



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCIÓN REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCIÓN

**SISTEMA DE INFILTRACIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS
EN CHANCHA DE FÚTBOL SINTÉTICA: CASO APLICADO CALEBU**

MATÍAS FRANGÉLICO ACEVEDO MONSALVEZ

2025

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”**

**SISTEMA DE INFILTRACIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CHANCHA
DE FÚTBOL SINTÉTICA: CASO APLICADO CALEBU**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Matías Frangélico Acevedo Monsalvez

Profesor Guía: Cristopher Pérez Marín

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: “SISTEMA DE INFILTRACIÓN Y EVACUACION DE AGUAS LLUVIAS EN CANCHA DE FUTBOL SINTÉTICA: CASO APLICADO CALEBU”.

Nombre del candidato(a): Matías Frangelico Acevedo Monsálvez.

Carrera / Grado: Ingeniería en Construcción.

Campus: Sede Hualpén. Departamento: Departamento de Construcción.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristopher Perez Marin, en mi calidad de profesor(a)

guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 08-01-2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 06-01-2026

Firma:

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes contribuyeron, de manera directa o indirecta, a la culminación de este proceso académico. En especial agradecimiento a mi pareja e hijo quienes me motivan cada día con su mera existencia, y a mi padres que fueron parte de mi crecimiento y desarrollo personal.

ÍNDICE

I.	RESUMEN	7
II.	INTRODUCCIÓN	8
III.	PROBLEMÁTICA.....	9
IV.	GLOSARIO DE SIGLAS UTILIZADAS	10
V.	JUSTIFICACIÓN	11
VI.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	12
	OBJETIVO GENERAL	12
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO 1: LEVANTAMIENTO DE LAS CONDICIONES EXISTENTES EN LA CANCHA CALEBU		13
1.1	ANÁLISIS TOPOGRÁFICO.....	15
1.1.1.	<i>Identificación de zonas bajas y áreas de potencial acumulación de agua.....</i>	<i>15</i>
1.2.	CONDICIONES DEL TERRENO	15
1.2.1.	<i>Tipo de suelo característico del emplazamiento.....</i>	<i>15</i>
1.2.2.	<i>Permeabilidad del terreno natural</i>	<i>17</i>
1.2.3.	<i>Nivel freático o presencia de humedad subterránea</i>	<i>18</i>
1.3.	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PROYECTADA EN EL DISEÑO BASE	18
1.3.1.	<i>Drenes proyectados</i>	<i>19</i>
1.3.2.	<i>Cámaras de inspección</i>	<i>20</i>
1.3.3.	<i>Pozo absorbente</i>	<i>21</i>
1.3.4.	<i>Confinamiento perimetral.....</i>	<i>22</i>
1.4.	CONCLUSIONES DEL LEVANTAMIENTO	23
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PROYECTADO (PROYECTO BASE)		25
2.1.	CONTEXTO HIDROLÓGICO DEL PROYECTO	26
2.1.1.	<i>Infiltración del terreno</i>	<i>26</i>
2.1.2	<i>Período de retorno y duración de la lluvia de diseño</i>	<i>28</i>
2.1.3	<i>Coeficiente de escorrentía</i>	<i>28</i>
2.1.4.	<i>Área aportante y configuración del sistema de drenaje proyectado</i>	<i>28</i>
2.1.5	<i>Coeficiente de seguridad</i>	<i>31</i>
2.2	DESCRIPCIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE DRENAJE PROYECTADO (DISEÑO BASE)	32
2.3	CÁLCULO HIDROLÓGICO DEL SISTEMA DE DRENAJE BASE.....	32
2.4	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA PROYECTADO.....	33
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA TÉCNICA AL SISTEMA DE INFILTRACIÓN DEL PROYECTO BASE.		35
3.1	PROPUESTA TÉCNICA DE MEJORA AL SISTEMA BASE	36
	<i>Ensayo de Infiltración Porchet.</i>	<i>36</i>
3.2	MODIFICACIÓN, AÑADIDURA O ELIMINACIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA BASE	37
3.3	ELIMINACIÓN DE ELEMENTOS DEL PROYECTO BASE	37
3.4	ELEMENTOS AGREGADOS AL SISTEMA BASE (PROPUESTA DE MEJORA).....	37
3.4.1	<i>Membrana drenante MacDrain SF 2W 20.2</i>	<i>37</i>
3.4.2	<i>Canaleta prefabricada y tapas de canaleta</i>	<i>38</i>
3.4.3	<i>Zanja drenante con cubos geo-hidráulicos.....</i>	<i>40</i>

3.4.4 Cámaras de inspección	41
.....	42
3.5 CRITERIOS DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA PROPUESTO	42
3.5.1 Objetivos y criterios de diseño	42
3.5.2 Límites del terreno.....	43
3.5.3 Esquema general del proyecto	43
.....	44
3.5.4 Destino de las aguas lluvias	44
3.5.5 Verificación hidráulica del sistema propuesto	45
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y PLAN DE MANTENCIÓN	51
4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA ENTRE ALTERNATIVA BASE Y ALTERNATIVA PROPUESTA	52
4.1.1 Presupuesto disponible para el proyecto	52
4.1.2 Presupuesto del proyecto base	52
4.1.3 Presupuesto del sistema de infiltración (propuesta de mejora).....	53
4.1.4 Desglose del presupuesto del sistema de infiltración	54
4.1.5 Presupuesto de mejora MacDrain – Zanja drenante	56
4.1.6 Diferencia de precios en relación al presupuesto disponible.	57
4.2 PROTOCOLO DE MANTENCIÓN PARA CAMPOS DEPORTIVOS DE CÉSPED SINTÉTICO	59
4.2.1 Mantenimiento rutinario	59
4.2.1 Mantenimiento programado (Preventivo y correctivo):	63
d) Revisión de la funcionalidad de la zanja de infiltración y cubos drenantes	67
VII. CONCLUSIONES	68
VIII. REFERENCIAS	69

I. RESUMEN

El presente trabajo analiza y optimiza el sistema de infiltración y evacuación de aguas lluvias de una cancha de fútbol con superficie de pasto sintético, mediante un estudio aplicado desarrollado en la localidad de Calebu, Región del Biobío. El estudio se enfoca en evaluar el desempeño hidráulico del sistema de drenaje considerado en el diseño base del proyecto, el cual, si bien cumple con los requerimientos constructivos formales, presenta potenciales deficiencias funcionales asociadas a la pérdida de planeidad y al comportamiento superficial del campo deportivo en el mediano y largo plazo.

La metodología empleada corresponde a un enfoque aplicado, que incluye el levantamiento de las condiciones existentes del terreno, el análisis hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje proyectado y la revisión de antecedentes normativos y técnicos pertinentes. La verificación hidráulica se realizó mediante la aplicación del método racional, considerando un período de retorno de 10 años y una duración de lluvia de 24 horas, representativos de las condiciones climáticas de la Región del Biobío. Asimismo, se incorporaron antecedentes geotécnicos obtenidos a partir de ensayos de infiltración tipo Porchet, los cuales evidencian una alta permeabilidad del suelo del emplazamiento.

Los resultados del análisis indican que el sistema de drenaje base se encuentra sobredimensionado desde el punto de vista hidráulico y presenta una configuración constructiva susceptible de generar marcación superficial y pérdida progresiva de planeidad. En respuesta a estas observaciones, se desarrolló una propuesta de mejora técnica que reemplaza los drenes transversales por un sistema integral de drenaje superficial y subterráneo, basado en la incorporación de una membrana drenante, canaletas prefabricadas y una zanja infiltrante con elementos modulares de alta porosidad.

Finalmente, se realizó una evaluación económica comparativa entre la alternativa base y la alternativa propuesta, junto con la elaboración de un plan de mantención, concluyéndose que la solución planteada mejora el desempeño hidráulico y funcional de la cancha, reduce el riesgo de deformaciones superficiales y contribuye a prolongar la vida útil de la infraestructura deportiva.

II. INTRODUCCIÓN

En Chile, la construcción de canchas de pasto sintético ha experimentado un crecimiento sostenido durante los últimos años, especialmente en proyectos municipales y en iniciativas financiadas mediante fondos FNDR y FRIL. De acuerdo con el Catastro Nacional de Recintos Deportivos del Instituto Nacional de Deportes (IND), existen más de 250 instalaciones deportivas públicas que incorporan superficies sintéticas destinadas principalmente al fútbol [1]. Este aumento responde a la necesidad de contar con recintos deportivos de uso intensivo y con menores requerimientos de mantención en comparación con las canchas de pasto natural.

A pesar de sus ventajas operativas, estas superficies presentan desafíos relevantes en cuanto al manejo de aguas lluvias. La estructura típica de una cancha sintética, compuesta por capas de base granular, geotextiles y césped artificial, modifica el comportamiento natural del escurrimiento, pudiendo generar acumulación superficial o saturación localizada si el sistema de drenaje no está correctamente diseñado o no se ajusta a las condiciones del terreno. Esta situación puede afectar la planeidad, generar zonas blandas y contribuir al deterioro prematuro de la superficie deportiva.

Diversos informes de auditoría emitidos por la Contraloría General de la República sobre proyectos municipales han señalado problemas asociados a la falta de estudios previos, la existencia de planos repetidos entre proyectos y la ausencia de respaldos técnicos adecuados en obras financiadas con fondos públicos [2]. Entre las observaciones más recurrentes se encuentran deficiencias en la planificación del drenaje, falta de antecedentes hidrológicos y diseños que no consideran las particularidades del terreno o las condiciones climáticas locales. Estas falencias pueden derivar en instalaciones que, si bien cumplen formalmente con documentación contractual, presentan un desempeño insuficiente frente a eventos de precipitación.

El manejo adecuado de aguas lluvias en superficies deportivas artificiales es un aspecto ampliamente tratado en la ingeniería hidráulica nacional. El Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, establece recomendaciones para el diseño de sistemas de evacuación superficial y subterránea en zonas impermeabilizadas, destacando la importancia de considerar escorrentías rápidas, capacidad de drenaje, subdrenes, filtros y dispositivos de infiltración cuando las condiciones lo permiten [3]. Estas directrices, aunque orientadas principalmente a obras viales, resultan aplicables a recintos deportivos debido a la similitud en el comportamiento hidráulico de las superficies artificiales.

En este contexto, el presente trabajo se centra en la cancha sintética de Calebu, ubicada en la Región del Biobío. El objetivo principal es evaluar el sistema de drenaje proyectado y desarrollar una propuesta de mejora que optimice su eficiencia hidráulica, no solo frente al escurrimiento superficial, sino también frente a problemáticas propias del diseño base, como la marcación progresiva de drenes

secundarios y la pérdida de planeidad. El propósito es asegurar que la infraestructura mantenga su operatividad bajo diversas condiciones climáticas y prolongue su vida útil.

La investigación se estructura bajo un enfoque aplicado, que incluye el levantamiento de información en terreno, el análisis técnico del diseño base, la revisión normativa y la modelación hidráulica. A partir de estos elementos, se busca formular una solución técnicamente sólida y ajustada a las condiciones hidrológicas y geotécnicas del sector, priorizando el desempeño funcional del sistema más que el aspecto económico, el cual se aborda únicamente como componente complementario del estudio.

III. PROBLEMÁTICA

La gestión del agua lluvia es un aspecto determinante en el desempeño y la durabilidad de las canchas de pasto sintético. Aunque estas superficies están diseñadas para evacuar el agua mediante capas granulares y drenes internos, su eficacia depende de que el diseño responda realmente a las condiciones hidrológicas y geotécnicas del sitio. Si bien en muchos recintos deportivos los problemas se originan por baja infiltración del terreno natural, en otros casos como el de Calebu el desafío proviene de la interacción entre el diseño base y las condiciones reales de uso.

En la Región del Biobío, las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm en diversas comunas, según registros de la Dirección General de Aguas (DGA) [4]. Este nivel de pluviosidad exige que las superficies deportivas cuenten con sistemas de drenaje capaces de funcionar de manera eficiente bajo eventos lluviosos recurrentes. Incluso en terrenos con alta infiltración, como el emplazamiento de la cancha de Calebu, el diseño hidráulico debe ser capaz de distribuir adecuadamente el escurrimiento y evitar concentraciones localizadas de humedad.

En la cancha sintética de Calebu, si bien el terreno presenta buena permeabilidad y una topografía prácticamente plana, el sistema de drenaje incluido en el diseño base corresponde a una solución tradicional que tiende a quedar obsoleta con el tiempo, particularmente por la disposición de los drenes secundarios o zanjales transversales. Estas zanjales pueden marcarse progresivamente, generando hundimientos lineales, pérdida de planeidad y disminución de la capacidad estructural de la base granular, aun cuando el suelo subyacente no presenta limitaciones significativas.

La marcación y deformación de los drenes afecta la operatividad del recinto, la seguridad de los usuarios y la vida útil de la superficie deportiva, pudiendo además generar acumulación localizada de humedad. Esto evidencia que el problema no radica únicamente en la capacidad de infiltración del terreno, sino en la insuficiencia del sistema proyectado para responder adecuadamente a las condiciones hidráulicas y de uso del recinto.

La problemática central consiste en determinar si el sistema de drenaje considerado en el proyecto base es suficiente para las condiciones hidrológicas, geotécnicas y operacionales actuales. De no ser así, será necesario desarrollar una propuesta de mejora que asegure la planeidad, funcionalidad y durabilidad de la cancha sintética bajo distintos escenarios de precipitación.

IV. GLOSARIO DE SIGLAS UTILIZADAS

FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional

FRIL: Fondo Regional de Iniciativa Local

IND: Instituto Nacional del Deporte

DGA: Dirección General de Aguas

MOP: Ministerio de Obras Públicas

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo

APU: Análisis de Precio Unitario

IDF: Intensidad – Duración - Frecuencia

PVC: Polyvinyl chloride – Policloruro de Vinilo

EETT: Especificaciones Técnicas

Caucho SBR: (Styrene-Butadiene Ruber), Caucho Sintético.

HH: Horas/Hombre

V. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de una propuesta de mejora para el sistema de drenaje de la cancha sintética de Calebu se justifica porque esta infraestructura debe mantener condiciones de operación seguras y estables durante todo el año, especialmente en una zona de alta pluviosidad como la Región del Biobío. La calidad del drenaje influye directamente en la seguridad de los usuarios, en el rendimiento deportivo y en la vida útil de la superficie sintética, por lo que su diseño debe responder tanto a las condiciones climáticas como al comportamiento real del terreno.

Si bien el terreno de la cancha presenta condiciones favorables, como buena infiltración y una topografía estable, es sabido en el ámbito de la ingeniería de superficies deportivas que los sistemas de drenaje basados en drenes longitudinales pueden experimentar variaciones en su desempeño con el paso del tiempo. Este comportamiento se relaciona principalmente con la interacción entre las cargas repetitivas propias del uso deportivo y la estructura granular del pavimento sintético, lo que puede generar pequeñas deformaciones o irregularidades superficiales, incluso cuando el suelo subyacente no presenta limitaciones.

