interconectan a una matriz principal la cual conduce el agua a un sedimentador en primera instancia y luego a dos drenes para ser infiltrada al subsuelo.

Actualmente las canaletas, bajadas de agua y sumideros, tanto en la calzada como en inmediaciones de la Bodega, funcionan de manera correcta, sin embargo, los elementos de

tratamiento y posterior evacuación no operan de la manera adecuada. Por un lado, los drenes se encuentran colmatados y el agua no es infiltrada al subsuelo, por tanto, el sedimentador funciona en las primeras horas de la tormenta, sin embargo, transcurrido un determinado tiempo de precipitaciones actúa sólo como un estanque de acumulación ya que la capacidad de infiltración del sistema es nula.

Figura 6-41 –Elementos de conducción, tratamiento y evacuación (Anglo II Sector Sur)



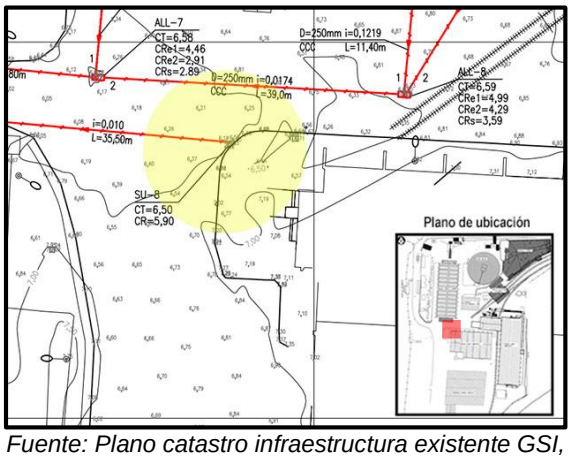
Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

Con el paso de los años, en la cámara final de rebalse del sedimentador (ALL-16), fueron instaladas dos bombas sumergibles de accionamiento manual, las cuales elevan el agua allí depositada y la impulsan hasta un sumidero ubicado al norponiente de Anglo I (SU-8), el cual tiene conexión directa con la planta de tratamiento.

Figura 6-42 – Elevación de aguas lluvias desde la cámara ALL-16, sector surponiente Bodega Anglo II.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 6-43 – Emplazamiento SU-8, el cual alimenta la planta de tratamiento por el sector sur.



Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

6.2.8 Planta de tratamiento de aguas lluvias

La Planta de Tratamiento de Aguas Lluvias (PTALL) que cuenta Puerto Ventanas, se concibió de manera voluntaria para cumplir con la RCA 09/2010 del proyecto "Ampliación capacidad de acopio concentrado de cobre Puerto Ventanas" de la Bodega Anglo American II, con el objeto de retener las partículas en suspensión y en estado coloidal que arrastran las aguas lluvias, que pueden contener metales pesados. Dado que la descarga de las aguas lluvias tratadas se hace a través de un emisario submarino que descarga dentro de la Zona de Protección del Litoral (ZPL), debe cumplirse con lo establecido en el Decreto Supremo 90/00.

Figura 6-44 – Planta de tratamiento y decantador primario, vista sur poniente.

Fuente: Informe catastro Planta de tratamiento, GSI 2014.

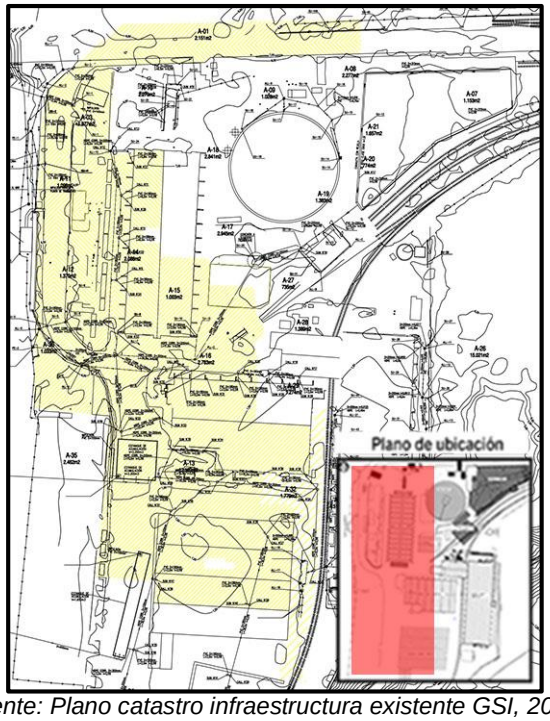
Figura 6-45 – Planta de tratamiento y decantador primario, vista norte.

Fuente: Presentación "Recuperación y Automatización de Planta Tratamiento Aguas Lluvias Puerto Ventanas S.A.", GSI 2014.

Los principales elementos arrastrados por las aguas lluvias en PVSA son: clinker y concentrado de cobre, los que se recepcionan, transportan y embarcan, quedando una porción de estos en los caminos interiores, techumbres y patios.

La Planta de Tratamiento recibe aguas provenientes de un área de 25.692 $[m^2]$ aproximadamente de una superficie total de 94.865 $[m^2]$, captadas por una red de 13 sumideros y 8 cámaras, la cual descarga a 2 plantas elevadoras que impulsan el agua hasta un decantador primario de 300 $[m^3]$ de capacidad.

Figura 6-46 – Áreas de alimentación PTALL ; 25.692 m2

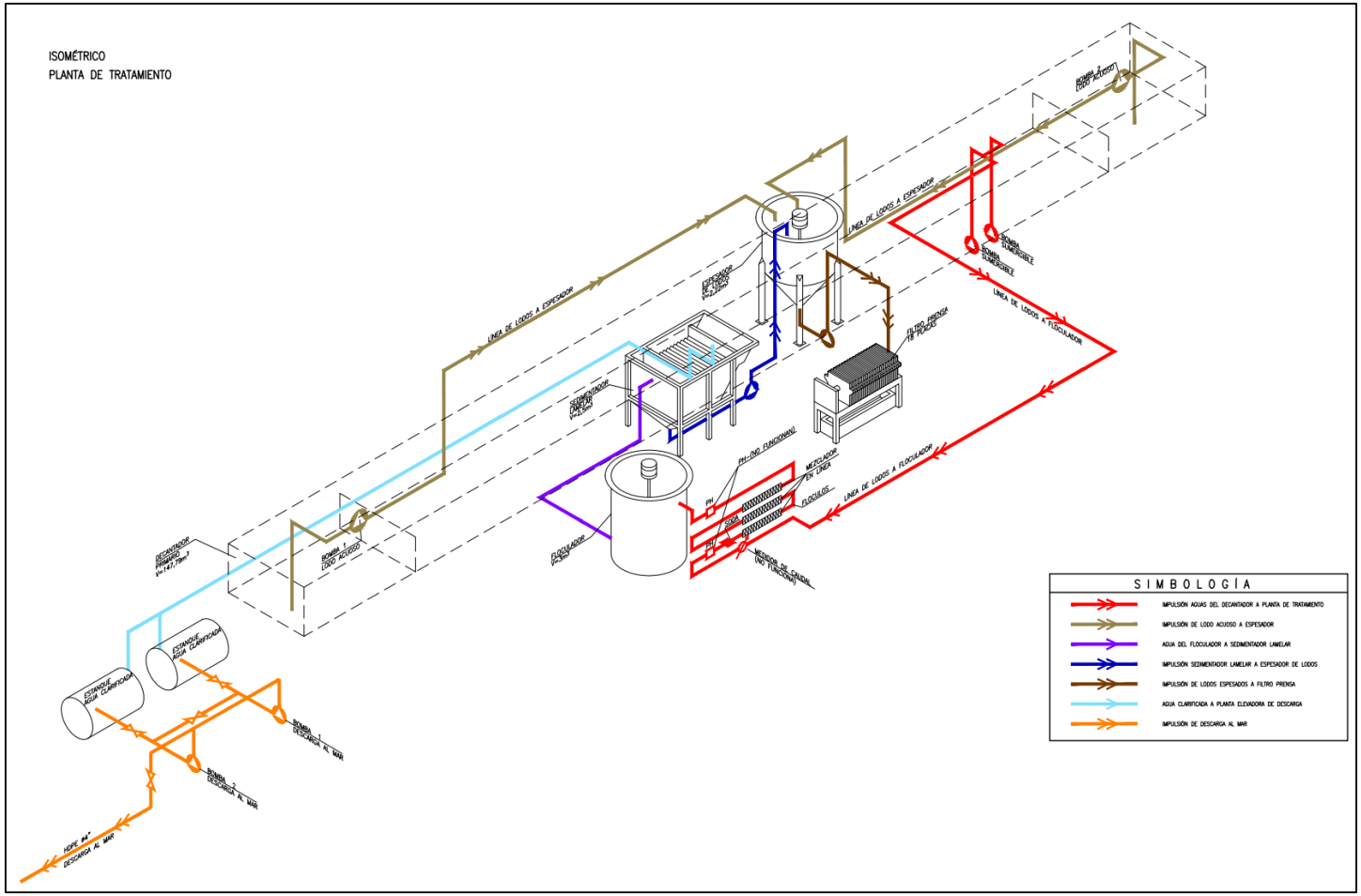


Fuente: Plano catastro infraestructura existente GSI, 2014.

El sistema de tratamiento contempla un primer proceso de coagulación (desestabilización de la suspensión coloidal), seguido de floculación – proceso de aglomeración de partículas y luego de sedimentación a través de una unidad de alta tasa (lamella). En el estanque sedimentador quedan depositados los lodos que luego son conducidos a un espesador y desde allí a un filtro prensa para su secado y posterior disposición. Desde el estanque sedimentador y desde el espesador, se extrae el sobrenadante, consistente en el agua tratada la que es conducida para su disposición marina, a una cámara donde operan equipos motobombas.

La PTALL trata un caudal de 300$[m^3/día]$ (3,5 $[l/s]$). El tratamiento químico que reciben las aguas afluentes considera el agregado de soda cáustica para subir el pH, el agregado de coagulante consistente en una sal de aluminio para desestabilizar la suspensión coloidal, y un polímero para facilitar el proceso de floculación. El agua lluvia que entra a la planta se ha acumulado previamente en un estanque de decantación primaria ampliado a una capacidad de 300 $[m^3]$ donde se retienen una parte importante del material sedimentable arrastrado. El lodo acumulado en este estanque es incorporado al espesador de la PTALL.

Figura 6-47 – Esquema isométrico planta de tratamiento de aguas lluvia existente.



Fuente: Ingeniería conceptual, planta de tratamiento de aguas lluvias instalaciones PVSA, GSI, 2014.

La capacidad de diseño de la planta se ha visto ampliamente sobrepasada por el caudal que recibe ante eventos pluviométricos y no cumple a cabalidad el propósito por el cual fue diseñada, ya que se genera rebalse en el decantador primario y cámaras de inspección, provocando socavones en la playa por el exceso de agua no tratada.

Figura 6-48 – Rebalse de decantador primario y evacuación de aguas hacia la playa.

Fuente: Fotografía de Medio Ambiente, Gerencia de Sustentabilidad, PVSA 2014.

Figura 6-49 – Socavón sector Sur PTALL.

Fuente: Fotografía propia

Como se dijo en párrafos preliminares la planta de tratamiento posee un área de alimentación de 25.692 $[m^2]$, con la información obtenida relacionada con las áreas aportantes y los caudales de tratamiento de la planta se pueden presentar de manera tabulada en la siguiente tabla.

Tabla 6-2 – Tabla resumen de áreas aportantes y caudales de tratamiento de la planta de aguas lluvias.

Capacidad de Planta de tratamiento de Aguas Lluvia					
Capacidades	**Área aportante**	**Caudal tratamiento**			**Aumento de capacidad de PT ALL**
	m^2	**l/s**	**m^3/s**	**m3/día**	**veces**
Capacidad de diseño	6.026	3,5	0,0035	302,40	-
Capacidad conectada actualmente	25.692	14,92	0,015	1.289,33	4,26
Capacidad actualmente conectada (+Anglo2)	31.071	18,05	0,018	1.559,27	5,16
Capacidad de área en estudio	50.004	29,04	0,029	2.509,40	8,30
Capacidad Requerida (TC completo)	95.000	55,18	0,055	4.767,48	15,77

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anteriormente expuesta se desprende que, para el caudal de diseño a tratar, la superficie de alimentación debiese ser de 6.026 $[m^2]$, sin embargo, actualmente se encuentran

conectados 25.692 $[m^2]$, por ende, la capacidad de la planta para sanear tal área debiese ser 4,26 veces mayor.

Si a esto se le incorpora la carga que recibe la carga al poner en operación las bombas de elevación del sistema captador de Anglo American II se estima una capacidad de ampliación de la planta de 5,16 veces mayor a la de tratamiento actual.

Como alcance de este estudio y en función de sanear el problema que se genera en las inmediaciones de las principales bodegas actuales, es que el área de estudio contempla 50.004 $[m^2]$, los cuales se traducen en un aumento de 8,3 veces la capacidad de la planta actual para cumplir con los volúmenes de evacuación.

Finalmente, la superficie total del Terminal Costa es de 95.000 $[m^2]$, lo que equivale a una ampliación de 15,77 veces la capacidad de la planta existente.

Con este análisis y en vista del gran aumento de capacidad que debiese generarse en la planta de tratamiento, es que se hace aún más importante considerar técnicas alternativas de drenaje para evitar que todo el volumen de escorrentía se evacue a través del emisario submarino, sino que el caudal aguas arriba de la planta sea mermado.

CAPÍTULO 7. DESARROLLO DEL TEMA

7.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE ESCORRENTÍA

Para realizar un análisis del funcionamiento del sistema actual y para diseñar la solución de futuro es necesario realizar un estudio hidrológico en la zona donde se encuentra emplazado el proyecto, a modo de determinar los caudales de crecida asociados a distintos períodos de retorno y así diseñar hidráulicamente las obras de drenaje de aguas lluvias que permitan evacuar las mismas.

El estudio hidrológico busca establecer el máximo volumen de agua lluvias caídas para un período de retorno y duración de tormenta especificadas, el cual es la base de diseño de obras de drenaje para aguas lluvias.

7.1.1 Antecedentes pluviométricos

Para la realización de este estudio se utilizó como antecedente el registro histórico de precipitación diaria máxima anual en la Estación Meteorológica Principal de Puchuncaví (1993-2015) y de la Estación Base Aérea de Quintero (1941-1998).

Con dicho registro se efectúa un análisis de frecuencia analítico para obtener la precipitación diaria máxima esperada, para el periodo de retorno de diseño seleccionado, en el sector en estudio; el análisis completo puede encontrarse en el Anexo B - Estudio Hidrológico.

Como resultado del análisis de frecuencia se obtiene que para la zona en estudio la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de T=10 años, es igual a $\boldsymbol{P_{24}^{10} = 100.22[mm]}$**.**

Las precipitaciones de diseño históricas que se han ocupado en dimensionamiento de obras de drenaje de aguas lluvias dentro de PVSA se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 7-1 – Tabla resumen de precipitaciones diaria máxima anual según diversos estudios y criterios.

Documento	Año	Criterio de elección precipitación	Precipitación diaria máxima anual [mm], para 10 años de período de retorno.
Memoria de cálculo Evacuación ALL T. Costa, Miguel Abumohor	2006	Análisis de frecuencia	90,33
Reevaluación Memoria de cálculo Evacuación ALL T. Costa, Miguel Abumohor	2012	Análisis de frecuencia	90,33
Ingeniería conceptual Plan Maestro ALL, GSI Ingeniería	2014	Análisis de frecuencia	92,7
Memoria de cálculo aguas lluvias, Bodega La Greda, Tractebel Engineering	2015	Precipitación máxima diaria zonal	166,3
Manual de drenaje urbano, DOP	1991	Precipitación máxima diaria zonal, según DGA	88,4
Manual de drenaje urbano, DOP	2014	Precipitación máxima diaria, según Plan maestro de aguas lluvias zonal	93,9
Memoria de título ETT	2017	Análisis de frecuencia	100,22

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Determinación de curvas I-D-F

En base a la precipitación de diseño se determina la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) del sector.

Estas relaciones IDF presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para estimar directamente el escurrimiento, en función de la lluvia caída.

Puede estimarse la familia de curvas IDF, siguiendo un procedimiento que considera la lluvia máxima diaria con 10 años de periodo de retorno, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$P_t^T = 1{,}1 * PD_{24}^{10} * CD_t * CF^T$$

Ecuación 7-1 – Precipitación con periodo de retorno de T años y duración t horas

En donde:

P_t^T *Precipitación con periodo de retorno de T años y duración t horas, en mm*

PD_{24}^{10} *Precipitación máxima diaria de 10 años de período de retorno, en mm*

CD_t *Coeficiente de duración para t horas (Entre 1 y 24 horas)*

CF^T *Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno*

$$I_t^T = \frac{P_t^T}{t/60}$$

Ecuación 7-2 – Intensidad de la lluvia de duración t horas

En donde:

I_t^T Intensidad de la lluvia de duración t horas

Para la estimación de los coeficientes de duración entre 1 y 24 horas se recurre al Manual de drenaje Urbano y se seleccionan los coeficientes de la macro zona mediterránea costera, específicamente la ciudad de Valparaíso. De manera análoga se determinan los coeficientes de frecuencia para distintos periodos de retorno. Ambas tablas se exponen a continuación.

Tabla 7-2– Coeficientes de duración entre 1 y 24 horas para la estación de Valparaíso.

COEFICIENTES DE DURACIÓN										
t [hr]	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
CD	0,15	0,23	0,33	0,46	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,00

Fuente: Adaptación de la tabla 4.3.4 del Manual de drenaje urbano 2013.

Tabla 7-3– Coeficientes de frecuencia entre T=2 años y T=100 años para la estación de Valparaíso.

COEFICIENTES DE FRECUENCIA						
T[años]	2	5	10	25	50	100
CF	0,59	0,83	1,00	1,16	1,37	1,53

Fuente: Adaptación de la tabla 4.3.5 del Manual de drenaje urbano 2013.

Para duraciones inferiores a 1 hora se emplean los coeficientes de Bell, estos coeficientes de duración y de frecuencia cumplen las siguientes relaciones, válidas para duraciones de lluvia entre 5 minutos y 2 horas (en este estudio sólo se empleará hasta 60 minutos) y para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

$$CF = 0{,}21 * Ln(T) + 0{,}52$$

Ecuación 7-3 – Coeficiente de frecuencia de Bell para 2<T<100 años.

Donde T es el período de retorno en años. Notar que para T=10 se obtiene CF=1,00.

Por otro lado, el coeficiente de duración, CD, en relación a una lluvia de una hora de duración está dado por:

$$CD = 0{,}54 * t^{0{,}25} - 0{,}50$$

Ecuación 7-4 – Coeficiente de duración de Bell para 5<t<60 minutos.

Donde t es la duración en minutos. Notar que para t=60 se obtiene CD=1,00.
Las tablas asociadas a estos coeficientes se exponen a continuación.

Tabla 7-4 – Coeficientes de duración de Bell, entre 5 y 60 minutos para la estación de Valparaíso.

COEFICIENTES DE DURACIÓN DE BELL CD< 1hr												
t [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
CD	0,31	0,46	0,56	0,64	0,71	0,76	0,81	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00

Fuente: Elaboración propia.

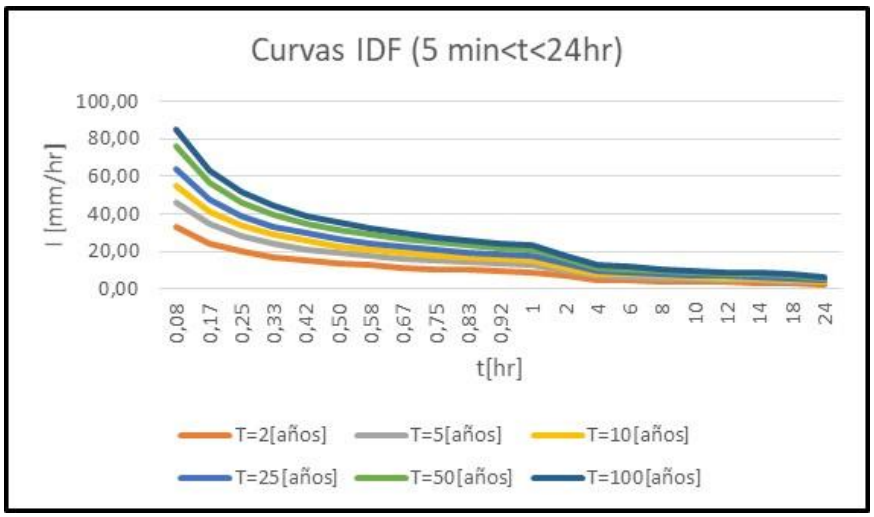
Tabla 7-5 – Coeficientes de frecuencia de Bell entre T=2 años y T=100 años para la estación de Valparaíso.

COEFICIENTES DE FRECUENCIA DE BELL CF<1hr						
T[años]	2	5	10	25	50	100
CF	0,67	0,86	1,00	1,20	1,34	1,49

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las curvas IDF definidas para la zona de estudio.

