

# **-I- INTRODUCCIÓN**

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El ser humano a lo largo de estos siglos se ha ocupado en realizar diversos cambios en su medio ambiente, obligado a enfrentarse a todas las dificultades y problemas que la naturaleza obliga, para ello ha tenido la necesidad de buscar y crear respuestas y soluciones a estas dificultades naturales.

Por lo que: La solución es una consecuencia de esa búsqueda de creación de respuestas.

Las obras civiles realizadas para bien del mismo hombre se ven afectadas por la acción de la naturaleza, Esto depende de los tipos de suelos existentes en el terreno, las condiciones hidrológicas, eólicas, pendientes, peso de estructuras y muchos otros factores, que tomando en cuenta estos, se ve necesario la implementación de algún tipo de materiales nuevos.

Se han utilizado métodos tradicionales; pero la evolución social necesita aprovechar mejor del tiempo con la celeridad de la construcción y dadas las circunstancias económicas contemporáneas, hay necesidad de aprovechar mejor los recursos mediante la optimización de su uso y la búsqueda de nuevas tecnologías.

El ahorro de estos dos elementos: tiempo y dinero, ha llevado a la búsqueda de nuevos materiales de construcción que satisfagan las mencionadas expectativas. Precisamente, para alcanzar estos objetivos, se considera conveniente la utilización de geosintéticos, aptos para cumplir la función que de ellos se espera alcanzar una prolongada duración, para ser realizados en el menor tiempo posible y con una inversión monetaria más reducida.

Los materiales geosintéticos han despertado gran interés en la construcción actual porque además de las ventajas de orden económico y de tiempo, ofrecen maleabilidad, variedad de usos y aplicaciones, calidad y resistencia a la degradación biológica y química.

En su desarrollo, este trabajo detalla las propiedades y funciones de los geosintéticos, como materiales básicos para la construcción de obras civiles, como alternativa para la economía del material, esfuerzo, tiempo y recursos económicos en general, optimizando así rendimiento y resultados además de buscar la eficacia y la efectividad en las obras civiles.

## 1.1. ANÁLISIS DE CONTEXTO.

### 1.1.1. Área geográfica del Estudio:

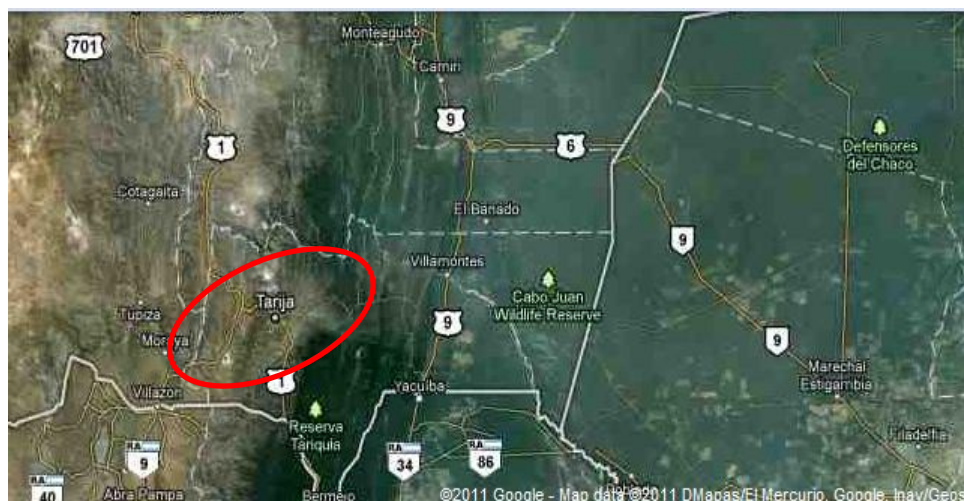
Tarija es el departamento más pequeño de Bolivia, la ciudad de Tarija fue fundada un 4 de Julio de 1574 por Luís de Fuentes y Vargas con el nombre de Villa de San Bernardo de la Frontera de Tarija en la ribera izquierda del Río Guadalquivir.

Actualmente se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija a una altura de 1854 m.s.n.m., limita al Norte y Oeste con la provincia Méndez, al Este con la provincia O'Connor y al Sur con las provincias Avilés y Arce. Su clima es muy variado.

Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río de Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella siendo este último, afluente del río Guadalquivir.

Por su ubicación geográfica, es el departamento fronterizo con Argentina y Paraguay por lo que tiene mucha afluencia de turistas de esa zona.

*Figura 1.1: Ubicación Geográfica de la ciudad de Tarija.*



Dentro de los medios de transporte que permiten la vinculación del departamento de Tarija con el interior del país podemos citar el terrestre, con acceso vial hacia la frontera con la Argentina y las ciudades de Sucre y Potosí, y el aéreo, cuyo movimiento va creciendo día a día con el desarrollo económico marcado de la región.

A partir del 15 de Abril de 1980 durante la presidencia de Lidia Gueiler Tejada, fue puesto en funcionamiento el Aeropuerto Internacional “Capitán Oriel Lea Plaza” con características físicas mínimas para transporte de pasajeros y carga: Con una longitud de pista de 2650m y un ancho de 45m.

Posteriormente, durante el gobierno de Jaime Paz Zamora se realizó una ampliación de pista, entregada el año 1993, con una longitud total de 3033m en un ancho de 45m y con una franja de seguridad de 75m a cada lado del eje de la pista.

El Aeropuerto se encuentra ubicado en la zona del mismo nombre Aeropuerto en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, a 3.2Km del centro de la ciudad, con una altura aproximada de 1861m.s.n.m.

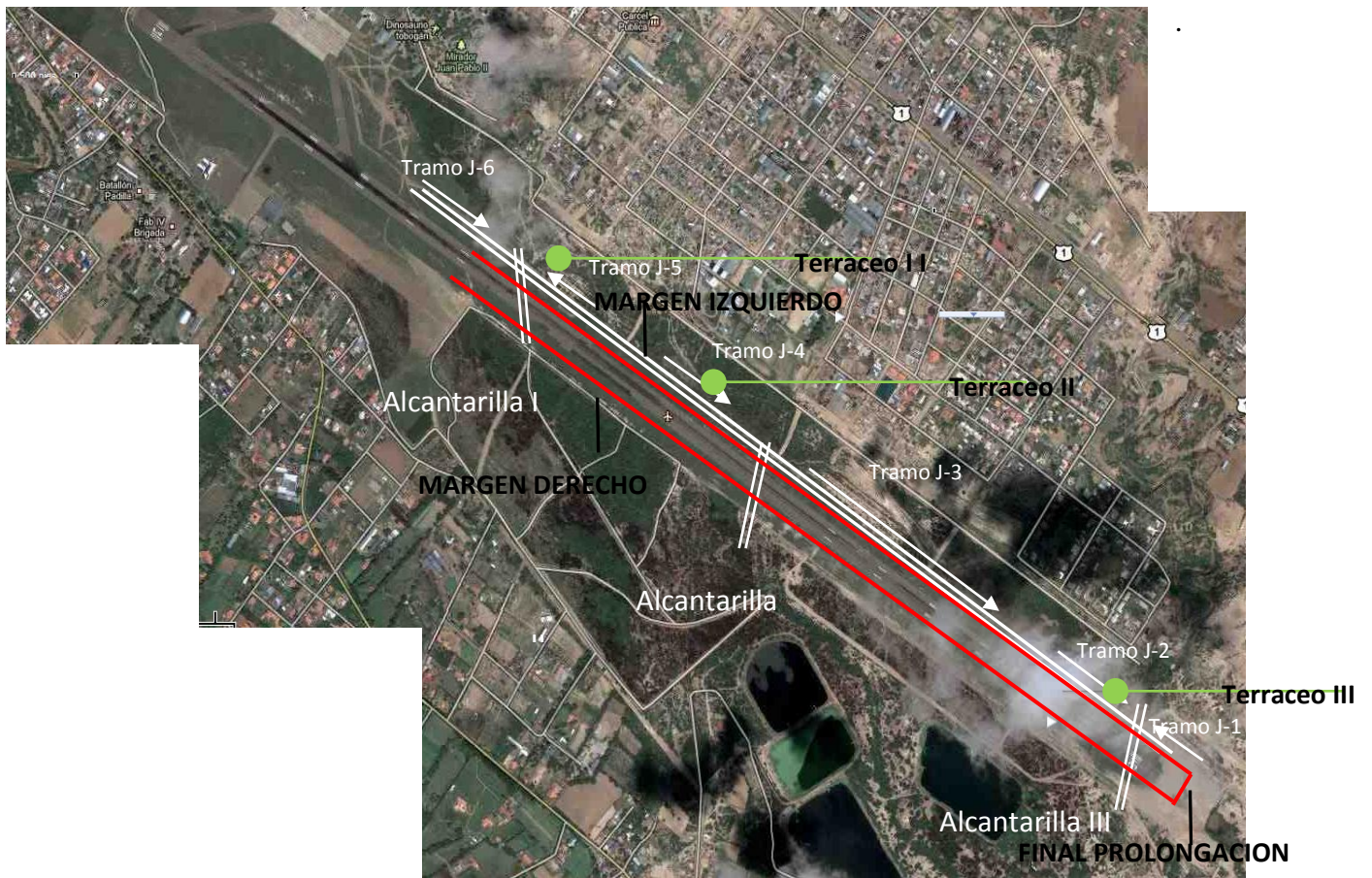
**Figura1.2:** Ubicación específica del Aeropuerto Cap. Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija.



El Aeropuerto fue construido en una zona donde la erosión fue y es uno de los problemas permanentes. Durante la construcción de la pista de aterrizaje (13-31) se identificaron sectores con cárcavas profundas que cruzaban por medio del eje de pista, de margen izquierdo a derecho, hecho que comprometió la realización de importantes obras de canalización para evitar que estas cárcavas, pongan en riesgo el movimiento aéreo.

El tipo de suelo que conforma toda la zona aeroportuaria es bastante susceptible a la erosión, debido a esto se vio necesario construir canales paralelos a la pista y en algunos sectores conflictivos, para tratar de mitigar este fenómeno y por otro lado se construyeron terrazas en los sectores Norte, Noroeste y Noreste del margen izquierdo de pista, con su respectiva cobertura vegetal. Estas obras se implementaron con el objetivo de estabilizar, en cierto grado, el suelo debilitado por la erosión y de esta manera controlar la excesiva sedimentación de la zona.

*Figura 1.3: delimitación de la zona de estudio*



## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Controlar la erosión del suelo del aeropuerto “Cap. Oriel Lea Plaza” de la ciudad de Tarija, con la implementación de las alternativas de diseño para estabilización de suelos, con el uso de Geosintéticos principalmente, canales de drenaje y control hidráulico de atajados naturales y de las áreas afectadas.

### **1.2.1. Problema**

En la actualidad no existe un estudio actualizado de control de erosión de suelos, en el Aeropuerto Internacional Cap. Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija, que pueda ser implementado y permita dar una solución factible y eficiente al grado de erosión marcado que presentan los suelos en toda su extensión, tomando en cuenta las obras civiles existentes y otras adicionales.

El presente estudio plantea una solución técnica, analítica, volumétrica, económica, práctica y fiable en correspondencia con los intereses particulares de la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea, AASANA, en términos de seguridad, calidad y economía.

Basado en el estudio de alternativas, con el uso de Geosintéticos principalmente: (mantos de control erosivo, geodrenes, geomembranas impermeables), diseño hidráulico, geotécnico y/o estructural de los elementos que se consideren mejorar o construir, para el control de la erosión de los suelos, cuyo grado avanzado es uno de los problemas más antiguos en la zona del aeropuerto, que durante los últimos años ha mostrado señales para su atención y tan solo pudo contrarrestarse de manera muy temporal en lugares específicos generando la preocupación en los administradores del aeropuerto y la inquietud del presente documento.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Encontrar una solución técnica adecuada, para controlar el problema de erosión del suelo del aeropuerto “Cap. Oriel Lea Plaza” de la ciudad de Tarija, a través del diseño de alternativas basadas en el uso de Geosintéticos principalmente:( mantos de control erosivo, geodrenes, geomembranas impermeables), diseño hidráulico de obras de drenaje para alivio y control del curso de aguas en la zona, muros de gavión y otros, que permita mejorar las condiciones actuales de operatividad, serviciabilidad y seguridad del aeropuerto; además de generar nuevas hipótesis de estudio en base a resultados que puedan obtenerse.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Obtener información primaria, referida a la actualización de datos topográficos, estudio de suelos, datos hidrológicos, hidráulicos con el respectivo trabajo de campo.
- Obtener información secundaria, en relación a los antecedentes históricos de trabajos ejecutados en el aeropuerto para control o mitigación de los efectos provocados por la erosión de sus suelos.
- Realizar la evaluación del estado actual del suelo y las obras ejecutadas hasta la fecha, para mitigar los efectos causados por la erosión.
- Presentar alternativas de solución a los efectos de erosión, basado en el uso de Geosintéticos principalmente:( mantos de control erosivo, geodrenes, geomembranas impermeables), construcción de obras de drenaje y alivio de aguas superficiales, con muros de gavión, estabilización de taludes, construcción de atajados o lagunas artificiales para la generación de microclimas.
- Elaborar planos constructivos y especificaciones técnicas de la solución adoptada, así como cálculos métricos, análisis de precios unitarios y presupuesto del Proyecto.

- Con este estudio se busca también generar a futuro nuevas hipótesis de investigación

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente el aeropuerto “Capitán Oriel Lea Plaza” está amenazado constantemente por los problemas de erosión, que se presentan en los predios de su emplazamiento, de pequeña y gran magnitud, analizados y combatidos de manera parcial a lo largo del tiempo por algunas obras de control hídrico ejecutadas.

En algunos sectores específicos del aeropuerto, el desgaste de los suelos es marcado por erosiones de gran intensidad:

A lo largo del tiempo se impulsó la construcción de obras hidráulicas (canales zampeados y de hormigón ciclópeo), algunas de las cuales continúan en funcionamiento con daños superficiales en su estructura y otras parcial o totalmente destruidas.

Por otro lado, se constató que en los últimos años se ha venido realizando trabajos parciales de muy poco mantenimiento en las obras construidas.

Estos trabajos han logrado controlar de manera precaria los problemas de erosión en los sectores más cercanos a la pista, dándole continuidad al funcionamiento del aeropuerto.

Debido a la gran importancia del tema en cuestión, y que a lo largo de los años a mostrando resultados parciales en el control de erosiones que afectan la zona del aeropuerto, y por la necesidad de desarrollo regional y nacional a través del transporte aéreo de pasajeros y carga, para el crecimiento económico, se ha visto por conveniente realizar la evaluación, desarrollar y profundizar la investigación y generar las soluciones efectivas para este problema mediante el uso de Geosintéticos principalmente:( mantos de control erosivo, geodrenes, geomembranas impermeables, en muros de tierra reforzada), diseño hidráulico de obras de drenaje para alivio y control del curso de aguas en la zona, muros de gavión y otros.

## 1.5. DISEÑO METODOLOGICO

Para el diseño se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

### 1.5.1. Tipo de Investigación:

Es una investigación de tipo **descriptivo** por los siguientes parámetros observados

- **SÍ** identificamos elementos y características del problema de erosión
- **SÍ** caracterizamos hechos y situaciones por los cuales identificamos el problema erosivo.
- El problema que planteamos **SÍ** afecta a un grupo social que está emplazado dentro del área de estudio
- Además el problema planteado por nosotros **SÍ** comprende y afecta formas de organización en los niveles micro y marco social en uno de los distritos de la ciudad y es de interés público su solución.
- Presentaremos conclusiones de estudio que identifiquen el problema erosivo dentro del aeropuerto.

Esperamos que los resultados de esta investigación sean base para la formulación de nuevas hipótesis a partir de los planes de mantenimiento que se puedan estudiar en las obras propuestas en este estudio.

### 1.5.2. Métodos de recolección de información

Para lograr un adecuado desarrollo y tener una secuencia lógica en los trabajos a efectuarse, cumpliendo con los objetivos señalados anteriormente, el Estudio se dividirá en tres partes:

**Primera Parte**, orientada a la recopilación de información secundaria y primaria, datos evaluativos, topográficos, suelos, problemas reales, obras de mitigación ejecutada, situación actual, diseños implementados, etc.

Por otra parte se inspeccionaron los sectores de erosión más críticos de la zona,

efectuándose el estudio de suelos respectivo, basado en procedimientos de las normas AASHTO y ASTM, concentrado en la determinación de contenidos de humedad, granulometría, clasificación de suelos, ensayos de compactación.

Un levantamiento topográfico de la zona a evaluar pista, calles de rodaje, plataforma, canales, terracedos, quebradas, márgenes de pista, franjas de seguridad y el sector final de la prolongación de eje de pista.

Además se analizarán los datos hidrológicos obtenidos por la estación propia de AASANA, ubicada en el mismo aeropuerto.

**Segunda Parte,** relacionada con el diseño de nuevas obras civiles para el control de erosión, en los sectores más comprometidos con este fenómeno, alternativas de solución con la aplicación de geotextiles, y otras apropiadas para cumplir con los propósitos de este estudio.

Se realizará el diseño hidráulico correspondiente para vertederos de excedencia, atajados, y actividades de protección del suelo.

Se empleará software de última generación como el AUTOCAD en sus últimas versiones, Land Desktop y otros programas para diseño hidráulico y de canales, tuberías, vertederos, etc; que generen resultados precisos.

Se determinará el costo total de la obra, con el respectivo análisis de precios unitarios.

Por último, se realizarán los planos constructivos correspondientes y las especificaciones técnicas de la obra.

**Finalmente,** se desarrollará el documento final, con un marco teórico-conceptual que organice las ideas, fundamentos y conceptos teóricos, ordenados en función al alcance y rol de eventos a ejecutarse Con un análisis severo de las condiciones actuales y soluciones futuras, enmarcando y exponiendo las ideas a través de un escenario general del aeropuerto,

un detalle del levantamiento de obras existentes y su posterior evaluación, análisis de los suelos y trabajos de topografía con los respectivos ensayos de laboratorio, trabajo de campo y gabinete, diseño hidrológico-hidráulico de obras de drenaje, diseño de obras de estabilización de suelos y lagunas artificiales, estabilización de sectores críticos.

### **1.5.3. Instrumentos.**

Los tipos de instrumentos al realizar el estudio son y están referidos a: planos existentes, aparatos de medición, muestreo de suelos, datos hidrológicos además de planillas para laboratorio de suelos, software específico para cálculo o análisis de datos recopilados para la obtención de resultados etc.

## **1.6. HIPÓTESIS**

El problema de erosión del suelo existente en el aeropuerto “Cap. Oriel Lea Plaza” de la ciudad de Tarija, **será** controlado con la implementación de obras para control de erosión, en función al uso de Geosintéticos principalmente, muros de tierra reforzada, así como el diseño de obras hidráulicas que controlen los cursos de agua que eviten socavación y erosiones en su camino además generación de bioclimas a través de lagunas artificiales.

## **1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

### **1.7.1. Variables Dependientes:**

- Geotextiles.
- Geomallas Coextruidas)
- Geomalla de Fibra de Vidrio
- Geocompuestos de Drenaje
- Geomembranas

- Mantos Para Control de Erosión
- Obras hidráulicas
- Muros de gavión.
- Terraceos.
- Cárcavas.

#### **1.7.2. Variables Independientes:**

- Geología.
- Geotecnia.
- Hidrología.
- Obras de infraestructura aeroportuaria.
- Topografía.

A lo largo del estudio se desarrollarán lo significados y aplicaciones en donde se tuviera necesidad de aplicación o comprensiones específicas a cada una de las variables presentadas.

## **-II- MARCO TEÓRICO**

**2.1. CONCEPTO GENERAL:** “GEOSINTÉTICO” es un producto en el que uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional.

La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos principalmente de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: textil y plástica.

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como propileno, poliéster, poliamida, y polietileno, siendo los dos primeros los de mayor utilización en la actualidad.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión, o derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

Usados en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil, los geosintéticos se han abierto en el mundo de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales. Entre usos más específicos podemos citar con trabajos de filtración, drenaje, refuerzos de terraplenes en suelos blandos, muros de contención, protección de taludes, almacenamiento de desechos, tratamientos y almacenamiento de aguas, rellenos sanitarios, etc.

Las razones para esta explosión de nuevos productos son numerosas e incluyen lo siguiente:

- Su fabricación es bajo un estricto control de calidad.
- Su uso ofrece grandes rendimientos en la instalación.

- El uso de materiales pétreos es mínimo, lo que contribuye con unos menores impactos ambientales en las obras.
- Generan una relación beneficio – costo atractivo para los proyectos, que se ve reflejado en los presupuestos de los contratistas, entidades gubernamentales, etc.
- Se encuentran ampliamente disponibles en el mercado y están siendo promocionados activamente.

Los geosintéticos son productos elaborados en base a polímeros básicos como son: Polietileno, poliéster, nylon, poliamida, fibra de vidrio, etc; polímeros altamente inertes a degradaciones biológicas y químicas.

### **2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS**

La clasificación actual de los geosintéticos después del desarrollo de los mismos durante los últimos años la podemos realizar de la siguiente manera

#### **2.1.2 GEOTEXTILES**

Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los geotextiles que se definen como “un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser No Tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (Tierra, Piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”

##### **2.1.2.1. Clasificación según su método de fabricación.**

###### a) Geotextiles Tejidos.

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser Tejidos de calada o tricotados. Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal).

Su resistencia a la tracción es de tipo Biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana. Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o

biaxial según estén fabricados en máquinas tricotasas y circulares. Su estructura es tridimensional.

b) Geotextiles No Tejidos.

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles No Tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.
- Geotextiles No Tejidos ligados técnicamente o termosoldados.
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados.

#### **2.1.2.2 Clasificación según su composición.**

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendremos a asociar el geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

a) Fibras naturales.

Pueden ser de origen natural (lana, seda, pelos) vegetal (algodón, yute, coco, lino) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos, etc.

b) Fibras artificiales.

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

c) Fibras sintéticas.

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

#### **2.1.2.2.1 Procesos de fabricación.**

El papel de los fabricantes en el conocimiento y crecimiento del mercado de los geotextiles ha sido grande y positivo. Se han desarrollado muchos tipos de fibras y estilos de tejidos tanto para uso general como para aplicaciones específicas.

Hay tres factores que son importantes para los fabricantes: clase de polímero, tipo de filamento y el tipo de proceso productivo.