La ausencia de una evaluación hidráulica y estructural específica en el diseño base refuerza la necesidad de plantear mejoras que permitan anticipar estos comportamientos y asegurar un desempeño adecuado en el largo plazo. Desarrollar una propuesta técnicamente fundamentada permitirá optimizar la distribución del escurrimiento, reducir la aparición de deformaciones asociadas al funcionamiento del drenaje y evitar futuras intervenciones correctivas de mayor costo.

Asimismo, disponer de criterios de diseño claros y ajustados a las condiciones locales fortalece la toma de decisiones del organismo responsable, mejora la gestión de la infraestructura pública y contribuye a resguardar la inversión realizada. En este sentido, el presente estudio entrega una base metodológica que permitirá definir una solución de drenaje más eficiente y duradera, capaz de mantener la operatividad, seguridad y planeidad de la cancha sintética en el tiempo.

VI. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora para el sistema de drenaje de la cancha sintética de Calebu, mediante el levantamiento de las condiciones existentes, el análisis hidráulico del diseño base y el desarrollo de una solución técnicamente fundamentada que optimice la eficiencia del sistema y la estabilidad superficial del recinto deportivo.

Objetivos Específicos

1. Levantar y caracterizar las condiciones existentes del terreno y la infraestructura hidráulica de la cancha sintética de Calebu.
2. Analizar el funcionamiento hidráulico y superficial del sistema de drenaje actual, identificando sus capacidades, y limitaciones bajo escenario de precipitación y uso.
3. Diseñar alternativas técnicas de mejora para el manejo de aguas lluvias, considerando criterios normativos aplicables y la realidad geotécnica del emplazamiento.
4. Dimensionar la solución propuesta y evaluar su desempeño mediante herramientas de cálculo, verificando su capacidad para mantener la eficiencia del drenaje y la estabilidad superficial.
5. Elaborar una evaluación económica y un plan de mantención que permitan asegurar la viabilidad y durabilidad del sistema propuesto en el tiempo.

CAPÍTULO 1: LEVANTAMIENTO DE
LAS CONDICIONES EXISTENTES EN
LA CANCHA CALEBU

El proyecto consiste en la construcción de una cancha de fútbol con superficie de pasto sintético en el sector de Calebu, comuna de Contulmo. La iniciativa busca habilitar un espacio deportivo accesible y de calidad, destinado a fomentar la actividad física y fortalecer la infraestructura comunitaria.

La superficie de juego contempla dimensiones de 25 x 45 metros, más una contracancha perimetral de 1 metro, alcanzando un total de 27 x 47 metros. El diseño base incorpora un sistema de drenaje subterráneo destinado a permitir el adecuado manejo de aguas lluvias y garantizar la operatividad de la cancha en distintas condiciones climáticas.

Actualmente, la obra se encuentra en proceso de licitación cerrada. El terreno donde se proyecta la nueva cancha corresponde al emplazamiento de la cancha natural existente: un espacio relativamente plano, cubierto de vegetación y sin sistema de drenaje. El diseño propuesto no cuenta con una memoria de cálculo hidráulico que respalde su desempeño frente a las condiciones de pluviosidad del sector, por lo que resulta necesario analizar su funcionamiento proyectado y, de ser necesario, plantear mejoras técnica y económicamente viables.

El sistema incluido en los planos contempla zanjas drenantes transversales con tuberías Flexodren, dispuestas sobre cama de ripio canto rodado, cubierto por el mismo material más bolones desplazados, toda la zanja se encuentra cubierta de geotextil no tejido para proporcionar protección del sistema de drenaje. Las aguas captadas se conducen a tres cámaras de inspección y posteriormente a un pozo de infiltración construido en albañilería y material pétreo.

La localidad de Calebu se ubica a 27,6 km de Cañete y a 9,2 km de Contulmo. Limita al este con el Lago Lanalhue y se emplaza al pie de la Cordillera de Nahuelbuta. El acceso principal es la Ruta P-60-R, que conecta Contulmo con Cañete y luego con Purén y Los Sauces.

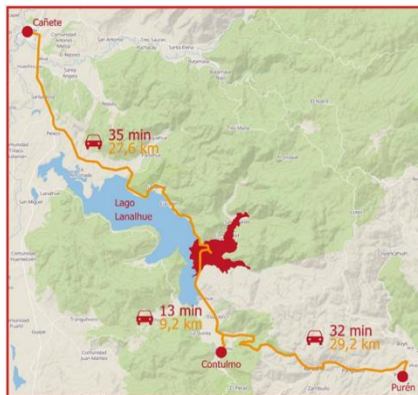


Figura 1-1. Ubicación de la localidad de Calebu y accesos principales.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

1.1 Análisis Topográfico

El proyecto se emplaza sobre la cancha existente, la cual presenta una superficie prácticamente nivelada, por lo que no fue necesario un levantamiento topográfico exhaustivo para estimar movimientos de tierra importantes.



Figura 1-2. Vista general de la cancha existente en el sector de Calebu.
Fuente: Planos e informes del Proyecto base, Mercado Público.

1.1.1. Identificación de zonas bajas y áreas de potencial acumulación de agua

Durante la inspección visual no se identificaron depresiones, erosión superficial, marcas de humedad ni zonas de acumulación de agua. La combinación de la baja pendiente y la elevada capacidad de infiltración del terreno reduce la probabilidad de inundaciones superficiales. No obstante, la ausencia de manifestaciones superficiales no asegura por sí sola un comportamiento adecuado del sistema subterráneo, especialmente considerando la configuración del drenaje proyectado.

1.2. Condiciones del terreno

1.2.1. Tipo de suelo característico del emplazamiento

El suelo corresponde a una Grava Arenosa, según el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) N° 22212 perteneciente al proyecto “Construcción Repositorio de la Historia, Localidad del Valle de Elicura”, realizado a 40 metros del emplazamiento. Este estudio se considera representativo dada la proximidad del lugar y la continuidad geomorfológica del sector.

Las características generales del suelo, asociadas a su textura, se presentan en la **Tabla 1-1**, donde se evidencia un comportamiento altamente permeable, baja retención de agua y adecuada aireación, condiciones favorables para la implementación de sistemas de infiltración.

El perfil estratigráfico del subsuelo, resumido en la **Tabla 1-2**, identifica un estrato superficial de relleno antrópico y un estrato subyacente de grava arenosa con compacidad media y estructura homogénea, sin presencia de nivel freático hasta la profundidad investigada.

En términos generales, el suelo presenta las siguientes características relevantes para el diseño hidráulico:

- Comportamiento altamente permeable
- Baja retención de agua
- Compacidad media
- Estructura homogénea
- Suelo húmedo sin signos de saturación
- Ausencia de napa freática hasta 3 m de profundidad

La ubicación de la calicata utilizada como referencia para este análisis se muestra en la **Figura 1-3**.

Estas condiciones favorecen el uso de sistemas de infiltración y permiten una rápida disipación del agua en el terreno natural.

Tabla 1-1. Características generales del suelo según su textura.

Conceptos	Textura del Suelo			
	Arcilloso	Limoso	Arenoso	Franco
Infiltración de Agua	Baja	Baja	Alta	Media
Aireación	Baja	Baja	Alta	Media
Retención de Agua	Alta	Media	Baja	Media - Alta
Erosión	Alta	Alta	Media - Baja	Media
Retención de Nutrientes	Alta	Media - Baja	Baja	Media - Alta
Mineralización de la Materia orgánica	Baja	Baja	Alta	Media
Facilidad para formar buena estructura	Alta	Baja	Media - Baja	Media - Alta

Fuente: Elaboración propia / bibliografía correspondiente.

Tabla 1-2. Perfil estratigráfico del subsuelo, a partir del nivel superior actual del terreno.

Estrato	Profundidad [m]	Descripción
I	0,00 – 0,40	Relleno antrópico constituido por mezcla de base estabilizada y capa vegetal.
II	0,40 – 3,00	Grava arenosa. La distribución volumétrica aproximada es de 70 [%] gravas subredondeadas, duras, tamaño máximo 11 [plg] y 30 [%] arenas finas a media. <u>Condición in situ:</u> compactidad media, estructura homogénea, olor térreo, color gris y estado hídrico húmedo.

Fuente: Ingeom SPA.



Figura 4. Ubicación de la calicata dentro del terreno en estudio.
Fuente: Google Earth 2022.

Figura 1-3. Ubicación de la calicata dentro del terreno en estudio.
Fuente: Google Earth, 2022.

1.2.2. Permeabilidad del terreno natural

La permeabilidad se estimó mediante un ensayo de infiltración tipo Porchet (realizado cercano al emplazamiento, para proyecto denominado “PAVIMENTACIÓN DIVERSAS CALLES EN LA LOCALIDAD DEL VALLE DE ELIKURA”), cuyos resultados indican una velocidad de infiltración de 287,8 mm/hr promedio entre nivel 0 y 100 mm, valor que se considera alto para efectos hidráulicos.

El método Porchet permite determinar la capacidad de infiltración del suelo mediante la medición de la velocidad con que el agua es absorbida en un agujero excavado, manteniendo un nivel constante durante el ensayo. Este resultado confirma que el

terreno presenta condiciones favorables para la infiltración natural, lo que influye directamente en el desempeño esperado del sistema de drenaje **Figura 1-4**.



Figura 1-4. Ensayo de infiltración tipo Porchet.

Fuente: Imagen referencial del método Porchet (Google Imágenes).

1.2.3. Nivel freático o presencia de humedad subterránea

No se identificó presencia de napa freática dentro de los 3 metros excavados durante el estudio geotécnico. El suelo presenta humedad natural pero sin saturación permanente, por lo que no se anticipan interferencias con la ubicación de drenes o zanjas de infiltración.

1.3. Infraestructura hidráulica proyectada en el diseño base

El diseño base considera la ejecución de excavaciones, la instalación de tuberías drenantes tipo Flexodren, cámaras de inspección y un pozo absorbente, cuyo propósito es evacuar y permitir la infiltración de las aguas lluvias generadas sobre la superficie de la cancha.

Las excavaciones deben ejecutarse conforme a las cotas establecidas en el proyecto, permitiendo la correcta disposición de las tuberías drenantes con pendientes mínimas del 0,3 % en las líneas secundarias y del 0,5 % en la conducción principal, asegurando

así la continuidad hidráulica del sistema y el adecuado escurrimiento hacia los elementos de infiltración **Figura 1-5**.

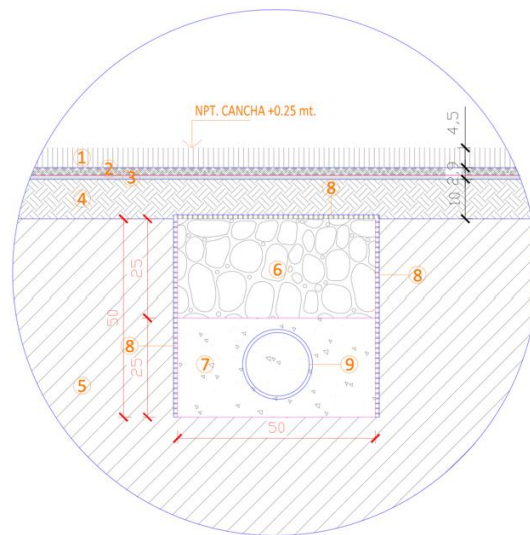


Figura 1-5. Tubería drenante tipo Flexodren utilizada en el sistema proyectado.
Fuente: Ficha técnica proveedor.

1.3.1. Drenes proyectados

El diseño base contempla la instalación de drenes subterráneos tipo Flexodren de 4" (110 mm), dispuestos de manera transversal al eje longitudinal de la cancha, con el objetivo de captar y conducir las aguas lluvias hacia la red principal de drenaje.

Las tuberías se disponen sobre una cama de gravilla, se recubren con bolones y gravilla compactada, y se envuelven completamente en geotextil no tejido, conformando una envolvente drenante continua que permite mejorar la captación de aguas y reducir el riesgo de colmatación del sistema. Esta configuración favorece la conducción eficiente del flujo hacia las cámaras de inspección y los elementos finales de infiltración, conforme al diseño base del proyecto **Figura 1-6**.



- ① Césped sintético e=45 mm. (Igual o mayor a 45 mm.)
- ② Rellenos: Caucho granular SBR e=19 mm. + Arena sílice e=10 mm.
- ③ Nivelación con maicillo o polvo roca e=var.
- ④ Base estabilizada drenante e=10 cms.
- ⑤ Terreno compactado.
- ⑥ Bolón desplazador 3".
- ⑦ Gravilla canto rodado compactada.
- ⑧ Membrana geotextil tipo "Polyfelt TS 20".
- ⑨ FLEXODREN 4".

Figura 1-6. Corte transversal del sistema de drenaje base proyectado.

Fuente: Proyecto base, Mercado Publico.

1.3.2. Cámaras de inspección

El proyecto base considera la instalación de cámaras de inspección prefabricadas de hormigón, con dimensiones interiores mínimas de 0,60 x 0,60 x 1,80 m, equipadas con tapa y marco metálico para facilitar las labores de mantención y limpieza del sistema de drenaje.

Cada cámara se conecta con los drenes transversales mediante barbacanas de PVC Ø75 mm, dispuestas en sus caras laterales, permitiendo la circulación y distribución del flujo hacia la conducción principal.

Asimismo, se proyecta una tubería principal de PVC C-4 Ø180 mm, encargada de transportar las aguas captadas desde las cámaras hasta el pozo absorbente. Esta conducción debe instalarse con una pendiente mínima de 0,5%, con el fin de asegurar un escurrimiento continuo y evitar acumulaciones de agua en el sistema.

En conjunto, las cámaras de inspección cumplen con las funciones de:

- Permitir el acceso para mantención e inspección del sistema,
- Recibir y distribuir los caudales provenientes de los drenes transversales,
- Asegurar la continuidad hidráulica hacia el sistema de infiltración final.

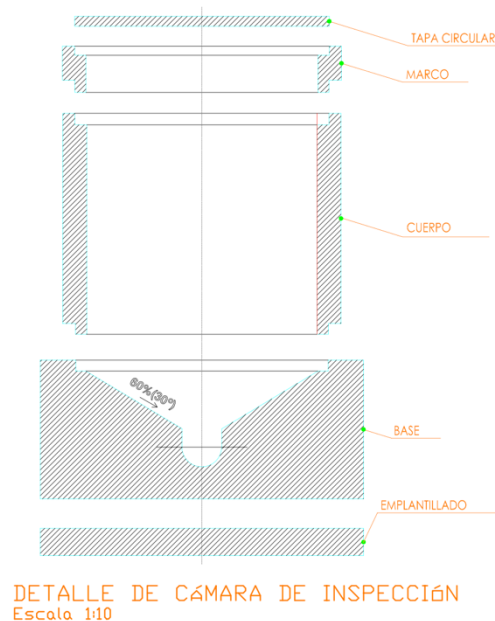


Figura 1-7. Cámara de inspección (elevación).
Fuente: Plano de proyecto, Mercado Publico.