Figura 7-1 – Familia de curvas IDF [mm/hr] para una duración comprendida entre 5 min y 24 hrs.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-6 – Determinación de familia de curvas IDF [mm/hr] para una duración comprendida entre 5 min y 24 hrs.

Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) [mm/hr]						
Duración	*Período de retorno [años]*					
t[min]	**T=2**	**T=5**	**T=10**	**T=25**	**T=50**	**T=100**
5	32,71	46,16	55,35	64,20	75,94	84,90
10	24,48	34,55	41,42	48,05	56,83	63,54
15	19,95	28,16	33,76	39,16	46,32	51,79
20	17,07	24,09	28,89	33,51	39,63	44,31
25	15,05	21,24	25,47	29,54	34,94	39,07
30	13,54	19,11	22,91	26,58	31,44	35,15
35	12,36	17,44	20,92	24,26	28,70	32,09
40	11,41	16,10	19,31	22,39	26,49	29,61
45	10,62	14,99	17,97	20,85	24,66	27,57
50	9,96	14,05	16,85	19,54	23,11	25,84
55	9,39	13,25	15,88	18,42	21,79	24,36
60	8,89	12,55	15,04	17,45	20,64	23,08
t[hrs]						
1	8,87	12,51	15,00	17,40	20,58	23,01
2	6,80	9,59	11,50	13,34	15,78	17,64
4	4,88	6,88	8,25	9,57	11,32	12,66
6	4,53	6,39	7,67	8,89	10,52	11,76
8	4,06	5,73	6,88	7,98	9,43	10,55
10	3,78	5,34	6,40	7,42	8,78	9,82
12	3,45	4,87	5,83	6,77	8,00	8,95
14	3,29	4,65	5,57	6,46	7,64	8,55
18	2,96	4,17	5,00	5,80	6,86	7,67
24	2,46	3,48	4,17	4,83	5,72	6,39

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Cálculo de caudales máximos de aguas lluvias

Obtenidas las curvas IDF, es posible realizar el diseño hidráulico de todas las obras de drenaje de aguas lluvias.

El cálculo de los caudales solicitantes se realizará a través del Método Racional, el cual es apropiado de utilizar en cuencas urbanas y rurales pequeñas. Válido para cuencas inferiores a 50 $[ha]$ de características homogéneas, con un tiempo de concentración menor a 1 hora.

Este método establece que el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y el tamaño de la cuenca aportante. La gran ventaja de este método es su simplicidad, lo que se traduce en que el resultado es fácilmente controlado en función de variables observables. Según este método el caudal aportante de una cuenca urbana se calcula como sigue.

$$Q = \frac{C * i * A}{3600}$$

Ecuación 7-5 – Caudal máximo aportante

En donde

Q Caudal a la salida de la cuenca en $[l/s]$

i Intensidad media máxima, correspondiente al tiempo de concentración $[mm/hr]$

A Área de la cuenca en $[m2]$

C Coeficiente de escorrentía de la superficie $[adimensional]$

La intensidad de precipitación se obtiene de las familias de curvas IDF determinadas para la zona en estudio según el período de retorno a adoptar según diseño y acorde al tiempo de concentración estipulado, en este caso de estudio se analizará para dos períodos de retorno T=2 años y T=10 años. Para el caso de T=2 años, se utilizará para diseñar obras de infiltración y sedimentación.

Por otro lado, para el caso de T=10 años, se utilizará para el diseño de obras de colección y conducción.

El área de la cuenca se estableció en el inciso anterior denominado áreas aportantes, en donde se dividió la superficie total de estudio en sub áreas de drenaje, en función de los puntos altos y bajos a nivel de suelo, orientación de techumbres y pendientes del terreno.

El coeficiente de escorrentía expresa la cantidad de precipitación que escurre superficialmente por la superficie en estudio. Este coeficiente depende de las características geomorfológicas de la superficie, topografía, vegetación, capacidad de almacenamiento, condiciones de infiltración, etc. Los coeficientes de escorrentía para zonas urbanizadas se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 7-7 – Coeficientes de escorrentía para zonas urbanizadas (MINVU, 2005)

Tipo de Zona	Mínimo	Coeficiente Medio	Máximo
Áreas residenciales			
Suburbios semiurbanos	0,25	0,32	0,40
Casas aisladas	0,30	0,40	0,50
Condominios aislados	0,40	0,50	0,60
Condominios pareados o continuos	0,60	0,67	0,75
Departamentos en edificios aislados	0,50	0,60	0,70
Departamentos en edificios continuos	0,70	0,80	0,90
Áreas comerciales			
Comercio de alta densidad	0,70	0,82	0,95
Comercio de baja densidad	0,50	0,60	0,70
Áreas industriales			
Grandes industrias	0,50	0,65	0,80
Perqueñas industrias	0,60	0,75	0,90
Parques, plazas y jardines	0,10	0,17	0,25

Fuente: Manual de drenaje urbano, 2013.

Por otro lado, los coeficientes de escorrentía más frecuentes en la zona de estudio se observan en la siguiente tabla.

Tabla 7-8 – Coeficientes de escorrentía más frecuentes en el terminal Costa, PVSA.

Tipo de superficie	Coeficiente
Calles	0,85
Patios	0,50
Techos	0,90

Fuente: Elaboración propia

La forma más precisa de determinar este coeficiente es realizar un promedio ponderado para cada una de las áreas aportantes consideradas en el estudio, sin embargo, para efectos de simplificación de análisis, se utilizará un coeficiente de escorrentía representativo pero conservador del sector, correspondiente a 0,85.

Con todos los parámetros determinados del método racional se exponen a continuación los caudales máximos estimados para cada área aportante y distintos períodos de retorno.

Tabla 7-9 – Superficies aportantes y caudales máximos de diseño para un tiempo de concentración de 10 min y período de retorno de 2 y 10 años.

TABLA DE SUPERFICIES Y CAUDALES					
Áreas aportantes		Caudales máximos			
		tc=10[min]			
		T=2[años]		T=10[años]	
#	[m2]	[l/s]	[m3/s]	[l/s]	[m3/s]
A1	950	5,49	0,005	9,29	0,009
A2	584	3,38	0,003	5,71	0,006
A3	146	0,84	0,001	1,43	0,001
A4	2.373	13,72	0,014	23,21	0,023
A5	1.333	7,70	0,008	13,04	0,013
A6	7.465	43,15	0,043	73,01	0,073
A7	1.481	8,56	0,009	14,48	0,014
A8	1.564	9,04	0,009	15,30	0,015
A9	832	4,81	0,005	8,14	0,008
A10	832	4,81	0,005	8,14	0,008
A11	337	1,95	0,002	3,30	0,003
A12	337	1,95	0,002	3,30	0,003
A13	562	3,25	0,003	5,50	0,005
A14	179	1,03	0,001	1,75	0,002
A15	832	4,81	0,005	8,14	0,008
A16	832	4,81	0,005	8,14	0,008
A17	1.434	8,29	0,008	14,02	0,014
A18	5.489	31,73	0,032	53,68	0,054
A19	8.091	46,77	0,047	79,13	0,079
A20	9.302	53,77	0,054	90,97	0,091
A21	2.446	14,14	0,014	23,92	0,024
A22	2.603	15,05	0,015	25,46	0,025
TOTALES	**50.004**	**289,02**	**0,289**	**489,02**	**0,489**

Fuente: Elaboración propia.

7.2 PLAN DE SOLUCIÓN

7.2.1 Criterios de selección

La solución propuesta a la problemática de las aguas lluvias en el Terminal Costa combina obras de captación, transporte, almacenamiento, infiltración y descarga de las aguas lluvias tales como canales abiertos, sumideros, cámaras de inspección, tuberías de HDPE, sedimentadores, zanjas infiltrantes, canaletas de techo y bajadas de aguas que trabajando de manera conjunta responden a un saneamiento de la totalidad del sector en estudio.

Para la selección de las obras más adecuadas en cada caso se propone revisar los siguientes aspectos básicos:

- Las condiciones del lugar en cuanto a geomorfología y propiedades del agua
- El tipo de red en que se deben insertar y las características de la zona
- La influencia de la ubicación geográfica en relación con las macro zonas que se han definido para enfrentar la diversidad geográfica.
- La geometría y emplazamiento de los elementos deben asegurar una mantención continua y efectiva.

Para el manejo de las aguas lluvias se proyecta la conducción de manera superficial hacia los puntos bajos de terreno, en donde se proyectarán canaletas y en menor medida cámaras de inspección que cumplen el rol de sumideros puntuales. Posteriormente el agua colectada será conducida a través de canales abiertos, simultáneamente y debido a la presencia de gran cantidad de partículas finas que se acumulan en el pavimento, techos, etc., es preciso proyectar obras que permitan la decantación y posterior remoción de las mismas, en conjunto con una mantención periódica. Esto último resulta un factor clave en el futuro comportamiento y vida útil del sistema proyectado, por tanto, las cámaras decantadoras junto a sedimentadores gravitacionales resultan apropiados.

Para la evacuación de las aguas lluvias se proyecta alivianar la carga aguas arriba de la planta de tratamiento, para impedir el colapso aguas abajo, realizando zanjas de infiltración, las cuales pueden quedar en desuso una vez que la planta de tratamiento se diseñe en concordancia a los caudales aportantes.

La justificación del diseño de las obras será expuesta en la memoria de cálculo incorporada en los anexos, sin embargo, se debe dejar en claro que es una solución propuesta y sujeta a evaluación, por ende, debe ser revisada y validada por un profesional competente si se decide por edificar las soluciones planteadas.

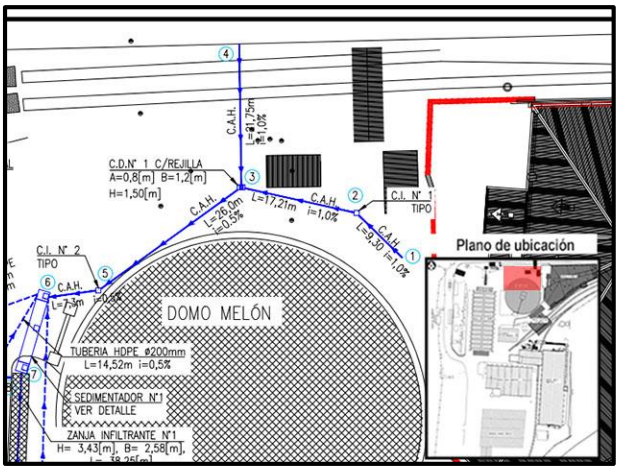
7.2.2 Domo Melón

Para el sector norte, inmediatamente después del perímetro del domo se contempla la captación y conducción de las aguas lluvias con canales abiertos de hormigón, incorporando parrillas de piso para brindar seguridad en el tránsito vehicular y peatonal, la resistencia tanto de canales como de parrillas deben asegurar el tránsito continuo de vehículos de alto tonelaje, considerando una carga total promedio de 45 $[ton]$ y 25 $[ton]$ en el eje de mayor carga.

Para el cambio de dirección y confluencias de canales se consideran cámaras de inspección o cajones de mayores profundidades que servirán como decantadores puntuales de sedimentos arrastrados. El emplazamiento de los canales abiertos de piso se proyecta en el lugar actual que ocupan las tuberías subterráneas de PVC de 110 $[mm]$, que se encuentran fuera de operación, el aprovechamiento de este trazado permite la rotura de pavimento y excavación en un lugar en donde la interferencia subterránea es conocida.

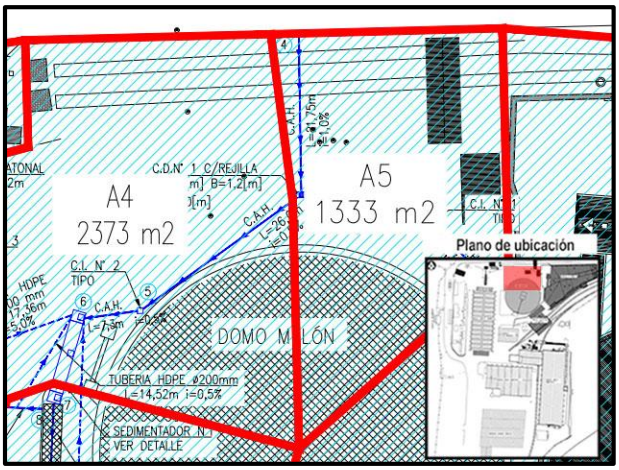
Para el sector poniente de los silos de carga de Melón se contempla también la captación y conducción de las aguas pluviales con canal abierto y rejilla, instalado como atravieso por debajo de la línea férrea existente, este canal captará toda el agua que actualmente se aposa en tal sector producto de la habilitación y pavimentación del nuevo acceso de camiones de Melón.

Figura 7-2 – Solución propuesta sector norte Domo Melón.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3 – Sub áreas de drenaje sector norte Domo Melón.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-10 – Dimensionamiento de canales Norte Melón

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m]	sal [m]					
A-04	3	5	C.A.H.	0,014	0,40	26,00	0,005	0,47	0,58	A4 Y A5	0,036	0,105	0,851	Zanja n°1
A-04	5	6	C.A.H.	0,014	0,40	7,30	0,005	0,58	0,75	A4 Y A5	0,036	0,105	0,851	Zanja n°1
A-05	1	2	C.A.H.	0,014	0,40	9,30	0,01	0,40	0,29	A5	0,013	0,040	0,765	Zanja n°1
A-05	2	3	C.A.H.	0,014	0,40	17,21	0,01	0,29	0,57	A5	0,013	0,040	0,765	Zanja n°1
A-05	4	3	C.A.H.	0,014	0,40	21,75	0,01	0,40	0,58	A5	0,013	0,040	0,765	Zanja n°1

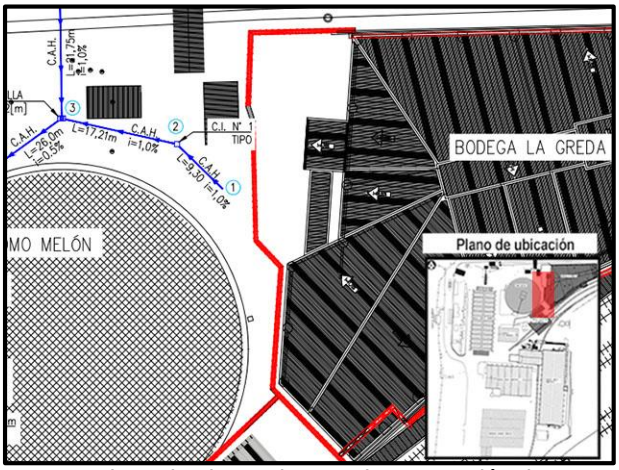
Fuente: Elaboración propia.

La idea de incorporar canales abiertos en este sector frente a la posibilidad de instalar sumideros combinados con colectores subterráneos tiene diversas justificaciones.

1) Al ser un sector con gran cantidad de polución producto de la carga de camiones, el sedimento principal arrastrado por las aguas lluvias corresponde al Clinker, el cual se define como un aglomerante hidráulico, esto quiere decir que en presencia de agua se genera una pasta que fragua y se endurece alcanzado gran resistencia mecánica. Al existir esta problemática los elementos instalados tras una nula mantención pueden quedar inoperativos en el corto plazo, debido a que su sección interior puede verse afectada por el endurecimiento del Clinker; frente a esta problemática se vislumbra mejor alternativa constructiva y de mantenimiento los canales abiertos, los cuales pueden ser registrados y limpiados con mayor frecuencia y rapidez.
2) La geometría semiesférica del Domo Melón impide la instalación de canaletas de techo, por tanto, la captación más efectiva de las aguas que escurren por su techumbre son los canales de piso.
3) El drenaje lineal (canales abiertos) frente al drenaje puntual (sumideros) representa variadas ventajas, las cuales destacan:
    - Facilita la ejecución de losas.
    - Mucho más eficiente hidráulicamente que el drenaje puntual.
    - Evita el anegamiento de zonas puntuales.
    - La rejilla permite que sea registrable en cualquier momento, facilitando la limpieza y mantenimiento de la red.
    - Absorbe pendientes mínimas del terreno sin necesidad de complicadas ejecuciones de obra.

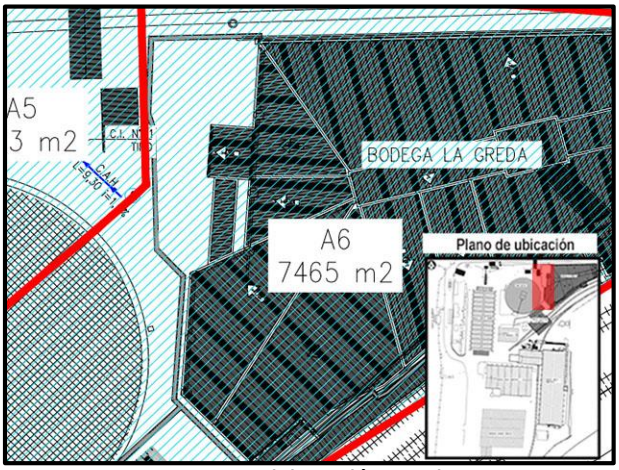
Para el sector oriente de Melón las aguas serán captadas por la solución de aguas lluvias de la nueva bodega de concentrado La Greda, esta solución también contempla una red de canales de piso y rejillas.

Figura 7-4 – Solución existente sector oriente del Domo Melón.



Fuente: Plano de planta sistema de evacuación de aguas lluvias, Bodega de concentrado de cobre, Constructora Logro.

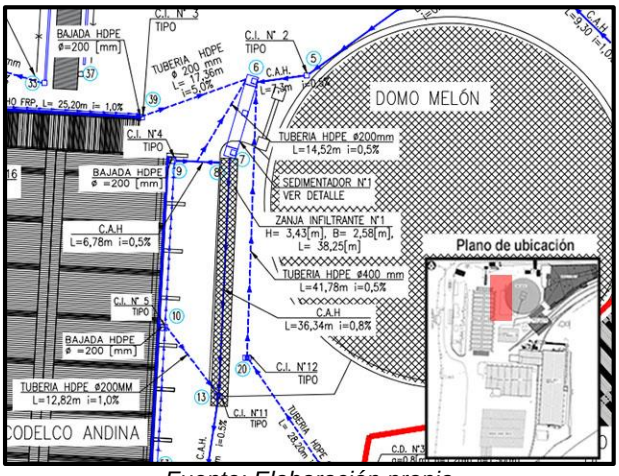
Figura 7-5 – Sub áreas de drenaje sector oriente Domo Melón.



Fuente: Elaboración propia

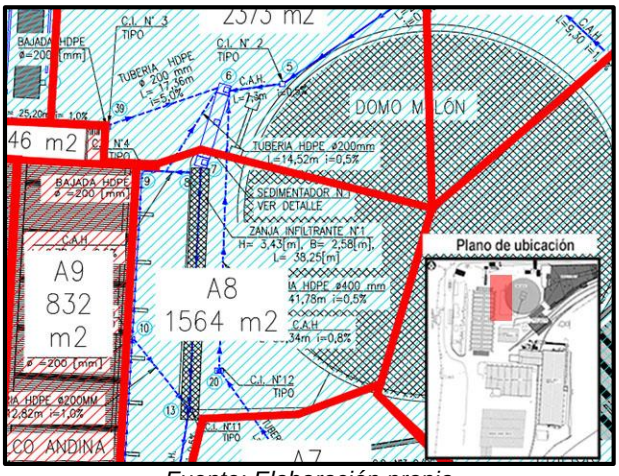
En el sector poniente del domo se proyecta la instalación de una zanja infiltrante que será la encargada de filtrar al subsuelo el agua captada y conducida por las canaletas de piso del sector norte de Melón, parte de la techumbre de la bodega Andina y parte de la calle de tránsito al poniente del domo. Esta zanja será rellenada mediante celdas de drenaje, comercialmente denominados Geocubos o Moduldren, los cuales cumplen una doble función, infiltración y acumulación de agua pluvial.

Figura 7-6 – Solución propuesta sector poniente del Domo Melón



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-7 – Sub áreas de drenaje sector poniente Domo Melón.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-11 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°1

TAG	tramo		áreas aportantes		H [m]	B [m]	L [m]	V exc [m3]	V geo [m3]	V alm [m3]	V inf [m3]	Verificación
	ent	sal	#	[m2]								Valm<Vinf
ZANJA N°1	7	13	A3, A4, A5, A6, A7 y A9	13.630	3,43	2,58	38,25	338,49	143,02	155,92	169,67	Cumple

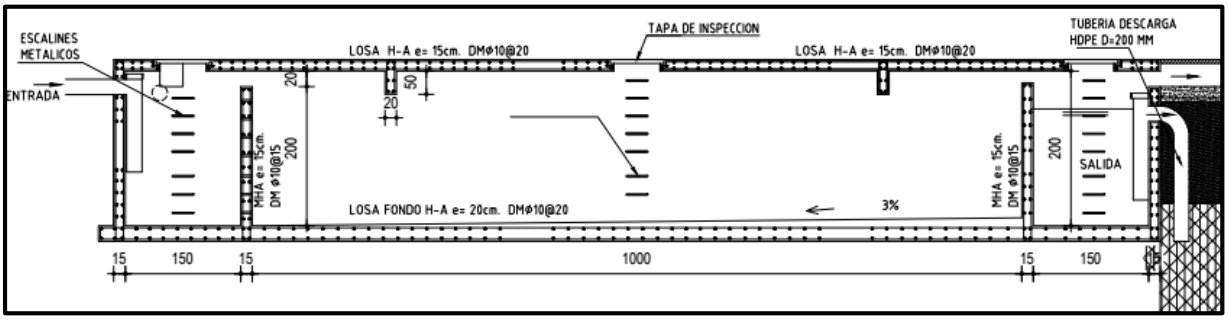
Fuente: Elaboración propia.