##### **a) Clase de polímeros.**

El polímero usado en la fabricación de un geotextil puede ser de los siguientes tipos de resina listados en orden de uso decreciente:

Polipropileno	92%
Poliéster	5%
Polietileno	2%
Poliamida (nylon)	1%

##### **b) Tipo de filamento**

El polímero seleccionado se transforma en fundido por calor y presión, luego se obliga a pasar a través de un molde. Del molde salen fibras o una cinta plana en estado semilíquido e inmediatamente se produce un enfriamiento por aire o agua transformando el producto del molde en un elemento sólido pero elongable, simultáneamente el material sufre un estirado el cual reduce sus dimensiones en cuanto a ancho o espesor y ocasiona un ordenamiento de las moléculas. De esta forma se incrementa la resistencia de los filamentos en sentido

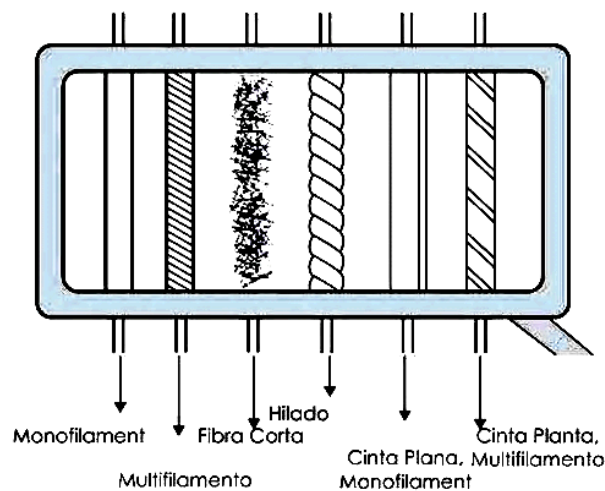
longitudinal, su elongación a la ruptura disminuye y su módulo se incrementa. Modificando esta variables se puede alcanzar una gran variedad de posibilidades de la característica Esfuerzo vs Deformación. (Esos monofilamentos cuando están en forma de fibras se pueden tranzar juntos para formar una hebra multifilamento).

El calibre de la fibra o de la cinta se define por su denier. El denier es el peso en gramos de 9.000 m de filamentos.

Las fibras pueden producirse cortadas o en filamento continuo, ambos tipos de fibra salen como un mazo de hebras del molde, en el caso de las cortadas en un paso posterior se cortan en longitudes entre 25 a 100 mm para luego ser procesadas en equipos de mezclados, cardado y punzonado, en el caso del filamento continuo simplemente se extienden y se alimentan inmediatamente al siguiente proceso que es el punzonado.

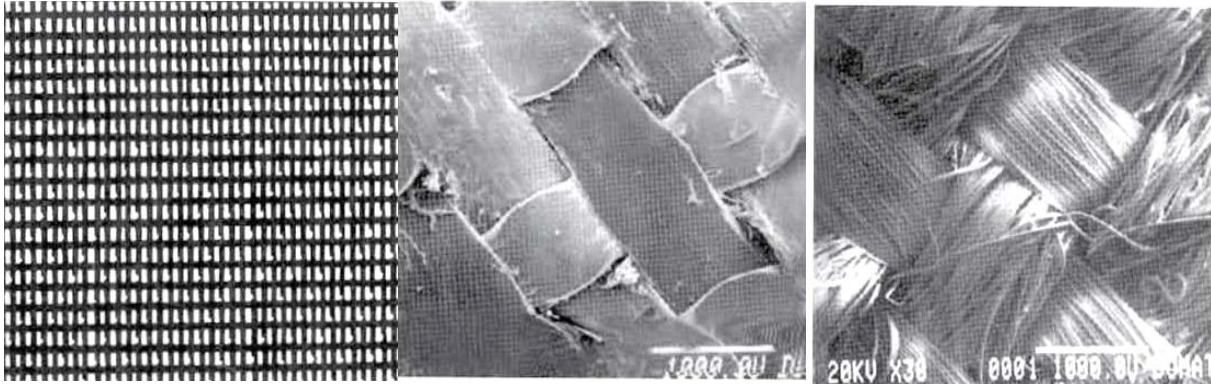
También con esas fibras se pueden producir unos hilos entrelazados o entrelazar filamentos continuos obteniendo otras propiedades que luego serán tejidos.

El último tipo de filamentos a mencionarse son las llamadas películas o cintas “ranuradas” en el molde, las cuales se fabrican de una lámina continua de polímero que se corta en cintas mediante cuchillas y luego se enconan en carretes que seguirán los procesos de urdido y tejeduría

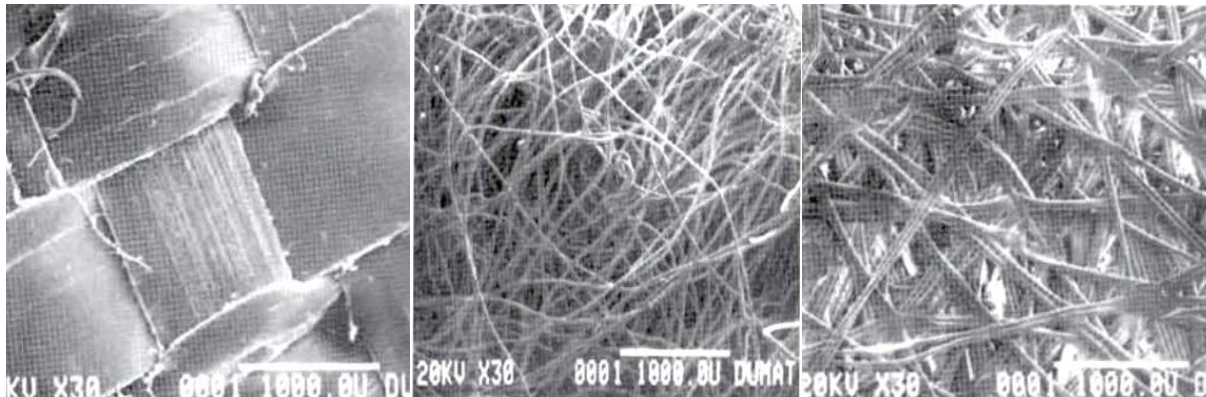


*Figura 2.1.: Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles*

En resumen, los principales filamentos usados en la construcción de geotextiles son monofilamentos cortados (fibra cortada), multifilamento (filamento continuo), hilos de fibras (fibra cortada), hilos de filamento continuo entrelazados, hilos de multifilamentos entrelazados y cinta plana ranurada. Ver figura2.2.



a) Monofilamento Tejido    b) Monofilamento Tejido calandrado    c) Multifilamento Tejido. Calandrado



d) Tejido plano                      e) No Tejido punzonado por agujas    f) No Tejido unido por calor

*Figura 2.2.: Vista microscópica de algunos de tipos de Geotextiles Tejidos y No tejidos*

**c) Tipo de proceso productivo.**

Una vez que se han fabricado los filamentos, estos se convierten en telas No Tejidas o Tejidas dependiendo del proceso posterior.

### **2.1.2.3 Geotextiles Tejidos.**

Para los geotextiles tejidos se trabajan cintas o hilos en un telar, la clase particular del tejido se determina por la secuencia en la cual los filamentos de la urdimbre y de la trama son entrecruzados (tejidos) en el telar.

Un tejido se compone de dos cintas, la urdimbre que va en el sentido longitudinal (la dirección en que se fabrica el tejido, la “larga”) y la trama que va en sentido transversal (la dirección “corta”), la urdimbre ingresa al telar por su parte posterior a través de unos elementos separadores y organizadores llamados laminillas y cruzan los lisos, los peines e ingresan a la mesa del telar en donde se entretejen con las tramas las cuales son aportadas desde un lado del telar, las urdimbres se cruzan en dos grupos unas suben y otras bajan dejando un espacio por donde pasa la trama (el “relleno”) transportada por un elemento llamado proyectil, luego las urdimbres vuelven y se cruzan “aprisionando” la trama y se repite el ciclo formado el tejido.

El orillo (borde de la tela donde la trama regresa un pequeño tramo) garantiza que el tejido conserve su estructura planeada.

Dentro de los geotextiles Tejidos se pueden especificar diferentes modalidades:

- Geotextil Tejido plano:

Fabricado mediante el tejido de cintas por un procedimiento textil de una película cortada polimérica extruida. Es el tejido más simple y común, conocido también como uno arriba y uno abajo".

- Geotextil Tejido canasta:

Este tejido usa dos o más urdimbres y/o tramas de relleno como si fuera una sola cinta. Por ejemplo, un tejido canasta pueden ser dos por dos urdimbres y tramas o dos tramas y un urdimbre, actuando como unidades individuales.

- Geotextiles No Tejidos:

La fabricación de telas no tejidas es muy diferente de las telas tejidas. Cada sistema de fabricación No Tejido generalmente incluye cuatro pasos básicos: preparación de la fibra, formación del velo, consolidación del velo y tratamiento posterior.

Los geotextiles No Tejidos pueden ser de fibra cortada o filamento continuo, los de fibra cortada se obtienen a partir de fibras de longitud comprendida entre 50 y 150 mm y los de filamento continuo se obtienen por extruido directo de un polímero y formación de la napa o velo.

#### **2.1.2.4 Existen básicamente tres clases de procesos de fabricación:**

- Geotextiles No Tejidos punzonados por agujas:

Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos mezclados aleatoriamente, conformando lo que se denomina como velo o napa, el cual se consolida al pasar por un tablero de agujas en la maquina punzonadora, dichas agujas se mueven en sentido alternativo, subiendo y bajando a altas velocidades penetrando en la napa y entrelazando las fibras, esto se obtiene por que el perfil de las agujas no es regular, si no que están provistas de unas espigas o salientes en dirección a su sentido de penetración, lo cual hace penetrar a las fibras sin llevárselas en su movimiento de retroceso.

La frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el geotextil No Tejido. Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cuales confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las desuniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

- Geotextiles No Tejidos termosoldados:

Se forman a partir de una napa o velo en la que la unión de fibras y consolidación del geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. Su espesor y su elongación son sensiblemente inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas propiedades mecánicas y poca flexibilidad (son algo rígidos).

- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente:

La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben de evitarse elementos químicos distintos a los polímeros que pudiesen alterar sus propiedades y provoquen incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo.

### **2.1.3 FUNCIONES Y CAMPOS DE APLICACIÓN**

El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

A continuación se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

### **2.1.3.1 Función de separación**

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"-Quinta Edición.

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Entre la subrasante y el balasto en vías férreas
- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra Tabla de contenido
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos como sobrecargas
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para rellenos de caminos
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para presas de tierra y roca
- Entre la cimentación y capas de suelo encapsuladas
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención flexibles
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento
- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo
- Debajo de áreas de sardineles
- Debajo de áreas de estacionamiento
- Debajo de campos deportivos y de atletismo
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado
- Entre diversas zonas de presas en tierra
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto

### **2.1.3.2 Función refuerzo**

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"-Quinta Edición.

- Refuerzo de suelos débiles y otros materiales
- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados
- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje
- Sobre suelos blandos para vías férreas
- Sobre suelos blandos para rellenos
- Sobre suelos blandos en campos deportivos y de atletismo
- Sobre suelos heterogéneos
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas
- Para construir muros en suelo reforzado
- Para reforzar terraplenes
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados
- Para reforzar presas de tierra y roca
- Para estabilización temporal de taludes
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas
- Como refuerzo basal en áreas cársticas

- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación
- Para hacer un efecto de "puente" entre rocas agrietadas y diaclasas
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada
- Como sustrato de bloques articulados de concreto
- Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso
- Para anclar paneles frontales en muros de tierra reforzada
- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno o base de piedra
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionante
- Para retener suelos blandos en la construcción de presas de tierra
- Como membranas en suelos encapsulados
- Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales
- Para hacer un efecto de "puente" sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio
- Para ayudar en la capacidad portante de cimentaciones superficiales

### **2.1.3.3 Función de drenaje**

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"-Quinta Edición.

- Como un dren chimenea en una presa de tierra
- Como una galería de drenaje en una presa de tierra
- Como un interceptor de drenaje para flujo horizontal
- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga
- Como un dren detrás de un muro de retención
- Como un dren detrás del balasto de vías férreas
- Como un dren de agua debajo de geomembranas
- Como un dren de gas debajo de geomembranas
- Como un dren debajo de campos deportivos
- Como un dren para jardines de techo
- Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra
- En reemplazo de drenes de arena
- Como una barrera capilar en áreas sensibles al congelamiento
- Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas Tabla de contenido

#### **2.1.3.4 Función filtro**

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

A continuación se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"-Quinta Edición.

- En lugar de filtro de suelo granular
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados
- Debajo de base de piedra para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados
- Debajo de balasto en vías férreas
- Alrededor de piedra picada que rodea los subdrenes
- Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses)
- Alrededor de piedra y tubería perforada en pisos de adoquines
- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados
- Para filtrar rellenos hidráulicos
- Como protección contra los sedimentos
- Como cortina a los sedimentos
- Como barrera contra la nieve
- Como un encofrado flexible para contener arena, inyección o concreto en sistemas de control de erosión
- Como un encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados
- Como un encofrado flexible para restaurar la integridad en la minería subterránea
- Como un encofrado flexible para restaurar la capacidad portante de pilares socavados de puentes
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas
- Para proteger el material de drenaje en galerías
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención
- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones
- Alrededor de núcleos moldeados en geodrenes
- Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja
- Contra georedes para prevenir la intrusión del suelo

#### **2.1.3.5 Función protección**

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está

formado por el geotextil y la geomembrana. El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implica una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del geotextil evitaría la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas.

#### **2.1.3.6 Función de impermeabilización**

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

#### **2.1.4. GEOMALLAS COEXTRUIDAS**

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión. Tradicionalmente

estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas bi-orientadas coextruidas.

Las geomallas coextruidas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geomallas coextruidas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.

Las geomallas coextruidas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto, el uso de las geomallas produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementa las características de resistencia

contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas.

#### **2.1.4.1. Clasificación**

Como se mencionó anteriormente se dividen en dos tipos, los cuales se enuncian a continuación.

a. Geomallas Coextruidas Mono-Orientadas



*Figura 2.3 Geomalla Coextruida Mono-orientada.*

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional.

Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular. (Ver Figura 2.3).

Este tipo de geomallas coextruidas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el

concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

b. Geomallas Coextruidas Bi-Orientadas



*Figura 2.4 Geomalla Coextruida Bi-orientada.*

Este tipo de geomallas son estructuras bi-dimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal.

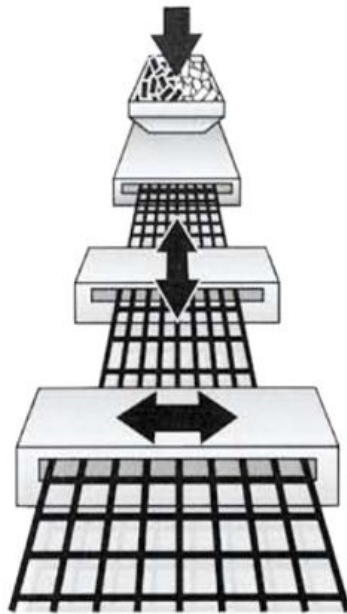
Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas coextruidas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles. (Ver Figura 2.4).

#### **2.1.4.2 Proceso de fabricación**

Para el caso de las geomallas en polietileno y polipropileno, el proceso de fabricación es el mismo. Inicialmente se tienen laminas del material en el que se realizan unas perforaciones, cuadradas o elípticas, de forma uniforme y controlada sobre toda la lámina, según el caso la lámina perforada recibe un estiramiento en una o dos direcciones, el cual se realiza a

temperaturas y esfuerzos controlados para evitar la fractura del material mientras que se orientan las moléculas en el sentido de la elongación.



*Figura 2.5 Esquema del proceso de fabricación de las geomallas coextruidas*

En el proceso intervienen variables como el peso molecular, la distribución de este, entre otras, pero el más importante es la tasa a la que se produce el proceso de elongación.

El desarrollo que se ha tenido en la técnica de fabricación de este material ha dado como resultado no solo el incremento en los módulos y la resistencia del material sino que a su vez ha desarrollado una relación del 100% entre el esfuerzo en los nodos y la resistencia a la tensión de las costillas, garantizando un excelente comportamiento del sistema en el tiempo.

#### **2.1.4.3. Funciones y aplicaciones**

El uso de las geomallas coextruidas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza

cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con una trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruidas mono-orientadas se enuncian a continuación:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruidas bi-direccionales se enuncian a continuación:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

El principal criterio de escogencia del tipo de geomalla es básicamente estudiando cómo se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.

### 2.1.5. GEOMALLA DE FIBRA DE VIDRIO

Las Geomallas de Fibra de Vidrio, son Geomallas flexibles que se utilizan entre capas de concreto asfáltico con el fin de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas, en los revestimientos de concreto asfáltico que se emplean en vías de alto y bajo tráfico, autopistas, aeropuertos, plataformas y parqueaderos entre otros.

Su principal función consiste en aumentar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica y de garantizar bajo una carga vertical. La distribución uniforme de los esfuerzos horizontales en una mayor superficie, lo cual se traduce a una vía sin grietas por varios años.

La Geomalla de fibra de vidrio presenta un alto módulo de elasticidad, el cual es mayor al módulo de elasticidad del asfalto. La Geomalla de fibra de vidrio es más eficiente que otros materiales como refuerzo porque el material de modulo más alto es quien toma sobre si las cargas. Es un material fácil de reciclar debido a que la fibra es de origen mineral compuesto por arenas de cuarzo y su punto de fusión esta entre 800 y 850 grados centígrados lo cual permite trabajar en conjunto con cualquier tipo de asfalto.



*Figura 2.6 Proceso de colocado geomalla de fibra de vidrio*

### **2.1.5.1. Proceso de fabricación**

Las Geomallas de Fibra de Vidrio son fabricadas por un proceso de tejido de punto usando una serie de filamentos de fibra de vidrio que forman una estructura de rejilla. Estos filamentos están recubiertos con un polímero que permite que la Geomalla posea una buena adherencia a las capas asfálticas. Cada filamento posee alta resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad para elongaciones bajas. Esta combinación hace a la Geomalla de Fibra de Vidrio más fuerte que el acero libra por libra.

### **2.1.5.2. Funciones y aplicaciones**

Las Geomallas de Fibra de Vidrio son usadas para la rehabilitación de pavimentos asfálticos e hidráulicos. A continuación se relacionan los principales campos de aplicación para la geomalla de Fibra de Vidrio.

- Control de fisuras de reflexión.
- Control de Ahuellamientos.
- Refuerzo continuo en vías de alto tráfico.
- Pistas de aeropuerto.
- Reparaciones localizadas.
- Refuerzo de carpetas sobre losas de hormigón.
- Incrementar la vida útil de los pavimentos asfálticos al aumentar la resistencia a la fatiga de los materiales bituminosos.
- Como estrategia para disminuir los mantenimientos.

### **2.1.6. GEOCOMPUESTOS DE DRENAJE**

Un geocompuesto de drenaje consiste en la combinación de geotextil y geored, combinando las cualidades más sobresalientes de cada material, de tal manera que se resuelva en forma óptima la captación y conducción de fluidos.

La geored es un geosintético especialmente diseñado para la conducción de fluidos, el cual es fabricado con un material resistente a los factores térmicos, químicos y biológicos presentes en el suelo y que podrían llegar a afectar la integridad y desempeño de la estructura. La geored es un sistema romboidal formado por tendones sobrepuestos conectados entre sí, que forman canales de elevada capacidad drenante, útiles en aplicaciones de ingeniería geotécnica, ambiental, hidráulica y de transporte.

El geotextil empleado para la fabricación de geocompuestos de drenaje es el No Tejido punzonado por agujas; ya que dentro del sistema cumple la función de filtro para retener el suelo y dejar pasar el agua que posteriormente será conducido por la geored.

#### **2.1.6.1. Clasificación**

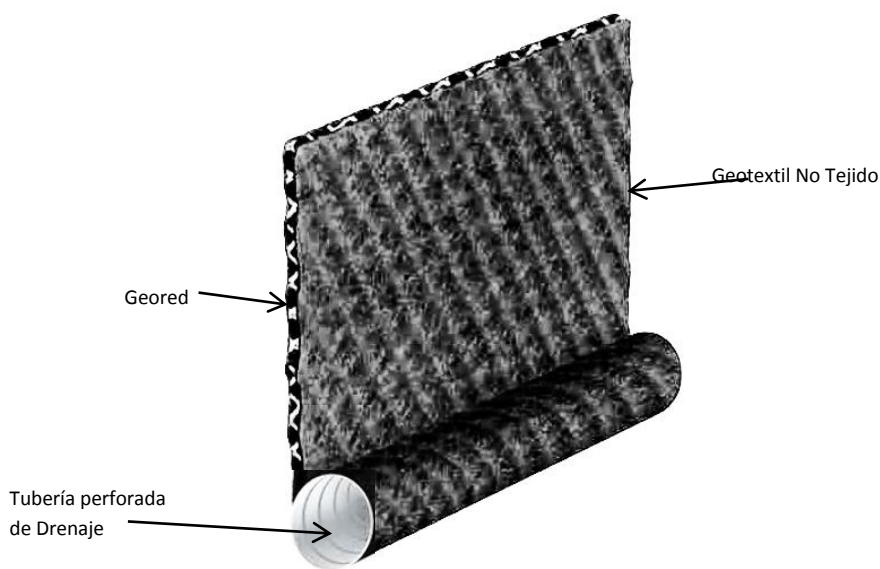
##### Geodren

Este tipo de geocompuesto surgió básicamente como una alternativa a los sistemas tradicionales de drenaje y para brindar un producto que tuviera la capacidad de conducir flujos en mayores cantidades que las que un geotextil puede manejar, debido a la magnitud de algunos proyectos. A continuación se mencionan los tipos de geocompuestos especiales para el control de agua en estructuras o de pavimento.

##### a. Geodren Planar

El Geodren planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación. Este geocompuesto se utiliza principalmente para los sistemas de drenaje en muros de contención, drenaje de terraplenes, drenaje de campos deportivos, captación de lixiviados dentro de rellenos sanitarios y sistemas de drenaje en vías.

## b. Geodren Circular



*Figura 2.7 Geodren Circular.*

El Geodren circular es un geocompuesto que combina las excelentes propiedades hidráulicas de tres elementos que conforman al sistema: geotextil No Tejido punzonado por agujas, geored y tubería circular perforada de drenaje.

Este geocompuesto integra estos elementos para obtener un sistema prefabricado de drenaje que, instalado en zanjas o trincheras, permite captar y evacuar con alta eficiencia los fluidos.

Al igual que el Geodren planar, este sistema de drenaje con tubería se utiliza para muros de contención, rellenos sanitarios, campos deportivos, terraplenes y para los subdrenes en Vías, con la función adicional de evacuación de fluidos por medio de la tubería.

### **2.1.6.2. Proceso de fabricación**

El proceso de fabricación del geocompuesto está elaborado principalmente por un proceso de laminación de dos capas de geotextil No Tejido punzonado por agujas y una capa de geored.