1.3.3. Pozo absorbente

El diseño base considera un pozo absorbente de $4,00 \times 4,00 \times 2,00$ m, conformado por bolones en su interior y muros perimetrales de albañilería u hormigón, los cuales permiten la infiltración natural del agua hacia el terreno circundante. La estructura se complementa con una tapa prefabricada de hormigón, facilitando las labores de inspección y mantención futura del sistema.

El pozo absorbente constituye el punto final del sistema de drenaje proyectado, recibiendo el caudal captado por los drenes subterráneos y las cámaras de inspección, para su posterior infiltración directa en el suelo natural.

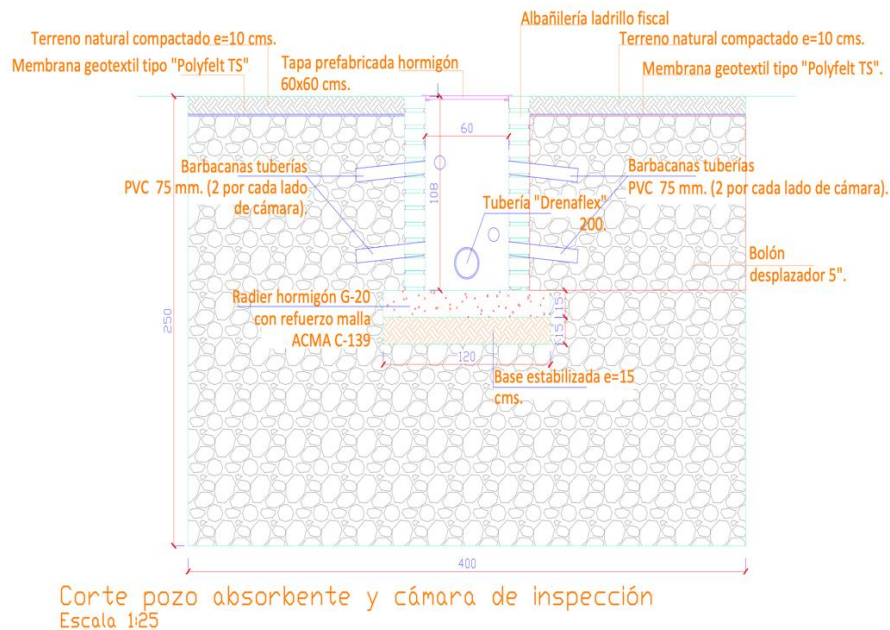


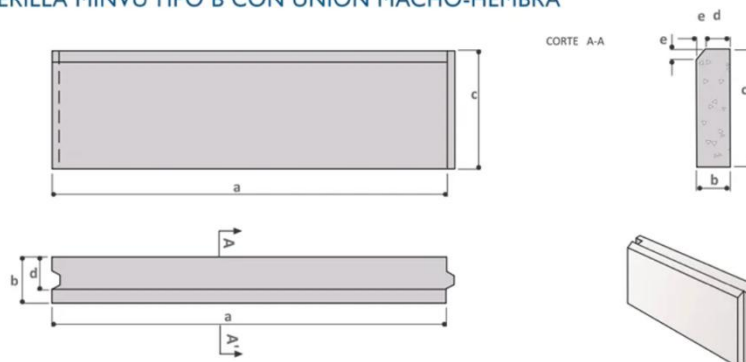
Figura 1-8. Corte transversal del pozo absorbente del sistema de drenaje base.
Fuente: Plano de proyecto, Mercado Publico.

1.3.4. Confinamiento perimetral

El proyecto contempla la instalación de solerillas tipo B o brocales de hormigón ejecutados in situ en el borde interior y exterior de la cancha. Adicionalmente, se permite el uso de canal prefabricado como reemplazo de la solerilla interior, con el objetivo de facilitar la captación superficial de aguas lluvias, alternativa que no se encuentra considerada en los planos ni en el presupuesto del proyecto base.

Para el borde exterior, se proyecta la ejecución de hormigón pobre con mayor altura hacia el exterior, evitando desplazamientos o volcamiento del sistema de confinamiento. El canto superior debe quedar a no más de 15 mm sobre la cota del polvillo de roca, asegurando un confinamiento estructural adecuado para la superficie sintética.

SOLERILLA MINVU TIPO B CON UNIÓN MACHO-HEMBRA



DIMENSIONES NOMINALES

Denominación	Largo a (mm)	Alto c (mm)	Ancho base b (mm)	Ancho superior d (mm)	Espesor e (mm)	Peso aprox. Kg
Solerilla MINVU tipo B 0,5 MH	500	200	60	45	15	13,70
Solerilla MINVU tipo B 1,0 MH	1.000	200	60	45	15	28,00
Tolerancia	± 3	± 2	± 2	± 2	± 1	

Cumple con: Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación MINVU.

Figura 1-9. Solerilla MINVU tipo B utilizada como confinamiento perimetral.
Fuente: Ficha técnica proveedor GRAU.

El sistema proyectado debe garantizar un escurrimiento eficiente y continuo, evitando la acumulación de agua en superficie. Para asegurar su correcto funcionamiento, se recomienda realizar pruebas de infiltración y pruebas de operación del sistema completo (drenes, cámaras y pozo absorbente) previo a la recepción de las obras. Estas verificaciones permiten confirmar que la capacidad hidráulica instalada responde adecuadamente a las condiciones climáticas y geotécnicas del emplazamiento.

1.4. Conclusiones del levantamiento

El levantamiento de información y la visita a terreno permiten concluir lo siguiente:

- La cancha se emplaza en un terreno de pendiente baja ($\approx 1\%$), con escurrimiento natural hacia el sur-este y sin evidencia de acumulación superficial.
- El suelo corresponde a una Grava Arenosa de alta permeabilidad y sin presencia de napa freática, condiciones favorables para soluciones de infiltración.
- El diseño base carece de memoria de cálculo que respalde la eficiencia hidráulica del sistema.

- La solución proyectada adopta una configuración tradicional de drenes transversales que, según la experiencia en canchas sintéticas, puede generar marcación progresiva, pérdida de planeidad y variaciones de rigidez en la superficie a mediano plazo.

Estas condiciones justifican la necesidad de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema base y, de ser necesario, desarrollar una propuesta de mejora que asegure una operación estable y una mayor vida útil de la cancha sintética.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS
HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL
SISTEMA DE DRENAJE
PROYECTADO (PROYECTO BASE)

Este capítulo tiene por finalidad evaluar el comportamiento hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje considerado en el diseño base de la cancha sintética de Calebu. Para ello, se analizan las condiciones de infiltración del terreno, los parámetros hidrológicos adoptados para el diseño y la configuración del sistema proyectado, con el objetivo de determinar si la solución propuesta es adecuada para las condiciones climáticas, geotécnicas y de uso del recinto deportivo.

2.1. Contexto hidrológico del proyecto

El análisis hidrológico permite definir las condiciones de diseño bajo las cuales debe operar el sistema de drenaje proyectado, considerando tanto las características del terreno como los parámetros de precipitación adoptados para el estudio.

2.1.1. Infiltración del terreno

La capacidad de infiltración del terreno se determinó a partir de un ensayo de infiltración tipo Porchet, realizado por la empresa INGEOM SpA, a solicitud de la Ilustre Municipalidad de Contulmo, en el marco del proyecto “*Pavimentación Diversas Calles en la Localidad del Valle de Elicura*”, ejecutado en octubre de 2021.

Para el presente estudio se consideraron los resultados correspondientes a la Calicata N°1, debido a su cercanía con el emplazamiento de la cancha sintética, ubicada aproximadamente a 30 m del área del proyecto, lo que permite asumir que las condiciones geotécnicas observadas son representativas del sector analizado. La ubicación relativa de dicha calicata respecto del proyecto se presenta en la Figura 10.

Los resultados del ensayo, resumidos en la **Tabla 2-1**, indican un valor promedio de infiltración de 287,8 mm/h, correspondiente a un suelo de alta permeabilidad. Esta condición resulta favorable para el diseño de sistemas de infiltración de aguas lluvias, ya que permite una adecuada disipación de los caudales captados, reduciendo la necesidad de superficies extensas de percolación y favoreciendo el correcto funcionamiento hidráulico del sistema proyectado.



Figura 2-1. Ubicación de la Calicata C1 respecto al emplazamiento de la cancha sintética.
Fuente: Ensayo Porchet proyecto “Pavimentacion Diversas Calles en la Localidad del Valle de Elicura”.

Tabla 2-1. Resultados del ensayo de infiltración tipo Porchet – Calicata N°1.

2. ENSAYO DE INFILTRACIÓN – CALICATA N°1

Proyecto	Estudio de Mecánica de Suelos Pavimentación Diversas calles en la Localidad del Valle de Elicura, Comuna de Contulmo.
Ubicación	Calle interior
Calicata N°	1
Coordenadas UTM	Este [m]: 655727
	Norte [m]: 5797570
Profundidad napa freática [m]	No se observó
Fecha inspección	10-09-2021

Nivel mm	Tiempo			Tiempo (horas)	2h+R		Infiltración (mm/hora)
	(horas)	(min)	(seg)		Radio =	200	
100	0	0	0	0	350		---
90	0	0	45	0,013	330		339,5
80	0	1	38	0,027	310		334,9
70	0	2	34	0,043	290		312,6
60	0	3	40	0,061	270		297,7
50	0	4	55	0,082	250		274,9
40	0	6	13	0,104	230		284,3
30	0	7	47	0,130	210		262,4
20	0	9	36	0,160	190		250,2
10	0	11	38	0,194	170		245,4
0	0	13	42	0,228	150		276,1

Promedio	287,8
----------	-------

Fuente: Ensayo Porchet proyecto “Pavimentacion Diversas Calles en la Localidad del Valle de Elicura”.

2.1.2 Período de retorno y duración de la lluvia de diseño

El proyecto de la cancha sintética de Calebu corresponde a una obra civil de carácter menor, asociada a infraestructura deportiva comunitaria. En función de su nivel de riesgo aceptable frente a eventos hidrometeorológicos, se adoptó un período de retorno de 10 años, valor comúnmente utilizado en el diseño de sistemas de drenaje para este tipo de instalaciones.

Este período de retorno implica una probabilidad de excedencia anual del 10%, es decir, la posibilidad de que ocurra un evento de precipitación igual o superior al considerado en cualquier año dado.

Adicionalmente, se consideró una duración de lluvia de 24 horas, con el fin de representar un evento crítico prolongado, capaz de generar condiciones de saturación tanto en el sistema de drenaje como en el terreno natural. Esta duración resulta adecuada para evaluar el comportamiento del sistema frente a precipitaciones significativas y persistentes, propias del régimen climático de la Región del Biobío.

2.1.3 Coeficiente de escorrentía

Para superficies de pasto sintético, se utilizan coeficientes de escorrentía comprendidos entre 0,6 y 0,8, dependiendo del tipo de base y del grado de impermeabilización del sistema. Para el presente análisis se adoptó un coeficiente de escorrentía $C = 0,6$, lo que implica que aproximadamente un 60% del agua precipitada escurre superficialmente, mientras que el 40% restante infiltra a través de la superficie hacia las capas inferiores.

La base estabilizada cumple principalmente una función estructural, permitiendo el tránsito de las escorrentías superficiales y reteniendo solo un porcentaje reducido del agua infiltrada.

2.1.4. Área aportante y configuración del sistema de drenaje proyectado

El área aportante corresponde a la superficie desde la cual las aguas lluvias son captadas y conducidas hacia el sistema de drenaje e infiltración proyectado. En el caso de la cancha sintética de Calebu, esta área está constituida por la totalidad de la superficie de juego y su contracancha perimetral, alcanzando una superficie total de 1.269 m^2 , correspondiente a dimensiones de $27 \times 47 \text{ m}$. De esta superficie se descuenta el área ocupada por las zanjas drenantes transversales, obteniéndose un área aportante efectiva de $1.174,5 \text{ m}^2$.

De acuerdo con el diseño base, la captación y conducción de las aguas lluvias se realiza mediante un sistema de zanjas drenantes transversales, dispuestas perpendicularmente al eje longitudinal de la cancha, las cuales conducen los caudales hacia el sistema de conducción principal del proyecto.

En la **Figura 2-2** se ilustra la disposición general del sistema de drenaje proyectado, incluyendo la ubicación de las zanjas drenantes y el sentido del flujo hidráulico. Las flechas azules representan la dirección de escurrimiento superficial y subsuperficial, evidenciando el esquema de captación, conducción y drenaje de las aguas lluvias hacia el sistema primario de infiltración.

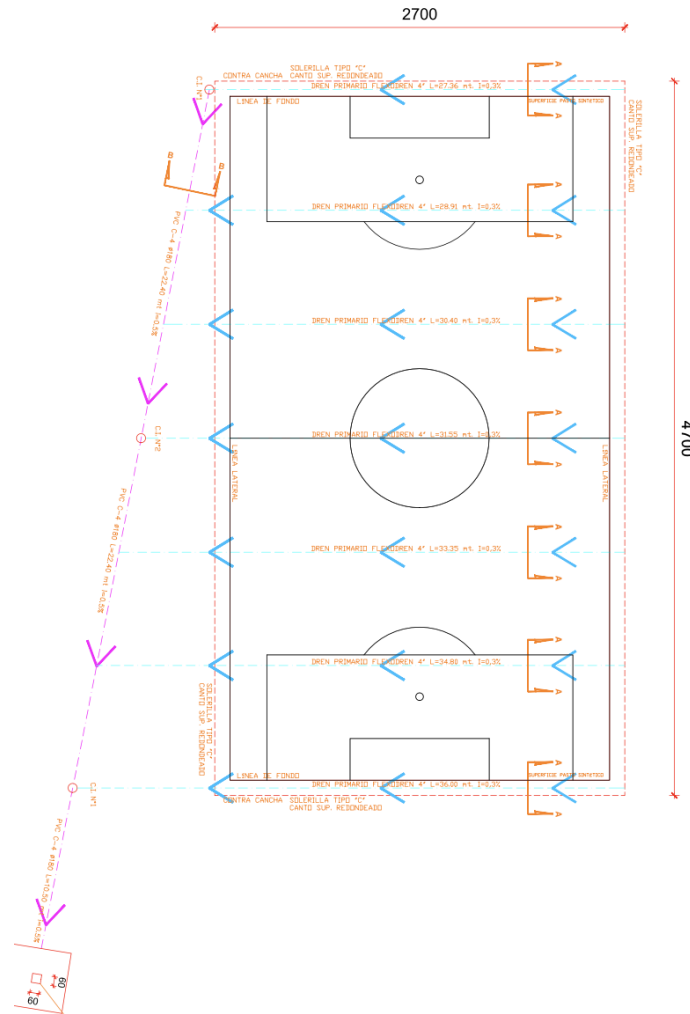
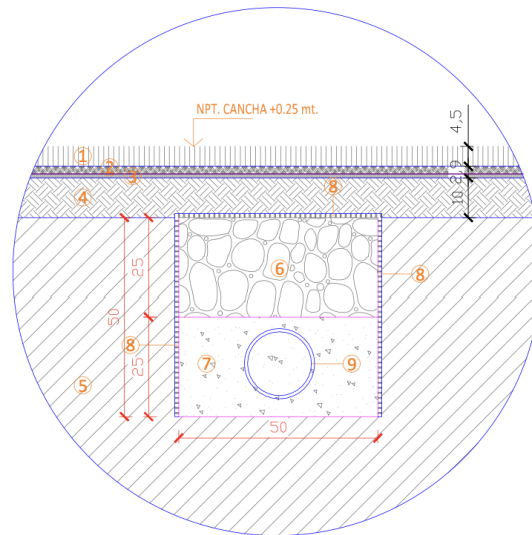


Figura 2-2. Plano de planta del sistema de infiltración base del proyecto.