Las ventajas de los cubos de polipropileno como relleno frente a los bolones desplazadores y gaviones son:

- Construcción rápida y drenes económicos.
- Elimina peso en elementos estructurales.
- Alta resistencia a la compresión, hasta 27 $[ton/m2]$.
- Porosidad del 95% para infiltración.
- Drenaje eficiente y económico.
- Crea grandes volúmenes (drenes) en forma rápida.
- Ahorro sobre un 50% de los gastos asociados en la ejecución de obra comparado con drenes tradicionales (bolón desplazador o gaviones)

Para que la zanja infiltrante opere de manera óptima debe trabajar de manera conjunta con un sedimentador inmediatamente aguas arriba, esto con el propósito de no colmatar al corto plazo tal obra de infiltración y disponer de aguas tratadas y limpias de sedimentos para su infiltración; el arrastre de finos debe quedar retenido gran parte en el sedimentador, generando un lodo en el fondo que debe ser removido periódicamente para que la vida útil de la zanja pueda prolongarse lo máximo posible. La obra infiltrante al estar confinada bajo el subsuelo no admite mantenciones, por tanto, un buen diseño, limpieza y mantención del sedimentador es clave para que la evacuación de agua al subsuelo sea la adecuada.

Figura 7-8 – Sedimentador N°1, costado poniente Domo Melón



Fuente: Plano de detalles, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

Tabla 7-12 – Dimensionamiento de Sedimentador N°1

TAG	tramo		tipo de obra	material	áreas aportantes		caudal		H	B	L	V obra	V útil
	desde	hasta			#	[m2]	[l/s]	[m3/s]	[m]	[m]	[m]	[m3]	[m3]
SEDIMENTADOR N°1	6	7	Cámara de ingreso	H.A.	A3, A4, A5, A6, A7 y A9	13.630	28,55	0,029	2,00	1,80	1,50	5,40	4,86
			Estanque de sedimentación	H.A.	A3, A4, A5, A6, A7 y A9	13.630	28,55	0,029	2,00	1,80	10,00	36,00	32,40
			Cámara de salida	H.A.	A3, A4, A5, A6, A7 y A9	13.630	28,55	0,029	2,00	1,80	1,50	5,40	5,00

Fuente: Elaboración propia.

Para la separación de partículas en suspensión, el estado actual del arte propone dos sistemas generales de tratamiento: flotación o sedimentación. Dada las características del material que arrastran las aguas lluvias en el recinto de Puerto Ventanas, el sistema de tratamiento más adecuado es la separación por acción gravitacional o sedimentación, puesto que las partículas que deben separarse presentan una alta densidad (polvo natural, concentrado de cobre, clinker, entre otros gráneles sólidos).

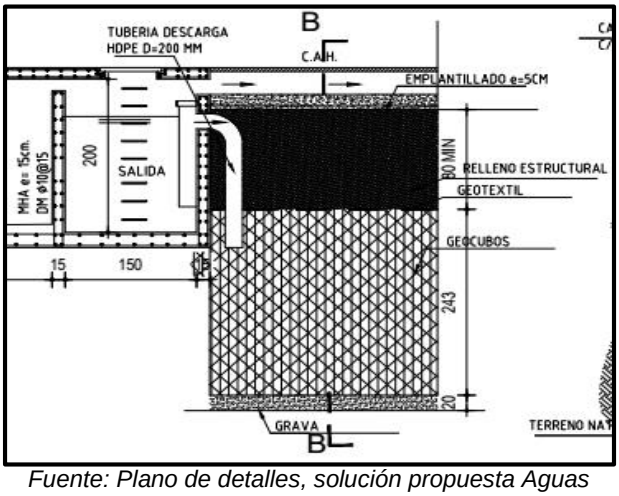
El criterio de diseño de la última cámara del sedimentador será tal de que una vez que la zanja infiltrante se vea sobrepasada en capacidad por una tormenta de gran envergadura, el rebalse será controlado por una canaleta de piso instalada sobre la obra infiltrante, la cual cumplirá la función de captar y conducir el agua del sector poniente del domo y además asegurará la conducción bajo la condición de rebalse de la zanja.

Tabla 7-13 – Dimensionamiento de canal Poniente Melón

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m]	sal [m]					
A-08	7	13	C.A.H.	0,014	0,40	36,34	0,008	0,40	0,88	A8	0,015	0,050	0,748	Zanja n°2

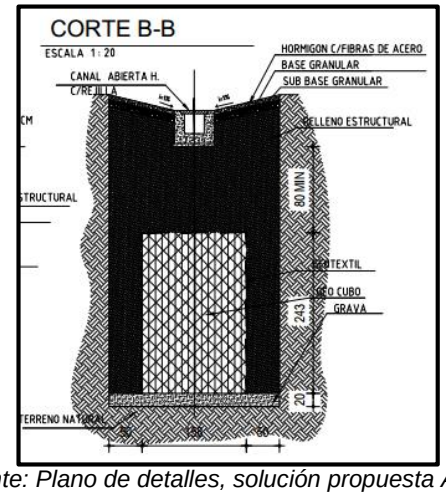
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-9 – Detalle de zanja infiltrante y última cámara de rebase de sedimentador N°1



Fuente: Plano de detalles, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

Figura 7-10 – Corte de zanja infiltrante y canaleta de piso.



Fuente: Plano de detalles, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

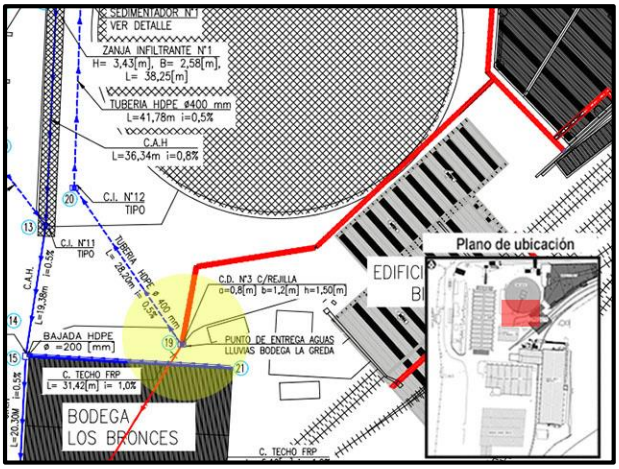
La razón principal de implementar un sedimentador y una zanja infiltrante en este sector es la utilización de técnicas alternativas de drenaje, esto quiere decir que se procura evacuar parte de la escorrentía que generan estas áreas desconectadas de la planta de tratamiento, a través de volúmenes de regulación, como son el trabajo en conjunto de estos dos elementos de drenaje propuestos.

7.2.3 Bodega La Greda

La evacuación de las aguas captadas en la nueva bodega contempla empalmarse a un sumidero existente de la red de drenaje, este sumidero está operativo, en una buena ubicación y conduce el agua a la planta de tratamiento, sin embargo, como ha sido explicado la planta fue sub dimensionada, por tanto, un área mayor de aporte sería provocar aún más el colapso de esta obra de tratamiento.

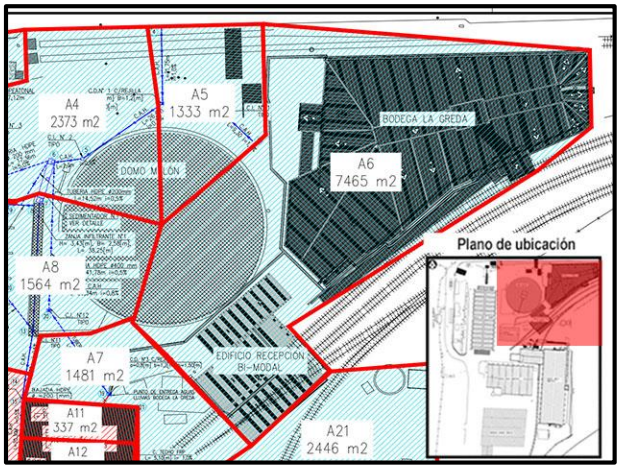
La solución propuesta para este sector consiste en modificar el sumidero existente y convertirlo en una cámara de decantación desconectándola de la planta de tratamiento, posteriormente el agua lluvia será conducida a través de tuberías de HDPE de 400[mm] al conjunto sedimentador y zanja de infiltración N°1 para su almacenaje y evacuación.

Figura 7-11 – Solución propuesta Bodega La Greda



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-12 – Sub áreas de drenaje Bodega La Greda.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-14 – Dimensionamiento de tuberías Bodega La Greda

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m	cota sal [n								
A-07	19	20	TUBERIA	0,011	5,47	5,33	400	28,20	0,005	A6, A7 Y A21	0,111	0,232	1,460	Zanja n°1
A-08	20	6	TUBERIA	0,011	5,33	5,12	400	41,78	0,005	A6, A7 Y A21	0,111	0,232	1,460	Zanja n°1

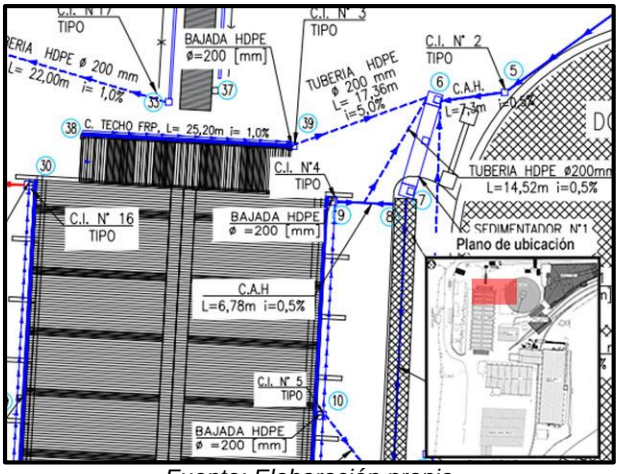
Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 Bodega Codelco Andina

7.2.4.1 Bodega Andina Norte

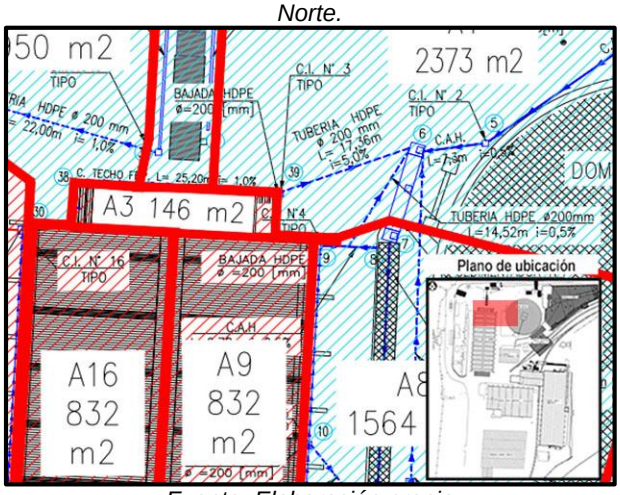
Para el sector norte de la Bodega Andina, específicamente en el edificio adosado, se instalará una canaleta de techo y cubeta de FRP, con bajada de aguas de HDPE que conducirán el agua captada a una cámara proyectada en el sector oriente del edificio. Esta cámara capta el agua de la techumbre del edificio acoplado y la conduce a la cámara de entrada del sedimentador N°1 través de una tubería subterránea de HDPE.

Figura 7-13 – Solución propuesta Bodega La Greda.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-14 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Norte.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-15 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina Norte

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	dif de cotas [m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disposición final
	ent	sal											
A-03	38	39	C. TECHO	0,013	0,30	25,20	0,01	0,25	A3	0,001	0,010	0,339	Zanja n°1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-16 – Dimensionamiento de tuberías Andina Norte

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m	cota sal [n								
A-04	39	6	TUBERIA	0,011	6,10	5,23	200	17,36	0,05	A3	0,001	0,111	0,920	Zanja n°1

Fuente: Elaboración propia.

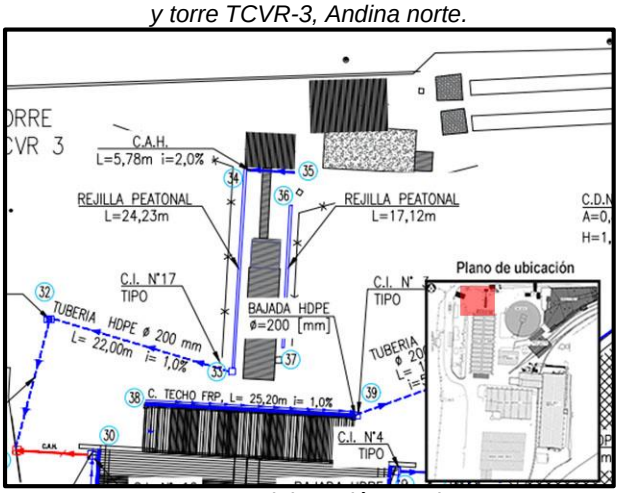
Las canaletas recogen el agua lluvia de la techumbre y la conducen hacia las bajadas, las cuales se instalan en los bordes de los aleros y permiten proteger mejor las fundaciones, veredas y muros de la infraestructura en general.

Las diversas materialidades en que pueden fabricarse las canaletas de techo aceptan criterios de elección en base a precio, calidad, rapidez de instalación y otros parámetros cuantificables que permiten la inclinación de un material por sobre otro. Para este caso en particular se seleccionó el FRP (polímero reforzado con fibras), como material predilecto, frente al acero galvanizado y al PVC, materiales comúnmente utilizados en la fabricación de canaletas de techo, por las siguientes ventajas:

- Material químicamente inactivo, resistente a la corrosión
- Retardante a la llama
- No conductor eléctrico
- Alta durabilidad
- Resistente a los rayos UV
- Bajo costo de instalación
- Liviano, fácil traslado y manipulación
- Dimensiones según diseño
- Ral incorporado
- Evidencia empírica en instalaciones de PVSA (Anglo I, Anglo II y La Greda)

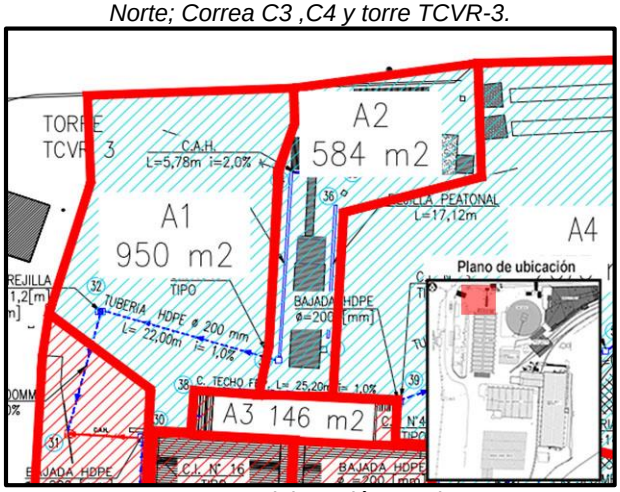
En el sector de la correa subterránea C3 (Ver figura 7-15) se recomienda cambiar la rejilla metálica existente por una rejilla de FRP para tránsito peatonal, las ventajas del FRP fueron expuestas anteriormente. De manera conjunta el sumidero (SU-23) que se encuentra fuera de la sala de la polea de cabeza de la correa C4 se sugiere eliminarlo y proyectar una canaleta de piso en todo el perímetro sur de esta sala con el propósito de captar y conducir de manera más adecuada el flujo que se genera por las lluvias. La idea de esta nueva canal a incorporar es empalmarla a la canaleta poniente existente en el sector exterior de la correa C3.

Figura 7-15 – Solución propuesta sector Correa C3 ,C4 y torre TCVR-3, Andina norte.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-16 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Norte; Correa C3 ,C4 y torre TCVR-3.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-17 – Dimensionamiento de canal de piso C4, Andina Norte

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m]	sal [m]					
A-02	35	34	C.A.H.	0,014	0,30	5,78	0,02	0,40	0,53	A2	0,006	0,032	0,786	PTALL

Fuente: Elaboración propia.

La canaleta de piso existente en tal sector tiene escurrimiento de norte a sur, en su descarga se proyecta la instalación de una tubería subterránea de HDPE, la cual conduce las aguas captadas a una cámara decantadora proyectada justo en el sector sur de la torre TCVR3, esta cámara cumple la función de sumidero, decantación e inspección; se concibe instalarla en la cota más baja del terreno, por ende, la inundación que se genera actualmente en el sector debiese ser saneada por tal elemento.

El conjunto de tuberías subterráneas, canales y cámaras proyectadas en tal sector (TCVR3), se conecta a una cámara existente que alimenta por el sector norte a la planta de tratamiento.

Tabla 7-18 – Dimensionamiento de tuberías Andina Norte

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m]	cota sal [m]								
A-01	33	32	TUBERIA	0,011	5,94	5,72	200	22,00	0,01	A2	0,006	0,053	0,900	PTALL
A-01	32	31	TUBERIA	0,011	5,82	5,67	200	15,25	0,01	A1, A2	0,015	0,086	1,150	PTALL

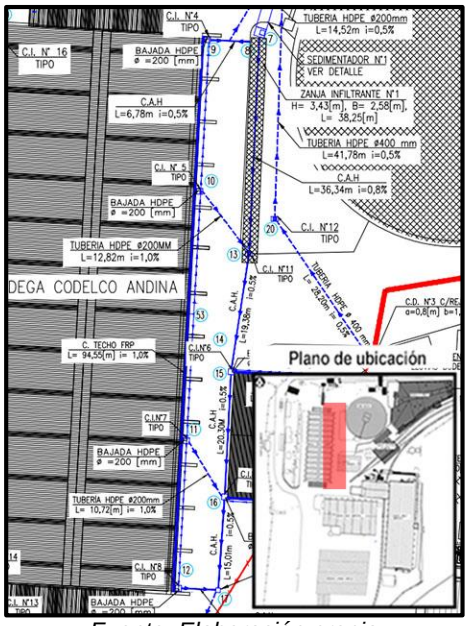
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para solucionar el problema de acumulación que se genera fuera de la subestación eléctrica n°1 se sugiere demoler la solera norte que confina el radier de entrada a esta sala, de esta manera demoliendo la solera y modificando la pendiente del radier con escurrimiento a la calle de ingreso (pendiente de sur a norte), se impedirá que el agua se acumule e ingrese a la sala debido a que el bombeo del pavimento conducirá el agua de manera natural al cauce que lleva la calle de acceso.

7.2.4.2 Bodega Andina Oriente

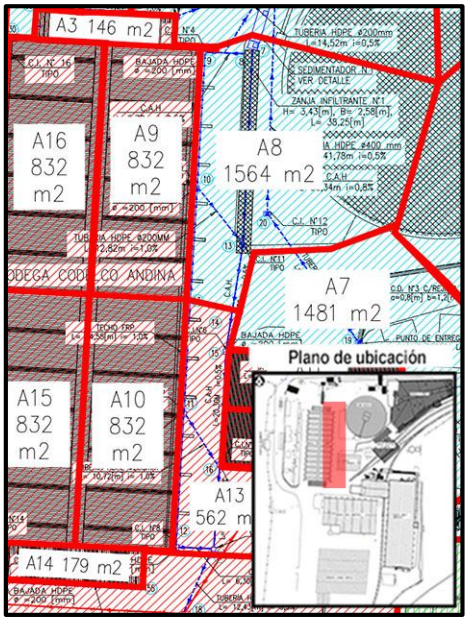
Para el sector oriente de esta bodega, se proyecta la instalación de canaleta de techo y cubetas de FRP a lo largo de todo el alero oriente con cuatro bajadas de aguas de HDPE que conducirán el agua captada a sumideros proyectados. Similar a la solución adoptada en el edificio acoplado norte, estos sumideros evacuaran el agua oriente y la conducirán a través de una tubería subterránea de HDPE a cámaras de inspección emplazadas en el sector oriente las cuales confluyen con canaletas de piso proyectadas para la captación y conducción de las aguas.

Figura 7-17 – Solución propuesta Andina oriente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-18 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina oriente.