La fabricación de la geored consiste en producir mallas de polietileno de mediana o alta densidad de entramado romboidal, su proceso de fabricación es denominado extrusión integral. Consiste en la extrusión del polímero hacia una matriz consistente en un rodillo contrarrotatorio provisto de ranuras longitudinales en su cara exterior montado concéntricamente al interior de un cilindro hueco con ranuras idénticas en su cara interior. El plástico extruido fluye longitudinalmente a través de las estrías mientras el rodillo y el cilindro giran en sentidos opuestos. Así, cada una de las caras ranuradas forma un plano compuesto por una serie de filetes paralelos de polímero fundido que se unen por contacto formando de este modo un tubo compuesto por el entramado de celdas romboidales.

Este tubo es finalmente estirado dando el tamaño deseado de las celdas y luego cortado longitudinalmente dándole de este modo la forma de una lámina.

El proceso de laminación del geocompuesto garantiza que se genere un ángulo de fricción entre las 3 capas de materiales, indispensable cuando se trabaja en taludes con altas pendientes y asegura que el geocompuesto mantenga su estructura de pantalla drenante durante los severos procesos de instalación.

Es posible fabricar el geocompuesto de drenaje con un número mayor de redes si el caudal de diseño a transportar es mayor a la capacidad de transmisividad de la red con la finalidad de conducir por medio de la pantalla drenante, los líquidos o gases hacia el sistema de evacuación.

### **2.1.6.3. Funciones y aplicaciones**

A continuación se enuncian algunas de las principales funciones realizadas por los geocompuestos de drenaje, los cuales funcionan como sistemas de drenaje en estructuras de contención, en vías, entre otras.

- Como drenaje en los espaldones de los muros de contención.
- Como drenaje debajo de las geomembranas en presas y canales.
- Como sistema de subdrenaje de campos deportivos.
- Como sistema de subdrenaje debajo de la fundación de edificaciones.

- Como sistema de subdrenaje en carreteras y pistas de aterrizaje.
- Como sistema de subdrenaje debajo de terraplenes.
- En rellenos sanitarios como sistema de evacuación de gases y lixiviados.
- Sistemas de subdrenaje en sótanos.
- Sistema de drenaje de aguas de infiltración en muros de contención.
- Sistema de subdrenaje en cimentaciones.

### **2.1.7. GEOMEMBRANAS**

La necesidad de reducir el flujo de agua a través de un medio permeable ha sido resuelta en forma tradicional empleando materiales de menor permeabilidad como concreto o suelos finos compactados.

Es conveniente hacer énfasis en que todos los materiales tienen permeabilidad, y que se distinguen dos tipos: la primaria, que corresponde a la del flujo a través de un medio homogéneo y la secundaria que ocurre a través de discontinuidades.

En años recientes, han surgido productos a base de asfaltos o plásticos, de muy baja permeabilidad que se usan como recubrimientos y barreras para el control del flujo de agua.

El término recubrimiento es aplicado cuando se utilizan membranas como interfase entre dos suelos o como revestimiento superficial; el término barrera se emplea cuando las membranas se usan en el interior de una masa de tierra. Para esta función se ha venido instalando membranas hechas de polietileno de alta densidad, este es un material que por su resistencia a la acción química, se puede calificar como el más indicado en aplicaciones de impermeabilización, alcanzando mayor durabilidad que otros polímeros cuando se encuentran expuestos a condiciones ambientales y al ataque químico.

La principal característica su baja permeabilidad con valores de  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  cm/s.

Las geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para

controlar la migración de fluidos. Las geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material.



*Figura 2.8 Colocado Geomembranas.*

Las geomembranas de polietileno de alta densidad tienen las siguientes características:

- Alta durabilidad
- Resistentes a la mayoría de los líquidos peligrosos - Alta resistencia química
- Resistentes a la radiación ultravioleta
- Económicas

#### **2.1.7.1. Clasificación**

Igualmente existen membranas con características técnicas especiales; por ejemplo geomembranas de polietileno de alta flexibilidad para el recubrimiento de túneles; de

geomembranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a impermeabilizar tienen pendientes importantes; de geomembranas con aditivos especiales para retardar la combustión en aplicaciones donde se requieran materiales de construcción con flamabilidad controlada.

#### **2.1.7.2. Proceso de fabricación**

El proceso de fabricación consiste en la producción de rollos de láminas de espesores que usualmente fluctúan entre 0.50 mm (20 mil) y 3.00 mm (120 mil) y cuyas dimensiones están comprendidas alrededor de los siete metros de ancho y una longitud tal que el peso del rollo, por motivos prácticos, no exceda de dos toneladas.

La fabricación de las láminas es llevada a cabo por la extrusión conjunta del polímero puro más una dosis controlada de polímero con contenido de negro de humo y aditivos, compuestos por antioxidantes y lubricantes que garantizan una larga duración; incluso en condiciones de exposición a la intemperie.

Posteriormente, la mezcla pasa por el proceso de laminación, a continuación se mencionan los más comunes:

##### **a. Fabricación por extrusión plana**

El proceso de fabricación por extrusión plana, consiste básicamente en el paso forzado de la resina extruida entre dos barras de bordes paralelos, cuya separación da el espesor de la lámina.

##### **b. Fabricación por soplado**

Este proceso consiste en la obtención de la lámina por medio de la extrusión de la resina entre las paredes de dos anillos concéntricos. De este modo resulta un manto cilíndrico de polietileno en el cual, el espesor de la lámina es controlado indirectamente, a través del caudal extruido y de la velocidad de enrollado. Esta manga es cortada longitudinalmente, obteniéndose así una lámina plana de ancho igual al perímetro del manto cilíndrico.

La lamina básica descrita anteriormente puede ser sometida a procesos posteriores o simultáneos a su fabricación para otorgar características especiales a una o ambas superficies de la lámina.

Algunos ejemplos son el proceso de texturización de las superficies, con el fin de obtener láminas con un mayor coeficiente de fricción.

### **2.1.7.3. Funciones y aplicaciones**

Los principales campos de aplicación, están relacionados con obras para la protección del medio ambiente, rellenos sanitarios, piscinas para tratamiento de lodos, lagunas de oxidación, recubrimiento de canales, minería, acuicultura y recubrimiento de tanques, sin dejar a un lado aplicaciones en el campo de la geotecnia y la hidráulica.

- Recubrimientos para agua potable.
- Recubrimientos para reserva de agua.
- Recubrimientos para desperdicios líquidos.
- Recubrimiento para material radioactivo o desperdicios líquidos peligrosos.
- Recubrimiento para tanques de almacenamiento bajo tierra.
- Recubrimiento para espejos solares.
- Recubrimiento para canales de conducción de aguas.
- Recubrimiento para canales de conducción de desechos líquidos.
- Recubrimiento para material sólido, material de relleno y apilamiento de basuras.
- Recubrimiento para evacuación de lixiviados.
- Capas y cubierta para materiales de relleno y desperdicios sólidos.
- Recubrimiento para muros verticales: Sencillos o dobles con detección de fugas.
- Control de filtración en presas de tierra.
- Recubrimientos impermeables dentro de túneles.
- Para impermeabilizar la cara de tierra en presas de roca.
- Para impermeabilizar fachadas en mampostería en presas.

- Como control de filtración en reservorios flotantes.
- Como cubierta en reservorios flotantes para control de filtración.
- Como barrera para los olores en rellenos.
- Como barrera para vapores debajo de edificios.
- Para control de suelos expansivos.
- Para control de suelos susceptibles a congelamiento.
- Para prevenir infiltración de agua en áreas sensitivas.
- Para conducción de agua por senderos elegidos.
- Bajo autopistas prevenir polución y recoger derramamiento de líquidos peligrosos.
- Para actuar como estructura de confinamiento.
- Para ayudar a establecer uniformidad en la compresibilidad subsuperficial.
- Como recubrimiento impermeable bajo el asfalto.
- Para corregir perdidas por filtración en tanques ya existentes
- Como formas flexibles donde no se puede permitir perdida de material.
- Como encapsulamiento de arcillas expansivas.
- 

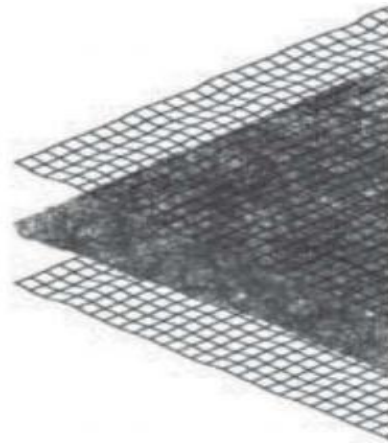
#### **2.1.8. MANTOS PARA CONTROL DE EROSIÓN**

Son esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantizan la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación.

El tipo de manto a utilizar en cada proyecto dependerá de: clima, precipitación, geometría del talud (Longitud, pendiente), tipo de suelo (caracterización geotécnica, contenido químico, biológico, acidez del suelo).



*Figura 2.9 Mantos control erosivo (Antes- después).*



*Figura 2.10 Estructura del Manto permanente.*

### **2.1.8.1 Clasificación**

Estos mantos se dividen en dos grandes grupos:

#### **a. Temporales**

Este tipo de mantos se utilizan para aplicaciones donde la vegetación natural (por si sola) provee suficiente protección contra la erosión. Su durabilidad o longevidad funcional

comprende entre 1 a 48 meses, la cual se refleja en la biodegradación o foto degradación del manto.

Al final de la vida útil del manto se espera que la vegetación se encuentre totalmente establecida y pueda resistir por sí sola los eventos hidrológicos y climáticos que generan erosión en el suelo.

Dentro de esta clasificación se encuentran por ejemplo: el Agromanto y el Ecomatrix.

El Agromanto es un no tejido de fibras de fique y/o fique-coco, dispuestas entre una o dos mallas del mismo material natural o de polipropileno. Se destaca por su excelente capacidad de resistir los agentes erosivos mientras se biodegrada, integrándose finalmente al suelo. Se recomienda su uso y aplicación en taludes máximo de 45 grados.

El Ecomatrix es una malla de polipropileno de apariencia natural, color verde, cuya función es proteger la superficie del suelo de la erosión producida por eventos naturales como lluvias y vientos. Al mismo tiempo, ofrece sombra parcial y una temperatura adecuada para favorecer el desarrollo de la vegetación. Se recomienda su uso y aplicación en taludes máximo de 45 grados.

## **b. Permanentes**

Son mantos conformados por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural del suelo. Este tipo de mantos se instalan donde la vegetación natural, por sí sola, no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias para proteger la vegetación y reforzar el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio. Su durabilidad o longevidad funcional va desde los 48 meses hasta los 50 años, aproximadamente. Su forma 3D y su fibra única X3 crea una matriz gruesa de vados que atrapan la semilla, el suelo y el agua para un crecimiento más rápido y más denso de la vegetación, proporcionando un esfuerzo adicional que dobla la capacidad natural.

Dentro de esta clasificación se encuentran por ejemplo los TRM.

El TRM es un manto compuesto por fibras sintéticas, no degradables, filamentos, mallas, procesados en unas matrices permanentes, tridimensionales, estabilizadas con UV e inertes a los químicos.

#### **2.1.8.2 Funciones y aplicaciones**

Las principales aplicaciones para los diferentes tipos de mantos son:

- Protección de Taludes. El uso de mantos en taludes genera una protección y un refuerzo adecuado del suelo, dependiendo de las características geométricas de los taludes a proteger, generando un buen establecimiento de la vegetación.
- Revestimiento de Canales. En lugares donde se esperan altas velocidades de agua y esfuerzos cortantes, el uso de mantos permanentes genera un sistema de revestimiento hidráulico funcional, ambientalmente superior, debido a que retiene sedimentos, permite la recarga de acuíferos y disminuye la escorrentía.

#### **2.1.9. NEOWEB· SISTEMA DE CONFINAMIENTO CELULAR**

Neoweb; Sistema de confinamiento con celdas, hechas a partir de un material único.

Esta nueva generación de Geosintéticos ofrece estabilidad dimensional hasta por 75 años y rendimiento ajustado a las necesidades presentes de la infraestructura.



*Figura 2.11 Esquema Colocado Sistema de confinamiento con celdas.*

Neoloy; Hace al sistema de confinamiento celular rígido, flexible y durable. En particular, las aleaciones patentadas del sistema Neoweb permiten garantizar la estabilidad dimensional a largo plazo a:

- a) creep
- b) fatiga
- c) fisuras
- d) oxidación
- e) temperaturas extremas
- f) exposiciones a rayos UV

Además, Neoweb es resistente a altas temperaturas, a la intemperie y a la acción del agua, que puede afectar al concreto hidráulico, al acero y a las soluciones convencionales de madera. Las características y el desempeño del Neoloy han sido validadas por TRI (Texas Research International), división de Geosintéticos.

La durabilidad y estabilidad dimensional son factores críticos para mantener el desempeño desde el punto de vista de ingeniería a largo plazo de la estructura de pavimento. Neoweb como material de construcción esta específicamente diseñado para mantener la estabilidad dimensional, geometría y desempeño ingenieril a largo plazo.

### **2.1.9.1 Funciones y aplicaciones**

Sus principales campos de aplicación son en: Estabilización de subrasantes, refuerzo de estructuras de pavimento, aplicaciones en estructuras de contención y en control de erosión.

En la estabilización de subrasantes, permite generar plataformas de trabajo, las cuales tradicionalmente se han conseguido con "rajón", que ahora puede ser conseguido de forma más eficiente y con un menor costo empleando Neoweb, la estabilización de la subrasante se logra gracias a la redistribución lateral de los esfuerzos y al "efecto viga" logrando transmitir una menor carga neta y directa al suelo de fundación.

En el refuerzo de estructuras de pavimento, principalmente la Neoweb se emplea en el refuerzo de las capas granulares, ya que gracias al confinamiento de los mismos materiales se incrementan los módulos elásticos permitiendo el rediseño de las estructuras con menores espesores granulares y de concreto asfáltico.

En las estructuras de contención, cuando se utiliza Neoweb se pueden diseñar y construir muros mecánicamente estabilizados más esbeltos y con alturas mayores a los que se realizan con los Geosintéticos tradicionales (geotextiles, geomallas. entre otros). Sin embargo, también se puede utilizar como complemento o fachada para muros en suelo reforzado con geotextil y/o geomalla.

Neoweb es ideal en aplicaciones de control de erosión en taludes, canales y márgenes de ríos. Por su configuración permite obtener revestimientos vegetados, en material granular, en grava y/o en concreto. Las características del material de llenado dependerán de las condiciones de agresividad hidráulica o erosiva del sitio de instalación. En el caso que el acabado sea en concreto, la Neoweb permite un llenado más eficiente sin necesidad de uso de formaletas ni acero de refuerzo. Neoweb trabaja conjuntamente con las Geomembranas para crear sistemas totalmente impermeables y resistentes por ejemplo en canales, reservorios, rellenos sanitarios, lagunas, entre otros.

## **2.2. EROSIÓN DE SUELO:**

### **2.2.1. Conceptos Generales.**

Podemos definir la erosión el proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glacial, el viento o la acción de los seres vivos.

La erosión se refiere al transporte de granos y no a la disgregación de las rocas, por tanto, es distinta a la meteorización (que se refiere a la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos)

El material erosionado puede estar conformado por:

Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.

La erosión es uno de los principales actores del ciclo geográfico, el cual consiste en todos los cambios sufridos por el relieve de una región desde que se eleva sobre el nivel del mar hasta que su relieve queda reducido al nivel del mar por la acción de los agentes del modelado terrestre.

Los suelos están sometidos a procesos de erosión constante, provocados en especial por efectos de la lluvia (Erosión Hídrica) y el viento (Erosión Eólica), como consecuencia de socavaciones, transporte y deposición del material.

## **2.2.1. Tipos de erosión:**

### **2.2.1.1. Por origen:**

#### **a: Naturales:**

- **Clima**
- **Relieve**
- **Vegetación**
- **Suelos**

#### **b: Antrópicas:**

- **Uso y Manejo**
- **Tenencia de la Tierra: Propietario, Medianero, Arrendatario.**
- **Educación**
- **Falta De Consulta Técnica**

### **2.2.1.2- Por agentes causantes:**

#### **2.2.1.2.1: Hídrica (por agua)**

#### **2.2.1.2.2: Eólica (por viento)**

##### **2.2.1.2.1. Erosión Hídrica**

La erosión hídrica comprende la degradación generada por las *gotas de lluvia* (salpicadura), la *percolación* (penetración lenta del agua de lluvia en el suelo) y al *escurrimiento superficial* de las aguas. Este último puede presentarse de forma precanalizada (erosión laminar o de manto), ligeramente canalizada (canalículos o surcos) o fuertemente canalizada (cárcavas o zanjas).

Se reconocen también otros tipos de erosión hídrica, de carácter subsuperficial, como es el caso de túneles, tuberías y cárcavas subterráneas.

### a.- Tipos de Erosión hídrica en Suelo

**\*i.- Laminar:** Es una erosión superficial. Después de una lluvia es posible que se pierda una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida, al principio casi imperceptible sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.



*Figura 2.12 Erosión laminar*

**\*ii.- Surcos:** Es fácilmente perceptible debido a la formación de surcos irregulares favoreciendo la remoción de la parte superficial del suelo. Este tipo de erosión puede ser controlada. Caso contrario el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava.



*Figura 2.13 Erosión en surcos*

**\*iii.- Zanjas o cárcavas:** Consiste en pérdidas de grandes masas de suelo formando surcos de gran profundidad y largo trayendo como consecuencia:

- Pérdida de suelo.
- Cambio en el régimen térmico.
- Pérdida en la calidad del relieve.
- Pérdida en la capacidad de reservar agua.

El proceso se ve favorecido en sitios frágiles por presión de pastoreo y malas prácticas de manejo.



*Figura 2.14 Erosión en zanjas o cárcavas*

**b.- La erosión hídrica se debe a:**

- \* Impacto de la gota de lluvia
- \* Percolación.
- \* Deslizamiento.

**c.- Erosión por impacto de gota de lluvia**

La gota de lluvia por acción de su impacto sobre la superficie del suelo desnudo, actúa compactando y destruyendo su estructura, haciendo saltar partículas a una cierta altura las cuales son arrastradas por el flujo de agua.

El mecanismo que existe para evitar ese efecto es la presencia de biomasa vegetal, la cual actúa como una cubierta protectora del suelo. La cubierta vegetal ejerce su acción a dos niveles: uno por encima del suelo y otro por debajo. En el primero, existe un efecto de intercepción de las gotas de lluvia y en el segundo interviene directamente el enraizamiento.



*Figura 2.15 Impacto de una gota sobre suelo desnudo*

**d.- La erosión es función de:**

**i- la erosividad:** que es la capacidad potencial de la lluvia para erosionar.

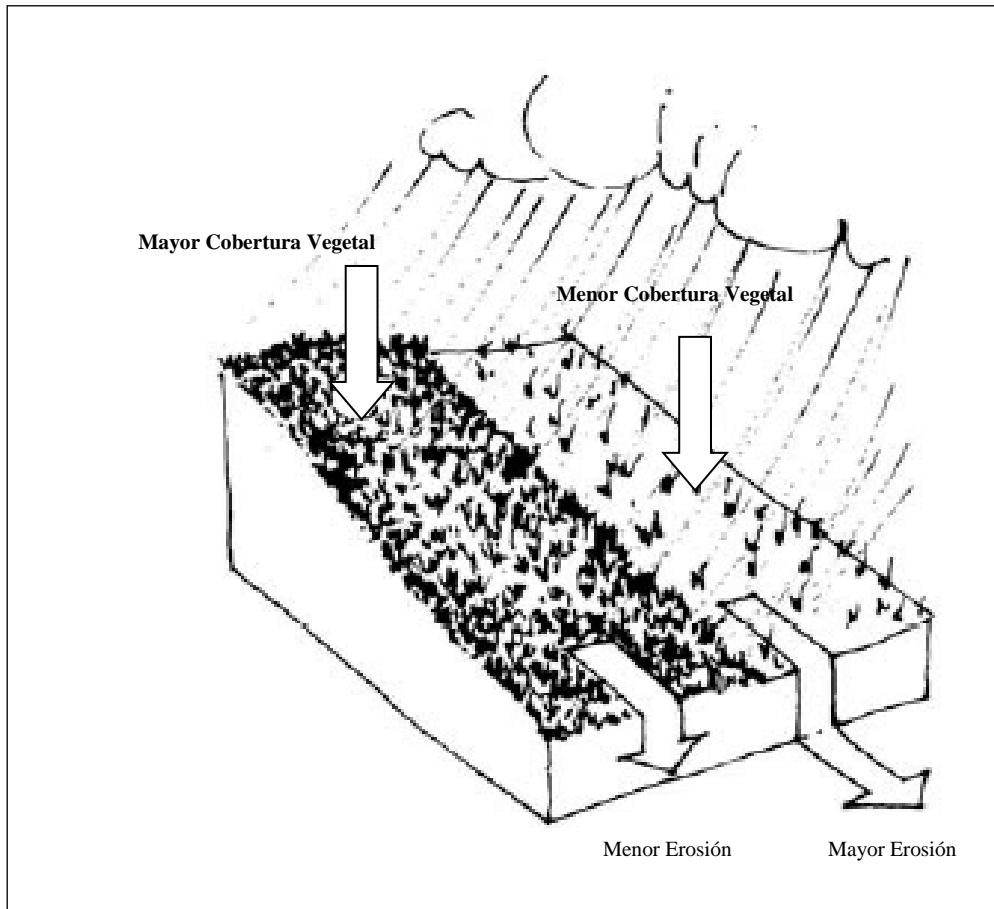
**ii- la erodabilidad:** que es la vulnerabilidad del suelo frente a la erosión. Se consideran las características del suelo y el tratamiento que se le dé. Depende de la textura, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración.

**e.- De la lluvia debemos considerar:**

- Cantidad de lluvia
- Intensidad
- Tamaño de gota

**f.- Del suelo debemos considerar:**

- Cobertura vegetal
- Condiciones de superficie



*Figura 2.16 efecto de lluvias en suelos desnudos*

Sólo el hombre rompe el equilibrio de la naturaleza, y la agricultura, actividad imprescindible para la supervivencia humana provoca modificaciones en las relaciones suelo-agua, comprometiendo cada vez más el equilibrio ambiental.