Fuente: Plano de proyecto, Mercado Público.

Las zanjas drenantes transversales presentan una pendiente longitudinal de 0,3% y están compuestas por una tubería tipo Flexodren de 4", encargada de la conducción e infiltración de las aguas lluvias. Cada zanja se dispone sobre una cama de grava, cubierta por bolones desplazados, y se encuentra completamente envuelta por una membrana de geotextil no tejido tipo Polyfelt TS 20, con el objetivo de evitar procesos de colmatación, mejorar el comportamiento filtrante del sistema y asegurar la continuidad hidráulica del drenaje.

Las características constructivas de estas zanjas se detallan en la **Figura 2-3**, correspondiente al corte tipo del drenaje transversal, donde se observa la estratigrafía completa del sistema. En dicho corte se identifican el césped sintético, las capas de relleno y nivelación, la base estabilizada drenante, el material granular de la zanja y la tubería perforada de conducción. Las dimensiones de cada zanja corresponden a 0,50 m de ancho por 0,50 m de altura, con longitudes variables, totalizando 222,37 m lineales, distribuidos en siete tramos a lo largo de la cancha.



CORTE DRENAJE A-A' - Pendiente longitudinal 0,3%

- ① Césped sintético e=45 mm. (Igual o mayor a 45 mm.)
- ② Rellenos: Caucho granular SBR e=19 mm. + Arena sílice e=10 mm.
- ③ Nivelación con maicillo o polvo roca e=var.
- ④ Base estabilizada drenante e=10 cms.
- ⑤ Terreno compactado.
- ⑥ Bolón desplazador 3".
- ⑦ Grava canto rodado compactada.
- ⑧ Membrana geotextil tipo "Polyfelt TS 20".
- ⑨ FLEXODREN 4".

Figura 2-3. Corte tipo de zanja drenante transversal del sistema base.
Fuente: Plano de proyecto, Mercado Público.

Dado que estas zanjas cumplen simultáneamente funciones de captación, conducción e infiltración, su superficie debe ser descontada del área aportante total, ya que no contribuye directamente al escurrimiento superficial hacia el pozo absorbente. Considerando 7 zanjas de 27 m de longitud y 0,50 m de ancho, la superficie total asociada a infiltración directa es:

$$27 \text{ m} \times 7 \times 0,50 \text{ m} = 94,5 \text{ m}^2$$

En consecuencia, al descontar esta superficie del área total de la cancha, se obtiene una superficie aportante efectiva de 1.174,5 m², valor que se utiliza posteriormente para el cálculo hidrológico del sistema proyectado.

2.1.5 Coeficiente de seguridad

Con el fin de considerar posibles variaciones en la permeabilidad del suelo, eventuales obstrucciones parciales o procesos de colmatación del sistema, así como eventos de precipitación superiores a los estimados, se incorporó un coeficiente de seguridad al análisis hidrológico del sistema de infiltración.

El coeficiente de seguridad corresponde a la relación entre la capacidad total calculada del sistema de infiltración y la demanda real esperada, asociada al volumen de agua que debe ser infiltrado durante el evento de diseño. Para asegurar un funcionamiento adecuado y estable en el tiempo, este coeficiente debe ser mayor que la unidad.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$C_s = \frac{\text{Capacidad máxima del sistema}}{\text{Demanda esperada}} > 1$$

En el presente análisis se adopta un coeficiente de seguridad equivalente a +0,5, lo que implica diseñar el sistema con una capacidad un 50 % superior a la demanda estimada. A modo de ejemplo, si el volumen de infiltración requerido fuese de 100 m³/día, el sistema se dimensionaría para una capacidad de infiltración de 150 m³/día.

La incorporación de este margen de seguridad permite aumentar la confiabilidad del sistema frente a condiciones reales de operación y garantizar su desempeño hidráulico a lo largo del tiempo.

2.2 Descripción hidráulica del sistema de drenaje proyectado (diseño base)

El sistema de drenaje considerado en el diseño base está compuesto por zanjas drenantes transversales dispuestas a lo largo de la cancha sintética, las cuales captan y conducen tanto las aguas lluvias infiltradas como las superficiales hacia una red principal de transporte.

Las zanjas drenantes transversales descargan en una tubería principal de PVC C-4 de diámetro 180 mm, la cual cuenta con tres cámaras de inspección distribuidas a lo largo de su trazado. Esta conducción principal transporta las aguas captadas hacia un pozo drenante de dimensiones aproximadas de 4,0 m × 4,0 m × 2,0 m de altura. El pozo incorpora una cámara de inspección de albañilería en su interior.

Este pozo drenante está relleno con bolones desplazados de 3", cuya porosidad se estima en 0,3, valor similar al de las zanjas drenantes, permitiendo la infiltración gradual de las aguas lluvias hacia el terreno natural.

2.3 Cálculo hidrológico del sistema de drenaje base

Con base en los parámetros hidrológicos definidos en el punto 2.1 y la configuración hidráulica descrita en el punto 2.2, se procedió a realizar el cálculo hidrológico del sistema de drenaje proyectado mediante una planilla de cálculo base.

Esta planilla considera las variables propias del proyecto, incluyendo el coeficiente de escorrentía, la superficie aportante efectiva, la duración del evento de lluvia, el período de retorno adoptado y los coeficientes de duración y frecuencia asociados a la ciudad de referencia. Para el presente análisis se utilizó como ciudad base Concepción, ubicada en la Región del Biobío, debido a su similitud climática con el emplazamiento de la cancha sintética de Calebu.

Asimismo, se incorporaron los parámetros geométricos de las zanjas drenantes, tales como ancho, altura, longitud total, área de percolación, infiltración del terreno y porosidad del material drenante.

A partir del cálculo se obtienen los volúmenes de agua demandados por el sistema durante el evento de diseño y la capacidad de infiltración ofrecida por las zanjas y el pozo drenante, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico del sistema proyectado.

2.4 Evaluación del desempeño del sistema proyectado

Los parámetros y supuestos de cálculo utilizados en el proyecto base para el diseño del sistema de drenaje se presentan en la **Tabla 2-2**. Estos antecedentes son utilizados en el presente estudio con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema proyectado, sin modificar los criterios originales definidos en el diseño base.

Tabla 2-2. Datos de cálculo del proyecto base.

Dimensionamiento

Datos Zanja:

Coeficiente de escorrentía	C	0,60	
Precipitaciones (24 hrs)	pp	140	mm
Área Aportante	A	1174,5	m2
Ancho de zanja	b	0,5	m
Largo de zanja	L	254,35	m
Altura de zanja	h	0,5	m
Área de percolación	Aper	254,9	m2
Coeficiente de seguridad	Cs	0,5	
Infiltración	f	200	mm/hr
Porosidad	p	0,3	(bolones)

Fuente: Elaboración propia, a partir de antecedentes del proyecto base.

Tabla 2-3. Desarrollo de cálculo del proyecto base.

Tiempo de duración t (hrs)	Tiempo de duración t (min)	Coef. de Duración CD	Coef. de Frecuencia CF	Precipitación para el período de Retorno $P' = P^{10} \times CD \times CF$	Volumen afuente Metros cúbicos $V_{af} = 0,00125^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}PT_1$	Volumen infiltrado $V_{in} = 0,001^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}P_{in}^{\circ}t$	Volumen almacenado $V_{alm} = V_{af} - V_{in}$	Área Percolación A_{per}
0,00	0	0,00	0	0	0	0	0,00	254,9
0,02	1	0,04	1,00	1,17	1,12	0,42	0,69	254,9
0,03	2	0,14	1,00	4,17	3,97	0,85	3,12	254,9
0,05	3	0,21	1,00	6,19	5,89	1,27	4,61	254,9
0,07	4	0,26	1,00	7,74	7,37	1,70	5,67	254,9
0,08	5	0,31	1,00	9,03	8,59	2,12	6,47	254,9
0,17	10	0,46	1,00	13,52	12,86	4,25	8,62	254,9
0,33	20	0,64	1,00	18,85	17,94	8,50	9,45	254,9
0,50	30	0,76	1,00	24,43	21,35	12,74	8,60	254,9
0,67	40	0,85	1,00	25,09	23,88	16,99	6,99	254,9
0,83	50	0,94	1,00	27,55	26,16	21,24	4,92	254,9
1,00	60	0,99	1,00	29,25	27,85	25,49	2,36	254,9
2,00	120	0,9	1,00	46,20	43,97	50,97	-7,00	254,9
4,00	240	0,39	1,00	59,52	55,70	101,94	-46,24	254,9
6,00	360	0,47	1,00	72,38	68,69	152,91	-84,02	254,9
8,00	480	0,56	1,00	86,24	82,08	203,88	-121,80	254,9
10,00	600	0,64	1,00	98,56	93,80	254,85	-161,05	254,9
12,00	720	0,7	1,00	107,80	102,60	305,82	-203,22	254,9
14,00	840	0,77	1,00	119,58	112,86	356,79	-243,93	254,9
16,00	960	0,89	1,00	137,06	130,45	458,73	-328,28	254,9
24,00	1440	1	1,00	154,00	146,57	611,64	-465,07	254,9

Fuente: Elaboración propia, a partir de antecedentes del proyecto base.

Del análisis del diseño base y de los resultados obtenidos en el cálculo hidrológico desarrollado, se identifican las siguientes observaciones técnicas:

1. **Pendiente longitudinal:** El sistema de drenes transversales no considera una pendiente longitudinal de la cancha que favorezca el encauzamiento de las escorrentías superficiales hacia las zanjas drenantes, lo que puede afectar la evacuación eficiente del agua en superficie.
2. **Canaleta lateral:** No se contempla una canaleta en el lateral interior de la cancha para evacuar aguas superficiales y evitar encharcamientos laterales.
3. **Unión hidráulica:** No se detalla la unión hidráulica entre las zanjas drenantes, la tubería principal de PVC C-4 Ø180 mm y las cámaras de inspección.
4. **Sobredimensión:** Se identifica sobredimensión del sistema propuesto, la cual es confirmado mediante el análisis detallado de los caudales de diseño.
5. **Marcado de las zanjas:** Con el paso del tiempo, las zanjas drenantes transversales tienden a marcarse en la superficie de juego, generando pérdida de planeidad, favoreciendo el encharcamiento localizado y aumentando el riesgo de lesiones en los usuarios.
6. **Pozo drenante:** El pozo drenante no considera un sistema de despiche o rebalse en caso de saturación (no se indica en eett, planos, ni siquiera se comenta en foro, solo se agrega que el sistema debe ser evaluado en terreno).

En función de estas observaciones, se plantea la necesidad de evaluar alternativas de drenaje más eficientes y soluciones complementarias de amortiguación e infiltración, tales como sistemas tipo MacDrain SF, los cuales se desarrollan y analizan en el Capítulo 3.

El volumen ofertado debe ser mayor que el volumen demandado, dado que el primero corresponde a la capacidad de infiltración del sistema proyectado, mientras que el volumen demandado representa la cantidad máxima de agua lluvia precipitada que debe ser gestionada por el sistema, de acuerdo con los datos de cálculo adoptados.

No se considera un margen porcentual adicional en esta comparación, ya que los valores utilizados incorporan factores de seguridad dentro de los propios cálculos del proyecto base, los cuales actúan frente a eventuales situaciones en que el volumen real de aguas lluvias supere el volumen de diseño.

Tabla 2-4. Comparativo de volumen demandado versus volumen ofertado.

Vol. Demandado	8,11	m3
Vol. Ofertado	19,08	m3

Fuente: Elaboración propia, a partir de antecedentes del proyecto base.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA
TÉCNICA AL SISTEMA DE
INFILTRACIÓN DEL PROYECTO BASE.

3.1 Propuesta técnica de mejora al sistema base.

El presente capítulo tiene como objetivo desarrollar y presentar una propuesta de mejora técnica al sistema de infiltración contemplado en el proyecto base. Dicha mejora se fundamenta en los resultados obtenidos en el Capítulo 2, donde se determinó que el sistema original se encuentra sobredimensionado hidráulicamente y presenta deficiencias constructivas y funcionales que podrían afectar el desempeño del campo deportivo en el largo plazo.

El diseño base considera zanjas drenantes rellenas con bolones, dispuestas de manera perpendicular al eje longitudinal del campo deportivo, configuración que genera pérdidas de planeidad superficial, además de presentar falta de definición en aspectos clave, tales como la pendiente longitudinal, el sistema de evacuación de excedentes y las uniones entre los distintos elementos del sistema de infiltración.

La propuesta de mejora plantea un rediseño integral del sistema de captación, conducción e infiltración de aguas lluvias, manteniendo los mismos criterios y parámetros hidráulicos utilizados en la verificación del sistema base. En particular, para efectos de cálculo se conservan los valores de coeficientes previamente definidos, modificándose exclusivamente la configuración del sistema de infiltración.

El funcionamiento hidráulico de la solución propuesta será verificado mediante la aplicación del Método Racional, de manera consistente con la metodología empleada en la evaluación del proyecto base.

Ensayo de Infiltración Porchet.

El ensayo de infiltración tipo Porchet realizado en terreno arrojó una tasa de infiltración de 287,22 mm/hr en la calicata C1, correspondiente al estudio efectuado para el proyecto denominado *“Pavimentación diversas calles en la localidad del Valle de Elikura”*.