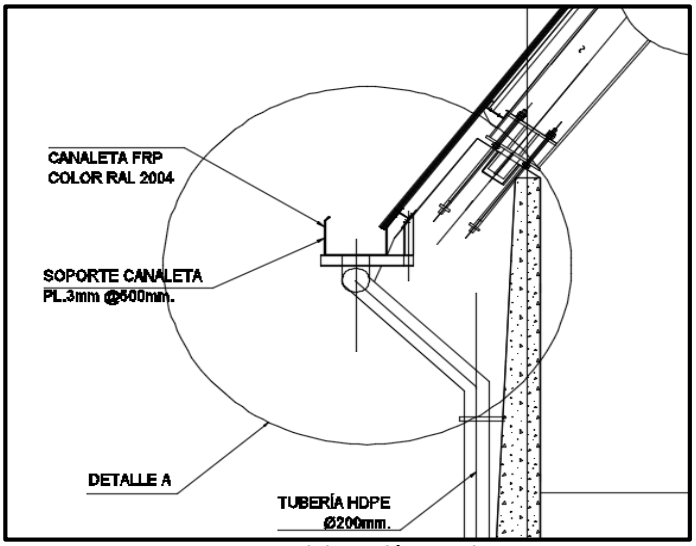


Fuente: Elaboración propia

Las canaletas de techo serán afianzadas a los aleros metálicos o muros de la bodega a través de soportes metálicos galvanizados en caliente, los cuales se instalarán espaciados a 1,5 $[m]$, los soportes deben ser fabricados de tal manera que se afiancen a todo el perímetro exterior de la canal, con el propósito de generar una mayor rigidez, servir como elemento estructural y a la vez brindar estabilidad a las canaletas.

Las bajadas de aguas también deben ser afianzadas a los muros con pernos de anclaje embebidos con adhesivo epóxico.

Figura 7-19 – Detalle canaleta, Andina oriente.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-19 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina oriente

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	dif de cotas [m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disposición final
	ent	sal											
A-09	10	9	C. TECHO	0,013	0,30	26,19	0,01	0,26	A9/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°1
A-09	53	10	C. TECHO	0,013	0,30	21,04	0,01	0,21	A9/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°1
A-10	53	11	C. TECHO	0,013	0,30	21,35	0,01	0,21	A10/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°2
A-10	11	12	C. TECHO	0,013	0,30	25,90	0,01	0,26	A10/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

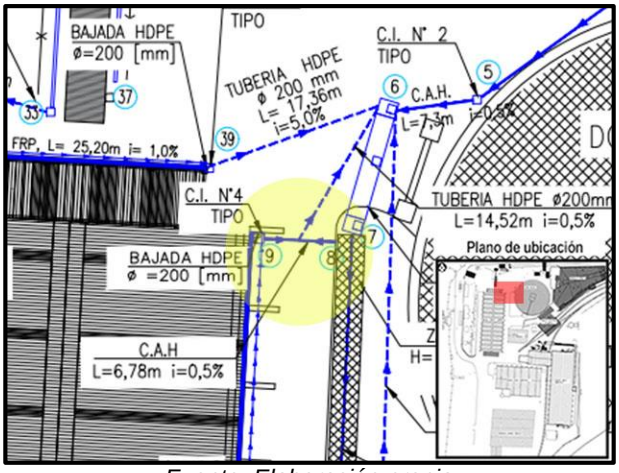
Tabla 7-20 – Dimensionamiento de tuberías Andina oriente

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m	cota sal [n								
A-04	8	6	TUBERIA	0,011	5,97	5,90	200	14,52	0,005	A8 Y A9	0,023	0,140	0,977	Zanja n°1
A-08	10	13	TUBERIA	0,011	6,09	5,96	200	12,82	0,01	A9	0,008	0,062	0,971	Zanja n°2
A-13	11	16	TUBERIA	0,011	6,26	6,15	200	10,72	0,010	A10	0,008	0,062	0,971	Zanja n°2
A-18	17	18	TUBERIA	0,011	5,49	5,43	315	12,43	0,005	A8, A9, A10, A11, A12, A13	0,028	0,119	1,03	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

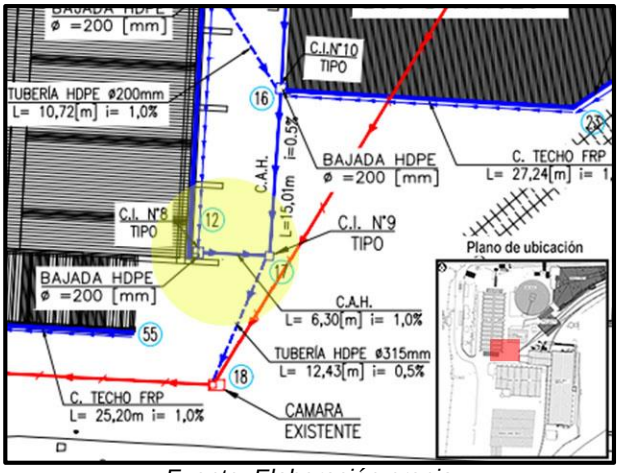
En el sector nororiente y sur oriente de la Bodega se proyectan dos canales transversales de piso con su respectiva rejilla, para captar y conducir el exceso de escorrentía que se propaga por la calle de tránsito. El canal transversal nororiente descarga en la cámara de entrada del sedimentador n°1, en cambio el canal transversal suroriente recibe las aguas que provienen de la canaleta de techo y la canaleta de piso del sector oriente y descarga su caudal a una cámara existente emplazada al sur de este elemento mediante tubería de HDPE subterránea.

Figura 7-20 – Canal transversal nororiente, Bodega Andina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-21 – Canal transversal suroriente, Bodega Andina.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-21 – Dimensionamiento de canales de piso, Andina Oriente

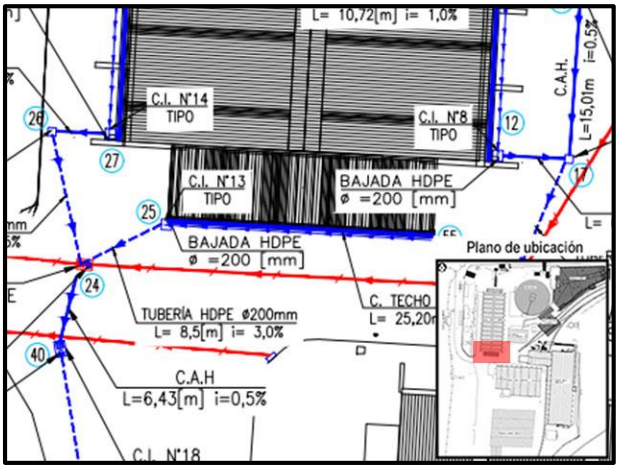
sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m³/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m]	sal [m]					
A-08	9	8	C.A.H.	0,014	0,40	6,78	0,005	0,40	0,45	A8 Y A9	0,023	0,078	0,739	Zanja n°1
A-08	7	13	C.A.H.	0,014	0,40	36,34	0,008	0,40	0,88	A8	0,015	0,050	0,748	Zanja n°2
A-08	13	15	C.A.H.	0,014	0,40	19,38	0,005	0,88	1,03	A8, A9	0,023	0,078	0,739	Zanja n°2
A-13	15	16	C.A.H.	0,014	0,40	20,30	0,005	1,03	1,04	A8,A9, A11,A13	0,032	0,097	0,820	Zanja n°2
A-13	16	17	C.A.H.	0,014	0,40	15,01	0,005	1,04	1,13	A8,A9, A10, A11,A12,A13	0,044	0,121	0,903	Zanja n°2
A-13	12	17	C.A.H.	0,014	0,40	6,30	0,010	0,40	0,49	A10, A13	0,013	0,040	0,765	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4.3 Bodega Andina Sur

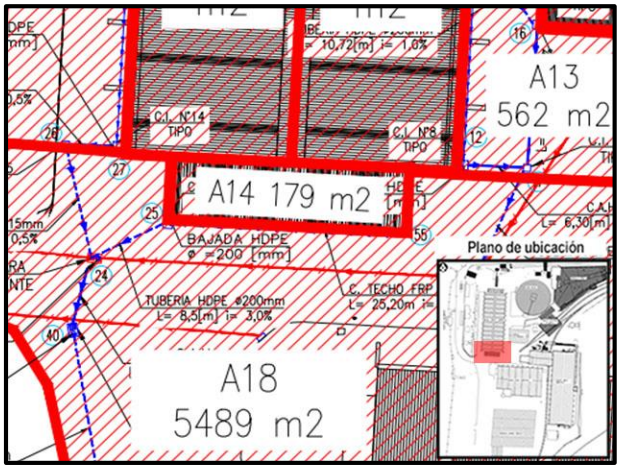
Para el sector sur de la Bodega Andina, específicamente en el edificio adosado, se adopta una solución análoga a la implementada en el norte, la que consiste en la instalación de canaleta de techo y cubeta de FRP, con una bajada de aguas de HDPE que conducirá el agua captada a un sumidero proyectado en el sector surponiente del edificio. En este sumidero se descarga el agua de la techumbre del edificio acoplado y se conduce a través de una tubería subterránea de HDPE a una cámara decantadora existente proyectada al surponiente de la ampliación de esta bodega.

Figura 7-22 – Solución propuesta edificio adosado, Andina sur.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-23 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina Sur.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-22 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina sur

sub área	Tramo ent	Tramo sal	tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	dif de cotas [m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disposición final
A-14	55	25	C. TECHO	0,013	0,30	25,20	0,010	0,25	A14	0,002	0,015	0,441	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-23 – Dimensionamiento de tuberías Andina sur

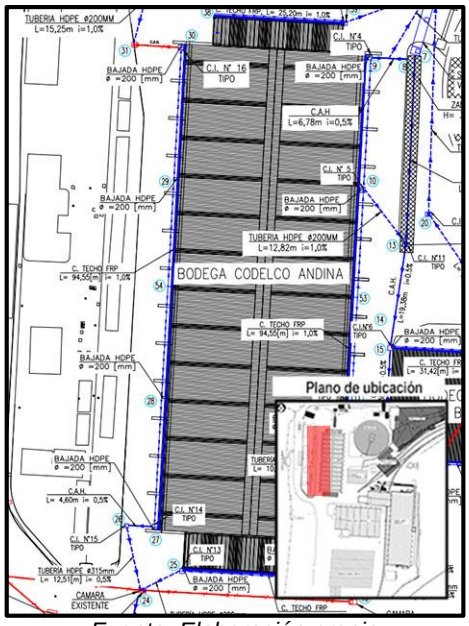
sub área	Tramo ent	Tramo sal	tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación cota ent [m	Sello de excavación cota sal [n	D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
A-18	25	24	TUBERIA	0,011	5,80	5,55	200	8,50	0,030	A14	0,002	0,024	0,950	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4.4 Bodega Andina Poniente

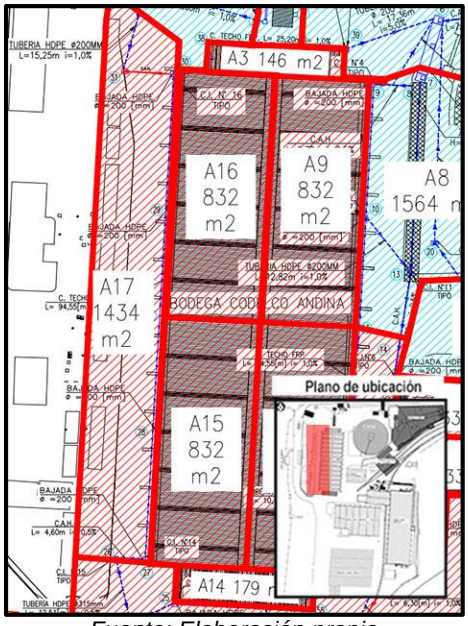
En este sector se adoptará la solución conjunta de saneamiento de canaleta de techo, cubetas de FRP y bajadas de aguas de HDPE, la instalación de bajadas de aguas para la descarga se proyecta en cuatro puntos de la bodega. La escorrentía de la calle se captará a través del canal transversal existente del norponiente, mientras tanto en el surponiente se proyecta la construcción de otro canal transversal.

Figura 7-24 – Solución propuesta sector norponiente Andina



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-25 – Sub áreas de drenaje Bodega Andina poniente.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-24 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina poniente

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	dif de cotas [m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disposición final
	ent	sal											
A-15	54	28	C. TECHO	0,013	0,30	21,35	0,010	0,21	A15/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°2
A-15	28	27	C. TECHO	0,013	0,30	25,90	0,010	0,26	A15/2	0,004	0,023	0,571	Zanja n°2
A-16	29	30	C. TECHO	0,013	0,30	26,19	0,010	0,26	A16/2	0,004	0,023	0,571	PTALL
A-16	54	29	C. TECHO	0,013	0,30	21,04	0,010	0,21	A16/2	0,004	0,023	0,571	PTALL

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-25 – Dimensionamiento de tuberías Andina poniente

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m	cota sal [m								
A-18	26	24	TUBERIA	0,011	6,06	5,99	315	12,51	0,005	A15, A17	0,022	0,105	0,969	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-26 – Dimensionamiento de canales de piso, Andina poniente

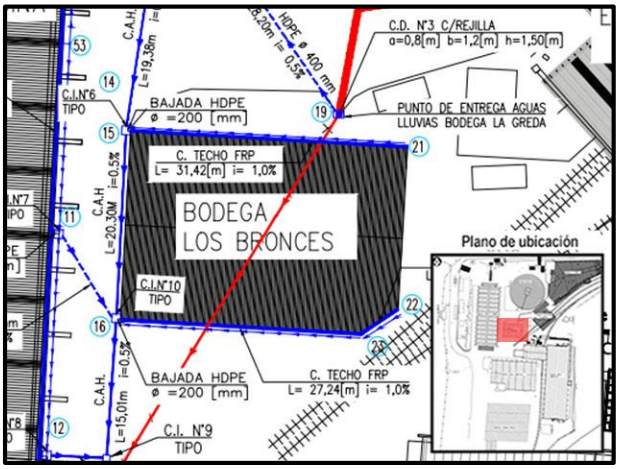
sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m	sal [m					
A-17	27	26	C.A.H.	0,014	0,40	4,60	0,005	0,40	0,49	A15, A17	0,022	0,076	0,728	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Bodega Los Bronces

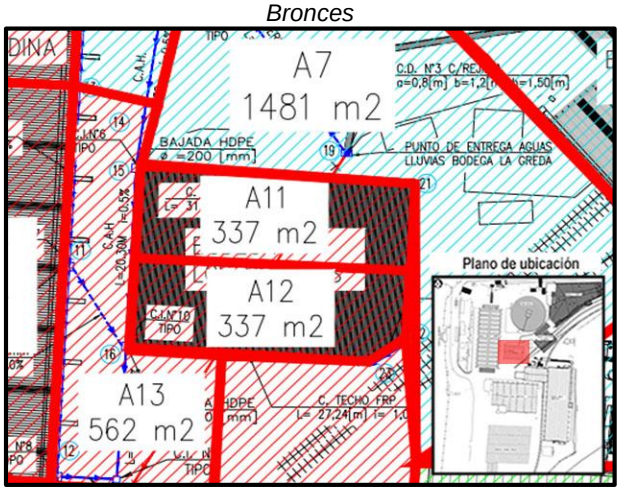
Para la Bodega Los Bronces, de manera análoga a la Bodega Andina, se incorporarán canaletas de techo a lo largo de sus aleros, estas descargarán en cámaras de inspección, en las cuales confluyen las canaletas de piso que se proyectan inmediatamente al poniente de esta bodega.

Figura 7-26 – Solución propuesta Bodega Los Bronces



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-27 – Sub áreas de drenaje Bodega Los Bronces



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-27 – Dimensionamiento de canaleta de techo Andina poniente

sub área	Tramo ent	Tramo sal	tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	dif de cotas [m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disposición final
A-11	21	15	C. TECHO	0,013	0,30	31,42	0,01	0,31	A11	0,003	0,020	0,513	Zanja n°2
A-12	22	23	C. TECHO	0,013	0,30	5,10	0,010	0,05	A12	0,003	0,020	0,513	Zanja n°2
A-12	23	16	C. TECHO	0,013	0,30	27,24	0,010	0,27	A12	0,003	0,020	0,513	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

Al sur de esta bodega, específicamente el sector comprendido por la línea férrea, se propone remover el sustrato superficial que se encuentra colmatado por finos y renovarlo por un sustrato de mayor permeabilidad, con el propósito de que el agua lluvia sea infiltrada y no acumulada. Sin embargo, la inundación del sector entre rieles debiese aminorarse por la instalación de canaleta en el alero sur de la Bodega Los Bronces.

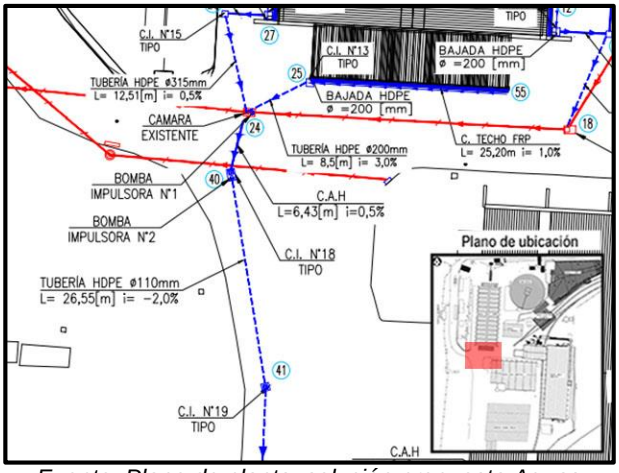
7.2.6 Bodega Anglo American I

Las soluciones propuestas para esta bodega se emplazan en su primer tramo en el norponiente, en este sector se proyecta un canal transversal el cual tiene una doble funcionalidad: captar parte de la escorrentía que fluye por las calles de tránsito norte y poniente de esta bodega, además de cumplir la función de descarga de una bomba impulsora de accionamiento automático preconcebida en la cámara existente (nodo 24); la incorporación de esta bomba se proyecta con el fin de desconectar la cámara decantadora existente de la planta de tratamiento.

Inmediatamente a la salida de esta canal se proyecta una cámara con una segunda bomba de impulsión, la cual elevará el agua lluvia captada hacia otra canaleta de piso que conduce el caudal captado hacia el conjunto sedimentador/zanja de infiltración N°2, emplazados al sur de la Bodega Anglo American I.

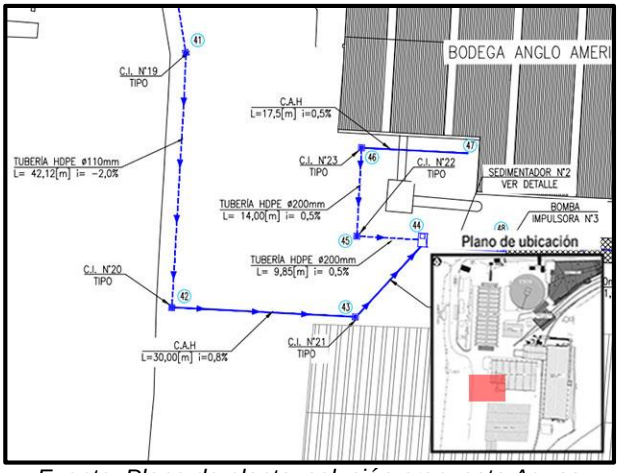
La bomba de impulsión N°2 fue proyectada por la razón de que el sentido de flujo de las obras propuestas, específicamente en el A-18 van en contra del sentido de escurrimiento de las calles, por tanto, sin la implementación de este equipo las profundidades de excavación superaban fácilmente los 3[m], haciendo que la conducción gravitacional por sí sola no fuese posible ser concebida.

Figura 7-28 – Solución propuesta sector norponiente, Bodega Anglo American I



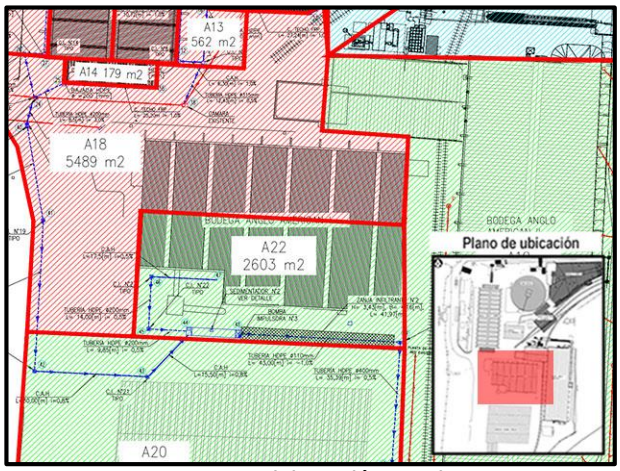
Fuente: Plano de planta, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

Figura 7-29 – Solución propuesta sector surponiente, Bodega Anglo American I



Fuente: Plano de planta, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

Figura 7-30 – Sub áreas de drenaje Bodega Anglo American I



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-28 – Dimensionamiento de tuberías Bodega Anglo I

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	Sello de excavación		D [mm]	L [m]	i [m/m]	Áreas Aportantes	Q diseño [m^3/s]	h normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal			cota ent [m	cota sal [n								
A-18	40	41	TUBERIA	0,011	5,68	6,20	110	26,55	-0,020	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17 y A18	0,121			Zanja n°2
A-18	41	42	TUBERIA	0,011	6,20	6,78	110	42,12	-0,014	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17 y A18	0,121			Zanja n°2
A-22	46	45	TUBERIA	0,011	6,48	6,41	200	14,00	0,005	A22	0,025	0,150	0,989	Zanja n°2
A-22	45	44	TUBERIA	0,011	6,81	6,76	200	9,85	0,005	A22	0,025	0,150	0,989	Zanja n°2
A-22	48	49	TUBERIA	0,011	7,17	7,60	110	43,00	-0,010	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A17 , A18, A22	0,146			Zanja n°3
A-20	49	50	TUBERIA	0,011	7,20	7,02	400	35,39	0,005	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A17 , A18, A22	0,146	0,280	1,551	Zanja n°3

Fuente: Elaboración propia.