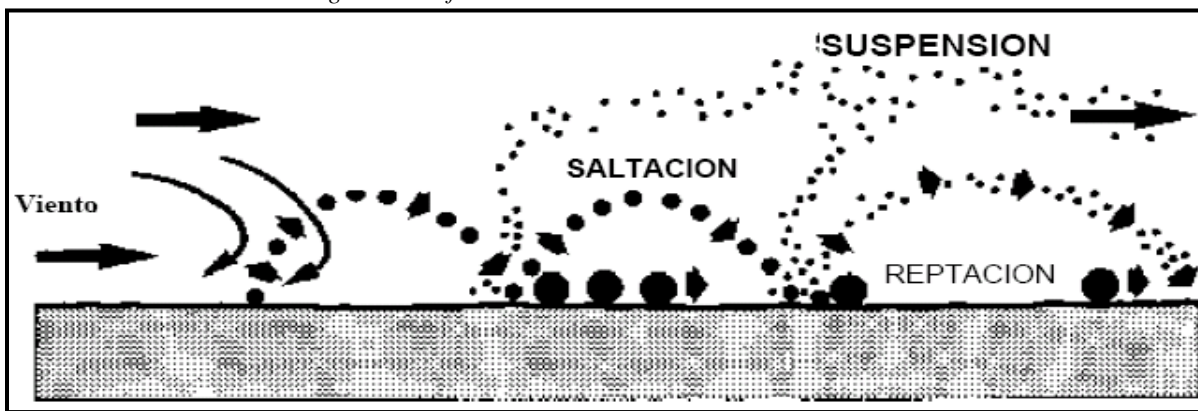
### 2.2.1.2.2. Erosión Eólica

La erosión eólica es el proceso de disgregación, remoción y transporte de las partículas de suelo por la acción del viento. A diferencia de la erosión hídrica, que necesita que el terreno tenga cierta pendiente y lluvias de intensidades considerables, ésta se produce en superficies secas de baja pendiente.

La erosión eólica está constituida por una serie de procesos que experimentan las partículas del suelo, a través de un movimiento inicial, transporte en suspensión (movimiento vertical), reptación superficial (movimiento horizontal) y saltación (movimiento vertical y horizontal, afectados por la acción de la gravedad y la resistencia al aire), para continuar luego con el fenómeno de la abrasión, remoción y deposición, que caracterizan a los suelos erosionados de la zona en estudio.

La siguiente figura ilustra muy bien la secuencia originada por transporte de partículas, que dan lugar al efecto de erosión eólica que se produce en el aeropuerto

*Figura 2.17 Efecto del Viento en la Erosión de los Suelos*



*Fuente: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.*

Los suelos aledaños, al perímetro del Aeropuerto Oriel Lea Plaza tendrán que ser intervenidos con manejo conservacionista de suelos, ya que en varios sectores allí se origina la erosión remontante que llega a afectar el área de estudio. Y sin un manejo integral de suelos de la zona, que comprende el Aeropuerto y sus alrededores no es posible avizorar un futuro con las mejores expectativas por todos los antecedentes contemplados.

## **-III- ESCENARIO GENERAL Y EVALUACIÓN DE OBRAS EXISTENTES.**

### **3.1. ESCENARIO GENERAL.**

El Aeropuerto Internacional Cap. Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija, fue construido en una zona donde la erosión fue y es actualmente uno de los problemas permanentes.

La superficie total del área de estudio cubre cerca de 70 has., donde los suelos son de origen fluviolacustre con texturas medias a finas, predominando las finas en los horizontes inferiores.

La vegetación, es típica del valle de Tarija es xerofítica, con predominio de Churquis en el estrato arbóreo, Taquillos en el estrato medio y en el estrato inferior se encuentran abundantes pastos perennes, sobre todo en el área interna de la franja de aterrizaje.

El área de influencia que se encuentra fuera de la malla de seguridad está en gran parte urbanizada y las construcciones avanzan a un ritmo acelerado, lo que indica que a corto plazo el uso agrario será sustituido totalmente por el uso urbano de la tierra.

Es necesario recalcar que durante la construcción de la pista de aterrizaje 13-31, se identificaron tres sectores con quebradas y cárcavas profundas que cruzaban por el eje de pista, de izquierda a derecha, hecho que comprometió la construcción de importantes obras de canalización para evitar que estas cárcavas, pongan en riesgo el movimiento aéreo.

La zona del aeropuerto en general tiene características topográficas ligeramente planas, excepto en los sectores Norte y Noroeste donde existen terrazas a base de cortes en el suelo y rellenos compactados denominados “terraceos”.

En la prolongación Sureste del eje de pista se tiene la presencia de cárcavas bastante profundas, la pendiente predominante del área de estudio sigue un curso de Norte a Sur, con un drenaje natural de las aguas hasta la ubicación del Río Guadalquivir.

Además existen una serie de canales construidos anteriormente y otras obras complementarias que a la fecha no cumplieron con los objetivos trazados y es por eso la necesidad de este estudio.

**Figura 3.1** PLANO DE UBICACIÓN DE ALCANTARILLAS I II III



### 3.2. EVALUACIÓN DE OBRAS EXISTENTES

Las obras construidas en el aeropuerto, para el control de erosión de sus suelos, fueron evaluadas con el fin de determinar el estado actual de su estructura, su nivel de funcionamiento y servicio a mediano y largo plazo.

Se procedió además con la evaluación de las condiciones actuales de los suelos, sus deficiencias y debilidad ante fenómenos provocados por la continua erosión a la que se encuentran sujetos.

#### 3.2.1. Evaluación Del Sistema De Drenaje Transversal A La Pista

Reiterando lo dicho en el capítulo anterior, existen tres alcantarillas transversales a la pista, que conforman el sistema de drenaje principal del aeropuerto, encargadas de llevar las aguas pluviales por debajo de la estructura del pavimento: Alcantarillas I, II y III.

##### a).- Alcantarilla I

Se trata de una alcantarilla de chapa ARMCO de 1.50 metros de diámetro, ubicada en la progresiva 1+190.20 con una longitud de 206.40 metros y una pendiente de 1%, esta alcantarilla se encuentra en normal funcionamiento, sin embargo presenta algunos problemas de oxidación. (Ver Figura 3.1)

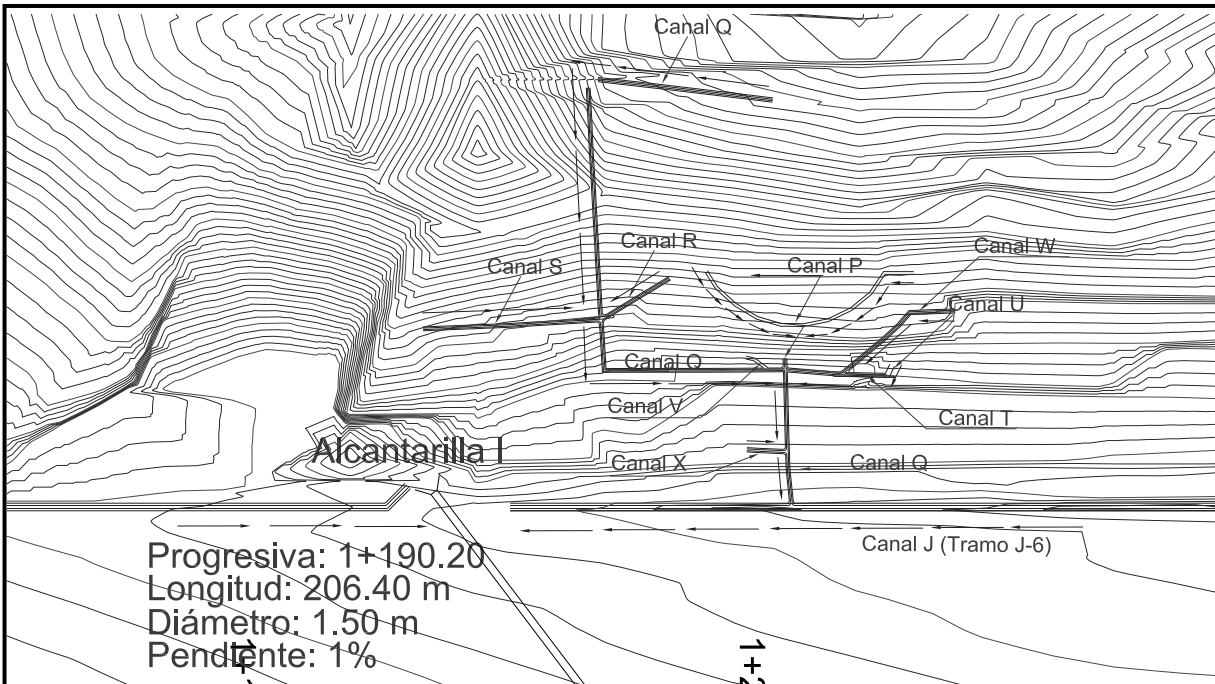
*Figura 3.1 (a) Alcantarilla de chapa ARMCO*



*Estado actual de la alcantarilla N° 1 (con oxidación y sedimentos)*

Esta alcantarilla permite evacuar las aguas de los sectores ubicados en el margen izquierdo entre las progresivas 0+600 → 1+400 (Ver Figura 3.2)

**Figura 3.2** Ubicación de alcantarilla N° 1



**Fuente:** Elaboración Propia.

Luego de los 206.40 m de chapa, se tiene un canal zampeado cuyo cauce desaparece aportando sus aguas a la quebrada SILS. Este canal además de conducir las aguas provenientes del sector Norte (margen izquierdo), lleva las aguas del sector Sur (margen derecho) entre las progresivas 1+200 → 1+800.

Lamentablemente, se encuentra obstruido por sedimentos y vegetación en la mayor parte de su recorrido, ocasionando inundaciones parciales en el mismo canal, que ocasionan el rebalse consecuente y el escurrimiento desordenado del agua que socava y desestabiliza el suelo.

### **b).- Alcantarilla II**

Alcantarilla de chapa ARMCO con 1.90 m de diámetro ubicada en la progresiva 1+901, longitud igual a 230.80 m y pendiente de 1%, se encuentra en normal funcionamiento aunque presenta algunos problemas de oxidación al igual que la primera alcantarilla.

Encargada de conducir las aguas servidas, provenientes de alcantarillados sanitarios y la producción de vino artesanal del sector Norte del aeropuerto, a través de pequeñas alcantarillas que se conectan subterráneas, al canal J (Ver Figura 3.3).

Esto es producto de los asentamientos humanos conformados, que evacuan dichas aguas hacia el aeropuerto cruzando la malla y el camino perimetral, a través de conexiones clandestinas.

Aunque su principal función es recolectar las aguas de lluvia del margen izquierdo, comprendido entre las progresivas 1+400 → 2+073, recibíéndolas del canal J, en sus tramos J-4 y J-5.

**Figura 3.3:** (a) Canalización de aguas servidas (b) Conexión subterránea de canales.



**Fuente:** Observación en Campo.

La alcantarilla II podría considerarse parte de la canalización de la quebrada SILS, la cual cuenta con un tramo rectangular revestido con muros de hormigón ciclópeo y base zampeada de piedra, que conduce las aguas hacia la boca de la alcantarilla de chapa ARMCO de 1.90 m de diámetro, para luego ser evacuadas sobre la misma quebrada, en un nuevo tramo rectangular con muros de hormigón ciclópeo y base zampeada de piedra.

Este canal es el encargado de conducir las aguas de Norte a Sur, fuera de los límites del aeropuerto (Ver Figura 3.4). Los canales de hormigón ciclópeo se encuentran en buen estado estructural, sin embargo la falta de mantenimiento y limpieza ha ocasionado que funcionen a un 30 % de su capacidad hidráulica. (Ver Figura 3.4) la mayor parte del sistema de evacuación de esta quebrada esta por mejorar en los taludes de salida ya que estos necesitan estabilizarse en las quebradas denominadas SAC-I y SAC-II

**Figura3.4:** (a) Canalización quebrada SILS (Sector Norte) (b) Canalización quebrada SILS (Sector Sur)



**Figura 3.5** Gavión de protección salida quebrada SILS (Sector Sur)



**Fuente:** Observación en Campo.

### **c).- Alcantarilla III**

Se trata de una alcantarilla tipo bóveda de Hormigón Armado, ubicada en la progresiva 2+921.20, con una longitud de 195 m y pendiente de 0.5 %, sin deterioros de magnitud que impidan su normal funcionamiento.

Esta alcantarilla es parte de la canalización de la quebrada TORRECILLAS, la cual lleva en su cauce, aguas de alcantarillado sanitario proveniente de los asentamientos humanos del sector, en el ingreso a la zona aeroportuaria se suman las aguas de escorrentía superficial de todo el Terraceo III a través del canal J.

En su tramo final, esta alcantarilla recibe las aguas del margen derecho de la pista, conducidas por el canal E, en sus tramos E – 1 y E – 2, con un conducto de caída o cámara disipadora de energía (Ver Figura 3.6), para echar las aguas con velocidad reducida, fuera de la zona aeroportuaria, contribuyendo al control de erosión del sector.

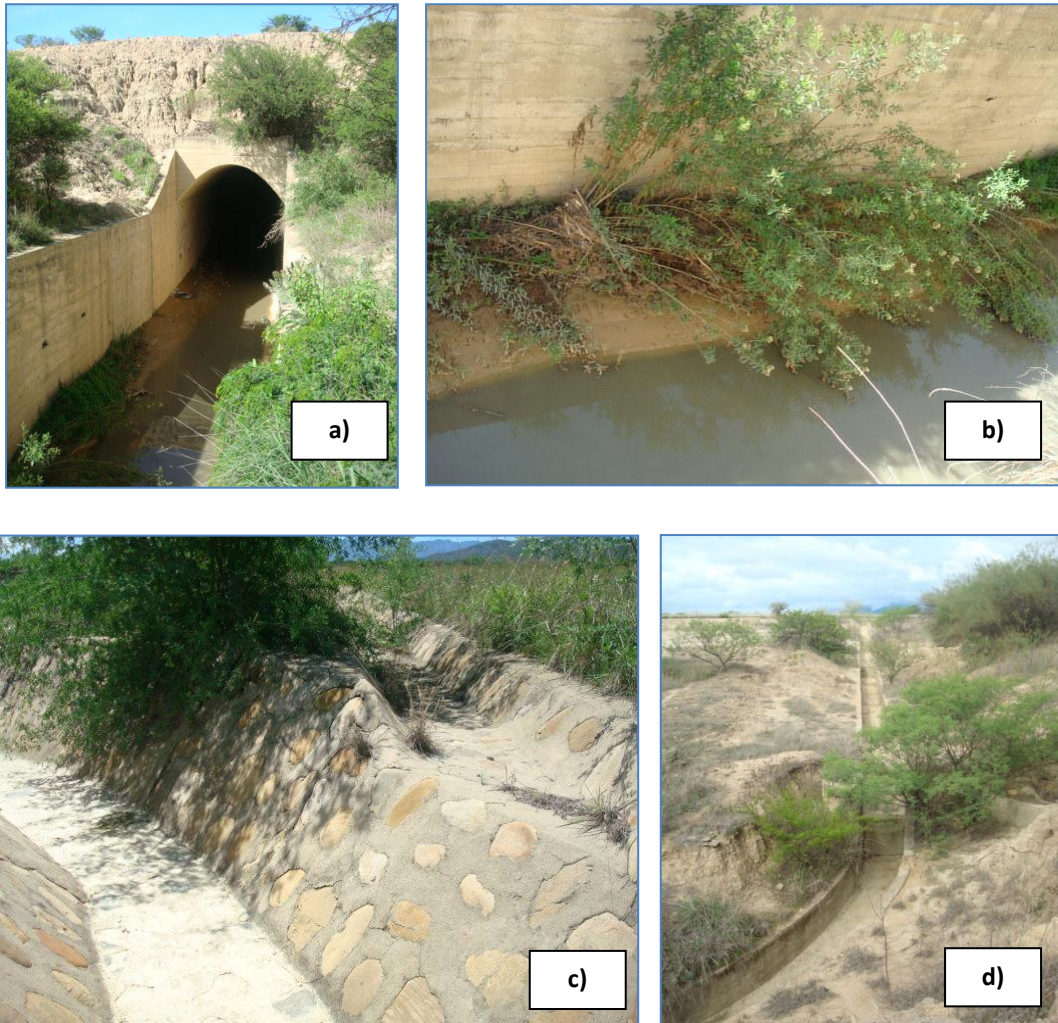
***Figura 3.6: Conducto de caída del canal E***



***Fuente: Observación en Campo***

Las obras de canalización hasta la boca de la alcantarilla, están constituidas en su totalidad por Hormigón Ciclópeo, limpias de sedimentos y en total funcionamiento, el problema radica en algunos sectores donde la erosión ha socavado el suelo de fundación de los canales provocando el colapso de la estructura (Ver Figura 3.7), por consiguiente es necesario refaccionar el canal y reconstruir el suelo de fundación.

**Figura 3.7:** (a,b)Canalización de la quebrada TORRECILLAS(con sedimentos)  
(c,d) canales de aporte quebrada TORRECILLAS



*Fuente: Observación en Campo*

### 3.2.2. Evaluación De Los Terraceos I, II y III.

a).- **Terraceo I:** Este sector no se encuentra totalmente comprometido y degradado por la erosión, sin embargo presenta lugares aislados con constantes deslizamientos por falta de soporte estructural, con una continua formación de cárcavas subterráneas que provocan desmoronamientos que afectan la integridad de los canales encontrados en este terraceo (Ver Figura 3.8). El sector norte del terraceo I viene limitado por el camino perimetral, que

se encuentra a una menor cota de elevación. Las aguas superficiales escurren por el camino a la parte posterior de dicho terracedo, provocando socavaciones, deslizamientos y derrumbes en la zona.

**Figura 3.8:** Desmoronamientos y socavaciones en la zona próxima.



**Fuente:** Observación de Campo

Otro de los aspectos que previenen el desgaste de los suelos por erosión es, sin duda alguna, la cobertura vegetal. La zona cuenta con más del 50% de su superficie total cubierta por distintas variedades de plantas (Ver Figura 3.9)

**Figura 3.9:** Cobertura Vegetal en el sector.



**Fuente:** Observación de Campo

Sin embargo de representar uno de los suelos con menos problemas de erosión, este terracedo tiene evidencias de deslizamientos en tramos específicos, y la escasa cobertura vegetal en el tramo, además de la pérdida de partículas finas de suelo por drenaje superficial del agua.

**b).- Terracedo II:** Este terracedo cuenta con un muro de gaviones construido, a 15 metros del eje del canal J, para brindar soporte a las terrazas e impedir que las partículas desprendidas sean arrastradas y provoquen la formación de cárcavas en su recorrido.

Si bien estos gaviones evitan, de alguna manera, que la erosión avance en la terraza inferior, en las terrazas superiores la degradación del suelo se ha venido incrementando considerablemente debido a la falta de agentes de control (canales, gaviones y cobertura vegetal).

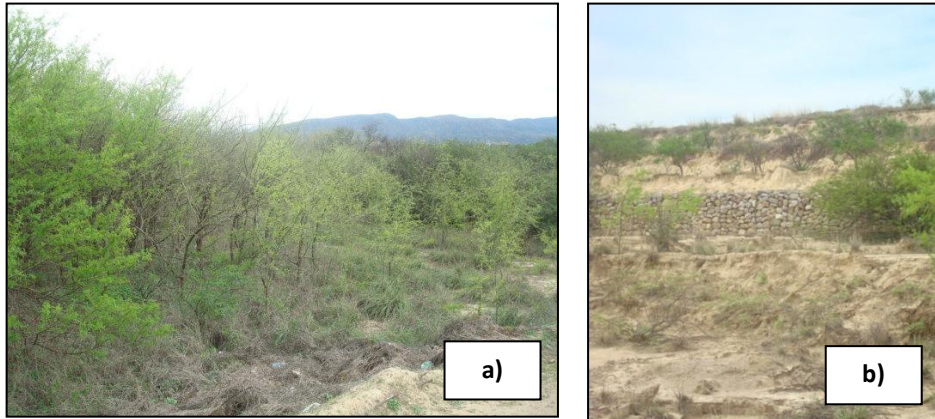
Solo un canal atraviesa este sector, el Canal J (tramos J-3 y J-4), que conduce las aguas hacia las alcantarillas III (Torrecillas) y II (SILS).

*Figura 3.10 Canal J y sus tramos*



Los sectores aledaños (Noroeste de este terracedo) se encuentran con cobertura vegetal bastante densa y la consecuente ausencia de problemas de erosión. (Ver Figura 3.10)

**Figura 3.10** (a) Sector con cobertura vegetal. (Sector Noroeste) (b) Sector con escasa cobertura vegetal



**Fuente:** Observación de Campo

c).- **Terracedo III:** Este terracedo, cuenta con un muro de gaviones a quince metros del eje del canal J, el cual también es el único canal del sector. Sin embargo en su tramo J-1, se encuentra obstruido por sedimentos, esto perjudica de gran manera al sector debido a que las aguas que deberían escurrir libremente de Norte a Sur, no encuentran paso y crean su propio cauce natural, erosionando el suelo y provocando la formación de cárcavas. Su mayor debilidad es la escasa vegetación que presenta. (Ver Figura 3.11)

**Figura 3.11:** (a) Escasa cobertura vegetal en el sector



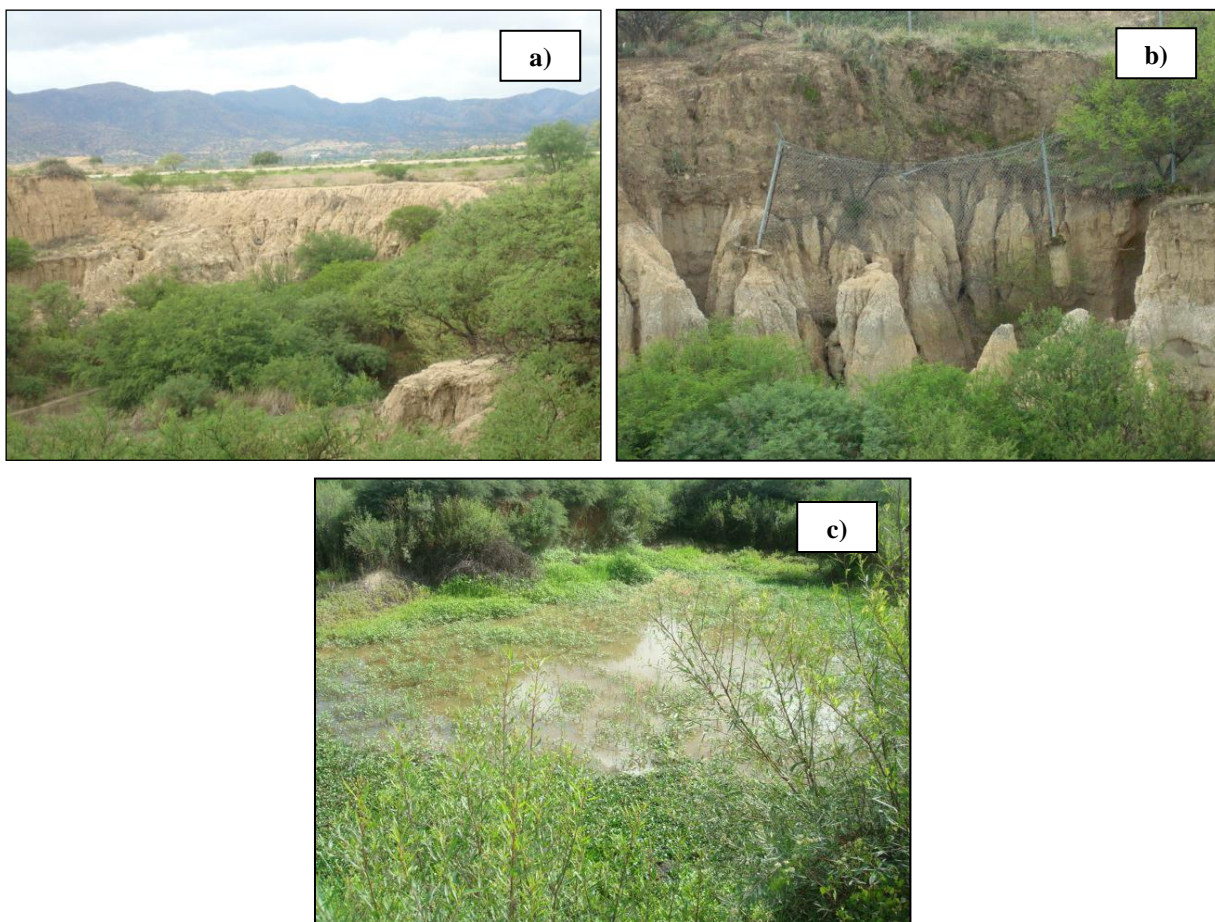
**Fuente:** Observación de Campo

La corta estabilidad del terracedo, con desmoronamientos seguidos en sus tramos más débiles, deja la imperiosa necesidad de efectuar trabajos de mantenimiento inmediato.