Para efectos del diseño hidráulico del sistema de infiltración y considerando la variabilidad espacial del suelo, así como las condiciones post-constructivas del terreno, se adopta un valor de infiltración representativo de 200 mm/hr, el cual resulta coherente con un suelo de alta permeabilidad. Los factores de seguridad correspondientes se incorporan posteriormente en la evaluación hidráulica del sistema.

3.2 Modificación, añadidura o eliminación de elementos que componen el sistema base

Se modificará el sistema de captación, distribución e infiltración del proyecto base, reemplazando el sistema clásico de drenes transversales conducidos a un pozo drenante por un campo de juego cubierto con membrana drenante MacDrain SF, la cual dirigirá las aguas mediante un bombeo hacia el lateral interior. Desde este punto, las escorrentías serán conducidas por una canaleta prefabricada hacia cámaras de inspección ubicadas en los extremos de una zanja drenante compuesta por cubos dren, la cual recorre la longitud de la cancha.

3.3 Eliminación de elementos del proyecto base

En el marco de la propuesta de mejora técnica, se eliminan del proyecto base los elementos asociados al sistema de drenaje original, los cuales resultan innecesarios tras la reconfiguración del sistema de captación, conducción e infiltración. La eliminación de estos componentes permite simplificar el diseño, optimizar el comportamiento hidráulico y reducir interferencias con la superficie de juego.

En particular, se eliminan los siguientes elementos:

- Excavaciones asociadas a zanjas drenantes transversales
- Rellenos correspondientes al sistema de drenaje original
- Geotextiles vinculados a los drenes eliminados
- Tuberías de conducción del sistema base
- Reducción del número de cámaras de inspección (−1 unidad)
- Pozo de infiltración

3.4 Elementos agregados al sistema base (propuesta de mejora)

En el marco de la propuesta de mejora técnica, se incorporan nuevos elementos al sistema base, orientados a optimizar la captación, conducción e infiltración de las aguas lluvias, mejorar el comportamiento hidráulico del campo deportivo y evitar la marcación del sistema de drenaje en la superficie de juego.

3.4.1 Membrana drenante MacDrain SF 2W 20.2

Se incorpora la membrana drenante MacDrain SF 2W 20.2 en la totalidad de la superficie del campo deportivo, dispuesta bajo la estructura del sistema de césped sintético y con una pendiente de escurrimiento del 1% hacia el lateral interior de la cancha, lo que permite dirigir de forma controlada las aguas infiltradas hacia el sistema de evacuación proyectado.

Este sistema fue especialmente desarrollado para el drenaje de campos deportivos, ya que su composición facilita la captación y conducción rápida del agua en todas las

direcciones, permitiendo una práctica deportiva segura y continua, incluso bajo condiciones de precipitaciones intensas, y evitando la acumulación localizada de humedad bajo la superficie de juego.

La membrana presenta un núcleo drenante tridimensional, unido térmicamente a dos geotextiles no tejidos en todos sus puntos de contacto. Una de sus caras corresponde a un geotextil no tejido, con fieltro de poliéster en su estructura central, mientras que la cara opuesta corresponde a un geotextil no tejido laminado con film plástico de polipropileno, configuración que favorece la filtración, la protección del núcleo drenante y la correcta conducción del flujo.

Los geotextiles sobresalen 100 mm en los laterales, lo que permite garantizar una adecuada continuidad hidráulica del sistema en las juntas, facilitando la correcta ejecución de los traslapes y evitando pérdidas de eficiencia en los puntos de unión entre paños.

La configuración y características generales de la membrana drenante utilizada se presentan en la **Figura 3-1**.



Figura 3-1. Membrana drenante MacDrain SF 2W 20.2.

Fuente: Ficha técnica de MacDrain.

3.4.2 Canaleta prefabricada y tapas de canaleta

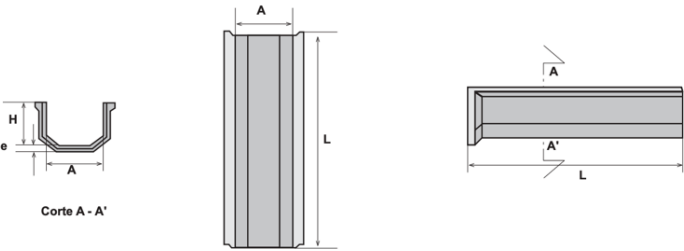
Se incorpora una canaleta prefabricada (dimensiones $0,27 \times 0,20 \times 1,00$ m), destinada a la captación y distribución de las escorrentías guiadas por la membrana drenante MacDrain SF.

El sistema se complementa con tapas de canaleta, de acuerdo con el modelo correspondiente.

Las canaletas se proyectan con una pendiente mínima que permita el escurrimiento hacia sus tuberías de descarga, definiendo un punto alto en la zona central y en los extremos, lo que genera cuatro sentidos de escurrimiento (cuatro puntos de descarga).

Las dimensiones y características generales de la canaleta prefabricada tipo U se presentan en la **Figura 3-2**, mientras que las dimensiones y características de las tapas de canaleta prefabricadas se muestran en la **Figura 3-3**.

Canaletas

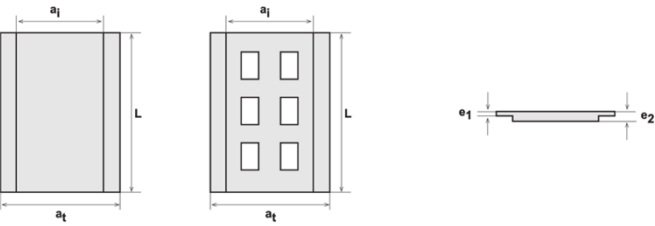


Denominación	Largo L mm	Ancho interior A mm	Alto interior H mm	Espesor pared e mm	Peso Referencial kg.
Canaleta 0,27 x 0,20 x 1,00 (Fabric. Vertical)	1.000	270	200	30	53,10

Cumple con: Tolerancia dimensional : ± 3mm

Figura 3-2. Canaleta Prefabricada tipo U y dimensiones generales.
Fuente: Ficha técnica del fabricante.

Tapas de Canaleta



Denominación	Largo L mm	Ancho total a1 mm	Ancho interior a2 mm	Espesor		Peso Referencial kg.
				e1 mm	e2 mm	
Tapa Canaleta 0,37 x 0,50 Armada	500	370	265	30	40	24,00
Tapa Canaleta 0,37 x 0,50 Armada con perfor.	500	370	265	30	40	19,53

Cumple con: Tolerancia dimensional : ± 3mm

Figura 3-3. Tapa de canaleta prefabricada tipo U con dimensiones.
Fuente: Ficha técnica del fabricante.

3.4.3 Zanja drenante con cubos geo-hidráulicos

Se proyecta una zanja drenante compuesta por cubos geo-hidráulicos tipo “CUBO GH 1500”, fabricados en polipropileno reciclado de primera inyección, conforme a lo establecido en la Orden SERVIU N° 7334, de fecha 28/06/2018.

Las dimensiones de cada cubo corresponden a un largo de 0,745 m, con altura variable en múltiplos de 0,405 m, y una porosidad del 91,5 %, lo que permite una elevada capacidad de almacenamiento y una adecuada infiltración de las aguas lluvias hacia el terreno natural.

Previo a la colocación de los cubos, se dispone una cama de grava de 15 cm de espesor en todo el ancho y longitud de la zanja, utilizando material pétreo con una granulometría comprendida entre 2” y 4”, con el objetivo de regularizar la base y favorecer el correcto comportamiento hidráulico del sistema.

El sistema de drenaje se encuentra completamente envuelto en geotextil no tejido, con el fin de evitar procesos de colmatación por ingreso de finos y asegurar su correcto funcionamiento hidráulico. En la parte superior de la zanja, a lo largo de toda su longitud, se instala una tubería tipo Flexodren de 4”, encargada de distribuir el agua captada desde las canaletas hacia el sistema infiltrante. En los extremos de dicha tubería se ubican las cámaras de inspección, las cuales se encuentran previamente conectadas a las canaletas prefabricadas.

Con el fin de evitar o reducir daños en la carpeta sintética, particularmente en los gránulos de caucho o arena de sílice, ante eventos de lluvia extrema no considerados para un período de retorno de 10 años, se proyecta la instalación de dos despiches de seguridad, los cuales descargan directamente al río Calebu, evitando la saturación del sistema. Estos elementos estarán constituidos por tuberías de PVC sanitario gris de 110 mm de diámetro.

La disposición general de la zanja drenante con cubos geo-hidráulicos se presenta en la ***Figura 3-4***.



Figura 3-4. Zanja drenante con cubos dren.
Fuente: Catalogoarquitectura.cl

3.4.4 Cámaras de inspección

Se consideran dos cámaras de inspección, las cuales se rigen por las mismas especificaciones técnicas del proyecto base, incluyendo anillos de hormigón prefabricado, tapas metálicas y detalles constructivos asociados.

Las cámaras mantienen las características generales del diseño original, variando únicamente sus alturas en función de los requerimientos del sistema propuesto.

La configuración y detalles constructivos de las cámaras de inspección consideradas se presentan en la **Figura 3-5**.

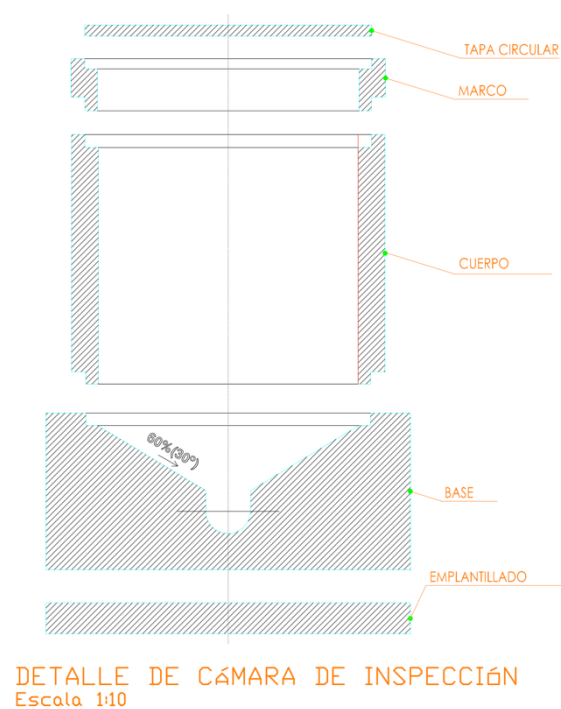


Figura 3-5. Cámara de inspección (elevación).
Fuente: Plano de proyecto, Mercado Público.

3.5 Criterios de diseño y verificación hidráulica del sistema propuesto

3.5.1 Objetivos y criterios de diseño

El objetivo de la presente propuesta es desarrollar un diseño de drenaje que permita infiltrar las aguas lluvias acumuladas sobre la cancha de pasto sintético, asegurando un adecuado comportamiento de la superficie con el paso del tiempo y evitando la marcación del sistema de drenaje en el campo de juego. Para ello, se propone la instalación de una membrana drenante MacDrain en la totalidad de la superficie del campo deportivo, la cual encausará la esorrentía hacia una canaleta prefabricada, desde donde las aguas serán conducidas hacia una zanja infiltrante compuesta por cubos dren.

Los criterios de diseño considerados para la solución de aguas lluvias incluyen el uso de los datos pluviométricos de la estación más cercana, correspondiente a la ciudad de Concepción, y la definición de una lluvia de diseño con período de retorno de 10 años y duración de 24 horas, representativa del escenario más desfavorable al corresponder al evento de mayor intensidad registrada.

Asimismo, dado que el área a infiltrar es menor a 10 km², se utiliza el Método Racional propuesto por Mulvaney (1950) para el cálculo del caudal aportante.

3.5.2 Límites del terreno

El terreno considerado para el diseño del sistema de drenaje corresponde a la superficie de la cancha de pasto sintético, cuyas dimensiones son 47 m de longitud y 27 m de ancho, lo que representa un área total de 1.269 m².

3.5.3 Esquema general del proyecto

A continuación, se presenta el esquema general de la solución de aguas lluvias proyectada, en el cual se representa la disposición de los elementos que conforman el sistema de captación, conducción e infiltración, así como su relación y funcionamiento conjunto dentro del campo deportivo.

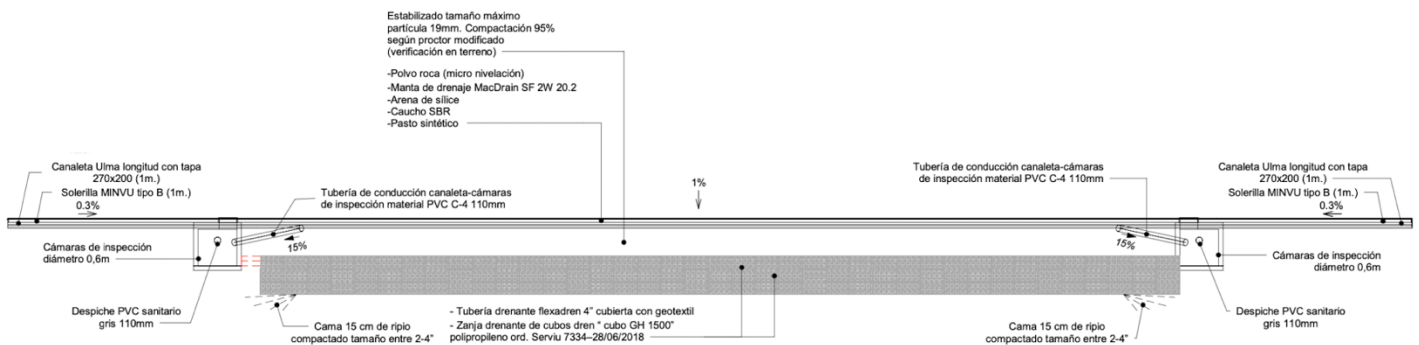


Figura 3-6. Sistema de infiltración (elevación).

Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria, en la **Figura 3-7** se presenta la vista en planta del sistema de captación, evacuación e infiltración, en la cual se aprecia la disposición espacial de los distintos elementos del sistema propuesto, así como el sentido de escurrimiento de las aguas lluvias sobre la superficie del campo deportivo.