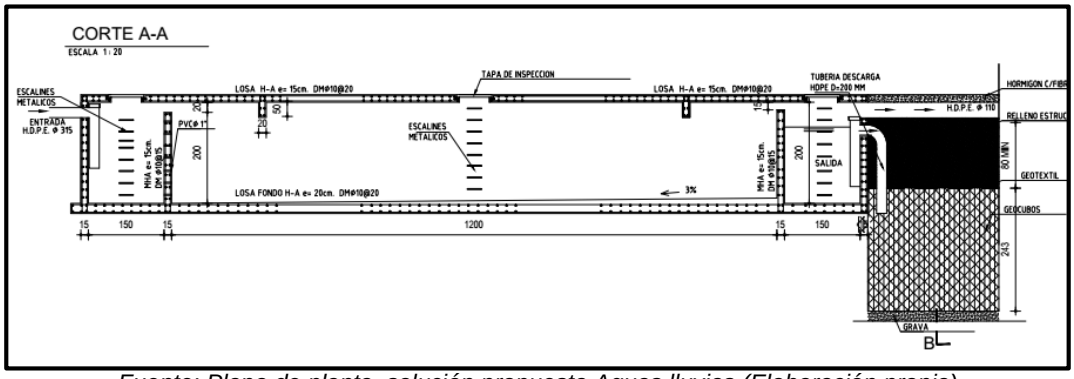
Tabla 7-29 – Dimensionamiento de canales de piso, Bodega Anglo I

sub área	Tramo		tipo de obra	coef. Manning	b [m]	L [m]	i [m/m]	h canal		Áreas Aportantes	Q diseño [m³/s]	altura normal [m]	vel [m/s]	disp. final
	ent	sal						ent [m]	sal [m]					
A-18	24	40	C.A.H.	0,014	0,40	6,43	0,005	0,80	0,33	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17 y A18	0,121	0,257	1,176	Zanja n°2
A-22	47	46	C.A.H.	0,014	0,40	17,50	0,005	0,80	0,28	A22	0,025	0,082	0,759	Zanja n°2
A-20	42	43	C.A.H.	0,014	0,40	30,00	0,008	0,40	0,95	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17 y A18,A20	0,212	0,332	1,595	Zanja n°2
A-20	43	44	C.A.H.	0,014	0,40	15,50	0,008	0,95	1,07	A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A17 y A18,A20	0,212	0,332	1,595	Zanja n°2

Fuente: Elaboración propia.

El caudal transportado por el conjunto de canales de piso y tuberías será regulado y tratado en el sedimentador n°2, proyectado en el sector sur de la bodega Anglo American I; inmediatamente aguas debajo de este elemento de decantación, se proyecta la segunda zanja de infiltración con celdas de polipropileno, la cual cumplirá la doble función de acumulación-infiltración, siendo consecuente con el concepto de saneamiento de la planta a través de técnicas alternativas de drenaje.

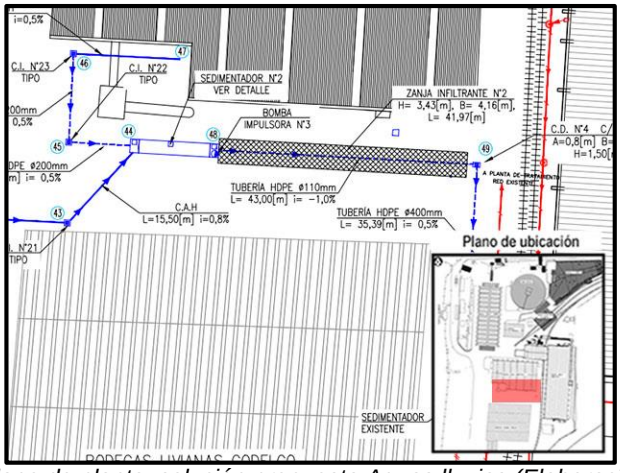
Figura 7-31 – Sedimentador N°2, costado sur bodega Anglo American I



Fuente: Plano de planta, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

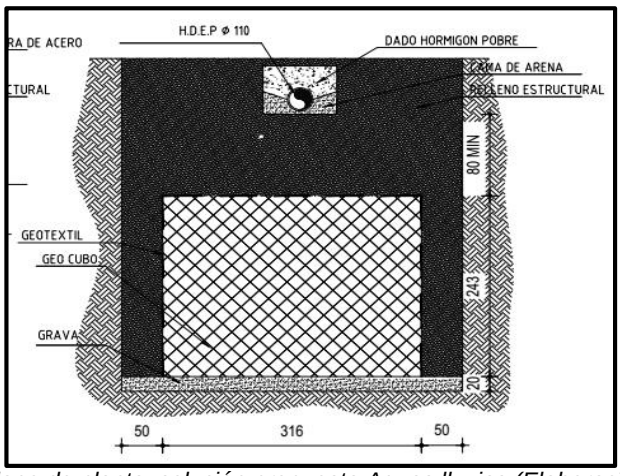
El caudal en exceso de agua una vez que la segunda zanja de infiltración opere ahogada, será impulsada por la bomba n°3 a través de una tubería de HDPE de 110 [mm], empalmándose con el sistema de drenaje existente del poniente de la Bodega Anglo American II.

Figura 7-32 – Sedimentador N°2, costado sur bodega Anglo American I



Fuente: Plano de planta, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

Figura 7-33 – Solución propuesta sector poniente, Bodega Anglo American I



Fuente: Plano de planta, solución propuesta Aguas lluvias (Elaboración propia)

El sector de emplazamiento de la segunda zanja de infiltración corresponde a un área de terreno natural el cual no se encuentra pavimentado, lo que facilita las labores de excavación al construir esta obra de drenaje.

Tabla 7-30 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°2

TAG	tramo		áreas aportantes		H [m]	B [m]	L [m]	V exc [m3]	V geo [m3]	V alm [m3]	V inf [m3]	Verificación
	ent	sal	#	[m2]								Valm<Vinf
ZANJA N°2	48	49	A8, A10, A11, A12, A13, A14, A18, A20, A21, A22	21.553	3,43	4,16	41,97	598,93	314,63	425,03	339,98	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-31 – Dimensionamiento de Sedimentador N°2

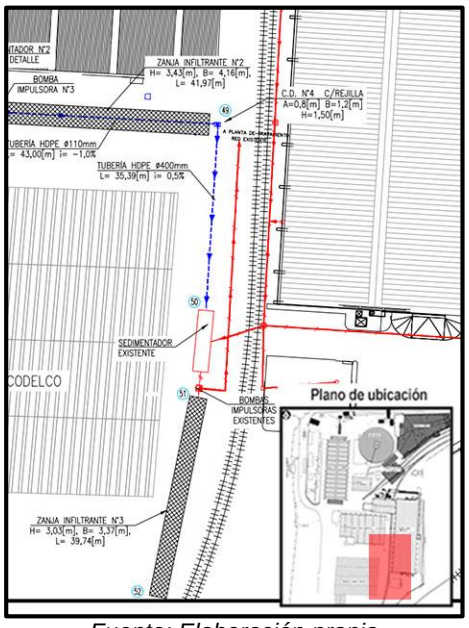
TAG	tramo		tipo de obra	material	áreas aportantes		caudal		H	B	L	V obra	V útil
	desde	hasta			#	[m2]	[l/s]	[m3/s]	[m]	[m]	[m]	[m3]	[m3]
SEDIMENTADOR N°2	44	48	Cámara de ingreso	H.A.	A8, A10, A11, A12, A13, A14, A18, A20, A21, A22	21.553	45,14	0,045	2,00	2,30	1,50	6,90	6,21
			Sedimentador gravitacional	H.A.	A8, A10, A11, A12, A13, A14, A18, A20, A21, A22	21.553	45,14	0,045	2,00	2,30	12,00	55,20	49,68
			Cámara de salida	H.A.	A8, A10, A11, A12, A13, A14, A18, A20, A21, A22	21.553	45,14	0,045	2,00	2,30	1,50	6,90	6,38

Fuente: Elaboración propia.

7.2.7 Bodega Anglo American II

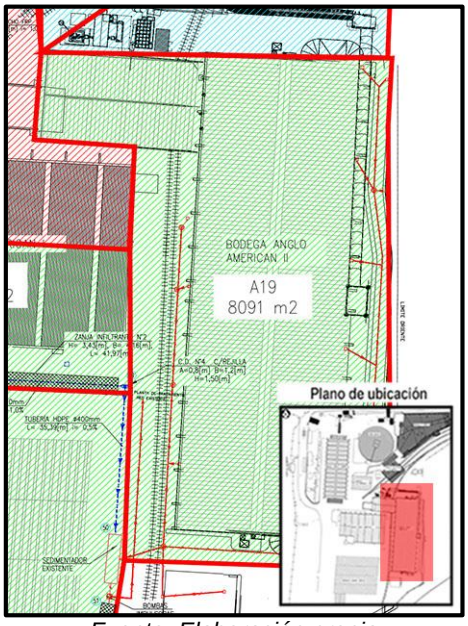
Para esta bodega se contempla el mejoramiento del sistema de infiltración que actualmente está inoperativo, las tuberías perforadas que actúan como drenes en conjunto con el sustrato permeable de bolones desplazadores, serán reemplazados en su totalidad por una tercera zanja de infiltración con celdas de polipropileno.

Figura 7-34 – Solución propuesta Bodega Anglo II.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-35 – Sub áreas de drenaje Bodega Anglo American II



Fuente: Elaboración propia

Para que el sistema funcione de manera óptima, el sedimentador existente debe ser mantenido rigurosamente, conjuntamente se hace mención de que esta zanja corresponde al tercer elemento de infiltración y almacenamiento que se propone para el saneamiento de las áreas en estudio, es en este sector que ante un aumento de la escorrentía producto de precipitaciones poco frecuentes se encuentran emplazadas en la última cámara de rebase del sedimentador, bombas de elevación sumergibles. Para la filosofía de operación del sistema se plantea que ante una crecida en la cual las zanjas infiltrantes operen ahogadas, el accionamiento de las bombas impulsoras existentes entra en funcionamiento, alimentando la planta de tratamiento por el sector sur, para cualquier lluvia acorde a los períodos de retorno de diseño, la red proyectada debiese aportar un mínimo caudal al decantador primario, elemento de almacenamiento de la planta de tratamiento de aguas lluvias.

Tabla 7-32 – Dimensionamiento de Zanja de infiltración N°3

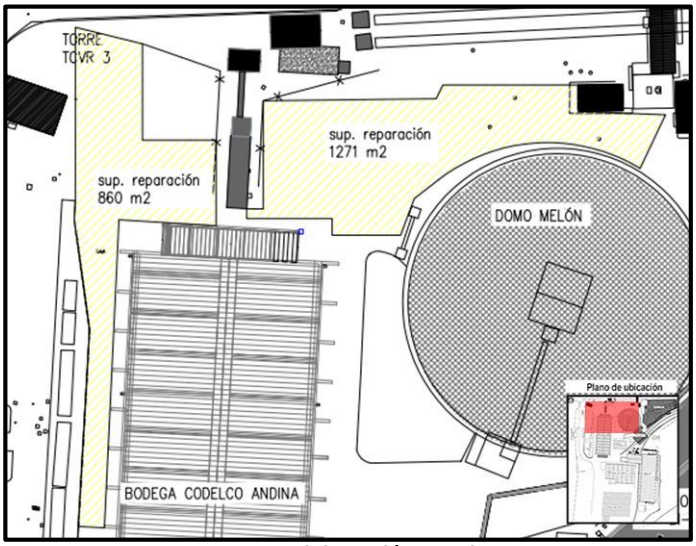
TAG	tramo		áreas aportantes		H [m]	B [m]	L [m]	V exc [m3]	V geo [m3]	V alm [m3]	V inf [m3]	Verificación
	ent	sal	#	[m2]								Valm<Vinf
ZANJA N°3	51	52	A19	10.222	3,03	3,37	39,74	405,11	185,29	85,48	208,80	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

7.3 PAVIMENTOS PORTUARIOS

De forma paralela a la solución de aguas lluvias se plantea la reparación o reposición de pavimento de dos áreas visualizadas como críticas por el considerable deterioro de la carpeta de rodadura, la idea es empalmar la solución de aguas lluvias con un correcto bombeo de pavimentos para asegurar una adecuada conducción y evacuación de las aguas.

Figura 7-36 – Superficies de pavimentos críticos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-37 – Deterioro de pavimento sector norporiente Bodega Andina, vista poniente.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 7-38 – Deterioro de pavimento sector poniente Bodega Andina, vista norte.

Fuente: Fotografía propia.

Los dos sectores expuestos tienen asfalto en la conformación de su carpeta de rodadura, las grietas que se observan se denominan “piel de cocodrilo” y son propias del agrietamiento por

fatiga en pavimentos asfálticos, este deterioro presente en gran parte de estos paños identificados como críticos se producen por cargas de alto tráfico circulando de forma constante y una deficiencia de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento, producto del inadecuado sistema de drenaje, permitiendo que el agua se infiltre a las capas granulares facilitando el arrastre de finos y debilitando las capas de soporte. Otra causa de este fenómeno de agrietamiento se produce por mezclas asfálticas demasiado rígidas, este fenómeno sucede generalmente cuando el asfalto se envejece y oxida con el paso de los años.

De manera conjunta, en el sector poniente de la Bodega Andina se observa ahuellamiento, que corresponde al hundimiento longitudinal de la carpeta de rodadura canalizada en la huella de circulación de los vehículos, este deterioro también es producto del agrietamiento por fatiga.

Los métodos de conservación se basan en términos generales en mediciones y su cuantificación de daño por metro lineal cada metro cuadrado de superficie, luego en base a la cantidad de metros lineales obtenidos se determina el tipo de daño y su magnitud, la cual puede ser baja, media o alta. En base a esta determinación se observan tres posibles escenarios de conservación:

1. Reparación de espesor parcial o completo.
2. Fresado y recarpeteo
3. Reconstrucción de la carpeta y mejoramiento de capas granulares si se requiere.

Debido a la cantidad de irregularidades, tamaño de las grietas y tipo de daño observado en las carpetas del Terminal Costa deterioradas, se propone la tercera opción como mejoramiento de pavimentos.

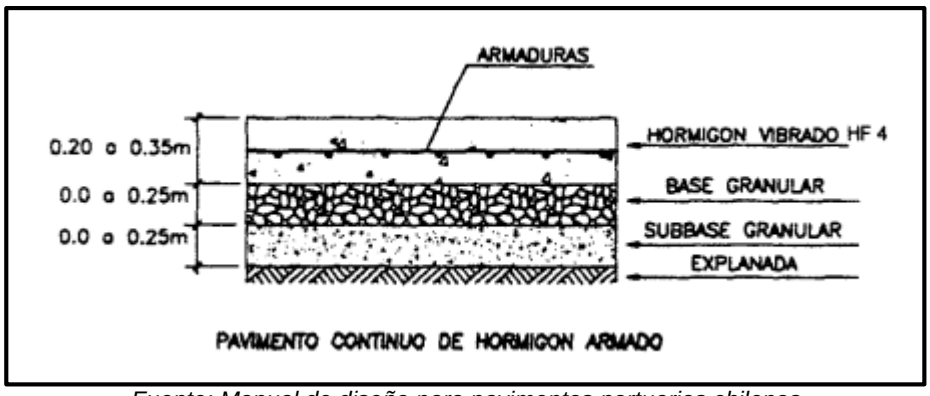
Según antecedentes de diversos trabajos efectuados en las instalaciones de puerto, se puede proponer un diseño del tipo empírico el cual puede ser revisado a posteriori de manera empírica-mecanicista por un profesional competente; el diseño propuesto se basa en la respuesta que adoptan los pavimentos actualmente emplazados en el Terminal Costa y su respuesta que han tenido durante su vida de servicio frente a las cargas de transito lento y pesado que circulan mayoritariamente por las calles y bodegas del terminal.

Los paños en estudio representan vías de comunicación en la cual transitan vehículos con material de carga desde las zonas de operación hasta las de almacenamiento y desde éstas hasta las zonas exteriores del puerto.

Se proponen tres tipos de pavimentos para reconstruir los paños anteriormente descritos, las carpetas propuestas son:

- Hormigón vibrado con armadura metálica

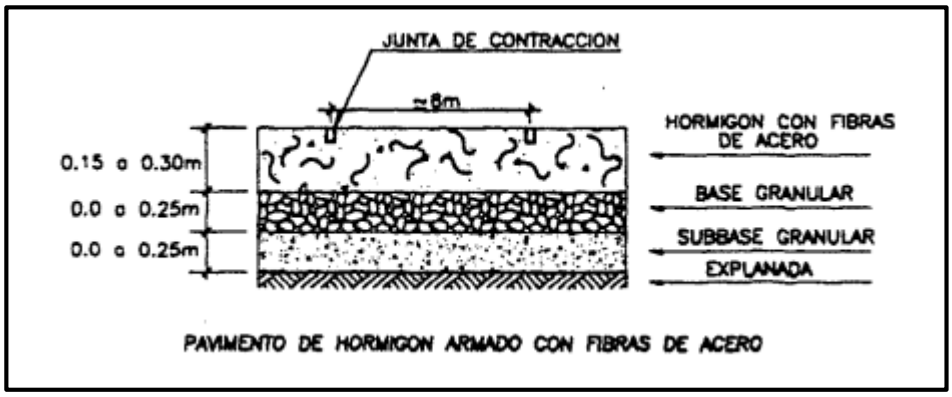
Figura 7-39 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica



Fuente: Manual de diseño para pavimentos portuarios chilenos

- Hormigón vibrado con incorporación de fibras metálicas

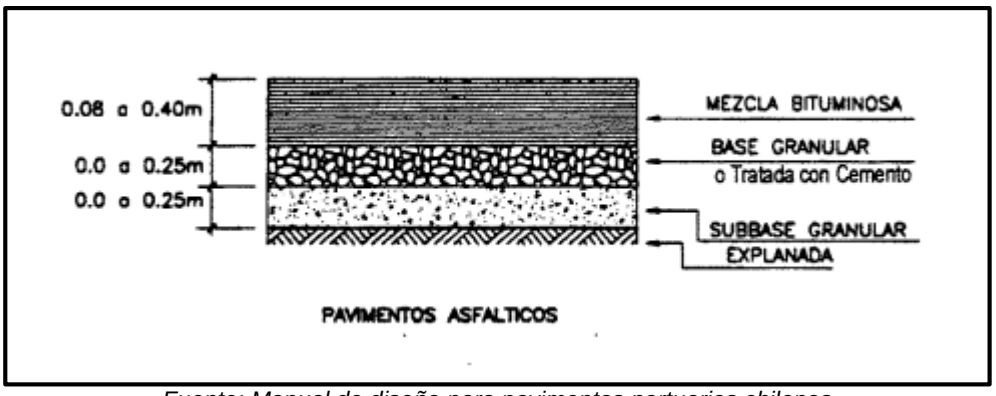
Figura 7-40 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica



Fuente: Manual de diseño para pavimentos portuarios chilenos

- Mezcla bituminosa (asfalto)

Figura 7-41 – Sección estructural de pavimento portuario, hormigón vibrado con armadura metálica



Fuente: Manual de diseño para pavimentos portuarios chilenos

Desde el punto de vista de la pronta apertura al tránsito vehicular, disminución de costos y plazos más acotados, se recomienda la utilización de pavimentos asfálticos para grandes superficies a reparar, sin embargo para la mantención de pavimentos, cuya solución no sea el recarpeteo sino sólo la reparación de baches o eventos menores, se recomienda el uso de carpeta de hormigón con fibra de acero, ya que empíricamente han tenido una buena respuesta y buen comportamiento en las instalaciones portuarias, principalmente frente a la desagregación y ahuellamiento.

7.4 ANÁLISIS DE COSTOS

7.4.1 Costo estimativo

En base a las soluciones propuestas se elabora un presupuesto estimativo el cual abarca la totalidad de los trabajos a efectuar dentro del Terminal para cumplir con el objetivo del saneamiento de las aguas lluvias en las zonas estudiadas.

El desglose del itemizado por precios unitarios puede ser revisado en los Anexos, sin embargo, para efectos prácticos se trabajará con el resumen de las partidas principales para todo tipo de análisis.

El presupuesto presentado a continuación es de tipo referencial y debe ser contrastado al momento de llevar a cabo la licitación.

Tabla 7-33 – Tabla resumen, presupuesto estimativo de obras, incluyendo obras de pavimentación - noviembre 2017.