### 3.2.3. Sector final de la prolongación del eje de pista

Las figuras muestran las depresiones y cárcavas formadas en este sector además de presentar acumulación de aguas pluviales en atajados naturales, presenta hundimientos considerables, es urgente dar solución a este sector ya que está comprometido incluso el camino perimetral.

**Figura 3.12:** (a) Depresiones (b) Cárcavas Profundas (c) Sector Acumulación de Aguas Pluviales



**Fuente:** Observación de Campo

### 3.2.4. Canales Abiertos Existentes

Con el fin de enriquecer la información existente, se realizó un recorrido por los sectores críticos del aeropuerto, para determinar la existencia y ubicación de los canales,

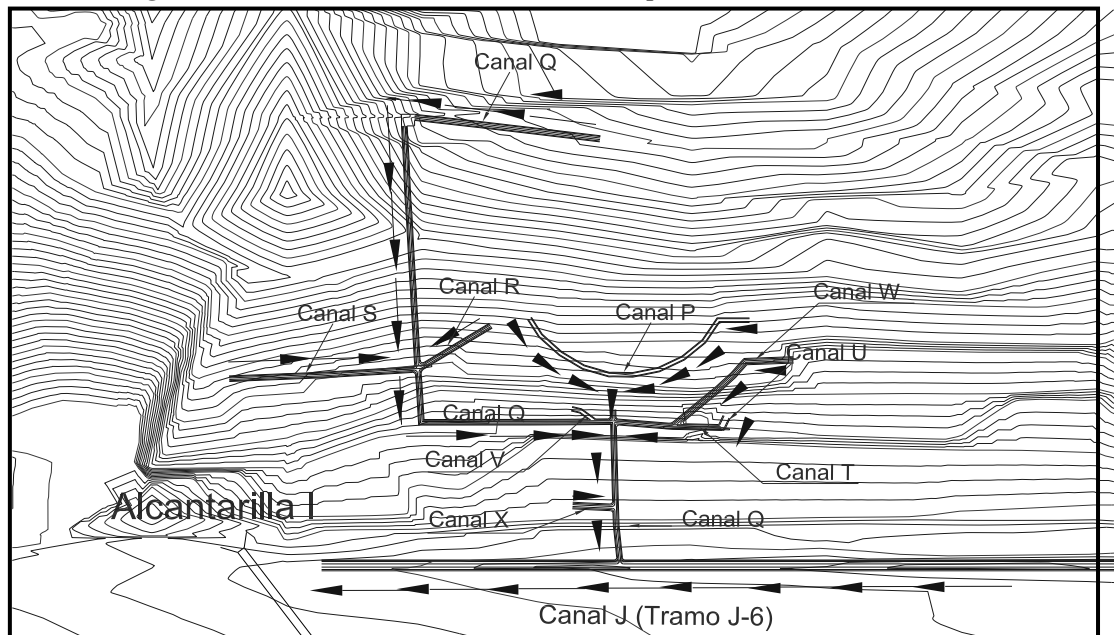
Es evidente que los canales, zampeados o de hormigón ciclópeo, colaboran de gran manera a disminuir los problemas de erosión en sectores que se ven afectados.

Estos sistemas de canales abiertos desembocan sus aguas a las Alcantarillas I, II y III ya antes definidas.

A continuación se indican los canales existentes en cada uno de los sectores críticos:

**a) Sector Margen izquierdo:** En la Figura 3.13 se puede apreciar la ubicación de los canales existentes correspondientes al Terraceo N° 1, cuyas aguas son vertidas a la alcantarilla N° 1 a través del canal J (Tramo J-6).

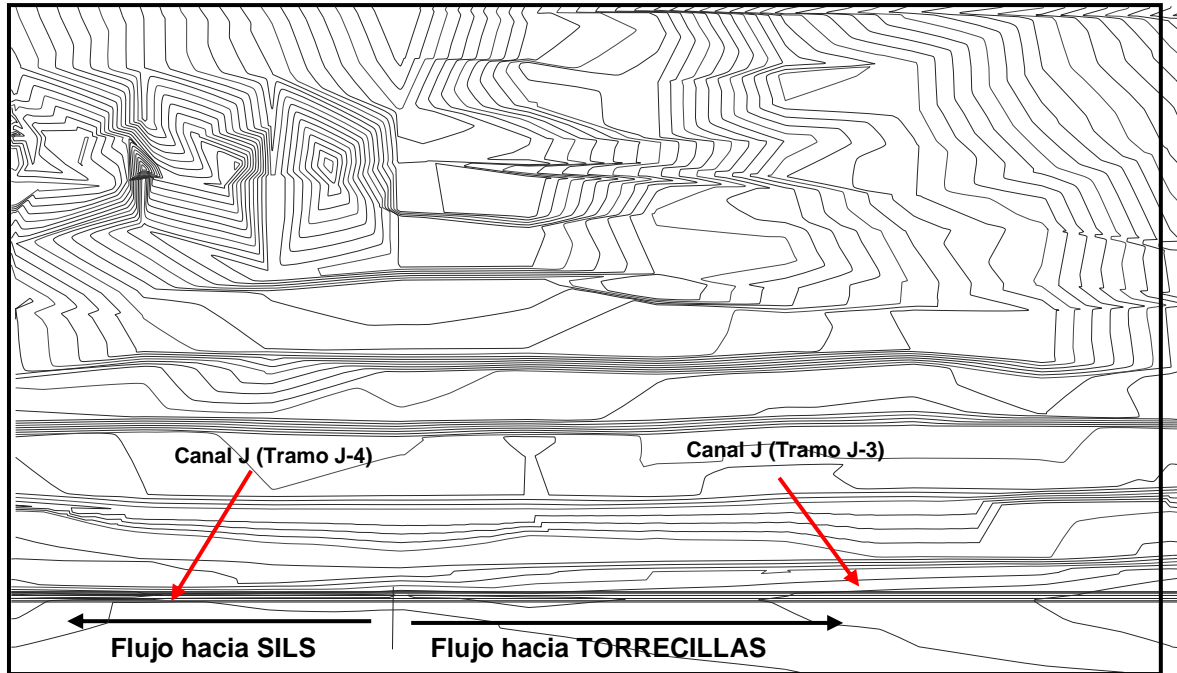
*Figura 3.13 Ubicación de canales correspondientes al Terraceo N°1*



*Fuente: Elaboración Propia*

En el sector del Terraceo N° 2 se tiene el canal J cuyo recorrido es paralelo a la pista y se encuentra desplazado 75m del eje de pista (Ver Figura 3.14).

**Figura 3.14:** Ubicación de canales correspondientes al Terraceo N°2



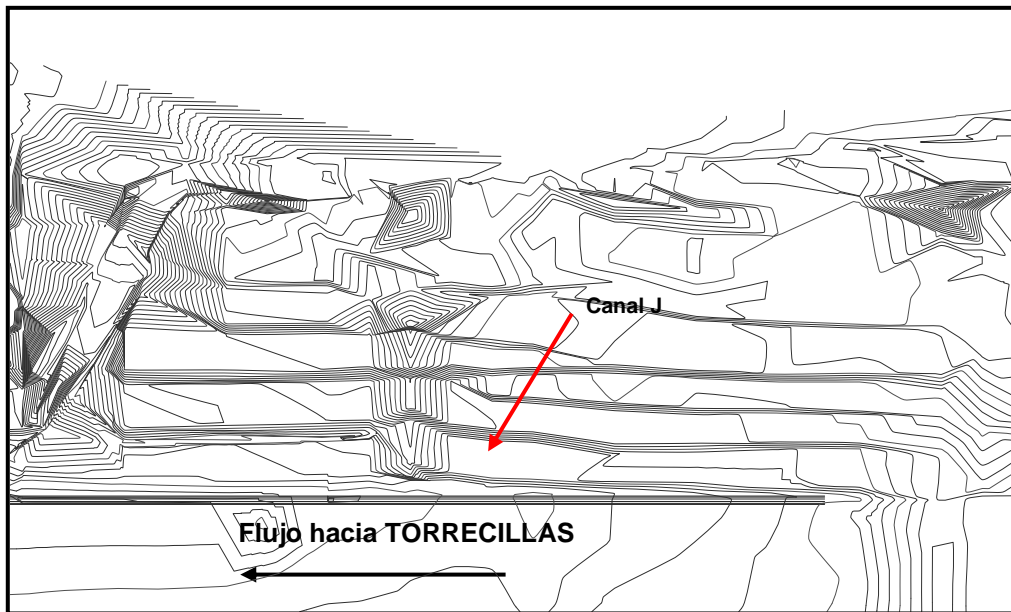
*Fuente: Elaboración Propia.*

El canal J distribuye sus aguas hacia el Oeste y al Este, hacia el Oeste (tramo J-4) a la alcantarilla N° 2 correspondiente a la quebrada SILS, y al Este (tramo J-3) a la alcantarilla N° 3 correspondiente a la quebrada de TORRECILLAS.

Cabe recalcar que el **canal J** es de vital importancia, siendo el único que se encarga de recibir las aguas provenientes del escurrimiento superficial del sector y transportarlas hacia las alcantarillas I, II y III.

El canal J es a la vez el único que atraviesa el sector del Terraceo N°3, transportando las aguas superficiales hacia la alcantarilla III (Torrecillas). (Ver Figura 3.15)

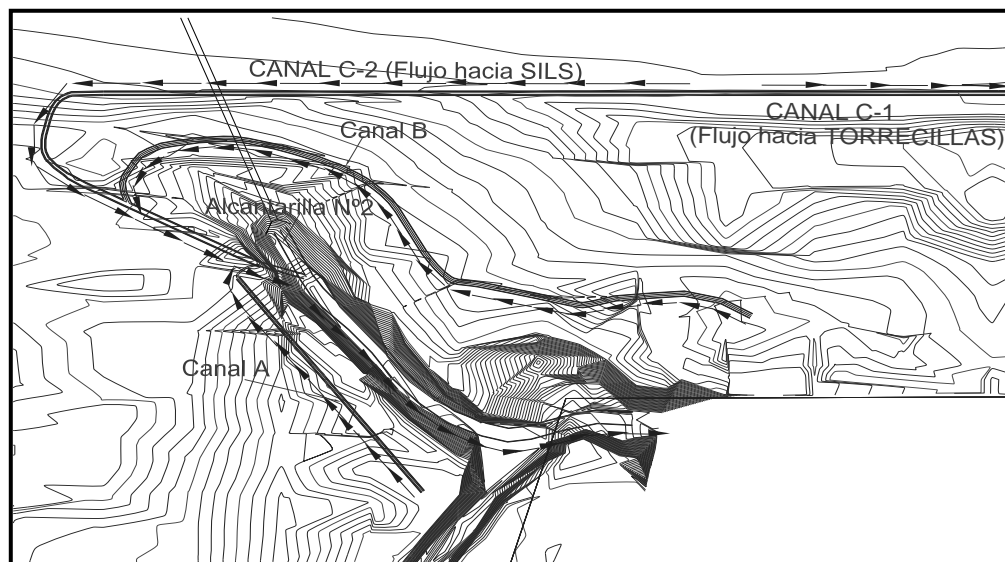
**Figura 3.15:** Ubicación de canales correspondientes al Terraceo N° 3



*Fuente: Elaboración Propia*

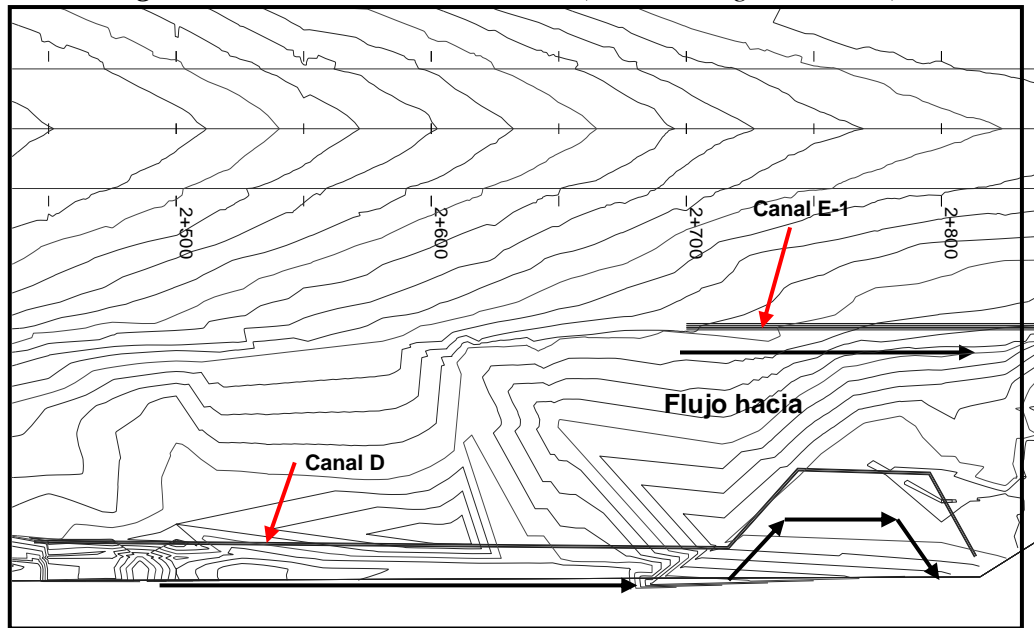
**b) Sector Margen Derecho:** Los canales del margen derecho se encuentran ubicados, en una mayoría, en el sector de la quebrada SILS (Canal A, Canal B, Canal C en sus tramos C-1 y C-2), por otro lado tenemos un par de canales que aportan sus aguas hacia Torrecillas (Canal D y Canal E). (Ver Figura 3.16), y (Ver Figura 3.17)

**Figura 3.16:** Ubicación de canales sector margen derecho (quebrada SILS)



*Fuente: Elaboración Propia*

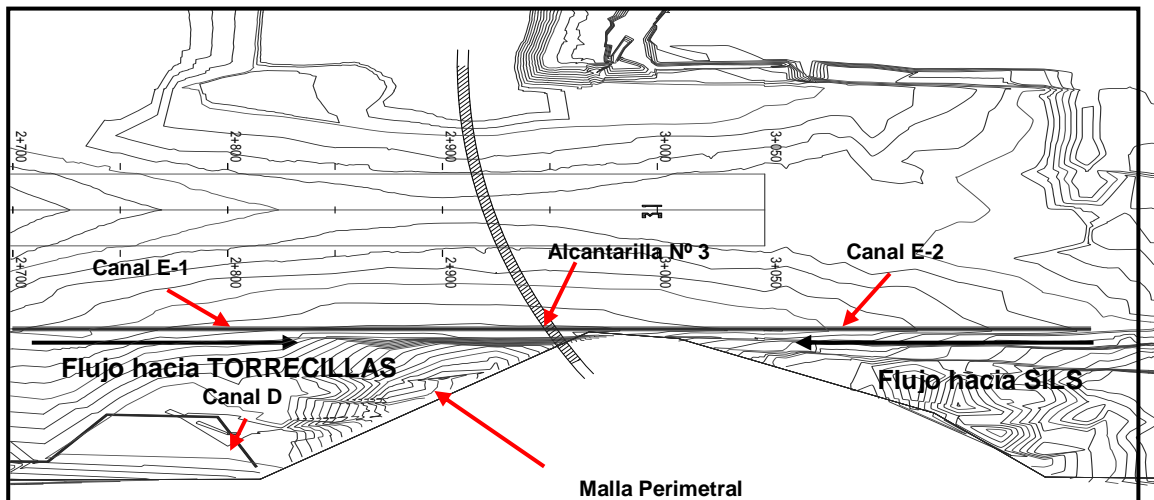
**Figura 3.17: Ubicación del canal D (Sector margen derecho)**



*Fuente: Elaboración Propia*

En este sector también se encuentra ubicado el canal E en sus tramos E-1, con sentido de flujo de Oeste a Este (hacia Torrecillas) y el E-2 con flujo de Este a Oeste (hacia SILS), hablamos de un canal zampeado cuyas aguas son conducidas hacia la Alcantarilla III, que es la correspondiente a la quebrada de Torrecillas. (Ver Fig 3.18)

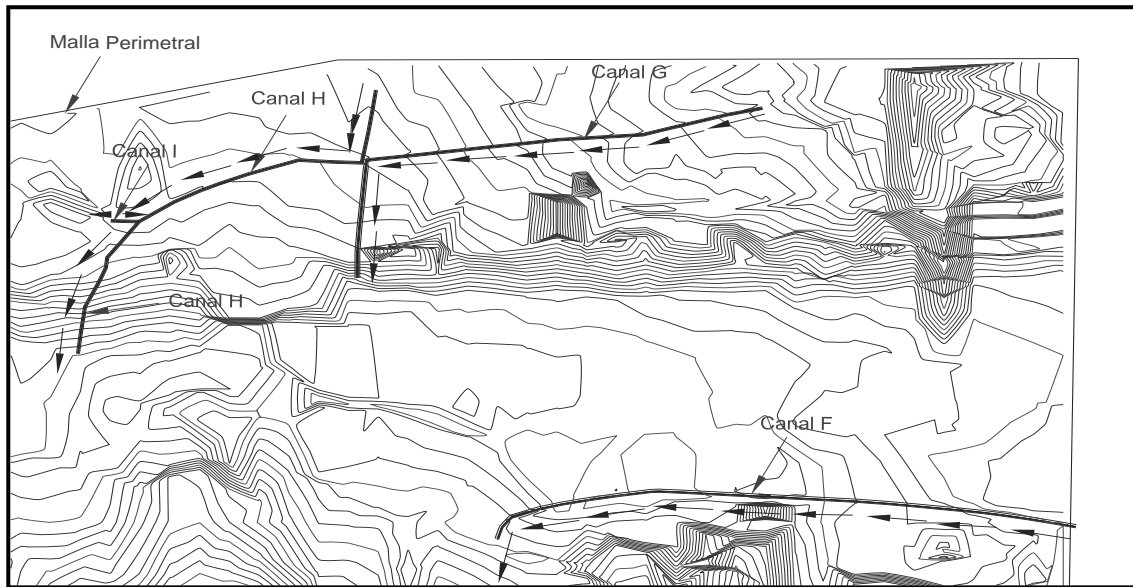
**Figura 3.18: Ubicación canal E-1 y E-2 (sector margen derecho)**



*Fuente: Elaboración Propia*

c) **Sector Final Prolongación Eje de Pista:** En este sector existen cuatro canales zampeados: canal F, canal G, canal H y el Canal I (Ver Figura 3.19), tres de estos canales (G, H, I) forman un pequeño sistema que ayuda a mitigar la erosión en el sector Noreste, pero a la vez ocasiona serios problemas de erosión en sus tramos finales, debido a que sus aguas no son conducidas fuera de la zona aeroportuaria y son arrojadas al mismo suelo natural. De la misma forma, el canal F arroja sus aguas al terreno natural.

**Figura 3.19:** Ubicación de canales sector final prolongación eje de pista



.El camino perimetral, ubicado en este sector, se encuentra en constante peligro de deslizamiento, debido a la formación de un reservorio natural de agua o dique, formado por las depresiones naturales del terreno y el emplazamiento de esta vía.

**Figura 3.20:** socavación al lado del camino perimetral lado sur (final pista)



**Fuente:** Observación de Campo

### 3.3. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE CANALES EXISTENTES

#### 3.3.1. Determinación de Caudales y Velocidades en los Canales

La determinación de los parámetros de caudal y velocidad teóricos de los canales, fue analizada considerando un tirante de agua equivalente al 80% de la altura total de los canales, empleando las siguientes expresiones (*Según Manning*)<sup>3</sup>:

$$Q = \frac{A}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2} \quad [3.1]$$

$$R_H = \frac{A}{P} \quad [3.2]$$

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2} \quad [3.3]$$

- Donde:
- $Q$  = Caudal de diseño [ $m^3/seg$ ].
- $A$  = Área mojada [ $m^2$ ].
- $n$  = Coeficiente de Manning.
- $R_H$  = Radio hidráulico [ $m$ ].
- $S$  = Pendiente [ $m/m$ ].
- $P$  = Perímetro mojado [ $m$ ].

El valor adoptado para el coeficiente de Manning, en el caso general de todos los canales abiertos, fue de  $n = 0.020$ , valor correspondiente a superficies de mamposterías de piedra cementada, según Ven Te Chow. Los tramos de evaluación de los canales están en función al cambio de pendiente de los canales los cuales fueron determinados según el levantamiento topográfico realizado.

<sup>3</sup> Fuente: Ven Te Chow, "Hidráulica de Canales Abiertos", 1998.