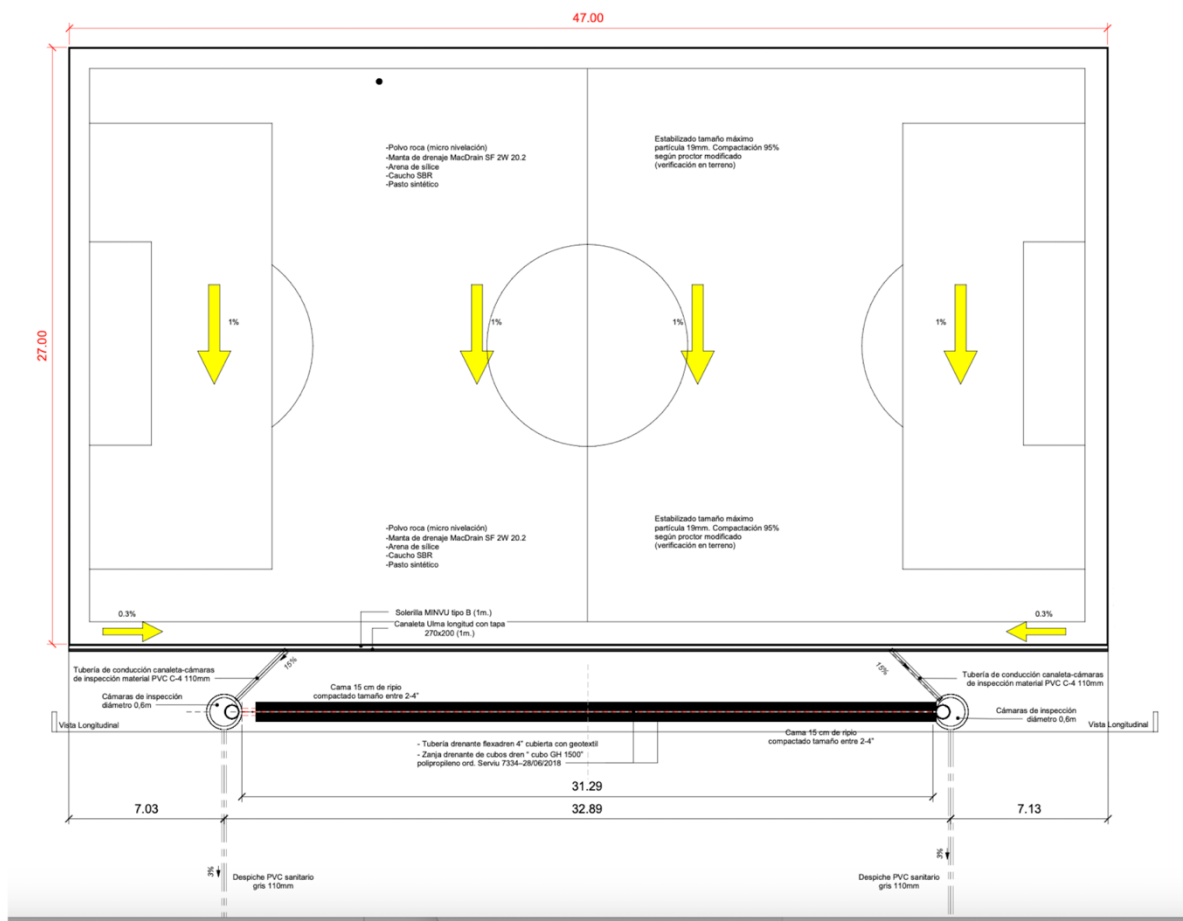


Figura 3-7. Sistema de captación, evacuación e infiltración (planta).
Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Destino de las aguas lluvias

El 100 % de las aguas lluvias que precipitan directamente sobre la superficie de la cancha de pasto sintético son conducidas hasta la canaleta ubicada en el lateral interior mediante la membrana drenante MacDrain SF 2W 20.2.

Una vez que la escorrentía es captada por la canaleta prefabricada, el flujo se distribuye hacia ambos extremos de la misma mediante tuberías de PVC C-4 de 110 mm, conduciendo las aguas hacia las cámaras de inspección correspondientes. Estas cámaras se encuentran interconectadas entre sí mediante tubería Flexodren, la cual se

dispone sobre la zanja drenante compuesta por cubos dren, donde finalmente las aguas son infiltradas al terreno.

3.5.5 Verificación hidráulica del sistema propuesto

3.5.5.1 Parámetros de cálculo

Cálculo de caudales

Se utiliza el método racional propuesto por Mulvaney (1850), dado que se trata de una cuenca pequeña (menor a 10 km²), el cual se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6}$$

Donde:

- **Q:** caudal (m³/s)
- **C:** coeficiente de escorrentía de la superficie
- **I:** intensidad de lluvia de diseño (mm/hr)
- **A:** área aportante (km²)

Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía adoptado para la superficie a drenar, correspondiente a la cancha de pasto sintético, es $C = 0,60$. Por lo tanto, el valor del coeficiente de escorrentía utilizado en los cálculos es $C = 0,60$.

Intensidad máxima de lluvia

Las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se determinaron de acuerdo con la información proporcionada por las Técnicas de Soluciones Alternativas de Aguas Lluvias para Sectores Urbanos (MINVU, 1996), para la ciudad de Concepción, las cuales resultan representativas de las condiciones climáticas del área de estudio.

En la **Tabla 3-1** se presentan las precipitaciones máximas asociadas a un período de retorno de 10 años, para duraciones de 24, 48 y 72 horas, utilizadas como base para la determinación de la intensidad de lluvia de diseño.

Tabla 3-1. Precipitaciones máximas para 10 años de período de retorno, según DGA (1994), para duraciones de 1, 2 y 3 días.

Zona Climática y Región	Ciudad	Precipitaciones (mm)		
		24 hrs	48 hrs	72 hrs
VIII BIOBIO	Concepción	105,1	143,0	172,8

Fuente: MINVU (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Tabla 3.1.2.2.

Para la determinación de la intensidad de lluvia de diseño se incorporan los coeficientes de duración (CD) y coeficientes de frecuencia (CF), los cuales permiten ajustar la precipitación máxima acumulada en función de la duración del evento y del período de retorno adoptado.

Los coeficientes de duración utilizados para la ciudad de Concepción se presentan en la Tabla 8, mientras que los coeficientes de frecuencia asociados al período de retorno considerado se muestran en la Tabla 9, de acuerdo con los antecedentes proporcionados por el MINVU (1996).

Tabla 3-2. Coeficientes de duración para lluvias de igual período de retorno.

Ciudad	Duración (Horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Concepción	0,19	0,30	0,38	0,47	0,56	0,64	0,70	0,77	0,89	1,00

Fuente: MINVU (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Tabla 3.1.2.3 (Varas y Sánchez, 1984).

Tabla 3-3. Coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración.

Ciudad	Período de Retorno (años)						
	2	5	10	20	50	100	200
Concepción	0,63	0,85	1,00	1,14	1,32	1,46	1,60

Fuente: MINVU (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Tabla 3.1.2.4.

Área aportante

El área aportante a infiltrar corresponde a la superficie de la cancha de fútbol sintético, según se presenta en la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4. Área aportante en km².

Superficie	Área (Km2)
Cancha	0,001269
Área Total	0,001269

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5.2 Desarrollo del análisis hidráulico

Lluvia de diseño:

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a la precipitación caída en un determinado tiempo, asociada a un período de retorno de 10 años, y se determina mediante la siguiente expresión:

$$P_t^T = K * CD_t * CF_T * P_D^{10}$$

Donde:

P_t^T : Lluvia con periodo de retorno de T años y duración t horas.

K: Coeficiente de corrección para la lluvia máxima P_D^{10} medida entre 8 AM y 8 AM respecto de las 24 horas más lluviosas de la tormenta, para el que se ha adoptado un valor K=1,1.

CD_t : Coeficiente de duración para t horas.

CF_T : Coeficiente de frecuencia para T años de periodo de retorno.

P_D^{10} : Lluvia diaria (8 AM a 8 AM) con 10 años de periodo de retorno obtenida de una estación pluviométrica.

Volumen afluente acumulado:

Corresponde al volumen acumulado de agua lluvia para un determinado tiempo, se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{afl}(t) = 1,25 * 0,001 * C * I_t * A * t = 0,00125 * C * A * P_t^T$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía.

A: Área aportante en m².

P_t^T : Precipitación en mm para una duración t y periodo de retorno T

Volumen infiltrado:

El volumen infiltrado se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{inf}(t) = 0,001 * C_s * f * A_{per} * t$$

Donde:

C_s : Coeficiente de seguridad.

f : Capacidad de infiltración del suelo en condiciones de saturación en mm/hr.

A_{per} : Área total de percolación de la zanja en m^2 .

t : Tiempo de percolación en horas.

Área de percolación:

Se considera que el fondo de la zanja es impermeable por la acumulación de sedimentos por lo tanto el agua percola hacia el suelo solo por las paredes de la zanja. El área de percolación se determina a partir de la siguiente expresión:

$$A_{perc} = 2h(L + b)$$

Donde:

h : Altura de la zanja.

L : Largo de la zanja.

b : ancho de la zanja.

Volumen de almacenamiento:

El volumen necesario de almacenamiento de la zanja se determina como la máxima diferencia entre el volumen acumulado afluente y el volumen acumulado infiltrado, como se muestra a continuación:

$$V_{alm} = \text{Máx} (V_{afl}(t) - V_{inf}(t))$$

El volumen de la zanja está dado por $V_{zanja} = Lbh$. Para mejorar la estabilidad de la zanja, se rellena con un material pétreo de porosidad p , quedando la siguiente relación:

$$V_{alm} < p * V_{zanja}$$

3.5.5.3 Síntesis del dimensionamiento del sistema propuesto

El dimensionamiento hidráulico realizado permite verificar que el sistema de infiltración propuesto presenta una capacidad suficiente para manejar el volumen de aguas lluvias generado por la lluvia de diseño adoptada.

Los parámetros de cálculo definidos para la zanja drenante, presentados en la **Tabla 3-5**, junto con el desarrollo del cálculo hidráulico contenido en la **Tabla 3-6** y su síntesis final en la **Tabla 3-7**, confirman que el volumen de almacenamiento e infiltración disponible es superior al volumen demandado durante el evento crítico considerado.

En consecuencia, el sistema propuesto satisface los requerimientos hidráulicos definidos para la cancha de pasto sintético de Calebu, validando su factibilidad técnica desde el punto de vista hidrológico.

Tabla 3-5. Tabla de cálculo.

Datos Zanja:

Coeficiente de escorrentía	C	0,60	
Precipitaciones (24 hrs)	pp	140	mm
Área Aportante	A	1269	m2
Ancho de zanja	b	0,86	m
Largo de zanja	L	32,29	m
Altura de zanja	h	1,20	m
Área de percolación	Aper	77,2	m2
Coeficiente de seguridad	Cs	0,5	
Infiltración	f	200	mm/hr
Porosidad	p	0,915	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-6. Tabla de cálculo.

Tiempo de duración	Tiempo de duración	Coef. de Duración	Coef. de Frecuencia	Precipitación para el período de Retomo	Volumen afluente	Volumen infiltrado	Volumen almacenado	Área
t (hrs)	t (min)	CD	CF	$P_t = P_{10-24} \times CD \times CF$	Metros cúbicos $V_{aff}=0,00125^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}PTt$	$V_{inf}=0,001^{\circ}C_s^{\circ}f^{\circ}A_{perc}^{\circ}t$	$V_{acum}=V_{aff} - V_{inf}$	Percolación A_{perc}
0,00	0	0,00	0	0	0	0	0,00	77,2
0,02	1	0,04	1,00	1,17	1,12	0,13	0,99	77,2
0,03	2	0,14	1,00	4,17	3,97	0,26	3,72	77,2
0,05	3	0,21	1,00	6,19	5,89	0,39	5,50	77,2
0,07	4	0,26	1,00	7,74	7,37	0,51	6,85	77,2
0,08	5	0,31	1,00	9,03	8,59	0,64	7,95	77,2
0,17	10	0,46	1,00	13,52	12,86	1,29	11,58	77,2
0,33	20	0,64	1,00	18,85	17,94	2,57	15,37	77,2
0,50	30	0,76	1,00	22,43	21,35	3,86	17,49	77,2
0,67	40	0,86	1,00	25,19	23,98	5,14	18,84	77,2
0,83	50	0,94	1,00	27,48	26,16	6,43	19,73	77,2
1,00	60	0,99	1,00	29,26	27,85	7,72	20,13	77,2
2,00	120	0,3	1,00	46,20	43,97	15,43	28,54	77,2
4,00	240	0,38	1,00	58,52	55,70	30,86	24,83	77,2
6,00	360	0,47	1,00	72,38	68,89	46,30	22,59	77,2
8,00	480	0,56	1,00	86,24	82,08	61,73	20,35	77,2
10,00	600	0,64	1,00	98,56	93,80	77,16	16,64	77,2
12,00	720	0,7	1,00	107,80	102,60	92,59	10,01	77,2
14,00	840	0,77	1,00	118,58	112,86	108,02	4,83	77,2
18,00	1080	0,89	1,00	137,06	130,45	138,89	-8,44	77,2
24,00	1440	1	1,00	154,00	146,57	185,18	-38,61	77,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-7. Comparación de volumen demandado versus volumen ofertado.

Vol. Demandado	28,54	m3
Vol. Ofertado	29,55	m3

CUMPLE REQUISITO ✓

Tabla 3-7. Comparación de volumen demandado versus volumen ofertado.
Fuente: Elaboración propia.

En función de los resultados obtenidos, se concluye que la solución de drenaje propuesta permite resolver las principales deficiencias identificadas en el sistema base, particularmente aquellas asociadas a la marcación superficial del drenaje y a la gestión de excedentes de aguas lluvias.

A partir de esta validación técnica, resulta pertinente evaluar la viabilidad económica de la propuesta y definir un plan de mantención que asegure su correcto funcionamiento y durabilidad en el tiempo, aspectos que se desarrollan en el Capítulo 4.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y PLAN DE MANTENCIÓN

4.1 Evaluación económica entre alternativa base y alternativa propuesta

En este apartado se desarrolla la evaluación económica del proyecto, considerando el presupuesto correspondiente al sistema de drenaje base y su respectivo análisis de precios unitarios. Dicho análisis incorpora, según corresponda, los costos asociados a materiales, herramientas, equipos y mano de obra. Todos los valores se expresan en pesos chilenos netos y se obtienen a partir de referencias de mercado vigentes, principalmente de proveedores especializados como Prodalam, Grau, entre otros.

Con el fin de respaldar las características técnicas de los materiales utilizados y asegurar la correcta ejecución de las soluciones propuestas, se anexan las fichas técnicas correspondientes, las cuales se ajustan a las especificaciones técnicas definidas para el proyecto.

Los rendimientos de maquinaria y mano de obra considerados en el análisis se basan en la experiencia acumulada del equipo técnico de la empresa VENEGAS PRADENAS LIMITADA, dedicada a la construcción de canchas de pasto sintético con distintas configuraciones de drenaje. Esta experiencia, asociada a la ejecución de más de 30.000 m² de superficies deportivas, permite adoptar rendimientos representativos y coherentes con condiciones reales de obra, otorgando solidez técnica a los valores utilizados.

4.1.1 Presupuesto disponible para el proyecto

El presupuesto disponible para la realización de este proyecto es de \$102.500.000 (ciento dos millones quinientos mil pesos), IVA incluido.