TABLA RESUMEN			
PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE OBRAS NOVIEMBRE 2017			
INCLUYE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN			
ITEM	**PARTIDA**	**PRECIO TOTAL (CLP)**	**PRECIO TOTAL (UF)**
1	**OBRAS PREVIAS**	$ 4.800.000	180,26
2	**CANALES DE HORMIGÓN**	$ 53.966.612	2.026,69
3	**TUBERÍAS COLECTORAS**	$ 39.276.120	1.474,99
4	**CÁMARAS DE INSPECCIÓN**	$ 5.942.379	223,16
5	**CÁMARAS DE DECANTACIÓN**	$ 2.634.524	98,94
6	**CANALETAS DE TECHUMBRE**	$ 20.929.500	786,00
7	**SEDIMENTADORES**	$ 20.734.975	778,69
8	**ZANJAS DE INFILTRACIÓN**	$ 89.623.298	3.365,75
9	**BOMBAS DE ELEVACIÓN**	$ 7.586.844	284,92
10	**PAVIMENTOS PORTUARIOS**	$ 75.480.020	2.834,61
11	**PLANO FINAL DE CONSTRUCCIÓN AS BUILT**	$ 350.000	13,14
12	**OBRAS FINALES**	$ 856.000	32,15
	SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS	**$ 322.180.272**	**12.099**
	Gastos generales 15%	$ 48.327.041	1.815
	Utilidades 15%	$ 48.327.041	1.815
	TOTAL NETO	**$ 418.834.354**	**15.729**
	IVA	$ 79.578.527	2.989
	TOTAL	**$ 498.412.881**	**18.718**
(*) UF 04 de noviembre de 2017			**$ 26.628,00**

Fuente: Elaboración propia.

Además, se presenta la tabla anteriormente expuesta sin la partida de pavimentos portuarios, para dimensionar el valor de lo que respecta únicamente a las obras de drenaje de aguas pluviales. Las obras de pavimentación representan un 23,4% del presupuesto propuesto.

Tabla 7-34 – Tabla resumen, presupuesto estimativo de obras, no incluye obras de pavimentación - noviembre 2017.

TABLA RESUMEN			
PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE OBRAS NOVIEMBRE 2017			
NO INCLUYE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN			
ITEM	**PARTIDA**	**PRECIO TOTAL (CLP)**	**PRECIO TOTAL (UF)**
1	**OBRAS PREVIAS**	$ 4.800.000	180,26
2	**CANALES DE HORMIGÓN**	$ 53.966.612	2.026,69
3	**TUBERÍAS COLECTORAS**	$ 39.276.120	1.474,99
4	**CÁMARAS DE INSPECCIÓN**	$ 5.942.379	223,16
5	**CÁMARAS DE DECANTACIÓN**	$ 2.634.524	98,94
6	**CANALETAS DE TECHUMBRE**	$ 20.929.500	786,00
7	**SEDIMENTADORES**	$ 20.734.975	778,69
8	**ZANJAS DE INFILTRACIÓN**	$ 89.623.298	3.365,75
9	**BOMBAS DE ELEVACIÓN**	$ 7.586.844	284,92
10	**PLANO FINAL DE CONSTRUCCIÓN AS BUILT**	$ 350.000	13,14
11	**OBRAS FINALES**	$ 856.000	32,15
	SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS	**$ 246.700.252**	**9.265**
	Gastos generales 15%	$ 37.005.038	1.390
	Utilidades 15%	$ 37.005.038	1.390
	TOTAL NETO	**$ 320.710.328**	**12.044**
	IVA	$ 60.934.962	2.288
	TOTAL	**$ 381.645.290**	**14.332**
(*) UF	**04 de noviembre de 2017**	**$**	**26.628,00**

Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de mostrar el valor por unidad de cada obra, se presenta una tabla resumen. A modo de ejemplo, para el caso de canales de hormigón, el valor unitario expuesto incorpora todas las partidas y subpartidas de movimientos de tierra, fabricación de los canales contra terreno además de la rejilla de acero galvanizado; lo que no está contemplado son los gastos generales y utilidades que ascienden aproximadamente a un 30% del valor unitario declarado y se observan aplicados después del subtotal de costos directos.

Tabla 7-35 – Tabla resumen, valor unitario de obras.

TABLA RESUMEN							
VALOR UNITARIO DE OBRAS PROPUESTAS							
ELABORACIÓN PROPIA							
ITEM	**PARTIDA**	**UNI.**	**CANT.**	**PRECIO UNIT. (CLP)**	**PRECIO TOTAL (CLP)**	**PRECIO UNITARIO (UF)**	**PRECIO TOTAL (UF)**
1	**OBRAS PREVIAS**	**gl**	1	$ 4.800.000	$ 4.800.000	180,26	180,26
2	**CANALES DE HORMIGÓN**	**m**	266	$ 202.882	$ 53.966.612	7,62	2.026,69
3	**TUBERÍAS COLECTORAS**						
3.1	*Tubería HDPE 110[mm]*	**m**	112	$ 68.743	$ 7.699.202	2,58	289,14
3.2	*Tubería HDPE 200[mm]*	**m**	126	$ 93.743	$ 11.811.602	3,52	443,58
3.3	*Tubería HDPE 315[mm]*	**m**	25	$ 138.743	$ 3.468.572	5,21	130,26
3.4	*Tubería HDPE 400[mm]*	**m**	106	$ 153.743	$ 16.296.744	5,77	612,02
4	**CÁMARAS DE INSPECCIÓN**	**un**	23	$ 258.364	$ 5.942.379	9,70	223,16
5	**CÁMARAS DE DECANTACIÓN**	**un**	4	$ 658.631	$ 2.634.524	24,73	98,94
6	**CANALETAS DE TECHUMBRE**	**m**	303	$ 69.074	$ 20.929.500	2,59	786,00
7	**SEDIMENTADORES**						
7.1	*Sedimentador N°1*	**un**	1	$ 9.559.514	$ 9.559.514	359,00	359,00
7.2	*Sedimentador N°2*	**un**	1	$ 11.175.461	$ 11.175.461	419,69	419,69
8	**ZANJAS DE INFILTRACIÓN**						
8.1	*Zanja N°1*	**un**	1	$ 21.855.144	$ 21.855.144	820,76	820,76
8.2	*Zanja N°2*	**un**	1	$ 40.985.802	$ 40.985.802	1.539,20	1.539,20
8.3	*Zanja N°3*	**un**	1	$ 26.782.352	$ 26.782.352	1.005,80	1.005,80
9	**BOMBAS DE ELEVACIÓN**	**un**	3	$ 2.528.948	$ 7.586.844	94,97	284,92
10	**PAVIMENTOS PORTUARIOS**	**m2**	2131	$ 35.420	$ 75.480.020	1,33	2.834,61
11	**PLANO FINAL DE CONSTRUCCIÓN AS BUILT**	**gl**	1	$ 350.000	$ 350.000	13,14	13,14
12	**OBRAS FINALES**	**gl**	1	$ 856.000	$ 856.000	32,15	32,15
	SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS				**$ 322.180.272**		**12.099,3**
	Gastos generales	%	15		$ 48.327.041		1.814,9
	Utilidades	%	15		$ 48.327.041		1.814,9
	TOTAL NETO				**$ 418.834.354**		**15.729,1**
	IVA				$ 79.578.527		2.988,5
	TOTAL				**$ 498.412.881**		**18.717,6**

Fuente: Elaboración propia.

7.4.2 Análisis comparativo

A continuación, se observa un cuadro resumen que expone un análisis comparativo que es preciso incorporar, el cual relaciona los costos lineales del aumento de la capacidad de la planta de tratamiento de aguas lluvias en contraste con la solución propuesta, a continuación, se expone una tabla resumen.

Tabla 7-36 – Resumen de costos, solución propuesta v/s aumento de la capacidad planta de tratamiento.

TABLA RESUMEN					
COMPARACIÓN SOLUCIÓN PROPUESTA V/S AUMENTO CAPACIDAD PLANTA TRATAMIENTO					
Capacidades	**Área aportante**	**Caudal tratamiento**	**Aumento de capacidad**	**Costos**	
	m^2	m3/día	veces	CLP	UF
Capacidad de diseño	6.026	302	-	$ 270.000.000	10.140
Capacidad conectada actualmente	25.692	1.289	4,26	$ 1.151.185.114	43.232
Capacidad de área en estudio	50.004	2.509	8,30	$ 2.240.536.371	84.142
Capacidad Requerida (TC completo)	95.000	4.767	15,77	$ 4.256.678.571	159.857

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anteriormente expuesta se puede observar que los costos estimativos que significaría aumentar la capacidad de la planta de tratamiento bordean las **84.142 UF** para la misma superficie que se aborda en la solución propuesta; esto implica que la construcción de una nueva planta de tratamiento, para cumplir con el caudal aportante, conlleva una inversión de **5,87 veces** más de lo que costaría la implementación de la solución propuesta, la cual alcanza las **14.332 UF** (sin incluir obras de pavimentación).

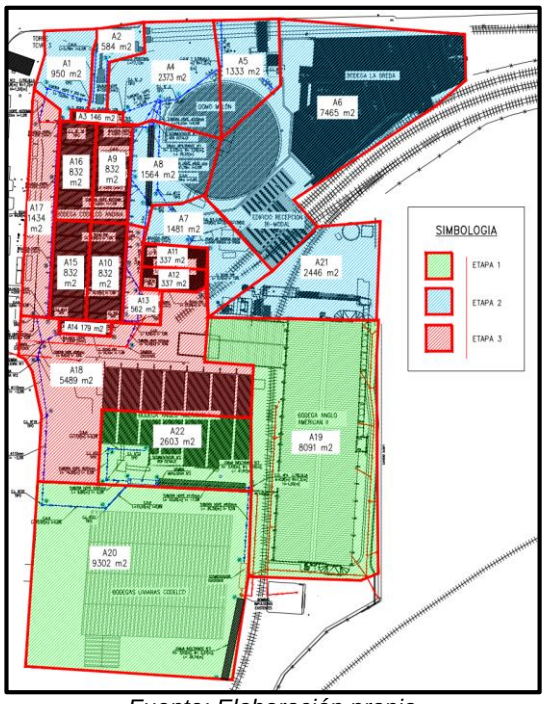
Simultáneamente es bueno aclarar que dentro de los costos del aumento de la capacidad de la planta (84.142 UF) no se incluyen costos de nuevas obras de captación ni conducción, por tanto, esta alternativa es únicamente de almacenamiento y posterior evacuación.

7.5 PLAN POR ETAPAS CONSTRUCTIVAS

Debido a la inversión y principalmente al plazo que implica la implementación total de las obras de drenaje, se sugiere subdividir el alcance en tres etapas constructivas, de esta manera se priorizan los sectores con mayor criticidad para ir abordándolos de acuerdo con zonas de mayor inundación y consecutivamente con mayor aporte de material de arrastre hacia la planta de tratamiento; además, la ventaja de esta sectorización es que el presupuesto total del proyecto puede ser parcelado dependiendo del presupuesto anual que la empresa destine al manejo de las aguas lluvias.

Las etapas constructivas se subdividen en base a áreas aportantes, a continuación, se expone la subdivisión propuesta.

Figura 7-42 – Subdivisión de áreas por etapas constructivas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-37 – Subdivisión de áreas por etapas constructivas

ÁREAS APORTANTES					
ETAPA 1		**ETAPA 2**		**ETAPA 3**	
#	**[m2]**	**#**	**[m2]**	**#**	**[m2]**
A19	8.091	**A1**	950	**A3**	146
A20	9.302	**A2**	584	**A9**	832
A22	2.603	**A4**	2.373	**A10**	832
		A5	1.333	**A11**	337
		A6	7.465	**A12**	337
		A7	1.481	**A13**	562
		A8	1.564	**A14**	179
		A21	2.446	**A15**	832
				A16	832
				A17	1.434
				A18	5.489
TOTAL	***19.996***	***TOTAL***	***18.196***	***TOTAL***	***11.812***

Fuente: Elaboración propia

En base a la subdivisión de etapas propuestas se genera un presupuesto parcelado para cumplir con el objetivo del saneamiento de las aguas lluvias en las zonas estudiadas según criticidad.

El presupuesto presentado a continuación es de tipo referencial y debe ser contrastado al momento de llevar a cabo la licitación.

Tabla 7-38 – Resumen de costos, presupuesto estimativo de obras por etapas constructivas.

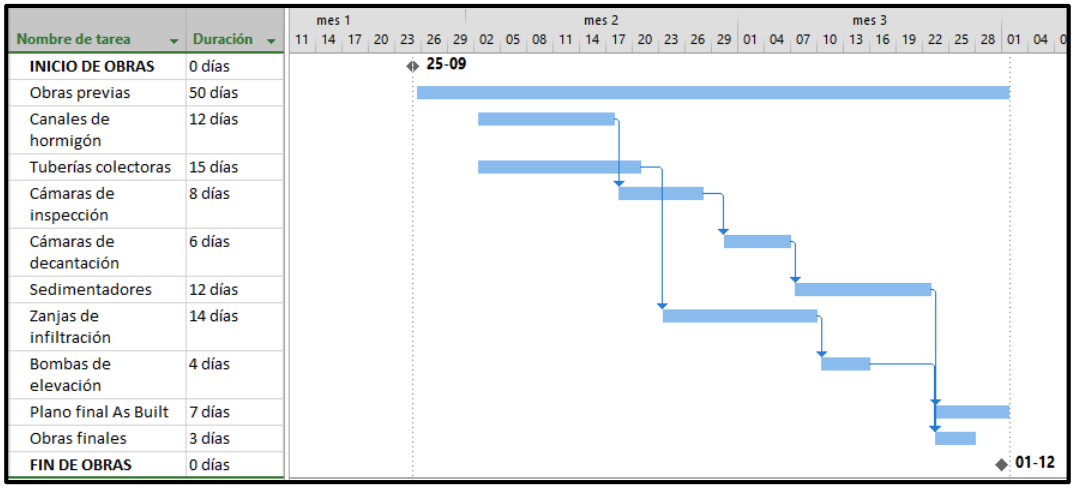
TABLA RESUMEN								
PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE OBRAS POR ETAPAS CONSTRUCTIVAS								
NOVIEMBRE 2017								
		ETAPA 1		ETAPA 2		ETAPA 3		
ITEM	PARTIDA	PRECIO TOTAL (CLP)	PRECIO TOTAL (UF)	PRECIO TOTAL (CLP)	PRECIO TOTAL (UF)	PRECIO TOTAL (CLP)	PRECIO TOTAL (UF)	
1	OBRAS PREVIAS	$ 2.504.104	94,04	$ 2.504.104	94,04	$ 2.504.104	94,04	
2	CANALES DE HORMIGÓN	$ 12.781.566	480,00	$ 19.476.672	731,44	$ 22.114.138	830,48	
3	TUBERÍAS COLECTORAS	$ 8.983.144	337,36	$ 18.221.160		$ 13.124.601	492,89	
4	CÁMARAS DE INSPECCIÓN	$ 1.033.457	38,81	$ 775.093	29,11	$ 4.133.829	155,24	
5	CÁMARAS DE DECANTACIÓN	$ 658.631	24,73	$ 1.975.893	74,20	$ -	-	
6	CANALETAS DE TECHUMBRE	$ -	-	$ -	-	$ 20.929.500	786,00	
7	SEDIMENTADORES	$ 11.175.461	419,69	$ 9.559.514	359,00	$ -	-	
8	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	$ 40.985.802	1.539,20	$ 21.855.144	820,76	$ 26.782.352	1.005,80	
9	BOMBAS DE ELEVACIÓN	$ 2.528.948	94,97	$ -	-	$ 5.057.896	189,95	
10	PAVIMENTOS PORTUARIOS	$ -	-	$ -	-	$ -	-	
11	PLANO FINAL DE CONSTRUCCIÓN AS BUILT	$ 350.000	13,14	$ 350.000	13,14	$ 350.000	13,14	
12	OBRAS FINALES	$ 400.000	15,02	$ 400.000	15,02	$ 400.000	15,02	
	SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS	**$ 81.401.114**	**3.056,97**	**$ 75.117.581**	**2.136,71**	**$ 95.396.420**	**3.582,56**	
	Gastos generales	$ 12.210.167	458,55	$ 11.267.637	320,51	$ 14.309.463	537,38	
	Utilidades	$ 12.210.167	458,55	$ 11.267.637	320,51	$ 14.309.463	537,38	
	TOTAL NETO	**$ 105.821.448**	**3.974,07**	**$ 97.652.855**	**2.777,73**	**$ 124.015.346**	**4.657,33**	
	IVA	$ 20.106.075	755,07	$ 18.554.042	527,77	$ 23.562.916	884,89	
	TOTAL	**$ 125.927.524**	**4.729,14**	**$ 116.206.897**	**3.305,50**	**$ 147.578.262**	**5.542,22**	
(*) UF 04 de noviembre de 2017		**$ 26.628,00**						

Fuente: Elaboración propia.

De manera consecutiva al presupuesto se propone un plan de implementación con plazos definidos por cada etapa constructiva, para cada caso se definió la programación considerando dos equipos de trabajo de 6 colaboradores de mano de obra directa laborando en distintos frentes de trabajo simultáneamente.

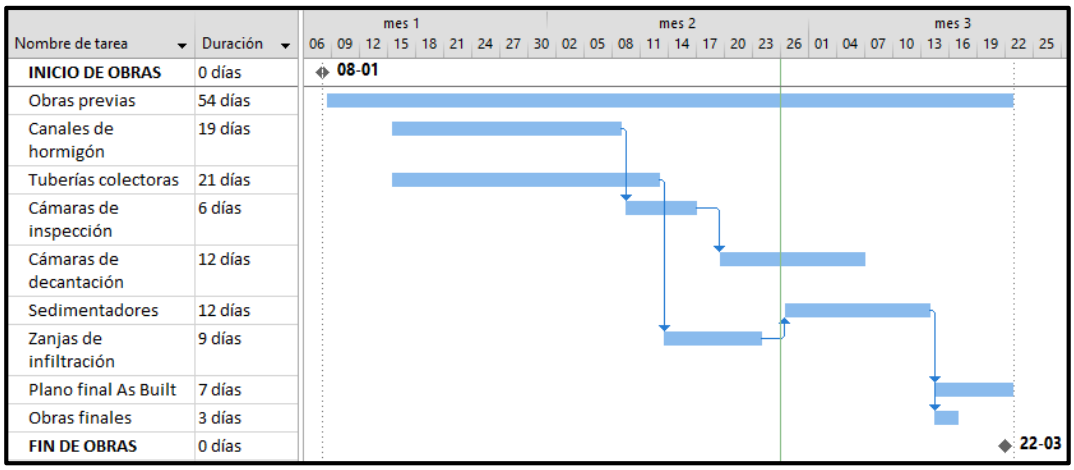
Para la planificación, de manera estratégica se proponen los meses de primavera-verano para intervenir, esto es fines de diciembre y/o principios de enero según corresponda.

Figura 7-43 – Programa tentativo de obras para la Etapa 1, 50 días de ejecución.



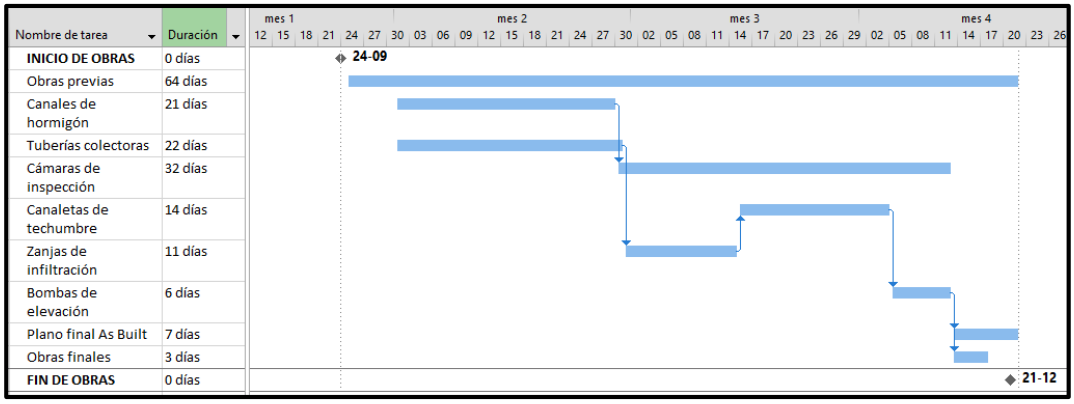
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-44– Programa tentativo de obras para la Etapa 2, 54 días de ejecución.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-45– Programa tentativo de obras para la Etapa 3, 64 días de ejecución.



Fuente: Elaboración propia.

7.6 PLAN DE INTERVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO VIAL

La realización de nuevas obras, maniobras de izaje, maniobras de montaje, conservación de obras existentes, entre otras labores que se realizan dentro del Terminal Costa y complementan el funcionamiento de la empresa, representan en ocasiones problemas de interferencia con la circulación y el tránsito de vehículos.

Los principales vehículos que pueden verse afectados corresponden a los camiones que transportan carga hacia y desde el terminal, como también los medios ferroviarios que transportan gráneles. La continuidad operacional corresponde a un pilar fundamental de la empresa, se debe asegurar al cliente una operación continua, no obstante, los trabajos que deben realizarse en el terminal deben compatibilizarse a través de planes y esquemas de intervención para permitir la simultaneidad.