A continuación se explica la metodología empleada para el cálculo de la evaluación hidráulica que se empleó para todos los canales” poniendo como ejemplo el canal J (cálculo de todos los canales adjunto en anexos Cap. III)”

*Tabla 3.1 Evaluación hidráulica del canal J*

Canal	Tramo	Sección	Altura Total (m)	Tirante "y" (m)	Base (m)	Talud en grados	Coefficiente de Manning	Pendiente (m/m)	Caudal (m3/seg)	Velocidad (m3/seg)
J - 1	0+000 - 0+060	Trapezoidal	0,40	0,32	0,60	48,59	0,02	0,0026	0,265	0,86
J - 1	0+060 - 0+228.6	Trapezoidal	0,40	0,32	0,60	48,59	0,02	0,0026	0,265	0,86
J - 1	0+228.6 - 0+289.6	Trapezoidal	0,71	0,57	0,60	44,42	0,02	0,0026	0,755	1,14
J - 2	0+289.6 - 0+338.6	Trapezoidal	0,42	0,34	0,50	45,10	0,02	0,0025	0,239	0,83
<b>J - 2</b>	<b>0+338.6 - 0+362.6</b>	<b>Trapezoidal</b>	<b>0,25</b>	<b>0,2</b>	<b>0,50</b>	<b>45,58</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,091</b>	<b>0,64</b>
J - 3	0+362.6 - 0+414.6	Trapezoidal	0,40	0,32	0,70	61,92	0,02	0,0069	0,593	1,43
J - 3	0+414.6 - 0+568	Trapezoidal	0,40	0,32	0,70	61,92	0,02	0,0069	0,593	1,43
J - 3	0+568 - 0+617	Trapezoidal	0,75	0,6	0,60	46,65	0,02	0,0069	1,424	1,92
J - 3	0+617 - 0+715	Trapezoidal	0,75	0,6	0,60	46,65	0,02	0,0069	1,424	1,92
J - 3	0+715 - 0+764	Trapezoidal	0,55	0,44	0,50	49,88	0,02	0,0069	0,722	1,60
J - 3	0+764 - 0+841	Trapezoidal	0,37	0,3	0,50	41,81	0,02	0,0069	0,299	1,30
J - 3	0+841 - 0+953	Trapezoidal	0,40	0,32	0,50	48,59	0,02	0,0069	0,375	1,36
<b>J - 4</b>	<b>0+953 - 1+370.5</b>	<b>Trapezoidal</b>	<b>0,26</b>	<b>0,21</b>	<b>0,50</b>	<b>48,59</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,093</b>	<b>0,60</b>
<b>J - 5</b>	<b>1+370.5 - 1+485.5</b>	<b>Trapezoidal</b>	<b>0,30</b>	<b>0,24</b>	<b>0,60</b>	<b>53,13</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,146</b>	<b>0,66</b>
<b>J - 5</b>	<b>1+485.5 - 1+565.5</b>	<b>Trapezoidal</b>	<b>0,33</b>	<b>0,26</b>	<b>0,60</b>	<b>56,44</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,176</b>	<b>0,68</b>
J - 5	1+565.5 - 1+614.5	Trapezoidal	0,40	0,32	0,60	48,59	0,02	0,0020	0,234	0,76
J - 5	1+614.5 - 1+736.5	Trapezoidal	0,40	0,32	0,60	48,59	0,02	0,0030	0,282	0,92
J - 6	1+736.5 - 1+840.1	Trapezoidal	0,30	0,24	0,60	53,13	0,02	0,0030	0,176	0,79
J - 6	1+840.1 - 1+938.1	Trapezoidal	0,30	0,24	0,60	53,13	0,02	0,0030	0,176	0,79
<b>J - 6</b>	<b>1+938.1 - 2+015.1</b>	<b>Trapezoidal</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>	<b>0,60</b>	<b>54,34</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0030</b>	<b>0,104</b>	<b>0,68</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla 3.1 nos verifica algunos tramos del canal J que no satisfacen la velocidad mínima y que presentan problemas de sedimentación. (Asumiendo *una velocidad mínima de 0.7 m/s y una máxima de 4.5 m/s, según Ven Te Chow*)

### 3.3.2. Determinación de Caudales de Aporte en los Canales Existentes

Para la determinación de los caudales en cada uno de los canales, se utilizó el método racional, que establece la siguiente relación.

$$Q = CIA \quad [3.4]$$

Dónde:

$Q =$  Caudal de diseño [ $m^3/s$ ].

$C =$  Coeficiente de escorrentía.

$I =$  Intensidad de la precipitación [ $m/s$ ].

$A =$  Área de aporte [ $m^2$ ].

El coeficiente de escorrentía “C”, depende del tipo de suelo y la topografía, según la siguiente Tabla:

**Tabla 3.2** Coeficientes de escorrentía para diferentes tipos de superficie

Tipo de Superficie	Coeficiente de escorrentía [C]
Superficie impermeable de techos	0.75 – 0.95
Pavimentos asfálticos	<b>0.80 – 0.95</b>
Pavimentos de hormigón	0.70 – 0.90
Pavimentos de piedra ó ladrillo	0.35 – 0.70
Suelos impermeables (para pendientes de 1 a 2%)	0.40 – 0.65
Suelos impermeables con césped (para pendientes de 1 a 2%)	0.30 – 0.55
Suelos ligeramente permeables (para pendientes de 1 a 2%)	0.15 – 0.40
Suelos ligeramente permeables con césped	<b>0.10 – 0.30</b>
Suelos moderadamente permeables (para pendientes de 1 a 2%)	0.05 – 0.20
Suelos moderadamente permeables con césped (para pendientes de 1 a 2%)	0.00 – 0.10

**Fuente:** Airport Drainage, FAA, AC 150/3520 5B 1970

Para el presente proyecto se tomaron los valores de 0.9 para pavimentos asfálticos y de 0.2 para suelos ligeramente permeables con césped. Sin embargo la determinación de los caudales de aporte, será realizada en función del coeficiente de escorrentía promedio, que viene dado por la siguiente

$$\text{Expresión}^4. \quad C_{\text{PROMEDIO}} = \frac{\sum \text{AREA}_i * C_i}{\text{AREA}_{\text{TOTAL}}} \quad [3.5]$$

Dónde:  $C_{\text{PROMEDIO}}$  = Coeficiente de escorrentía promedio.

$\text{AREA}_i$  = Área de aporte parcial [m<sup>2</sup>].

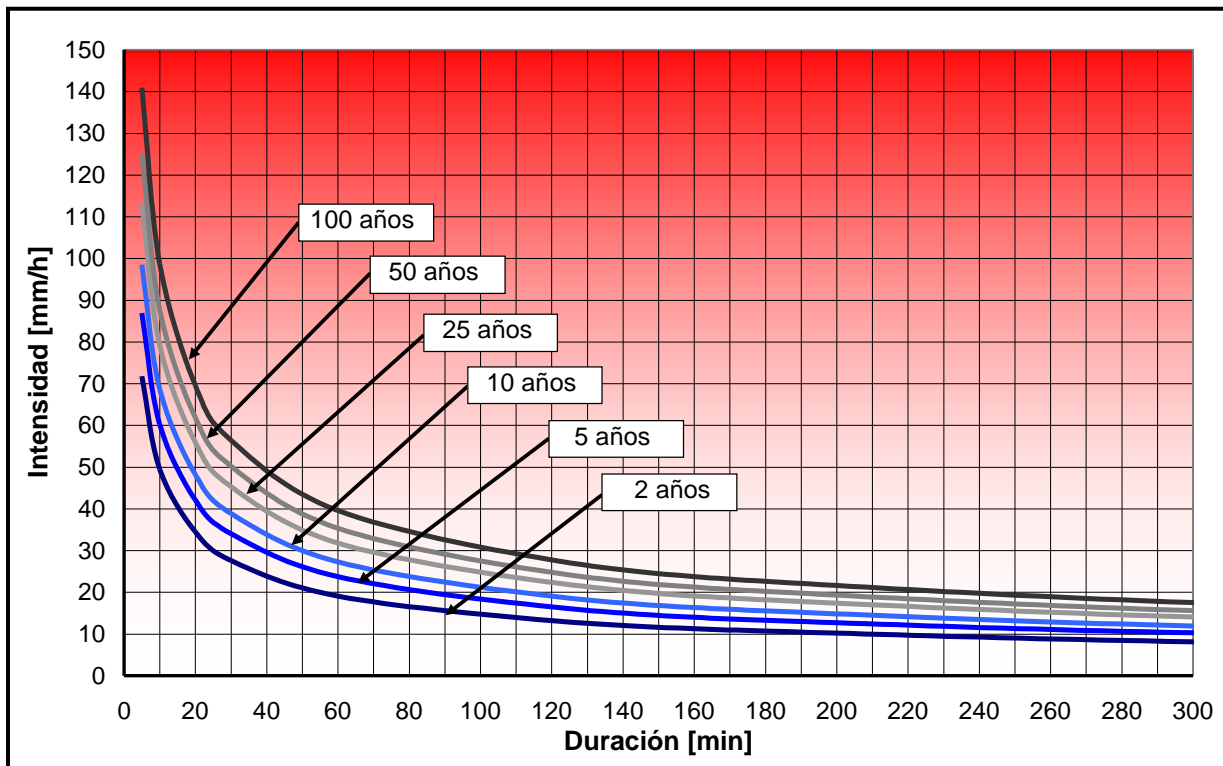
$C_i$  = Coeficiente de escorrentía correspondiente al área de aporte parcial.

$\text{AREA}_{\text{TOTAL}}$  = Área de aporte total [m<sup>2</sup>].

En lo concerniente al valor de la intensidad “I”, los datos fueron obtenidos de los registros del Centro de Meteorología de AASANA y del SENAMHI del departamento de Tarija. El análisis probabilístico de las precipitaciones se realizó en base a los datos de la estación “El Tejar” que está ubicado en las cercanías del aeropuerto.

A continuación se muestran las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) proporcionadas por el SENAMHI de este departamento:

**Figura 3.21** Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)



<sup>4</sup> Fuente: Airport Drainage, FAA, AC 150/3520 5B 1970.

El periodo de retorno asumido para los canales fue de 10 años, evitando intensidades muy altas.

Por su parte, el tiempo de concentración depende de las características topográficas del área de aporte. En el caso de drenajes en aeropuertos, las normas de la FAA recomiendan emplear la siguiente expresión:

$$T_C = \frac{1.8(1.1 - C_{PROM})\sqrt{D}}{\sqrt[3]{S}} \quad [3.6]$$

Donde  $T_C =$  Tiempo de concentración [min].

$C_{PROM} =$  Coeficiente de escorrentía promedio ó ponderado.

$D =$  Distancia más alejada de un punto en la cuenca ó área de aporte [pies].

$S =$  Pendiente promedio respecto al punto más alejado [%].

Los parámetros de distancia de los puntos más alejados y pendientes respectivas, así también como las áreas de aporte “A” han sido determinadas empleando el software Land Desktop 2006, a continuación se detallan los cálculos realizados. Los coeficientes de escorrentía promedio se muestran a continuación en la tabla 3.3

**Tabla 3.3** Coeficientes de escorrentía promedio. Canal J

Canal	Tramo	Abrev. Área	Área Pista <sup>9</sup>		Abrev. Área	Área Margen		Abrev. Área	Área Terreno		Área Total	C Promedio
			Área [m2]	Valor C		Área [m2]	Valor C		Área [m2]	Valor C		
J-1	0+000 - 0+121.41	-	0	0,9	-	0	0,2	A1	11182	0,2	11182	0,2
		-	0	0,9	-	0	0,2	A2	12759	0,2	12759	0,2
J-1	0+121.4 - 0+289.6	A3	3510	0,9	A4	8787	0,2	-	0	0,2	12297	0,4
		-	0	0,9	-	0	0,2	A5	7163	0,2	7163	0,2
J-2	0+289.6 - 0+362.6	A1	2261	0,9	A2	4295	0,2	-	0	0,2	6556	0,44
J-3	0+362.6 - 0+451	A1	2903	0,9	A2	5427	0,2	-	0	0,2	8330	0,44
		-	0	0,9	-	0	0,2	A3	336	0,2	336	0,2
J-3	0+451 - 1+092.7	A4	13299	0,9	A5	32794	0,2	-	0	0,2	46093	0,4
		-	0	0,9	-	0	0,2	A6	13384	0,2	13384	0,2
		-	0	0,9	-	0	0,2	A7	13273	0,2	13273	0,2

J-4	1+092.7 - 1+294.2	A8	4024	0,9	A9	10190	0,2	-	0	0,2	14214	0,4
		-	0	0,9	-	0	0,2	A10	4515	0,2	4515	0,2
J-5	1+294.2 - 1+742.8	A11	10931	0,9	A12	24082	0,2	-	0	0,2	35013	0,42
		-	0	0,9	-	0	0,2	A13	42071	0,2	42071	0,2
J-6	1+742.8 - 2+015.1	A14	6551	0,9	A15	14179	0,2	-	0	0,2	20730	0,42
		-	0	0,9	-	0	0,2	A16	18760	0,2	18760	0,2

*Fuente: Elaboración Propia.*

Los respectivos valores de tiempos de concentración e intensidad se muestran a continuación

**Tabla 3.4** *Cálculo de Tiempos de Concentración e intensidades. Canal J*

Canal	Tramo	Cota Sup. [msnm]	Cota Inf. [msnm]	Distancia máxima "D"		Pendiente "S" [%]	C <sub>PROMEDIO</sub>	T <sub>c</sub> [min]	I [mm/hora]
				[m]	[pies]				
J-1	0+000 - 0+121.41	1845,996	1845,139	86,40	283,46	0,99	0,20	27,37	40,00
		1850,970	1845,139	96,69	317,22	6,03	0,20	15,85	54,70
J-1	0+121.41 - 0+289.6	1845,996	1844,956	79,21	259,88	1,31	0,40	18,56	48,82
		1848,816	1844,250	73,66	241,67	6,20	0,20	13,71	57,65
J-2	0+289.6 - 0+362.6	1846,000	1844,661	76,62	251,38	1,75	0,44	15,63	54,70
J-3	0+362.6 - 0+451.05	1846,500	1845,870	83,95	275,43	0,75	0,44	21,70	44,70
		1846,000	1845,015	19,07	62,57	5,17	0,20	7,41	77,65
J-3	0+451.05 - 1+092.74	1850,000	1847,747	94,67	310,60	2,38	0,40	16,63	53,53
		1846,765	1846,694	119,73	392,81	0,06	0,20	82,01	23,53
		1860,278	1849,250	158,70	520,67	6,95	0,20	19,37	49,41
J-4	1+092.74 - 1+294.23	1850,669	1849,496	88,33	289,80	1,33	0,40	19,50	48,82
		1859,000	1849,250	87,43	286,84	11,15	0,20	12,28	62,35
J-5	1+294.23 - 1+742.8	1850,447	1848,750	184,21	604,36	0,92	0,42	30,94	38,24
		1855,750	1848,750	140,48	460,89	4,98	0,20	20,37	47,65
J-6	1+742.8 - 2+015.1	1851,000	1849,250	98,65	323,65	1,77	0,42	18,20	50,59
		1866,006	1849,250	180,16	591,08	9,30	0,20	18,73	49,41

*Fuente: Elaboración Propia.*

En base a todos los resultados anteriores, en las tablas a continuación se muestra el cálculo de los caudales que son evacuados por el canal J siempre como ejemplo, los cálculos para todos los canales se muestran en (Anexos capítulo III):

**Tabla 3.5** Cálculo de Caudales para los distintos Tramos del Canal J

Canal	Tramo	C <sub>PROMEDIO</sub>	Intensidad		Área de Aporte [m <sup>2</sup> ]	Caudales Totales [m <sup>3</sup> /s]	
			[mm/hra]	[m/s]		Parcial	Acumulado
J-1	0+000 - 0+121.41	0,2	40,00	0,0000111	11182	0,02482	0,06361
		0,2	54,70	0,0000152	12759	0,03879	
J-1	0+121.41 - 0+289.6	0,4	48,82	0,0000136	12297	0,06690	<b>0,15343</b>
		0,2	57,65	0,000016	7163	0,02292	
J-2	0+289.6 - 0+362.6	0,44	54,70	0,0000152	6556	0,04385	<b>0,04385</b>
J-3	0+362.6 - 0+451.05	0,44	44,70	0,0000124	8330	0,04545	0,04690
		0,2	77,65	0,0000216	336	0,00145	
J-3	0+451.05 - 1+092.74	0,4	53,53	0,0000149	46093	0,27471	<b>0,37538</b>
		0,2	23,53	0,0000065	13384	0,01740	
		0,2	49,41	0,0000137	13273	0,03637	
J-4	1+092.74 - 1+294.23	0,4	48,82	0,0000136	14214	0,07732	<b>0,09295</b>
		0,2	62,35	0,0000173	4515	0,01562	
J-5	1+294.23 - 1+742.8	0,42	38,24	0,0000106	35013	0,15588	<b>0,26695</b>
		0,2	47,65	0,0000132	42071	0,11107	
J-6	1+742.8 - 2+015.1	0,42	50,59	0,0000141	20730	0,12276	<b>0,17417</b>
		0,2	49,41	0,0000137	18760	0,05140	

**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:** Los valores en **negrilla** representan los caudales acumulados finales de los tramos

### 3.3.3. Evaluación de la Sección Hidráulica de los Canales

En el capítulo, se realizó el cálculo de los caudales bajo dos posiciones, la primera correspondiente al caudal máximo permitido por la geometría del canal, asumiendo un tirante de agua del 80 % de la altura del canal y la segunda, determinando los caudales de captación de cada uno de los canales existentes, debido a su área de aporte.

Claramente se puede apreciar que los caudales de captación están por debajo de los caudales que pueden trasportar los canales según su geometría, lo cual de alguna manera les permite controlar las máximas tormentas de avenida en periodos de retorno de 15 a 20 años.

El canal J en sus tramos J-4, J-5 y J-6, fue el único canal que no cumplió con la verificación de caudales, es decir que el caudal de captación supera al máximo caudal permitido por la geometría del canal (Ver Tabla 3.6)

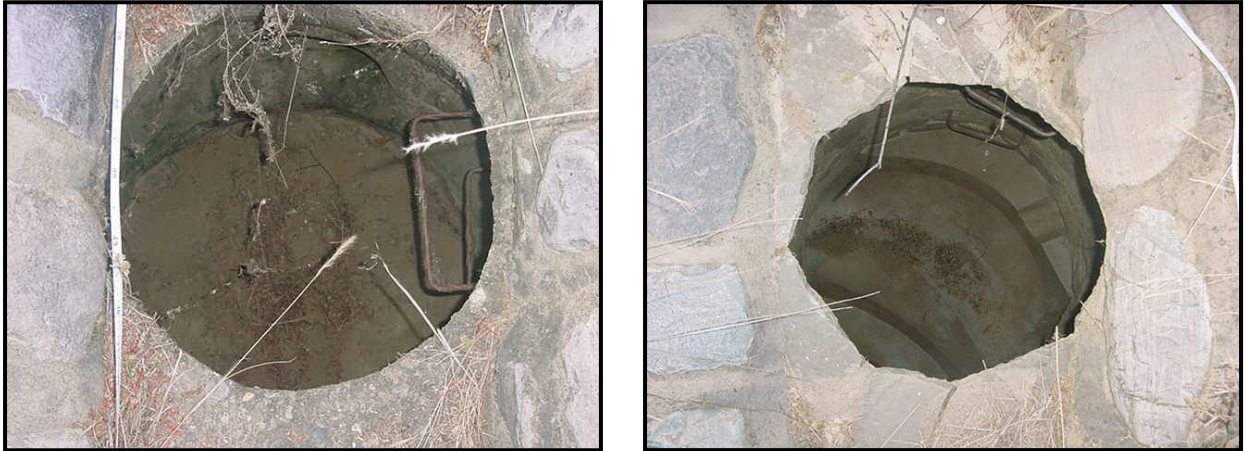
**Tabla 3.6 Comparación de Caudales. Canal J**

Canal	Tramo	Caudales [m3/s]		Porcentaje de aprovechamiento de la sección %	Caudal excedente para 100 % eficiencia [m3/s]
		según diseño del canal	Según áreas de aporte		
J-1	0+000 - 0+121.41	0,26500	0,06361	24,00	0,201
J-1	0+121.41 - 0+289.6	0,51000	0,15343	30,08	0,357
J-2	0+289.6 - 0+362.6	0,16500	0,04385	26,57	0,121
J-3	0+362.6 - 0+451.05	0,59300	0,04690	7,91	0,546
J-3	0+451.05 - 1+092.74	0,70429	0,37538	53,30	0,329
<b>J-4</b>	<b>1+092.74 - 1+294.23</b>	<b>0,09300</b>	<b>0,09295</b>	<b>99,94</b>	<b>0,000</b>
<b>J-5</b>	<b>1+294.23 - 1+742.8</b>	<b>0,20950</b>	<b>0,26695</b>	<b>Inundado</b>	<b>0,000</b>
<b>J-6</b>	<b>1+742.8 - 2+015.1</b>	<b>0,15200</b>	<b>0,17417</b>	<b>Inundado</b>	<b>0,000</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

La tabla 3.6 nos muestra a los sectores J-4, J-5 y J-6 con algunos problemas de rebalse, sin embargo esto no ocurre en campo, debido a la presencia de alcantarillas subterráneas (Ver Figura 3.22), las cuales captan gran parte del caudal de estos tramos.

**Figura 3.22** Alcantarillas Subterráneas



**Fuente:** *Observación en Campo*

Entonces, se puede concluir que los canales existentes en los sectores de estudio, se encuentran en actual funcionamiento, con sección hidráulica suficiente para los eventos de lluvia presentes en la zona, pero con algunos problemas estructurales, deterioro en sectores específicos y sedimentación de finos en la base, que influyen negativamente en el normal funcionamiento del sistema de drenaje. Se sugiere:

- Realizar un programa de limpieza anual, que permita eliminar los sedimentos acumulados, en todos los canales.
- Efectuar trabajos de restauración sobre tramos deteriorados.
- Realizar el diseño de los canales complementarios al actual sistema de drenaje para una correcta canalización de las aguas provenientes de la escorrentía superficial.

## **-IV- ESTABILIZACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS EROSIONADAS CON USO DE GEOSINTÉTICOS**

### **4.1. METODOS DE DISEÑO PARA USO DE GEOSINTÉTICOS**

Desde la aplicación de los geosintéticos como nuevos materiales a emplear en la ingeniería geotécnica, se han desarrollado distintas metodologías de diseño las cuales pueden clasificarse en cuatro tipos:

#### **4.1.1 Diseño Por Costos y Disponibilidad.**

El diseño de geosintéticos basados en el costo y disponibilidad es simplista. Se toman los fondos o recursos disponibles se dividen por el área que necesita recubrirse y se calcula un máximo geosintéticos admisible según su precio unitario. El geosintético con las mejores propiedades es seleccionado dentro de un precio límite.

#### **4.1.2. Diseño Por Experiencia o Método Empírico.**

Basado exclusivamente en la experiencia, requiere un gran número de datos experimentales representativos previos.

Este método no es recomendable y su uso es muy delicado ya que es poco preciso, y desconoce el desarrollo tecnológico de los geosintéticos.