4.1.2 Presupuesto del proyecto base

Para el proyecto base entregado por el mandante, Ilustre Municipalidad de Contulmo, se estima un presupuesto total de \$100.121.579 (cien millones ciento veintiún mil quinientos setenta y nueve pesos), IVA incluido.

El detalle del presupuesto correspondiente al proyecto base, incluyendo las partidas asociadas a la red de drenaje, se presenta en la **Tabla 4-1**.

PROYECTO: CONSTRUCCION CANCHA PASTO SINTETICO CALEBU , (base)					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	TOTAL
OBRAS DE CONSTRUCCION					
1	OBRAS PROVISORIAS				
1,1	CONSTRUCCIONES PROVISORIAS	MES	4,00	\$ 200.000	\$ 800.000
1,2	EMPALME PROVISORIO	MES	4,00	\$ 200.000	\$ 800.000
SUB TOTAL 1					\$ 1.600.000
2	CANCHA DE FUTBOL PASTO SINTETICO				
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	TOTAL
2,1	ELIMINACION CARPETA VEGETAL EXISTENTE	M2	1.269	\$ 3.817	\$ 4.843.773
2,2	MOVIMIENTO DE SUELO	M3	139	\$ 8.790	\$ 1.224.008
2,3	TRAZADO	ML	268	\$ 3.482	\$ 933.176
2,4	NIVEL, BASE Y NIVELACION	M2	1.269	\$ 12.448	\$ 15.796.512
2,5	RED DE DRENAJE	M2	1.269	\$ 8.810	\$ 11.179.742
2,6	SOLERILLA DE CONTENCIÓN PERIMETRAL	ML	148	\$ 10.843	\$ 1.604.764
2,7	PASTO SINTÉTICO	M2	1.269	\$ 22.000	\$ 27.918.000
2,8	MEJORAMIENTO E INSTALACIÓN ARCOS DE FUTBOL (UN)	UNI	2	\$ 354.325	\$ 708.650
SUB TOTAL 2					\$ 64.208.624
ASEO FINAL Y ENTREGA					
3	ASEO FINAL Y ENTREGA				
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANT	PU	TOTAL
3,1	ASEO DE LA OBRA	GL	1	1.500.000	\$ 1.500.000
SUB TOTAL 3					\$ 1.500.000
Total Costo Directo					\$ 67.308.624
Gastos Generales 10%					\$ 6.730.862
Utilidades 15%					\$ 10.096.294
Total Neto					\$ 84.135.780
IVA 19%					\$ 15.985.798
TOTAL					\$ 100.121.579

Tabla 4-1. Presupuesto del proyecto base presentado por el mandante.
Fuente: Elaboración propia, a partir de antecedentes del proyecto base.

4.1.3 Presupuesto del sistema de infiltración (propuesta de mejora)

Para la evaluación económica de la propuesta de mejora del sistema de infiltración, se realizó una comparativa utilizando la misma planilla de presupuesto del proyecto base, efectuando modificaciones en el itemizado mediante la eliminación y adición de partidas.

En particular, se eliminó la partida 2.5 “Red de drenaje” del proyecto base, la cual incluía drenes transversales, excavaciones, tuberías, geotextiles, rellenos, compactación, ensayos de compactación y mano de obra. Asimismo, dentro de esta partida se encontraban incorporadas las cámaras de inspección, el pozo drenante y otros elementos de conducción definidos en el análisis de precios unitarios (APU).

El mandante presenta el presupuesto considerando como unidad de medida los metros cuadrados (m²), correspondientes a la totalidad de la superficie del campo deportivo (1.269 m²). En contraste, el análisis de precios unitarios del sistema de drenaje fue desarrollado como una partida global, incorporando la totalidad del sistema y distribuyendo su costo en función de la superficie del campo sintético.

Para la propuesta de drenaje presentada se incorporan las siguientes nuevas partidas:

- 2.5 Manto drenante MacDrain
- 2.6 Canaleta prefabricada con tapa
- 2.7 Red de drenaje

Las cotas, trazados y características técnicas de estos elementos se detallan en los planos de diseño del proyecto. La partida 2.7 “Red de drenaje” se considera de carácter global para efectos presupuestarios.

4.1.4 Desglose del presupuesto del sistema de infiltración

Con el fin de detallar la composición de la partida global asociada al sistema de drenaje propuesto, a continuación se presenta el desglose de las principales subpartidas consideradas en el análisis de precios unitarios.

4.1.4.1 PVC C-4 Ø110 mm (conexión canaleta – cámara de inspección)

Esta partida se ejecuta con la finalidad de transportar las aguas lluvias desde la canaleta prefabricada ubicada en el lateral interior de la cancha, captando la totalidad de la escorrentía superficial del campo deportivo. Su ejecución comprende dos tramos, cuyas salidas desde las canaletas se localizan en los extremos de las zanjias, conectándose cada tramo a su respectiva cámara de inspección.

La mano de obra asociada a las labores de trazado, excavación, control de pendiente, unión de tuberías y relleno se encuentra incluida dentro de las horas-hombre (HH) consideradas en el análisis de precios unitarios.

Con el objetivo de disminuir las labores de mantención del sistema, en el punto de salida desde la canaleta se contempla la incorporación de una tapa con rejilla, destinada a la retención de sólidos que pudiesen ingresar y contaminar el sistema de infiltración.

4.1.4.2 Cámaras de inspección

Se contempla la instalación de cámaras de inspección prefabricadas de hormigón, con dimensiones interiores mínimas de $0,60 \times 0,60 \times 1,00$ m, provistas de tapa y marco metálico, permitiendo el adecuado acceso para inspección y mantenimiento del sistema de drenaje.

Las cámaras respetan las especificaciones técnicas establecidas en el proyecto base, particularmente en lo relativo a su fabricación, base de apoyo de hormigón y pendientes interiores necesarias para asegurar un correcto escurrimiento hidráulico.

Las características constructivas de la base de las cámaras de inspección se presentan en la **Figura 4-1**.

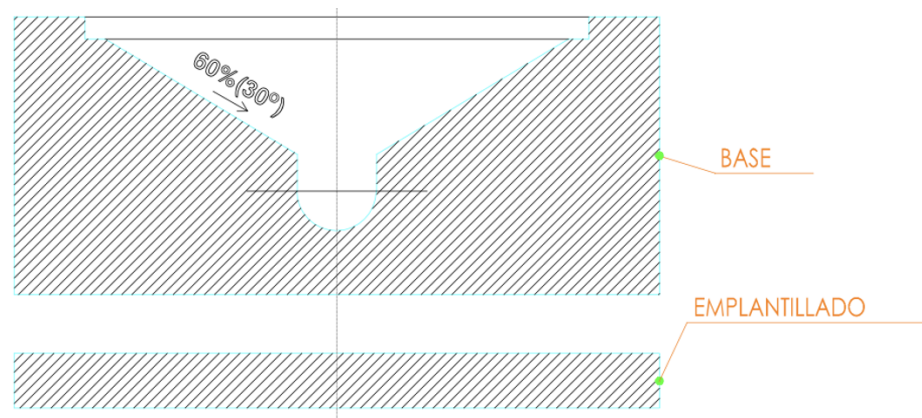


Figura 4-1. Base de cámara de inspección (elevación).
Fuente: Plano de proyecto, Mercado Público.

4.1.4.3 Conexión entre cámaras de inspección y distribución de aguas hacia la zanja drenante

Las cámaras de inspección se conectarán entre sí mediante tubería drenante tipo Flexodren Ø100 mm, dispuesta sobre la zanja drenante proyectada. Dicha tubería se encuentra completamente envuelta en geotextil no tejido de 200 g/m² a lo largo de toda su extensión, con el objetivo de evitar la contaminación por ingreso de finos y la colmatación del sistema infiltrante.

El método de unión de la tubería a las cámaras de inspección se definirá en terreno, asegurando un adecuado afianzamiento estructural y la continuidad hidráulica del sistema.

Dentro del análisis de precios unitarios se encuentra incluida la mano de obra asociada a esta partida, considerándose un tiempo estimado de ejecución de media jornada, realizada por un maestro y un jornal/ayudante.

4.1.5 Presupuesto de mejora MacDrain – Zanja drenante

Finalmente, se presenta el presupuesto consolidado correspondiente a la propuesta de mejora del sistema de drenaje, el cual incorpora la membrana drenante MacDrain, la canaleta prefabricada con tapa y la zanja drenante, considerando los costos directos, gastos generales, utilidades e impuestos asociados.

El detalle completo del presupuesto de la alternativa propuesta se presenta en la **Tabla 4-2**.

PROYECTO: CONSTRUCCION CANCHA PASTO SINTETICO CALEBU (propuesta)					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	TOTAL
OBRAS DE CONSTRUCCION					
1	OBRAS PROVISORIAS				
1,1	CONSTRUCCIONES PROVISORIAS	MES	4,00	\$ 200.000	\$ 800.000
1,2	EMPALME PROVISORIO	MES	4,00	\$ 200.000	\$ 800.000
SUB TOTAL 1					\$ 1.600.000
2	CANCHA DE FUTBOL PASTO SINTETICO				
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	TOTAL
2,1	ELIMINACION CARPETA VEGETAL EXISTENTE	M2	1.269	\$ 3.817	\$ 4.843.773
2,2	MOVIMIENTO DE SUELO	M3	139	\$ 8.790	\$ 1.224.008
2,3	TRAZADO	ML	268	\$ 3.482	\$ 933.176
2,4	NIVEL, BASE Y NIVELACION	M2	1.269	\$ 12.448	\$ 15.796.512
2,5	MANTO MACDRAIN	M2	1.269	\$ 8.803	\$ 11.171.007
2,6	CANALETA PREFABRICADA CON TAPA	ML	47	\$ 24.709	\$ 1.161.323
2,7	RED DE DRENAJE	GL	1	\$ 2.671.046	\$ 2.671.046
2,9	SOLERILLA DE CONTENCIÓN PERIMETRAL	ML	148	\$ 10.843	\$ 1.604.764
2,1	PASTO SINTÉTICO	M2	1.269	\$ 22.000	\$ 27.918.000
2,11	MEJORAMIENTO E INSTALACIÓN ARCOS DE FUTBOL (UN)	UNI	2	\$ 354.325	\$ 708.650
SUB TOTAL 2					\$ 68.032.259
ASEO FINAL Y ENTREGA					
3	ASEO FINAL Y ENTREGA				
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANT	PU	TOTAL
3,1	ASEO DE LA OBRA	GL	1	1.500.000	\$ 1.500.000
SUB TOTAL 3					\$ 1.500.000
Total Costo Directo					\$ 71.132.259
Gastos Generales 10%					\$ 7.113.226
Utilidades 15%					\$ 10.669.839
Total Neto					\$ 88.915.324
IVA 19%					\$ 16.893.911
T O T A L					\$ 105.809.235

Tabla 4-2. Presupuesto mejora MacDrain- Zanja drenante.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Diferencia de precios en relación al presupuesto disponible.

A) Alternativa base: sistema de infiltración del mandante

Para la ejecución del proyecto base, considerando el sistema de infiltración propuesto por el mandante, el presupuesto disponible resulta suficiente para cubrir la totalidad de los costos asociados.

De acuerdo con los valores analizados, se obtiene una diferencia de \$2.378.421 IVA incluido, correspondiente al monto remanente entre el presupuesto disponible y el presupuesto proyectado del proyecto base. Este saldo representa un excedente a favor del mandante, el cual no es requerido para la ejecución de la alternativa base.

La comparación entre el presupuesto disponible y el presupuesto proyectado para esta alternativa se presenta en la **Tabla 4-3**.

Total Costo Directo	\$	67.308.624
Gastos Generales 10%	\$	6.730.862
Utilidades 15%	\$	10.096.294
Total Neto	\$	84.135.780
IVA 19%	\$	15.985.798
TOTAL	\$	100.121.579

Presupuesto Disponible I.V.A. incluido	\$	102.500.000
Presupuesto Proyectado I.V.A. incluido	\$	100.121.579
Diferencia I.V.A. incluido	\$	2.378.421

Tabla 4-3. Comparación entre presupuesto disponible y presupuesto proyectado (alternativa base).

Fuente: Elaboración propia.

B) Alternativa propuesta: sistema de infiltración MacDrain -zanja drenante

Mientras que el presupuesto de la solución de infiltración propuesta excede el presupuesto disponible en \$3.309.235 IVA incluido, de acuerdo con la comparación entre el presupuesto proyectado y el presupuesto disponible para el proyecto.

La comparación entre el presupuesto disponible y el presupuesto proyectado para la alternativa propuesta se presenta en la **Tabla 4-4**.

Total Costo Directo	\$	71.132.259
Gastos Generales 10%	\$	7.113.226
Utilidades 15%	\$	10.669.839
Total Neto	\$	88.915.324
IVA 19%	\$	16.893.911
T O T A L	\$	105.809.235

Presupuesto Disponible I.V.A. incluido	\$	102.500.000
Presupuesto Proyectado I.V.A. incluido	\$	105.809.235
Diferencia I.V.A. incluido	\$	-3.309.235

Tabla 4-4. Comparación entre presupuesto disponible y presupuesto proyectado (alternativa propuesta).
Fuente: Elaboración propia.

C) Comparación global entre alternativas

A partir de la comparación directa entre ambas soluciones, se observa que la diferencia total entre presupuestos asciende a \$5.687.656, monto que corresponde al mayor costo de la alternativa de infiltración propuesta en relación con la alternativa base.

La comparación global entre el sistema de infiltración base y el sistema de infiltración propuesto se presenta en la **Tabla 4-5**.

Sistema de Infiltración Base		Sistema de infiltración Propuesto	
Presupuesto Disponible I.V.A. incluido	\$ 102.500.000	Presupuesto Disponible I.V.A. incluido	\$ 102.500.000
Presupuesto Proyectado I.V.A. incluido	\$ 100.121.579	Presupuesto Proyectado I.V.A. incluido	\$ 105.809.235
Diferencia I.V.A. incluido	\$ 2.378.421	Diferencia I.V.A. incluido	\$ -3.309.235

Diferencia entre Presupuestos	\$	5.687.656
--------------------------------------	-----------	------------------

Tabla 4-5. Comparación entre sistema de infiltración base y sistema de infiltración propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el presupuesto correspondiente a la alternativa base se ajusta al monto disponible, presentando un saldo a favor respecto del presupuesto asignado para la ejecución del proyecto.

En contraste, la alternativa de infiltración propuesta excede el presupuesto disponible, lo que implica la necesidad de considerar un incremento presupuestario para su implementación.

En consecuencia, la ejecución de la solución propuesta requiere la tramitación de un aumento de presupuesto mediante decreto alcaldicio, con el fin de asegurar su viabilidad económica y permitir la materialización de la alternativa técnicamente recomendada.