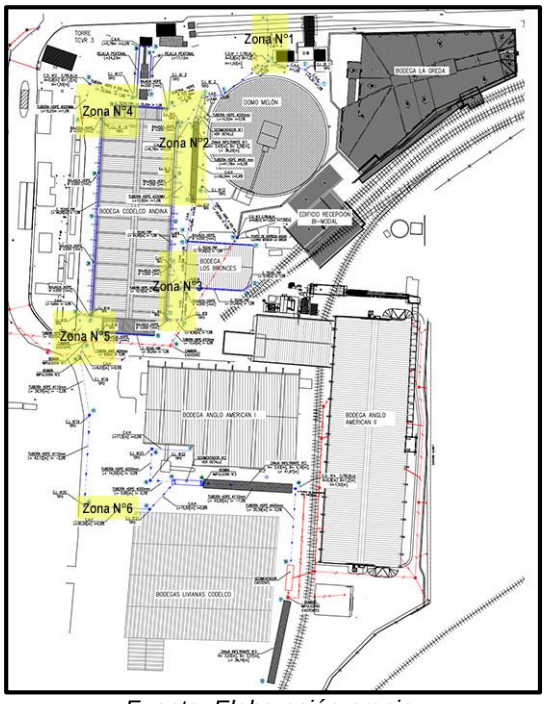
Uno de los puntos importantes para asegurar la continuidad operacional es mantener una coordinación permanente con el equipo de operaciones, esto permite y posibilita que puedan desarrollarse trabajos simultáneos sin afectar el desarrollo de actividades que los clientes tienen planificadas dentro de las instalaciones de PVSA.

Para la ejecución de las obras relacionadas al saneamiento de aguas lluvias, existen sectores críticos de interferencia que se identifican a lo largo del emplazamiento de las futuras obras. Estos sectores son mayoritariamente atraviesos de calles, en donde la circulación de vehículos se ve afectada de manera directa ante un corte parcial o total de la vía de circulación. Ante una problemática de esta naturaleza se propone un plan de acción para asegurar el tránsito vehicular, tanto en vías alternativas como vías principales de acceso.

Para la construcción e instalación de los elementos de la red que requieran excavación se debe procurar que las zanjas se mantengan descubiertas el menor tiempo posible, asegurando su estabilidad y además la circulación de vehículos según el sector a intervenir. Por tanto, se debe asegurar un avance constructivo conforme a la operación que se tiene en la zona de intervención.

Para la construcción de la red se visualizan seis puntos críticos de intervención dentro del terminal, los cuales serán abordados uno a uno explicitando el plan de acción a tomar con cada uno de ellos.

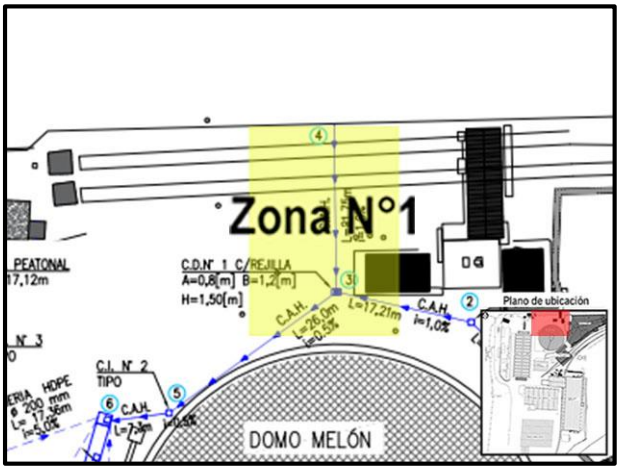
Figura 7-46 – Zonas de intervención críticas durante la ejecución de obras.



Fuente: Elaboración propia.

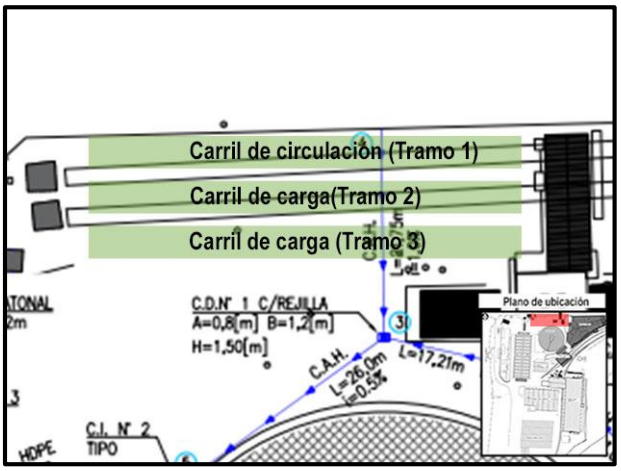
Para el tramo comprendido al ingreso de los silos de carga de Clinker (zona de intervención N°1) se observan tres pistas, una de circulación y dos de carga. Se propone intervenir de manera parcializada esta vía, en primer lugar, se construirá el tramo de canal que atraviesa el carril de circulación de camiones, por tanto, el acceso de camiones debe hacerse únicamente por el sector del costado de la subestación N°1 debido a que la pista se encontrará bloqueada para hacer el ingreso desde la bodega la Greda. Una vez terminado este tramo se proseguirá con la intervención del primer carril de carga, procurando dejar habilitado el segundo carril; una vez terminado el primer carril se proseguirá con el segundo. Esta metodología asegura que en todo momento estará disponible a lo menos una pista de acceso a los silos para asegurar la carga de camiones con Clinker.

Figura 7-47 – Zona N°1 de intervención crítica, silos de carga Melón.



Fuente: Elaboración propia.

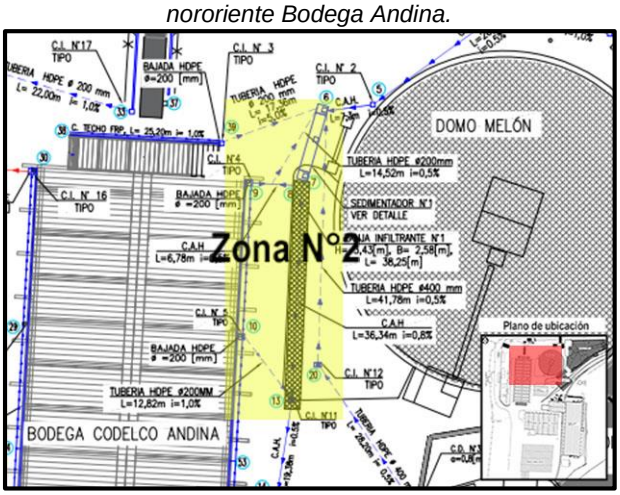
Figura 7-48 – Carriles de circulación de camiones en sector silos de carga Melón.



Fuente: Elaboración propia.

Para los atraviesos de calle que se visualizan al nororiente de Andina (zona N°2) se bloqueará de manera parcial el sector, por tanto, los vehículos deben circular por la pista poniente de Andina o por la pista del costado de la romana norte. Los camiones que deban hacer ingreso al pavo de descarga del edificio multimodal deberán hacerlo por el sector sur oriente de Andina.

Figura 7-49 – Zona N°2 de intervención crítica, sector nororiente Bodega Andina.



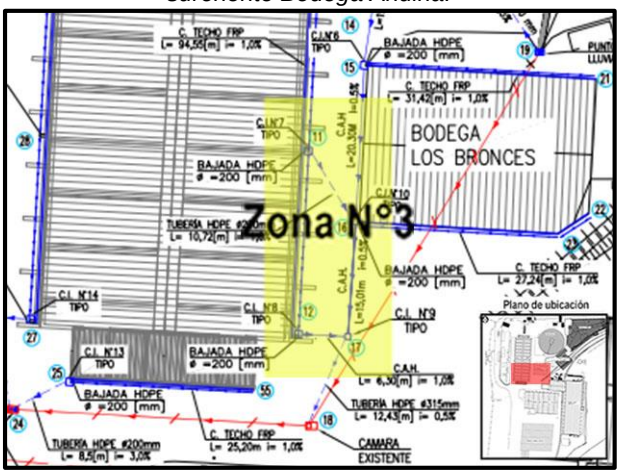
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-50 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°2.

Fuente: Elaboración propia.

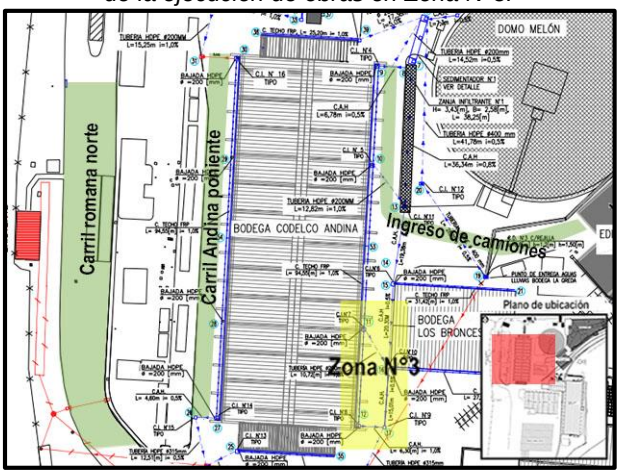
Para los atraviesos del suroriente (zona N°3), se bloqueará de manera parcial el sector, las vías de circulación son las mismas que se describen anteriormente y para los camiones que deban hacer ingreso al pavo de descarga del edificio multimodal, deberán hacerlo por el sector nororiente de Andina.

Figura 7-51 – Zona N°3 de intervención crítica, sector suroriente Bodega Andina.



Fuente: Elaboración propia.

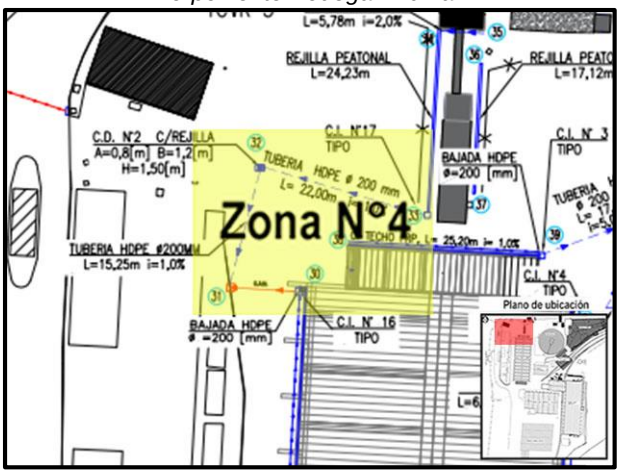
Figura 7-52 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°3.



Fuente: Elaboración propia.

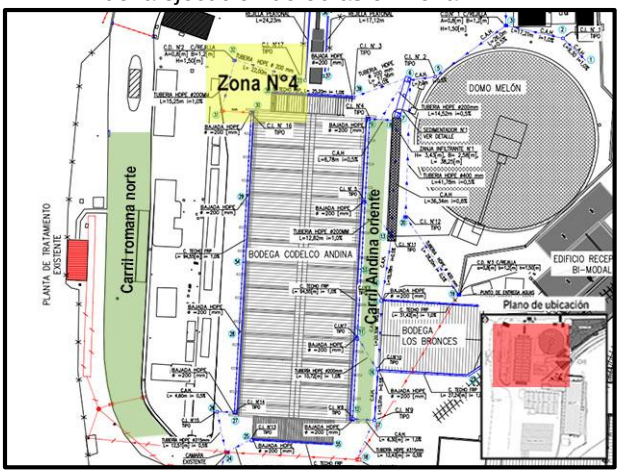
Para la intervención que debe hacerse en el sector norponiente de Andina (zona N°4), se bloqueará de manera parcial el acceso a la calle de tránsito del sector poniente, por lo tanto, los vehículos deberán circular por la pista oriente de Andina o por la pista del costado de la romana.

Figura 7-53 – Zona N°4 de intervención crítica, sector norponiente Bodega Andina.



Fuente: Elaboración propia.

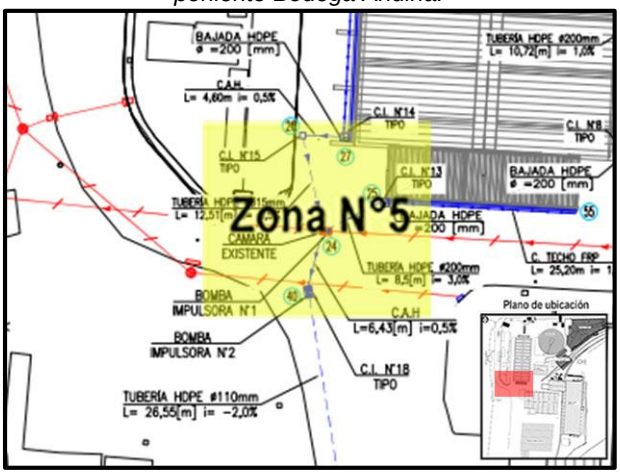
Figura 7-54 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°4.



Fuente: Elaboración propia.

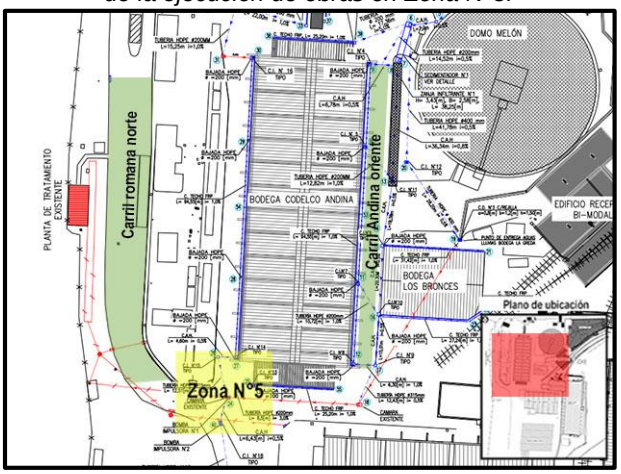
Para la intervención que debe hacerse en el sector sur poniente de Andina (zona N°5), en primera instancia se bloqueará de manera parcial el acceso a la calle de tránsito del sector poniente, por lo tanto, los vehículos deberán circular por la pista oriente de Andina o por la pista del costado de la romana. Consecutivamente se deberá continuar hacia el sur con el bloqueo de una pista de tránsito, asegurando el flujo de circulación de al menos un carril hacia la calle de la romana norte.

Figura 7-55 – Zona N°5 de intervención crítica, sector sur poniente Bodega Andina.



Fuente: Elaboración propia.

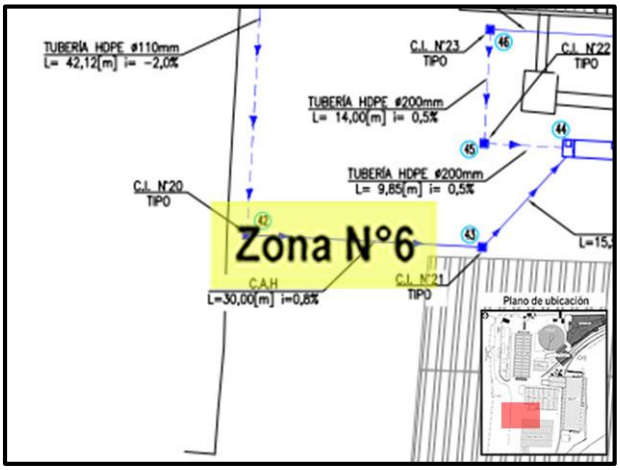
Figura 7-56 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°5.



Fuente: Elaboración propia.

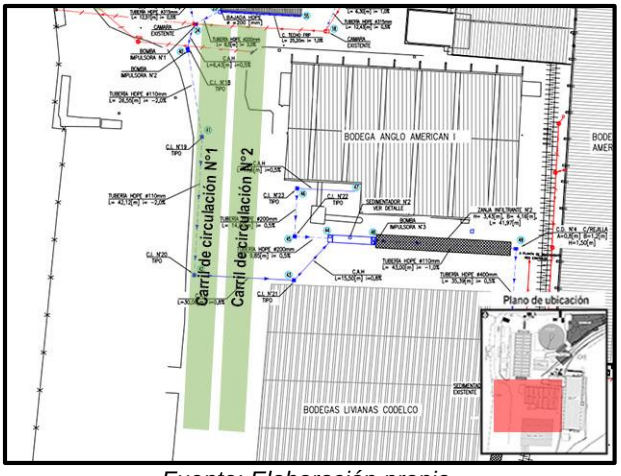
Para la intervención a realizar al sur poniente de Anglo I (zona N°6), la metodología constructiva debe asegurar de igual manera al menos una pista para la circulación de vehículos.

Figura 7-57 – Zona N°6 de intervención crítica, sector surponiente Bodega Anglo American I.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-58 – Zonas de circulación de vehículos producto de la ejecución de obras en Zona N°6.



Fuente: Elaboración propia.

7.8 PLAN DE MANTENCIÓN DE OBRAS

El mantenimiento, conservación y operación de sistemas de drenaje y sus obras es fundamental para su implementación exitosa y sustentable a largo plazo. Se ha evidenciado que estas labores dentro de la empresa se han obviado o se han pospuesto hasta la falla, incurriendo siempre en una mantención del tipo correctiva. Sin embargo, para obras de drenaje, la mantención correctiva no es la óptima, por el hecho de que pueden existir elementos de la red que no son registrables, los cuales pueden verse disminuida su vida útil y eficiencia por no generar una mantención y aseo oportunos.

En vista de lo anterior, se requiere un buen programa de mantenciones preventivas a todas las obras de drenaje, tanto las existentes como las proyectadas. Este programa debe adaptarse a cada tipo de obra, debe ser regular y pragmático.

Las principales necesidades de mantención están relacionadas con la extracción de basuras y objetos extraños, la remoción de sedimentos y las inspecciones periódicas para comprobar que la obra y sus elementos de encuentran en condiciones operativas.

La operación de estas obras es principalmente del tipo automática, sin operador, ni advertencia en cuanto a la oportunidad que debe funcionar. Esto hace que recaiga sobre las labores de mantención la responsabilidad de que la obra se encuentre en condiciones de funcionamiento como se espera que lo haga.

Figura 7-59 – Remoción de sedimentos sumidero existente, inspección y mantención preventiva de obras.

Fuente: Fotografía propia.

Figura 7-60 – Remoción de basuras y escombros en sumidero existente, inspección y mantención preventiva de obras.

Fuente: Fotografía propia.

A continuación, se presentan los aspectos fundamentales de la planificación y programa de estas actividades a nivel general, que son parte integra del Plan Integrado.

- La conservación y operación de sistemas de drenaje y sus obras implican actividades de carácter rutinario y otras de emergencia. Los procedimientos específicos en el caso de las actividades rutinarias deben estar claramente definidos para cada caso particular. Por otra parte, las actividades para enfrentar una emergencia son más inciertas y dependerán del problema a abordar.

  Dentro la política del sistema de gestión integrado (SGI) existe un instructivo de contingencia para la planta de tratamiento de aguas lluvias (I-008-PEM), este instructivo plantea medidas de control para controlar el exceso de precipitaciones que provoca el desborde del decantador principal. Sin embargo, dentro de este mismo sistema no existe instructivo alguno ligado a la mantención y conservación de obras de saneamiento de aguas lluvias. Por tanto, una de las primeras y principales acciones a realizar corresponde a la creación de un instructivo con responsables a cargo y rutas de inspección establecidas.

- Tanto la conservación rutinaria como de emergencia deben estar a cargo de responsables claramente identificados, llámese jefes de áreas, supervisores o capataces del Terminal. La responsabilidad radica en el hecho de dar cumplimiento y seguimiento a las mantenciones y conservación de las obras.

- Uno de los aspectos importantes de la mantención es la observación frecuente del funcionamiento y estado de la obra en condiciones de operación, de acuerdo con todos los fines que se persiguen con ella, a partir de lo cual se podrá establecer de manera más precisa la frecuencia de las inspecciones y los trabajos a realizar en el programa de mantención.

- La inspección de la obra tiene por objeto verificar que opera en las condiciones de diseño, comprobar que la mantención es adecuada, o proponer modificaciones en caso contrario. Un buen aporte para ello es recoger comentarios, quejas o reclamos de todos los actores, llámese líneas de mando, operarios y colaboradores. Revisar las necesidades de reparaciones o arreglos mayores y proponer su realización.

- Se debe educar e instruir al personal que opera en el Terminal de la importancia del cuidado y uso de las obras de drenaje, se ha podido evidenciar que dentro de labores de limpieza de calles parte del residuo es dirigido hacia los sumideros, practica completamente reprochable que debe ser evitada.

- Se debe definir un presupuesto anual para las actividades de conservación rutinaria, el cual debe ser correctamente administrado.

- Finalmente, el Plan Integrado debe incluir la definición de actividades y/o elementos de señalización, difusión y educación. La participación de todos los actores es fundamental para facilitar la conservación exitosa de obras.

Junto con los aspectos generales, se deben considerar acciones específicas a incluir en el programa de mantención, operación y conservación para cada obra. En general, estas acciones consideran el diseño de formularios o planillas de registro de actividades de inspección, mantención y conservación. Las planillas ya llenadas deben ser de fácil consulta.

A continuación, se exponen aspectos relevantes a considerar en la confección de estas planillas:

- Identificación de obras en terreno con un código de identificación según el tipo de obra. Se debe instalar una placa ampliamente visible para la identificación de cada obra a mantener.

- Identificación y ubicación de obras y elementos relacionados (planos, mapas, esquemas, etc.). Se debe generar una representación esquemática de fácil interpretación que muestre la ubicación de las obras y componentes clave (cámaras, entradas, salidas, etc.). Esta representación se debe actualizar para incorporar cambios a través del tiempo.