#### **4.1.3. Diseño Por Especificaciones**

En la actualidad cada fabricante obtiene el valor de las propiedades de su producto, utilizando las normativas que rigen el país donde esté ubicado; esto obviamente puede generar un gran número de criterios que hacen imposible el realizar comparación entre productos de uno u otro país. Por lo anterior, dos organismos la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el comité TASK FORCE # 2S, el cual lo conforman la AASHTO; la American Building Contractors ABO y la American Road Builders and Transportation Association (ARBTA) están tratando de unificar todas las propiedades de estos materiales.

Estos grupos han realizado esencialmente el mismo conjunto o recomendaciones para las

propiedades mínimas de los geotextiles en las siguientes áreas:

- Separación (Para subrasante de suelo firme)
- Separación y Estabilización (Para subrasante de suelos blandos)
- Filtración (Geotextiles para drenaje)
- Control de Erosión (Debajo de rocas)
- Control de sedimentos (Cerramiento temporal de sedimentos)
- Control de la reflexión de grietas (Estructura de pavimentos)

Cuando se utiliza el método de diseño por especificación a menudo se listan los requerimientos mínimos de las propiedades del geotextil. Mientras que comúnmente el fabricante lista los valores promedios por lote o el valor mínimo promedio de las propiedades de los rollos.

#### **4.1.4 Diseño Por Función**

Consiste en evaluar la función principal para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración o protección) y basándose en ello, calcular los valores numéricos de la propiedad requerida. De esta forma se realiza una elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. En algunos casos se requieren cumplir varias funciones alternativamente, por lo tanto, la selección del geosintético a emplear será más segura si este puede desarrollar las funciones simultáneamente.

Para que los geosintéticos puedan proporcionar un grado de seguridad suficiente en el desarrollo de sus funciones, su fabricación a partir de las materias primas debe ser estrictamente controlada mediante la evaluación de sus propiedades durante el proceso de fabricación.

No obstante, la forma en que el geosintético desarrollará sus funciones no depende únicamente del proceso de fabricación, sino que dependerá en gran parte de la correcta instalación en obra.

De esto se deduce la necesidad de realizar una supervisión cuidadosa en la instalación del geosintético si se desea conseguir un completo desarrollo de sus funciones.

El factor de seguridad será el resultado de dividir el valor del ensayo típico de la propiedad relevante para la función principal (valor admisible), entre el valor requerido para dicha propiedad obtenido según algún método o norma de diseño representativo de la realidad.

Según lo anterior:

$$FS = \frac{\text{Valor Admisible}}{\text{Valor Requerido}}$$

Si el factor de seguridad así obtenido es suficientemente mayor que la unidad, el geosintético seleccionado es el adecuado.

En resumen se pueden establecer los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del diseño por función:

- a.- Evaluar la aplicación del geosintético considerando los materiales que van a estar en contacto con él.
- b.- Dependiendo de las condiciones en la obra, escoger un factor de seguridad adecuado.
- c.- Especificar la función primaria del geosintético.
- d.- Calcular numéricamente el valor de la propiedad requerida del geosintético basándose en su función primaria.
- e.- Obtener el valor de la propiedad permisible por ensayo.
- f.- Calcular el factor de seguridad como cociente del valor de la propiedad permisible entre el valor de la propiedad requerida.
- g.- Comparar el factor de seguridad obtenido con el deseado.
- h.- Si el factor de seguridad no es aceptable, reiniciar el proceso con un geosintético de características superiores.
- i.- Si el factor de seguridad es aceptable, comprobar si otras funciones del geosintético pueden ser críticas o relevantes y escoger el más completo.

Este cuarto método de diseño por función, es el más utilizado en el desarrollo de todos los geosintéticos recomendados, lo que conllevará a identificar la función primaria del geosintético que se va a utilizar.

En el proceso de diseño por función, teniendo en cuenta los ensayos de caracterización en laboratorio en los que se apoya este método no son del todo representativos de las condiciones de comportamiento "in situ" del geosintético, el valor de la propiedad índice deberá dividirse según diversos factores de seguridad de la siguiente forma:

$$\text{Valor Admisible} = \frac{\text{Valor del Ensayo}}{\text{Factores de Reducción}}$$

Los factores de reducción varían considerablemente dependiendo básicamente de la función que vaya a desempeñar el geosintético (ver Anexos capítulo IV factores de reducción) . A continuación se explican y especifican los valores recomendados para aplicaciones de refuerzo, separación, drenaje y protección para diferentes geosintéticos.

Posteriormente se especificaran los valores para cada una de las funciones a cumplir por los geosintéticos.

#### **4.2. IDENTIFICACION DE SECTORES CRITICOS PARA USO DE GEOSINTETICOS.-**

Según levantamientos realizados y en base a observaciones se han identificado los siguientes lugares con mayor problema erosivo los cuales son:

- \* **Quebrada Sils lado derecho**
- \* **Lagunas Sector final prolongación Eje de pista**
- \* **Sector de Terraceos I, II, III y Muros de Gaviones**

Además se realizaran obras complementarias para cada sector con problemática de menor incidencia pero que se tiene que realizar ya que este estudio abarca la totalidad del área dentro del Aeropuerto realizando los cálculos y diseños de: Canales, Caídas, Disipadores de energía, Transiciones, Gaviones y otras obras menores pero importantes para solucionar el problema de erosión que afecta al aeropuerto” Capitán Oriel Lea plaza”.

##### **4.2.1 Quebrada SILS - Estabilización de Taludes mediante geotextiles (*Geomantas*), y canalización de quebrada.**

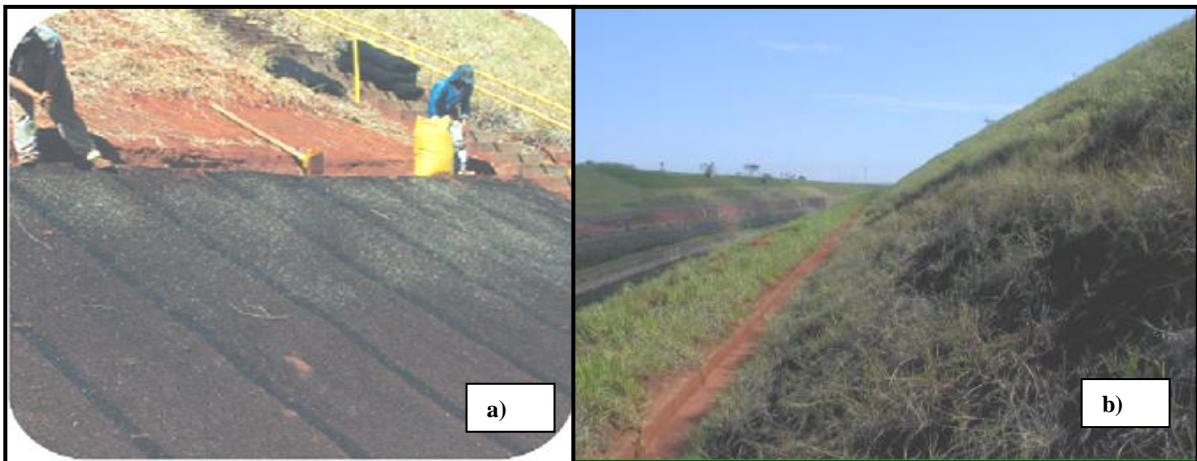
Debido a la importancia de la quebrada SILS para el actual sistema de drenaje, comprometido con constantes deslizamientos que obstruyen el libre flujo del agua en los

márgenes de salida, y además de que recibe caudales de otra fuente, se denominan SILS II, y SAC II, se ha decidido reforzar el suelo con el proceso de estabilización de taludes y colocación de geotextiles (*Geomantas*), y la canalización de la quebrada con canal de H°C°

Las funciones principales de la geomanta son las siguientes:

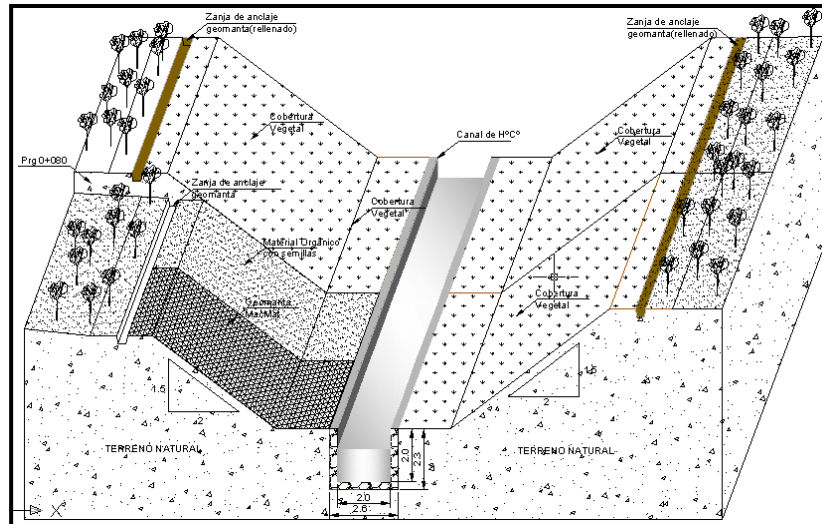
- Proteger la superficie del suelo del efecto de las lluvias, el viento y el sol.
- Reducir la velocidad del agua sobre la superficie del suelo.
- Evitar la fuga de material del suelo (partículas finas).
- Ayuda a la naturaleza en el desarrollo de una vegetación fuerte para una protección permanente contra la erosión, garantizando la estabilidad de la superficie local (*Ver Figura 4.1 (b)*).
- Mantener la tierra fértil evitando que las semillas sean arrastradas por las aguas de las lluvias intensas, incentivando el crecimiento saludable de las plantas (*Ver Figura 4.2(a)*).
- Garantiza un sistema de enraizado con refuerzo permanente, el cual brinda un sistema de control de erosión, integrado y eficiente (*Ver Figura 4.2 (b)*).

**Figura 4.1** (a) Colocado de la geomanta; (b) Talud estabilizado con geomanta y cobertura vegetal





**Figura 4.4** Esquema planteado para la canalización SILS II y SAC-II



*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.2.1.1. De Los Productos Enrollados Para Control De Erosión Permanentes o Geomanta (MRV):**

Se deben tener las consideraciones de acuerdo a la tabla (ver anexos capítulo IV).

**4.2.1.2. Equipo.-** El constructor deberá disponer de los equipos y herramientas necesarios para asegurar que los trabajos de protección de los taludes y laderas tengan la calidad exigida y se garantice el cumplimiento de su trabajo de ejecución.

Los elementos para la aplicación de los riegos periódicos deberían ser de tipo aspersor u otros similares que apliquen el agua en forma de lluvia fina.

El constructor debería disponer, además de las herramientas, rastrillos, azadones, horcas, ganchos, para formar surcos, cuerdas, cinturones de seguridad, cascotes, estacas, palas, balanzas, envases calibrados y todos los demás elementos que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos especificados.

Preparación de la superficie existente:

Para la preparación del sitio rige lo que sea pertinente de verificar si el suelo del sitio a revegetalizar posee las condiciones necesarias:

Si el suelo posee las condiciones necesarias para la germinación de las semillas, se deberá proceder como se indica a continuación:

- Remover todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier tipo de obstrucción que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo.
- Nivelar el área de sembradío de las semillas según el alineamiento y pendiente establecidas en los documentos del proyecto.
- Preparar el suelo donde se va a sembrar las semillas, escarificando de cincuenta a setenta y cinco milímetros (50 a 75 mm) de profundidad, en el área ya preparada.
- Con el fin de evitar derrumbes desde la cima del talud e infiltración de agua de escorrentía entre el suelo del talud y el manto para control de erosión, el extrema superior del rollo del manto se deberá enterrar en una zanja, excavada únicamente con dicho propósito, asegurando el manto al extrema superior de la zanja en forma de doble faz y fijándolo al terreno con tres (3) ganchos por metro lineal, después de lo cual se tapara la zanja. Dicha zanja de anclaje deberá ser de quince por quince centímetros (15 x 15 cm) y a una distancia de sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm), medidos desde la corona del talud.

#### **4.2.1.3. Instalación del manto para control de erosión o geomanta**

Tal como se indicó en el último párrafo del numeral anterior, a continuación se deberá colocar el rollo a una distancia de sesenta a noventa centímetros (60 a 90 cm) sobre la corona del talud, asegurarlo en la zanja con los dispositivos de anclaje y rellenar y compactar con el material proveniente de la excavación o según lo indique el interventor.

Desenrollar el manto hacia abajo del talud, traslapando siete con cinco centímetros (7,5 cm), como mínimo, los rollos adyacentes. Extender el material libremente, manteniendo contacto directo con la superficie del talud o la ladera. En el traslapo se colocará una hilera de ganchos separados entre sí una distancia no mayor de cincuenta centímetros (50 cm). Asegurar el manto al talud con dispositivos de anclaje, con la frecuencia que se indica en la Tabla (ver anexos capítulo IV).

Como dispositivos de anclaje para la fijación del manto, se podrán utilizar elementos tipo gancho en “U”, metálicos, de ocho milímetros (8 mm) de diámetro, de 20 x 10 x 20 cm

para terrenos blandos y 15 x 5 x 15 cm para terrenos duros. Los ganchos se deberán colocar en un ángulo aproximado de 30° con respecto a la superficie del talud y en el sentido de la pendiente.

A discreción del interventor, se podrá rellenar un MRV, cuando este se encuentre diseñado para tal fin, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Después de sembrar, se deberá esparcir sobre el manto, rastrillando ligeramente, de doce a veinte centímetros (12 a 20 cm) de tierra fina para llenarlo completamente.

#### 4.2.1.4. Diseño hidráulico de los canales de H°C° para la quebrada SILS.-

*Tabla 4.1 Planilla de diseño Canal SILS II (H°C°)*

<b><u>DISEÑO DE CANAL NUEVO SILS II</u></b>									
<b>Canal:</b> SILS II		<b>Sección:</b> Rectangular							
<b>Caudal "Q" [m3/s]</b> : 4.18									
<b>Pendiente "S" [m/m]</b> : 0.015									
<b>Coef.deManning "n"</b> : 0.015									
<b>F. de Sección</b>									
<b>(A x R<sup>2/3</sup>)</b> : 0.5119									
<b>Base [m]</b>	<b>Talud Z</b>	<b>y [m]</b>	<b>P [m]</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>RH [m]</b>	<b>V [m/seg]</b>	<b>Q[m3/seg]</b>	<b>F [m]</b>	<b>H [m]</b>
1	0	1.05	3.108	1.054	0.339	3.97	4.184	0.694	1.75
1.5	0	0.68	2.858	1.019	0.357	4.109	4.187	0.557	1.24
<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0.52</b>	<b>3.045</b>	<b>1.045</b>	<b>0.343</b>	<b>4.001</b>	<b>4.181</b>	<b>0.489</b>	<b>1.01</b>
2.5	0	0.44	3.37	1.088	0.323	3.844	4.182	0.446	0.88
3	0	0.38	3.758	1.137	0.303	3.683	4.188	0.416	0.8
3.5	0	0.34	4.178	1.187	0.284	3.528	4.187	0.394	0.73
4	0	0.31	4.617	1.235	0.267	3.386	4.181	0.376	0.68
<b>La Sección del Tramo es: B = 2 [m] H = 2 [m] e=0.3 m</b>									

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 4.2 Planilla de diseño Canal SAC-II (H°C°)*

<b><u>DISEÑO DE CANAL NUEVO SAC II</u></b>									
<b>Canal SAC-II</b>		<b>Sección: Rectangular</b>							
Caudal "Q" [m3/s] : 5.68									
Pendiente "S" [m/m] : 0.015									
Coef.deManning "n" : 0.015									
F. de Sección									
(A x R <sup>2/3</sup> ) : 0.6957									
Base [m]	Talud Z	y [m]	P [m]	A [m <sup>2</sup> ]	RH [m]	V [m/seg]	Q[m3/seg]	F [m]	H [m]
1	0	1.36	3.72	1.360	0.366	4.178	5.682	0.789	2.15
1.5	0	0.86	3.21	1.283	0.4	4.433	5.687	0.625	1.48
<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0.65</b>	<b>3.297</b>	<b>1.297</b>	<b>0.393</b>	<b>4.381</b>	<b>5.682</b>	<b>0.545</b>	<b>1.19</b>
2.5	0	0.54	3.57	1.338	0.375	4.246	5.681	0.495	1.03
3.5	0	0.41	4.326	1.446	0.334	3.931	5.684	0.435	0.85
4	0	0.38	4.75	1.500	0.316	3.788	5.682	0.414	0.79
<b>La Sección del Tramo es: B = 2 [m] H = 2 [m] e=0.3 m</b>									

*Fuente: Elaboración Propia*

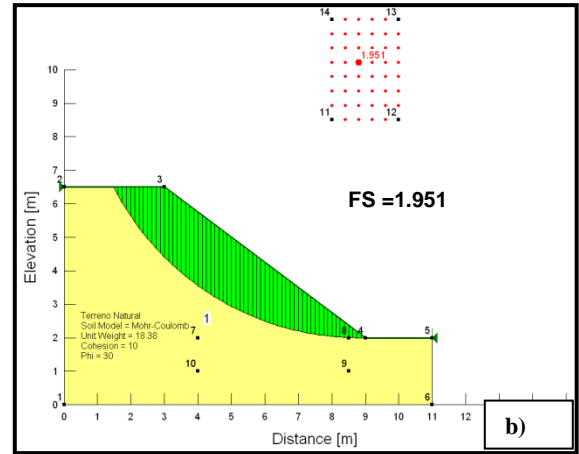
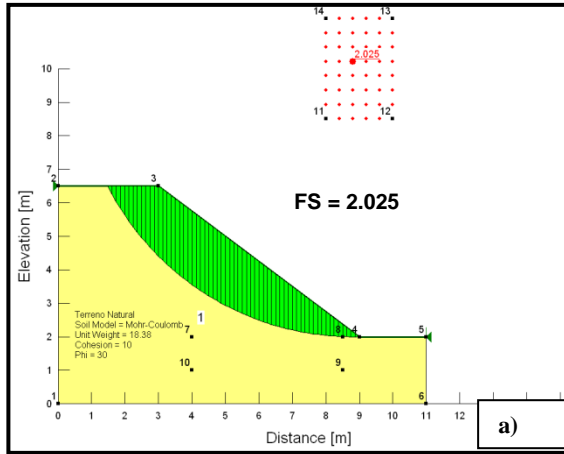
Las tablas 4.1 y 4.2 muestran el detalle de la geometría de los canales SILS II y SAC-II. Se asume una base de dos metros, debido a las condiciones del terreno y la presencia del camino perimetral, cuya elevación deberá coincidir con la altura final de las paredes o taludes laterales de la quebrada para su consideración en las operaciones de perfilado y compactado para la colocación de la geomanta, dando la estabilidad al terreno.

Estabilidad de taludes propuestos para la quebrada SILS.

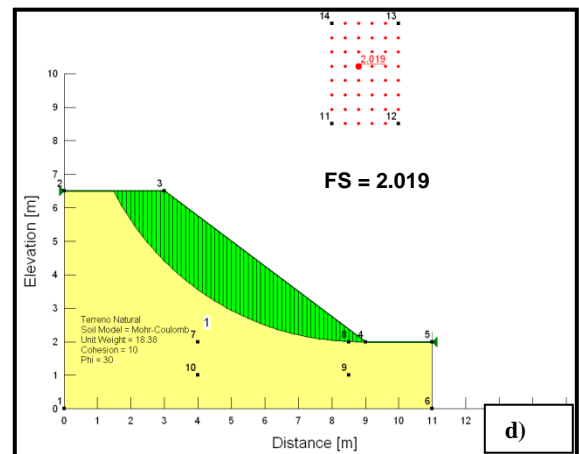
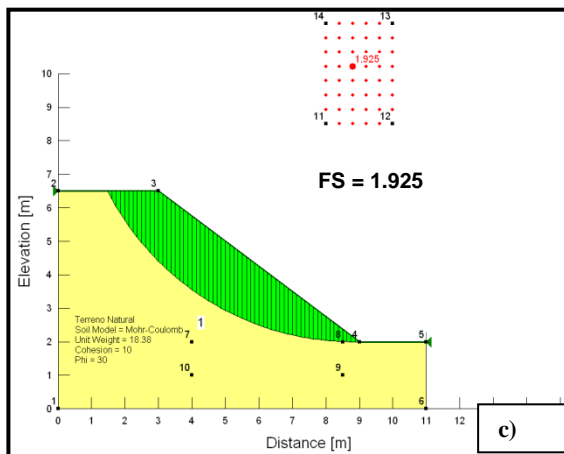
El talud propuesto de 2:1.5, fue sujeto a verificación de estabilidad con el software GeoStudio en su aplicación GeoSlope:

**Figura 4.5** Estabilidad taludes QDA.SAC – II Factor de Seguridad calculado con el GeoSlope

(a) Método de Bishop. (b) Método Ordinary (c) Método de Janbu. (d) Método de Morgenstern-Price



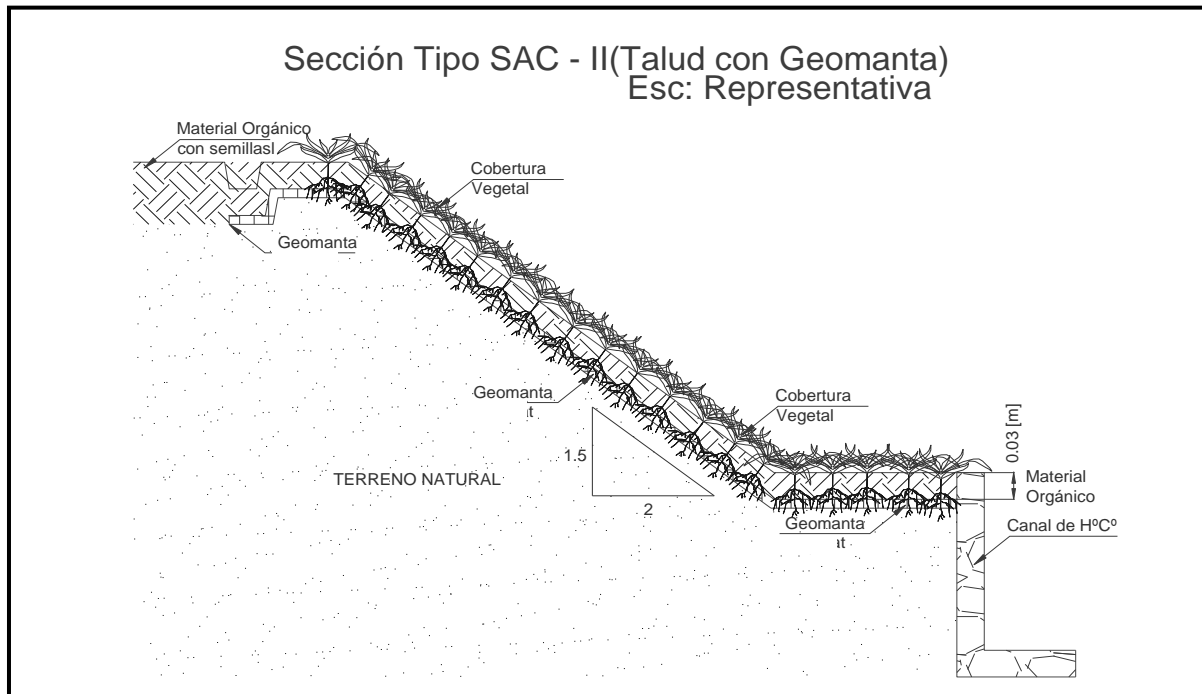
*Fuente: Elaboración Propia*



*Fuente: Elaboración Propia.*

La canalización SAC-II, considera un mismo talud en ambos lados (*izquierdo y derecho*), también asumido como 2:1.5, con factor de seguridad > 1.925 como se muestra en las Figuras 4.3 (a), (b), (c) y (d) por cada uno de los métodos analizados.