4.2 Protocolo de mantención para campos deportivos de césped sintético

El presente protocolo establece las actividades mínimas de mantención necesarias para asegurar el correcto funcionamiento, seguridad y durabilidad de la cancha de pasto sintético, considerando tanto la superficie de juego como los elementos asociados al sistema de drenaje.

Las acciones descritas se basan en buenas prácticas de operación y mantención de recintos deportivos, y se ajustan a las características del sistema propuesto.

4.2.1 Mantención rutinaria

La mantención rutinaria corresponde a las actividades de carácter preventivo que deben ejecutarse de manera periódica para conservar las condiciones óptimas de la superficie sintética.

Para este tipo de labores se establece una frecuencia semanal, con refuerzos en sectores de alto uso.

4.2.1.1 Césped sintético

a) Limpieza superficial

- Retiro diario o semanal de residuos orgánicos e inorgánicos tales como papeles, hojas, ramas, envases u otros elementos ajenos a la superficie de juego.
- Utilizar rastrillos plásticos o sopladores de aire de baja potencia, evitando dañar las fibras del césped sintético.

- Se prohíbe el uso de herramientas metálicas o con puntas abrasivas que puedan provocar cortes, desgaste prematuro o desprendimiento de fibras.

b) Cepillado liviano

- Realizar entre 1 y 2 veces por semana, especialmente en zonas de alto tráfico como áreas centrales, porterías y sectores de acceso.
- Objetivo: levantar las fibras, redistribuir homogéneamente el material de relleno y evitar procesos de compactación localizada.
- Cepillo recomendado: cerdas plásticas rígidas, sin elementos metálicos.

El tipo de cepillo recomendado para estas labores se presentan en la **figura 4-2**.



Figura 4-2. Escobillón municipal (cerdas de nylon extraduro)
Fuente: Dimerc.cl

c) Inspección visual rápida

- Revisar la presencia de desprendimientos en las uniones, cortes en el césped, pequeños hundimientos, acumulaciones anómalas de relleno y desgaste de líneas demarcatorias.
- Registrar los hallazgos detectados, con el fin de programar oportunamente reparaciones menores o labores de mantención correctiva, evitando la propagación de daños y la pérdida de funcionalidad de la superficie.



Figura 4-3. Desprendimiento de uniones en césped sintético.
Fuente: Diario “El Norte”.

d) Control de acceso y uso

- Verificar el cumplimiento del reglamento de uso de la cancha, prohibiendo el ingreso de vehículos, fuego, alimentos, mascotas, clavos o estoperoles metálicos.
- Controlar el ingreso de tierra, barro u otros contaminantes externos que puedan afectar el material de relleno y el funcionamiento del sistema de drenaje.

Con el fin de evitar daños en la superficie de juego y prolongar la vida útil del césped sintético, se permite exclusivamente el uso de calzado con estoperoles plásticos, prohibiéndose expresamente el uso de estoperoles metálicos.



Figura 4-4. Botín rojo (estoperol de aluminio). Prohibido.
Fuente: Puma.com



Figura 4-5. Botín azul (estoperol de plástico). Permitido.
Fuente: Adidas.com

4.2.1.2 Sistema de infiltración de aguas lluvias.

La mantención rutinaria del sistema de infiltración de aguas lluvias considera las actividades básicas necesarias para asegurar su correcto funcionamiento hidráulico y prevenir obstrucciones que puedan afectar el drenaje de la cancha.

Este sistema incluye las canaletas perimetrales, las cámaras de inspección, las tuberías de drenaje y la zanja drenante con cubos drenantes, los cuales deben mantenerse operativos y libres de elementos que interfieran con el escurrimiento del agua.

a) Limpieza rápida de canaletas

- Frecuencia: semanal o posterior a eventos de lluvias intensas.
- Retiro manual de hojas, piedras, sedimentos y residuos que puedan obstruir la entrada y conducción del agua hacia el sistema de drenaje.
- Verificar el correcto escurrimiento a lo largo de toda la canaleta.



Figura 4-6. Limpieza de canaletas del sistema de drenaje.
Fuente: Elaboración propia (IA).

b) Verificación de flujo superficial

- Observar que el agua escurra adecuadamente hacia las canaletas, sin generar encharcamientos ni acumulaciones sobre la superficie de juego.
- Identificar y registrar zonas críticas o comportamientos anómalos del escurrimiento para su revisión y corrección posterior.

c) Revisión liviana de cámaras de inspección

- Apertura superficial de las cámaras de inspección para comprobar la ausencia de sólidos visibles en su parte superior.
- En caso de detectarse acumulación de residuos, coordinar una limpieza programada según el nivel de obstrucción observado.



Figura 4-7. Ejemplo de cámara de inspección con presencia de residuos.
Fuente: Elaboración propia (IA).

4.2.1 Mantenimiento programada (Preventivo y correctivo):

La mantención programada corresponde a un conjunto de actividades planificadas destinadas a preservar las condiciones funcionales, estructurales y de seguridad del campo deportivo de césped sintético, así como a prevenir fallas prematuras asociadas al uso intensivo y a la acción de agentes climáticos.

Frecuencia: mensual, trimestral y semestral, según el tipo de intervención.

4.2.2.1 Césped Sintético

a) Cepillado profundo

- Frecuencia: mensual.
- Uso de maquinaria especializada equipada con cepillos rotativos adecuados para césped sintético.

- Objetivo: descompactar el relleno, redistribuirlo homogéneamente y prolongar la vida útil del sistema de césped.

b) Descompactación del relleno

- Frecuencia: 2 a 3 veces al año.
- Utilización de equipos con púas plásticas diseñadas específicamente para canchas de césped sintético.
- Esta actividad mejora la absorción de impactos, la estabilidad superficial y el drenaje vertical del sistema.



Figura 4-8. Ejemplo de cepillado y descompactación de césped sintético. Modelo: REDEMIX VERTI-BROOM 1850.

Fuente: Catálogo Redemix.

c) Reposición del relleno

- Frecuencia: evaluación mensual, especialmente en zonas de mayor desgaste (áreas de arco, mediocampo y laterales).
- Reposición con material de relleno tipo caucho SBR, según la especificación técnica del proyecto.
- Posterior a la reposición, se debe realizar compactación controlada y cepillado para asegurar una correcta integración del material.

d) Revisión de uniones y líneas demarcatorias

- Frecuencia: trimestral.
- Verificación del estado de las uniones, adhesivos y estabilidad de las líneas demarcatorias.
- Reparación de levantamientos o desprendimientos mediante adhesivos poliuretánicos compatibles y aprobados para el sistema instalado.

e) Lavado y desinfección

- Frecuencia: 1 a 2 veces al año.
- Utilización de detergentes neutros y equipos de agua a presión moderada, sin superar los 80 bar, con el fin de no afectar las fibras ni el material de relleno.
- Se debe evitar el escurrimiento del agua hacia sectores no diseñados para drenaje.



Figura 4-9. Ejemplo de hidro lavado a baja presión.
Fuente: Elaboración propia (IA).

f) Control de malezas en el perímetro

- Frecuencia: trimestral.
- Control manual o mecánico en zonas perimetrales externas, evitando el contacto directo con el césped sintético.
- No se recomienda el uso de herbicidas en zonas cercanas a la superficie de juego.

4.2.2.2 Sistema de infiltración – Mantenimiento programada

El mantenimiento programado del sistema de infiltración tiene por objetivo asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de los elementos de captación, conducción e infiltración de aguas lluvias, evitando procesos de colmatación, obstrucciones y fallas estructurales que puedan comprometer el desempeño del sistema en el tiempo.

a) Limpieza de canaletas perimetrales

- Frecuencia: mensual y posterior a eventos de lluvia superiores a 20 mm.
- Retiro de sedimentos, basura, raíces u otros materiales que puedan obstruir el escurrimiento del agua.
- Se recomienda la utilización de hidrolavadora a presión moderada, evitando dañar las superficies o elementos de anclaje de la canaleta.

b) Limpieza interna de cámaras de inspección

- Frecuencia: trimestral.
- Retiro de sedimentos acumulados en la base de la cámara.
- Comprobación del estado estructural de las paredes, fondo y tapa de la cámara de inspección, verificando la ausencia de fisuras, desplazamientos o deterioros.

c) Inspección y sondeo de tuberías drenantes

- Frecuencia: semestral.
- Uso de sondas, varillas y/o equipos de limpieza tipo trompo o hidrojete de baja presión.
- Objetivo: prevenir obstrucciones que puedan reducir la capacidad de transporte del sistema hacia la zanja drenante.



Figura 4-10. Ejemplo de limpieza de cámara de inspección mediante cable espiral desobstructor.
Fuente: Elaboración propia (IA).



Figura 4-11. Ejemplo de cabezal de limpieza tipo hidrojet para sondeo de tuberías.
Fuente: Elaboración propia (IA).

d) Revisión de la funcionalidad de la zanja de infiltración y cubos drenantes

- Frecuencia: semestral.
- Comprobación de la ausencia de colmatación en el material granular que envuelve los cubos drenantes.
- En caso de detectarse sedimentación significativa, se deberá coordinar la remoción y reposición del material granular, considerándose esta actividad como una mantención mayor.

e) Prueba hidráulica del sistema

- Frecuencia: anual, preferentemente antes del inicio de la temporada de lluvias.
- Simulación de caudal mediante manguera u otro método de carga controlada.
- Evaluación de los siguientes aspectos:
 - Tiempo de infiltración.
 - Capacidad de transporte de las tuberías.
 - Correcta evacuación del flujo hacia los cubos drenantes.

Se deberá registrar cualquier signo de sobrecarga, retroceso de flujo o comportamiento anómalo del sistema, a fin de programar acciones correctivas oportunas.

La evaluación económica realizada permitió comparar el sistema de drenaje base con la solución de infiltración propuesta, identificando las diferencias de costo y su impacto en el presupuesto disponible para el proyecto. Asimismo, se definió un protocolo de mantención orientado a preservar el desempeño hidráulico y la estabilidad superficial del campo deportivo en el tiempo, considerando tanto acciones rutinarias como programadas.

Los antecedentes económicos y operativos desarrollados en este capítulo entregan un marco de referencia para la toma de decisiones respecto a la viabilidad de la solución propuesta y su gestión a largo plazo, sirviendo como base para la reflexión final y conclusiones que se presentan en el capítulo siguiente.

VII. CONCLUSIONES

El presente estudio abordó el análisis y mejoramiento del sistema de drenaje de la cancha de pasto sintético de Calebu, considerando las condiciones reales del emplazamiento, el diseño hidráulico originalmente proyectado y la necesidad de asegurar un adecuado desempeño superficial y estructural del recinto deportivo. A partir del levantamiento de información en terreno, el análisis hidráulico del sistema base y el desarrollo de una solución alternativa, fue posible identificar las principales limitaciones del diseño original y proponer una mejora coherente con el contexto geotécnico y climático del sector.

El análisis de las condiciones existentes permitió constatar que el terreno presenta características altamente favorables para la infiltración de aguas lluvias, tales como una alta permeabilidad del suelo, ausencia de napa freática superficial y una topografía prácticamente plana. Sin embargo, se identificó que el proyecto base no cuenta con una memoria de cálculo hidráulico que respalde su comportamiento frente a eventos de precipitación representativos de la zona, lo que constituye una debilidad relevante en términos de validación técnica y control del diseño.

Respecto del funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, se observó que, si bien la capacidad de infiltración instalada resulta suficiente e incluso sobredimensionada para la lluvia de diseño considerada, la configuración adoptada presenta deficiencias funcionales. En particular, la disposición de zanjas drenantes transversales bajo la superficie de juego implica un riesgo elevado de marcación progresiva, pérdida de planeidad y generación de rigideces diferenciales, afectando la seguridad, el desempeño deportivo y la durabilidad de la cancha sintética. A ello se suma la falta de definición de pendientes, discontinuidades hidráulicas y la ausencia de mecanismos de evacuación controlada ante eventos de mayor magnitud.

A partir de este diagnóstico, se desarrolló una propuesta de mejora para el manejo de aguas lluvias, basada en criterios normativos y en las condiciones reales del emplazamiento. La solución planteada, que incorpora una membrana drenante tipo MacDrain SF, una canaleta de captación lateral y una zanja infiltrante longitudinal con cubos drenantes, permite redistribuir de manera más homogénea las escorrentías, eliminar excavaciones transversales bajo la superficie de juego y reducir significativamente el riesgo de deformaciones asociadas al sistema de drenaje, manteniendo una capacidad de infiltración acorde a las características del suelo.

La verificación hidráulica de la solución propuesta, realizada mediante la aplicación del método racional, demostró que el sistema cumple con los requerimientos de capacidad y seguridad frente a un evento de precipitación con período de retorno de 10 años y duración de 24 horas. La incorporación de coeficientes de seguridad y despiches de emergencia incrementa la confiabilidad del sistema, permitiendo enfrentar

escenarios de lluvia más exigentes sin comprometer la estabilidad estructural ni la integridad de la superficie sintética.

La evaluación económica comparativa evidenció que la alternativa propuesta presenta un costo inicial superior al sistema base. No obstante, este incremento se justifica al considerar los beneficios asociados a una mayor estabilidad superficial, una menor probabilidad de intervenciones correctivas y una vida útil prolongada del recinto deportivo. En este contexto, el protocolo de mantención desarrollado complementa el diseño hidráulico, estableciendo rutinas claras y sistemáticas que permiten preservar el desempeño del sistema en el tiempo y resguardar la inversión pública realizada.

En síntesis, el desarrollo de este trabajo demuestra que el adecuado desempeño de una cancha de fútbol sintética no depende únicamente de la capacidad de infiltración del terreno, sino principalmente de la coherencia entre el diseño del sistema de drenaje, las condiciones de uso y el contexto climático local. La solución desarrollada constituye una alternativa técnicamente sólida y replicable, aportando criterios de diseño aplicables a proyectos similares, particularmente en zonas de alta pluviosidad como la Región del Biobío.

VIII. REFERENCIAS

- (1) Instituto Nacional de Deportes de Chile (IND). Catastro Nacional de Recintos Deportivos. Disponible en: <https://www.ind.cl>
- (2) Contraloría General de la República. Informes de Auditoría a Proyectos Municipales y FNDR. Disponible en: <https://www.contraloria.cl>
- (3) Ministerio de Obras Públicas (MOP). Manual de Carreteras – Volumen 5: Drenaje. Disponible en: <https://manualdecaminos.cl>
- (4) Dirección General de Aguas (DGA). Red Hidrometeorológica Nacional – Datos de precipitación. Disponible en: <https://snia.mop.cl>
- (5) Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. MINVU, Santiago de Chile, 1996.
- (6) Dirección General de Aguas (DGA)
Red Hidrometeorológica Nacional – Datos de Precipitación. Ministerio de Obras Públicas, Chile