- Descripción del acceso (geometría, equipos necesarios, etc.), procedimiento detallado de inspección, mantención y conservación, y correspondientes frecuencias. La frecuencia típicamente es más alta en las etapas iniciales de la vida útil, para luego ser de carácter anual. Sin embargo, siempre se debe considerar una inspección luego de un evento extremo.

- Identificación de actividades de mantenimiento y cuidado de elementos vegetales y paisajísticos si los hubiese.

- Identificación de actividades para el retiro de sólidos gruesos, escombros, basura y su disposición final.

- Identificación de problemas típicos de funcionamiento, causas y procedimientos de mantención o reparación. Se debe proveer además las estimaciones de la vida útil de los distintos componentes.

- Identificación de posibles problemas a presentarse a futuro, junto con las condiciones futuras que pudiesen detonarlos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo ha sido proponer una solución pragmática al problema de la acumulación de aguas lluvias en el Terminal Costa de Puerto Ventanas, la solución propuesta incorpora recursos constructivos a través de diversos elementos de saneamiento, en conjunto con una propuesta de mantenimiento de redes, un plan de intervención presentado en etapas para asegurar la continuidad de la operación y una propuesta de mejora de pavimentos; el conjunto se denomina “Plan integrado de aguas lluvias”.

La solución propuesta se basó en la utilización de técnicas alternativas de drenaje, bajo este concepto se propone la gestión del control en la fuente, lo que implica que el agua lluvia captada pueda ser infiltrada parcialmente o almacenada de manera temporal, eliminando los excesos de material de arrastre cerca del lugar de origen con disminución de volúmenes de escorrentía aguas abajo. Bajo esta lógica sólo los excesos ante una tormenta mayor a la de diseño recaerían sobre la planta de tratamiento, la cual actualmente es la encargada de recibir toda la carga que conduce el sistema de saneamiento actual para su posterior tratamiento y evacuación a través de un emisario submarino, el cual debe cumplir lo establecido en el Decreto Supremo 90/00.

Actualmente la planta de tratamiento no cumple a cabalidad la función mediante la cual fue diseñada, ya que el caudal aportante es 4,26 veces mayor que el de diseño, generando rebalse en el decantador primario y cámaras de inspección, provocando socavones en la playa por el exceso de agua no tratada.

Para dar inicio a la solución se estableció una superficie de 5.0 $[ha]$, correspondiente a un 53% de la superficie del terminal, este sector fue definido como clave debido a que en él se emplazan las principales bodegas e infraestructura operacional que alberga el terminal. Esta porción de terreno fue subdividida en 22 áreas aportantes, en función de los puntos altos y bajos a nivel de suelo, orientación de techumbres y pendientes del terreno.

Con la subdivisión de áreas aportantes, determinación de tipos de superficie y el desarrollo del estudio hidrológico cuyos datos de entrada fueron los registros de precipitación diaria máxima anual en la Estación Meteorológica Principal de Puchuncaví (1993-2015) y de la Estación Base Aérea de Quintero (1941-1998), conducente a la determinación de intensidades de lluvias para distintas duraciones y períodos de retorno, se obtuvieron los caudales de diseño para los elementos de saneamiento seleccionados, a través de la utilización del Método Racional.

Para cumplir con la legislación vigente, apegarse a las prácticas de saneamiento actuales de aguas lluvias y cumplir con ciertos criterios de diseño, se planteó una solución constructiva que combina obras de captación, almacenamiento, infiltración, conducción y evacuación, tales como canales abiertos con parrilla de piso, sumideros, cámaras de inspección, cámaras de decantación, colectores de HDPE, sedimentadores, zanjas infiltrantes con celdas de polipropileno, canaletas de techo y bajadas de aguas que trabajando de manera conjunta responden a un saneamiento de la totalidad del sector en estudio.

Las soluciones propuestas permitirán alivianar la carga de la planta de tratamiento aguas arriba, sin embargo, es bueno aclarar que estas soluciones son para implementarse en el corto plazo y sanear la problemática actual de manera efectiva, duradera y a un bajo costo, evitando inundaciones de infraestructura e inmediaciones, sin embargo, si esta obras infiltrantes quieren ser reemplazadas a futuro por la ampliación de la capacidad de la planta de tratamiento y la disposición de los volúmenes de escorrentía a ser evacuados completamente

al mar, las obras de almacenamiento e infiltración pueden desconectarse, sin afectar las obras de conducción y captación.

De manera conjunta a la solución de drenaje de aguas lluvias, se propone una conservación de 2130 $[m2]$ de pavimento asfáltico, el resultado de la inspección de pavimentos de los dos sectores determinados como críticos, conllevan a que la reparación deba ser reconstrucción completa de la carpeta y capas granulares, procurando que las pendientes de bombeo sean mínimas del 2% en sentido de las obras de drenaje.

El costo estimativo que tiene el desarrollo de las obras de saneamiento y pavimentación bordean las **15.729 UF** y el tiempo total de ejecución es de **168 días** (6 meses aproximadamente); debido a la inversión y especialmente al plazo que implica la implementación total de las obras de drenaje, se propuso una subdivisión de obras en tres etapas constructivas, priorizando los sectores con mayor criticidad para ir abordándolos de acuerdo con zonas de mayor inundación y mayor aporte de material de arrastre hacia la planta de tratamiento.

Para la etapa de construcción se propuso un plan de mitigación del impacto vial que tendrán las obras de drenaje con el propósito de que se asegure la continuidad operacional, se detectan seis zonas con mayor conflicto al momento de la intervención, estos sectores son mayoritariamente atraviesos de calles, en donde la circulación de vehículos se ve afectada de manera directa ante un corte parcial o total de la vía de circulación. En términos amplios, la solución adoptada es la utilización de vías alternativas bien señalizadas y previamente establecidas durante la intervención, de esta manera el flujo vehicular se redirecciona sin alterar la circulación de vehículos operacionales.

La mantención y conservación preventiva de las obras de aguas lluvias representa una labor fundamental que en la empresa ha sido dejada de lado, si bien las obras existentes y propuestas son principalmente automáticas y funcionan por acción de la gravedad, la inspección y posterior limpieza de manera periódica posibilita que la conservación de estas obras sea sustentable al largo plazo. Para dar cumplimiento a estas labores y convertirlas en parte del Plan Integral, debe existir un instructivo pragmático, periódico, programado y controlado que establezca una hoja de ruta clara y establecida. Esta etapa es clave para que la infraestructura se encuentre bien protegida durante la época invernal.

Las obras claves de limpieza dentro del circuito corresponden a los sedimentadores, ya que en ellos quedarán acumulados los lodos que arrastran el caudal de escorrentía, por tanto, se requieren mantenciones regulares para asegurar que la calidad de infiltración del agua cumpla con las exigencias medioambientales.

Finalmente, se concluye que la infraestructura de aguas lluvias generalmente suele considerarse como “miscelánea” y “anexa” dentro un proyecto de mayor envergadura, sin embargo, es esencial un buen plan y diseño, capaz de asegurar una captación, conducción y evacuación eficiente de las aguas, permitiendo un mayor resguardo de las instalaciones, conservando y prolongando la vida útil de pavimentos, fundaciones, muros, pilotes, entre otros elementos constructivos.

CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES

- La ejecución de todas las obras propuestas debe realizarse idealmente en temporada primaveral o estival, esta medida permite resguardar principalmente las excavaciones ante posibles socavones que generen las lluvias.

- Para los cambios de sentido y pendientes en los canales de hormigón, puede considerarse la realización de una solución de terreno en vez de utilizar cámaras de inspección, disminuyendo costos de obras y tiempos de ejecución.

- Se recomienda incorporar un plan acabado y controlado de aseo industrial, principalmente limpieza de calles y techumbres, esto con el propósito de disminuir las cargas polutivas que reciben las distintas obras de saneamiento de aguas durante los meses de lluvias.

- La mantención de las obras de drenaje representa una etapa clave para una conservación adecuada y duradera.

- Se sugiere en el mediano plazo, si es que no se adopta un buen plan de mantenimiento a la red, incorporar bombas de lodos dentro de los sedimentadores para recuperar el material de arrastre retenido. Estas bombas debiesen ser automatizadas y controladas mediante software tipo SCADA, para asegurar que los sedimentadores se mantengan en buenas condiciones de operación.

- Si las mediciones de muestreo exceden los límites permisibles de infiltración al subsuelo, se recomienda incorporar filtros separadores de metales pesados (sugerencia ACO HSM, representante en Chile SOCODREN) a continuación de las cámaras de salida de los sedimentadores.

- Además de las obras civiles de saneamiento es bueno verificar el estado de las techumbres de las principales bodegas, el sello adecuado de las techumbres y la impermeabilización de estas posibilita almacenar los gráneles sólidos, principalmente el CUCON, con la humedad óptima de embarque, bajo esta lógica la operación se vuelve más limpia, con menos posibilidad de atollos en chutes y más eficiente energéticamente, ya que no se incurre en la utilización de secadores para devolver la humedad óptima al material.

CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA

Abumohor Diban, M. (2012). *Memoria de cálculo Evacuación de Aguas lluvia Terminal de Concentrado de cobre Puerto Ventanas S.A.* Ventanas, Puchuncaví.

Allende, H. (1983). *Probabilidad y estadística.* UTFSM.

Bobadilla Ponce, M. (2015). *Incorporación de proyecciones climáticas en el mejoramiento de la red de drenaje de aguas lluvias de la comuna de Maipú, Santiago, Chile.* Universidad de Chile.

Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos.* Mc Graw Hill.

Comisión Nacional del Medio Ambiente . (2003). *D.S. N° 46/2002 - Norma de emisión de residuos liquidos a aguas subterráneas.* Gobierno de Chile.

Dirección de obras portuarias. (2013). *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras.* Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Dirección de vialidad. (2016). *Manual de carreteras.* Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Direción de obras hidráulicas. (2013). *Manual de drenaje urbano.* Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional. (2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación.* Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Enel, G. P. (2012). *Especificaciones técnicas obras civiles preliminares, Central Geotermica cerro pabellón.*

Estupiñán Perdomo, J., & Zapata García, H. (2010). *Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.* Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Fernandez, G. (2007). *Cuenca Puchuncaví.* Obtenido de http://repositorio.uchile.cl: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111636/2.0contexto.pdf?sequence=3

Geo Consultores. (2014). *Informe Geotécnico Puerto Ventanas.* Ventanas, Puchuncaví.

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de https://www.google.cl/maps

GSI, I. (2014). *Ingeniería conceptual Plan Maestro de Aguas lluvias, instalaciones PVSA.* Memoria. Recuperado el 19 de Enero de 2016

GSI, I. (2015). *Especificaciones técnicas especiales, Diseño de ingeniería de detalle desarenador N°2 PTPAS de Antofagasta.*

IDIEM. (1999). *Manual de diseño de pavimentos para puertos chilenos.* Dirección de obras portuarias, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Instituto de desarrollo, U. (s.f.). *Subdrenes con geotextil y material granular.* Obtenido de Alcaldía mayor de Bogota: http://app.idu.gov.co/espec_tecnicas/Capitulo_3/340-11.pdf

Instituto nacional de normalización. (1979). *NCh 1367 Of. 79. Agua Potable - Plantas de tratamiento - Desarenadores y sedimentadores simples (sin coagulación previa).*

Ministerio de Medio Ambiente. (2015). *SINCA*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2015, de Sistema de información general de calidad del aire Web Site: http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/160

Ministerio de vivienda y urbanismo. (1996). *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, Guía de diseño.* Gobierno de Chile.

Miranda Rebolledo, R. (2010). *Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos.* Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Montenegro, C. (2006). *Memoria de cálculo Evacuación de Aguas lluvia Terminal de Concentrado de cobre Puerto Ventanas S.A.* Ventanas, Puchuncaví.

Nakamura, Y. (2000). *Estudio económico de distintos tipos de conducciones de agua* (Vols. Boletín INIA N°X, 649). Ovalle, Chile: Instituto de investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro regional de investigación Intihuasi (La Serena), Oficina Técnica Limarí (Ovalle).

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Especificaciones técnicas para la construción de desarenadores y sedimentadores.* Lima, Perú.

Organización Panamericana de la salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores .* Lima, Perú.

Postler Carrillo, P. (2007). *Diseño de pavimento y aguas lluvias Avenida Balmaceda, desde Callle Ecuador hasta k.m. 1.6, Valdivia.* Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Puerto Ventanas. (2015). *Memoria Anual / Reporte Integrado.*

Puerto Ventanas S.A. (Mayo de 2016). Obtenido de Puerto Ventanas Web Site: http://www.puertoventanas.cl/

Santander, P., Cea, J., & Osorio Zelada, H. (2013). *Taller de título I.* Departamento de Industrias, UTFSM.

Serviu, M. (s.f.). *Especificaciones técnicas colectores de aguas lluvias.* Obtenido de Servicio de vivienda y urbanización metropolitano: http://pavimentacion.metropolitana.minvu.cl/doc/MPALL/CAP2E-EspTec-COLECTOR.pdf

Stowhas, L. (s.f.). *Fundamentos de hidrología aplicada.* Valparaiso: UTFSM.

Tractebel, E. (2015). *Especificación técnica sistema aguas lluvias, Nueva Bodega de concentrados Puerto Ventanas.*

Tractebel, E. (2015). *Memoria de cálculo aguas lluvias, Nueva Bodega de Concentrados Puerto Ventanas.*

Urrutia Martinez, H. (2016). *Comparación de costos y tiempo de construcción para el uso de zanja de infiltración con distintas alternativas de rellenos en diferentes tipos de suelos .* Concepción: Universidad Católica de la Santisima Concepción .

Ventura y Asociados, H. (1999). *Informe de mecánica de suelos, Bodega de Almacenamiento concentrado de cobre Puerto Ventanas.* Ventanas, Puchuncaví.

Videla, P. (s.f.). *Apuntes de probabilidad y estadística.* Valparaíso.

CAPÍTULO 11. GLOSARIO Y SIMBOLOGIA

- A -

Acuífero	Son aquellas formaciones geológicas en las cuales se encuentra agua y que son permeables permitiendo así el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.
Ahuellamiento	Deterioro superficial de la capa de rodadura asociado con las condiciones de carga y climáticas a las que está sometido el pavimento en servicio, el ahuellamiento aparece como una depresión continua a lo largo de la franja de recorrido de los neumáticos, dificultando la operación y maniobrabilidad de los vehículos, ocasionando así una disminución en la seguridad y en el nivel de servicio a prestar de una via.
ALL	Aguas lluvias
Análisis de frecuencia	Procedimiento que permite expresar los datos hidrológicos históricos en términos estadísticos y aplicar a ellos ciertos modelos probabilísticos que permiten establecer la probabilidad de ocurrencia o repetición de dichos eventos hidrológicos en el futuro.
Análisis de frecuencia analítico	Procedimiento en el cual se recurre a la teoría de probabilidades que proporciona modelos analíticos teóricos de la función de densidad de frecuencia f(x), de cuya integración puede obtenerse la probabilidad o período de retorno asociado a la magnitud de la variable en análisis.
Análisis de frecuencia gráfico	Procedimiento directo o gráfico donde las probabilidades o períodos de retorno se determinan directamente a partir de la información que entrega la muestra disponible.

- B -

- C -

Calado	Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de una embarcación.
CCC	Cemento comprimido para construcción
Clinker	Es una mezcla mineralógica, principalmente caliza y arcilla que se someten a altas temperaturas y procesos de trituración para dar formación a la materia prima principal de la que se obtiene el cemento.
Coagulación	Primera parte del proceso de tratamiento de aguas, en el cual se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, haciendo que las partículas que tienden a

	repelerse sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado.
Coloides	Partículas muy pequeñas de 10 a 1000 Angstrom, que no se sedimentan si no son coaguladas previamente.
Concentrado de cobre (CUCON)	Pulpa espesa obtenida de la etapa de flotación en el proceso productivo, en la que se encuentra una mezcla de sulfuro de cobre, fierro y una serie de sales de otros metales. Su proporción depende de la mineralogía de la mina.

- D -

Desagregación	Consiste en la degradación del cemento que deja de funcionar como aglomerante y en consecuencia deja libres los áridos.
DGA	Dirección General de Aguas
DSU	Desbordamiento de sistemas unitarios.

- E -

Empírico	Relaciona la respuesta del pavimento con el comportamiento a través de Leyes de Fatiga o Funciones de Transferencia.
Eslora	Longitud de una embarcación desde la proa a la popa
Espesamiento de lodos	El objetivo del espesamiento es remover la mayor cantidad de agua que sea posible antes de la deshidratación final o digestión del lodo, gracias a este proceso de bajo costo se reduce a la mitad el volumen de los lodos.
Estanco (a)	Que está completamente cerrado o no tiene comunicación con otras cosas.

- F -

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Floculación	Parte del proceso de tratamiento de aguas que sigue a la coagulación, consiste en una agitación suave y lenta que posibilita que las partículas entren en un mayor contacto reciproco, uniéndose unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración.
Flóculo	En ingeniería de tratamiento de aguas, un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.
Fresado	Corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, permite retirar parte o la totalidad del pavimento existente

	deteriorado en un espesor controlado para posteriormente restituir dicho pavimento.
FRP	Plástico reforzado con fibras
Fuente emisora	Establecimientos que descargan efluentes con una carga contaminante media diaria, medida antes de toda forma de tratamiento, superior al equivalente a las aguas servidas de una población de 100 ó 200 personas en uno o más de los parámetros, conforme a las normas de emisión de residuos líquidos.

- G -

Geomorfología	Es la rama de la Geografía que se ocupa del estudio de la superficie terrestre, se centra de manera general en las formas del relieve.

- H -

HDPE	Polietileno de alta densidad

- I -

IDF	Intensidad duración frecuencia.

- J -

- K -

- L -

Lamella	Sedimentador de placas inclinadas que ocupa solo el 10% de área de un clarificador convencional. Permite la adición de coagulantes y floculantes para la mejora en la sedimentación de sólidos suspendidos y aumenta la eficiencia de clarificación en el efluente.

- M -

MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

- N -

NCh	Norma Chilena.

- O -

- P -

Piel de cocodrilo	Falla por fatiga del material en pavimentos asfálticos, en las zonas más sometidas a repetición de cargas, se manifiesta por fisuras interconectadas y se considera una falla mayor. Este tipo de deterioro comienza en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico o de la base estabilizada, las fisuras se propagan a la superficie en forma de fisuras longitudinales más o menos paralelas. Luego la rotura evoluciona, se unen las fisuras y forman trozos de tamaño más o menos uniforme con bordes agudos y quebrados en un aspecto que hace recordar a la piel de cocodrilo.
PTALL	Planta de tratamiento de aguas lluvias
PVC	Policloruro de vinilo

- Q -

- R -

RCA	La Resolución de calificación ambiental o RCA es autorización que entrega el Servicio de Evaluación Ambiental SEA, es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación, del Estudio de Impacto Ambiental EIA o de la Declaración de Impacto Ambiental DIA. En la resolución de calificación ambiental RCA se establece si el proyecto presentado ha sido aprobado o rechazado.
Recarpeteo	Representa una de las técnicas más utilizadas en la rehabilitación de pavimentos, tanto de hormigón como de asfalto, a través de la aplicación de una nueva carpeta asfáltica. Uno de los principales desafíos de esta técnica de rehabilitación, es evitar (o retardar lo más posible) la reflexión de las grietas desde el pavimento existente hacia la nueva carpeta bituminosa.
Red domiciliaria	Red de evacuación y drenaje de aguas lluvias que hace referencia a los techos y pavimentos.
Red natural	Red de evacuación y drenaje de aguas lluvias que hace referencia a las zonas inundables.
Red primaria	Red de evacuación y drenaje de aguas lluvias que hace referencia a los cauces y descargas; las responsabilidades para la planificación, construcción, operación y mantenimiento de esta red depende del MOP.
Red secundaria	Red de evacuación y drenaje de aguas lluvias que hace referencia a las calles y sumideros; las responsabilidades para la planificación,

	construcción, operación y mantenimiento de esta red depende del MINVU.
Red unitaria	Sistemas que están diseñados para recibir y transportar tanto, aguas servidas y residuos líquidos como aguas lluvias

- S -

Sedimentación	La sedimentación o decantación consiste en la separación, por la acción de la gravedad de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua y no pueden retenerse en las unidades de pretratamiento, por su finura o densidad, ni pueden separarse por flotación.
SGI	Sistema de gestión integrado
Sobrenadante	La parte superior clara de cualquier mezcla después de ser centrifugada.

- T -

- U -

- V -

- W -

- X -

- Y -

- Z -

Zona latente	Aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo, se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental.
Zona no saturada	Aquella en las normas de calidad ambiental no se encuentran sobrepasadas.
Zona saturada	Aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.

ZPL	La Zona de protección litoral corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a la costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, fijada por la DIRECTEMAR.

CAPÍTULO 12. ANEXOS

A. PLANOS DEL PROYECTO

B. ESTUDIO HIDROLÓGICO

C. PRESUPUESTO POR PRECIOS UNITARIOS

D. MEMORIA DE CÁLCULO