**Figura 4.6** Esquema del talud planteado para la canalización SAC-II

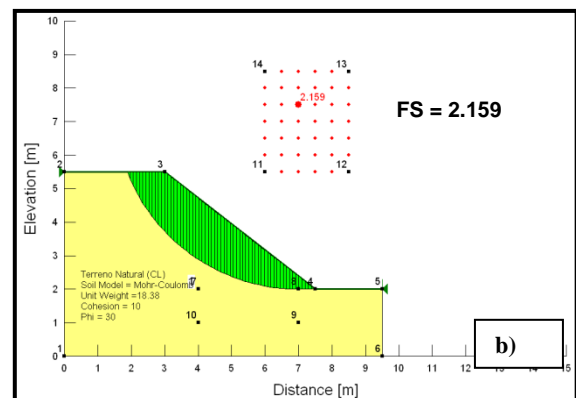
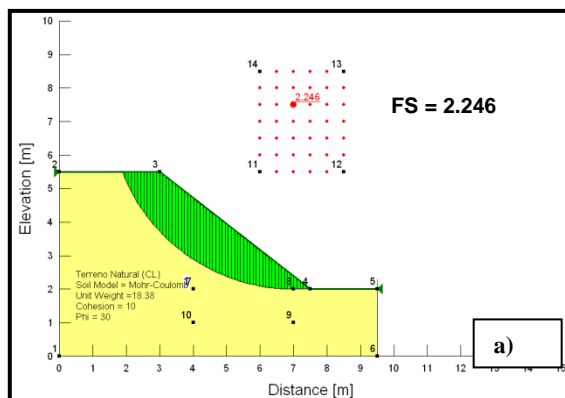


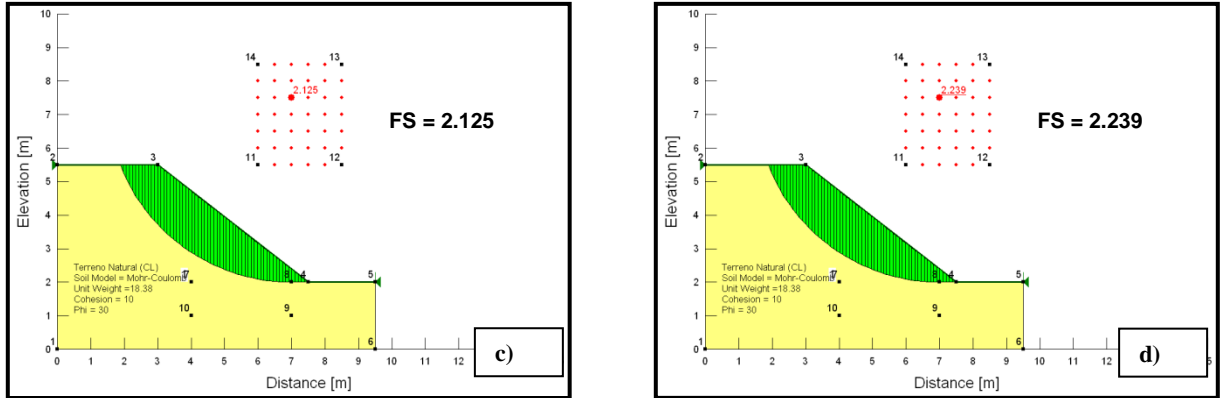
*Fuente: Elaboración Propia*

En relación a la estabilidad de talud a la salida de la Alcantarilla II (SILS II), se considera que el talud derecho presenta la misma geometría y características geotécnicas que los taludes correspondientes a la canalización SAC – II, sin embargo el lado izquierdo presenta una elevación menor en un metro al talud tipo, por lo cual se analiza la estabilidad del talud izquierdo con el software GeoSlope, como se muestra a continuación:

**Figura 4.7** Estabilidad taludes QDA.SILS – II Factor de Seguridad calculado con el GeoSlope

(a) Método de Bishop (b) Método Ordinary (c) Método de Janbu (d) Método de Morgenstern-Price.

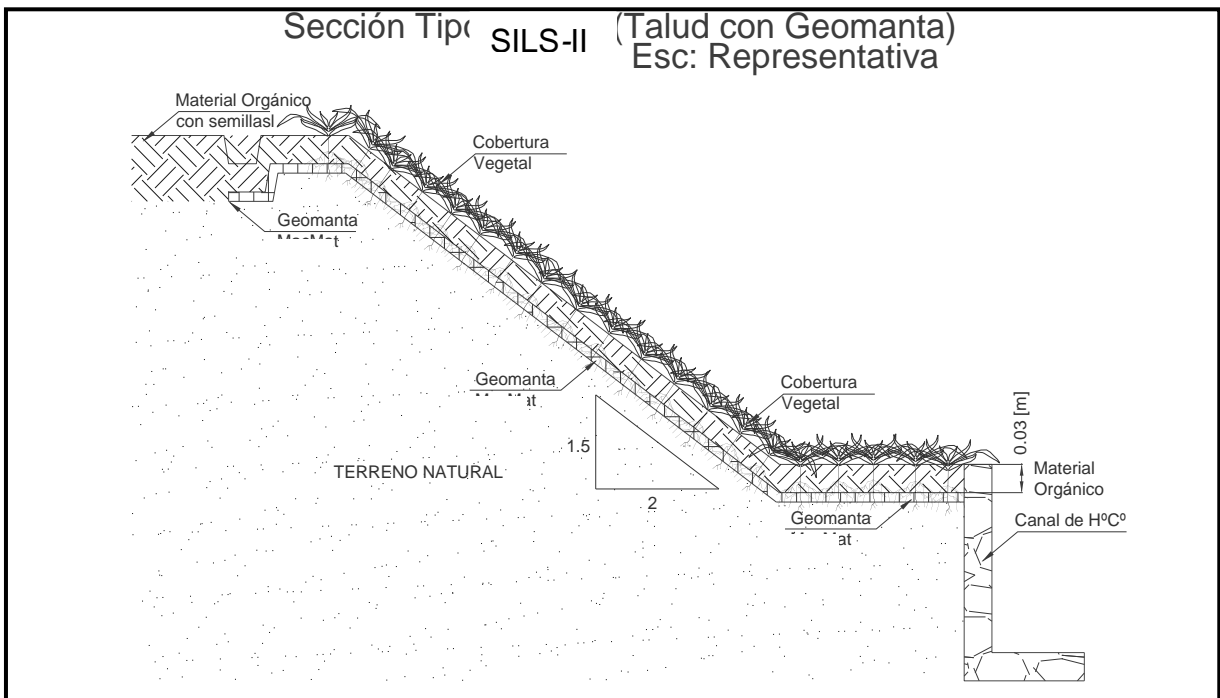




*Fuente: Elaboración Propia.*

La Figura 4.5 muestra los factores de seguridad de distintos métodos, todos ellos alcanzan valores por encima de dos, a incrementarse con la aplicación de geomanta y la cobertura vegetal previstas.

**Figura 4.8** Esquema del talud planteado para la canalización SILS-II



*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.2 Lagunas artificiales en el sector final prolongación eje de pista.

La topografía accidentada del sector final prolongación eje de pista y el terraplén del camino perimetral del sector Sureste (*paralelo a la malla perimetral*) han formado una

especie de dique, que retiene parcialmente las aguas de lluvia, que continúan su paso por debajo del camino perimetral, ocasionando que este se desmorone continuamente.

Sin embargo a pesar de los daños que causa al camino perimetral, el funcionamiento de estas lagunas a contribuido a la generación de bioclimas positivos para el crecimiento de la vegetación.

Esta observación indujo a la ejecución de lagunas artificiales, que permitan seguir con el proceso de generación de bioclimas, pero con un manejo controlado de las aguas de rebalse y con acciones que eviten que las aguas acumuladas sigan su curso subterráneamente, provocando más erosión en el sector y poniendo en riesgo la integridad del camino perimetral y obras que se ejecutaron en este sector.

Teniendo en cuenta esto, la propuesta para mejorar o controlar la erosión de esta zona es:

- Realizar la excavación necesaria para las lagunas artificiales 1 y 2.
- Compactar la base y paredes de las lagunas en un espesor de 30 [cm].
- Emplear una geomembrana de espesor calculado que evite filtraciones del agua sobre el suelo de fundación teniendo en cuenta lo necesario para anclaje de dicha membrana en el fondo y laterales de las lagunas.
- Se realizará el diseño de canales nuevos o mejoramiento de existentes que recolecten los caudales de lluvia y conduzcan hacia las lagunas.
- Estas lagunas dispondrán de una canal de salida (*vertedero de excedencias*) el cual conducirá las aguas de rebalse de las lagunas artificiales hacia las respectivas alcantarillas que atraviesan el camino perimetral, vertiendo sus aguas hacia las afueras del aeropuerto.
- Es recomendable emplear un dissipador de energía a la salida de cada alcantarilla y de ser necesario realizar obras complementarias para su correcto funcionamiento.

#### **4.2.2.1 Proceso de diseño para espesor de geomembrana**

Se diseña una geomembrana texturizada HDPE que se va a instalar en el sistema de las lagunas artificiales de H=3m y con un peso específico de 12.5 kN/m<sup>3</sup>. El área del está

conformada por unos taludes con pendiente 1H: 1V. En la parte inferior se ha colocado un geotextil no tejido punzonado por agujas para proteger la geomembrana de los posibles daños durante la construcción. Se ha decidido utilizar arena como suelo de cobertura en un espesor de 30 cm y como relleno para la zanjas de anclaje; esta arena tiene un ángulo de fricción interna de  $30^\circ$  y un peso específico de 18 kN/ml. de acuerdo a (anexos capítulo IV diseño de espesor para geomembranas) y análisis de laboratorio de suelos como datos:

$$\text{Diseño del espesor de Anexos: } t = \frac{\sigma_n \times (\tan \delta_u + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

Dónde:

- $\beta = 45^\circ$
- $\sigma_n = 3\text{m} * 12.5 \text{ kN/m}^3 = 37.5 \text{ kN/m}^2$
- $\delta_u = 30^\circ$  porque en este caso la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena
- $\delta_L = 32^\circ$  por ser un geotextil no tejido punzonado por agujas y una geomembrana texturizada.
- $X = 50 \text{ mm}$  (distancia más desfavorable para movilización de la geomembrana de 1.50 mm según (Tabla 4.3 anexos capítulo IV).
- $\sigma_{adm} = 15000 \text{ kPa}$ , Mayor esfuerzo soportado por las geomembranas HDPE según Designing with Geosynthetic Cap 5, 5 Ed.

Reemplazando en los valores de la ecuación obtenemos:

$$t = \frac{37.5 (0.05) (\tan (30) + \tan (32))}{15.000 (\cos(45) - \sin(45)\tan(32))} = \frac{2.25}{3978.86} = 0.56\text{mm} = \mathbf{1.0\text{mm}}$$

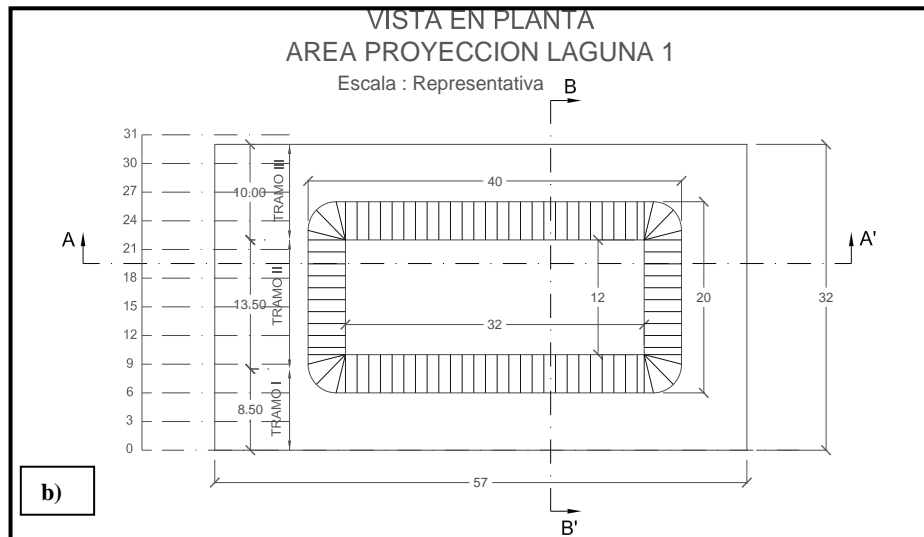
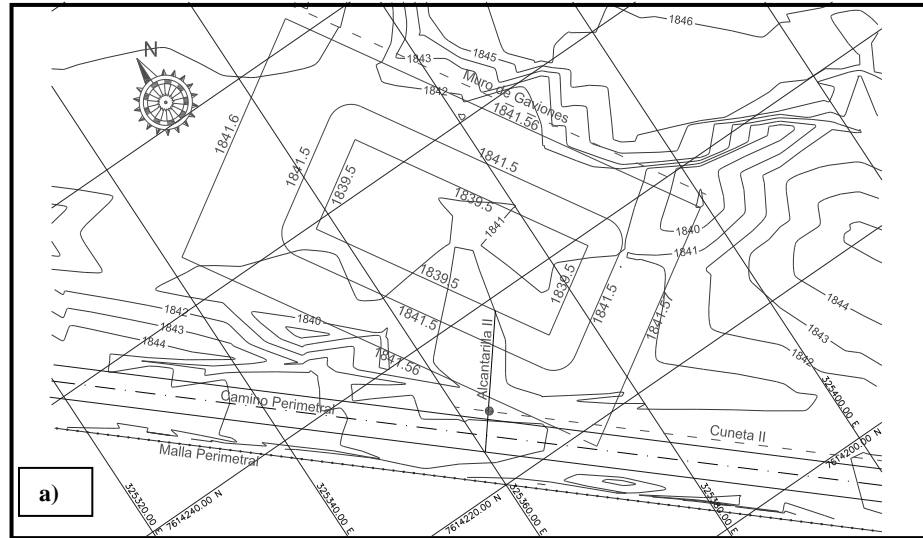
**t = espesor comercial adoptado es 1.0mm espesor de diseño para la Geomembrana en ambas lagunas)**

#### 4.2.2.2 Emplazamiento y geometría laguna artificial N°1.

El emplazamiento y la geometría de esta laguna artificial, están ligados a la topografía actual del sector, aprovechando depresiones formadas naturalmente para reducir volúmenes de excavación y relleno.

Las Figura 4.9 (a) y (b) muestra el emplazamiento y la geometría de la laguna N°1.

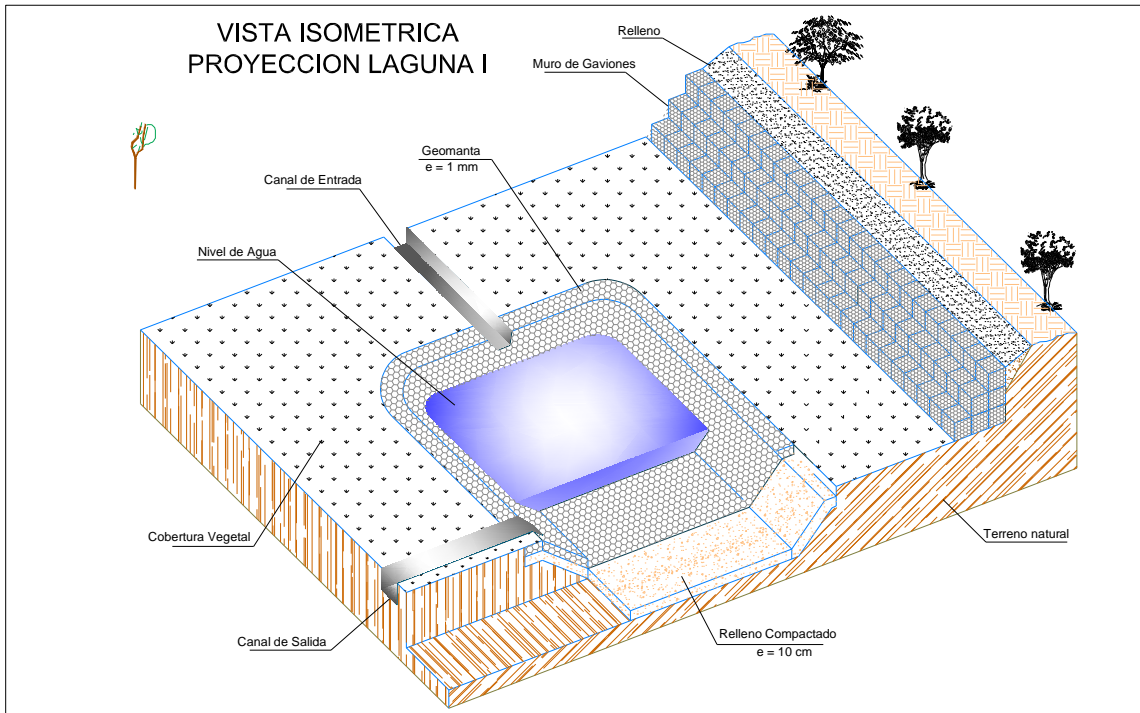
**Figura 4.9 (a) Emplazamiento laguna artificial N° 1. (b) Geometría laguna artificial N°1**



*Fuente: Elaboración Propia.*

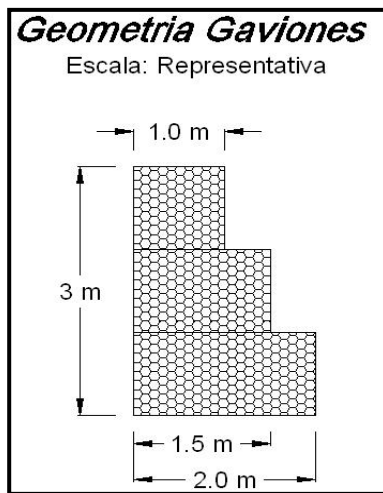
La Figura 4.8 muestra el lugar de emplazamiento de la laguna artificial o atajado, con la ubicación del muro de gavión en la parte norte, para contener el suelo en un pie de talud muy próximo a los 90°.

**Figura 4.10** Detalle constructivo laguna artificial N°1



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 4.11** Detalle muro de gaviones.

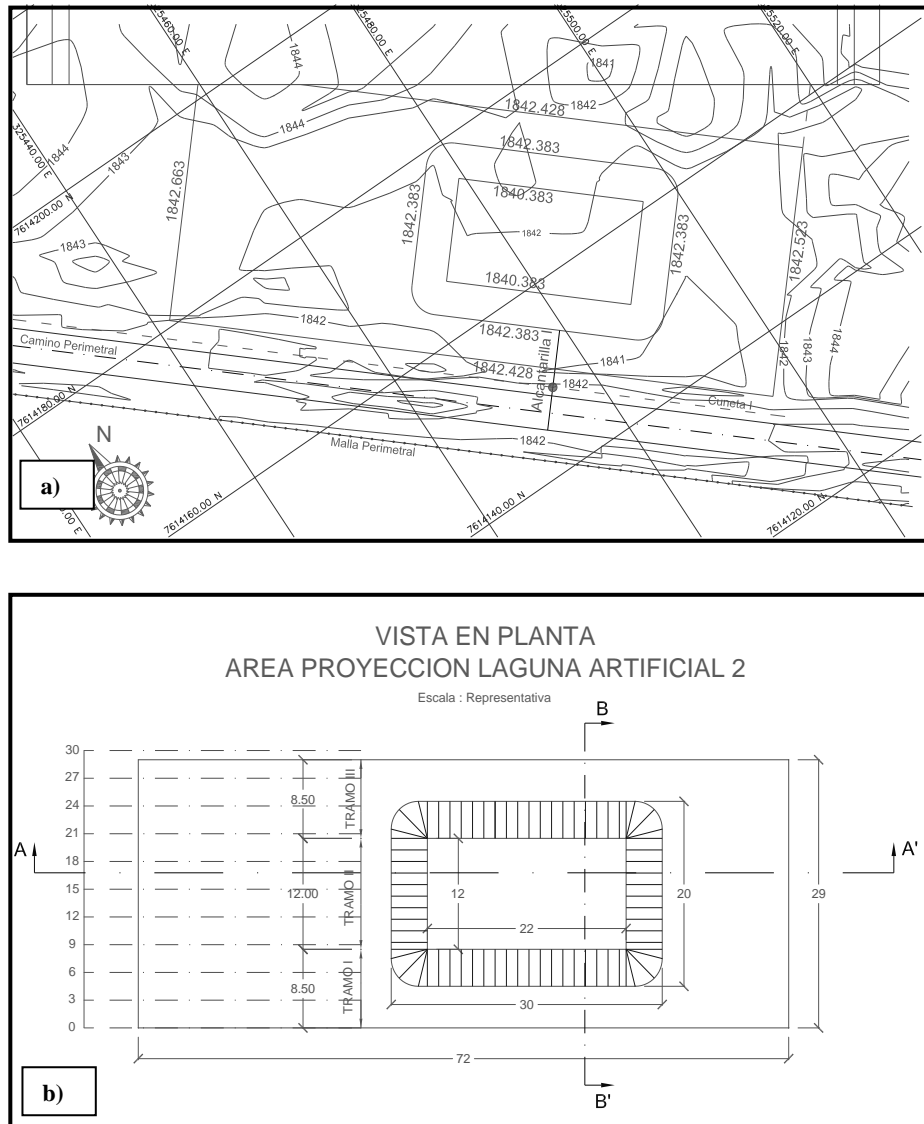


*. Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.2.3 Emplazamiento y geometría laguna artificial N°2.

Al igual que la laguna artificial N°1, la definición del emplazamiento y la geometría de esta laguna están directamente vinculados con la topografía actual del sector.

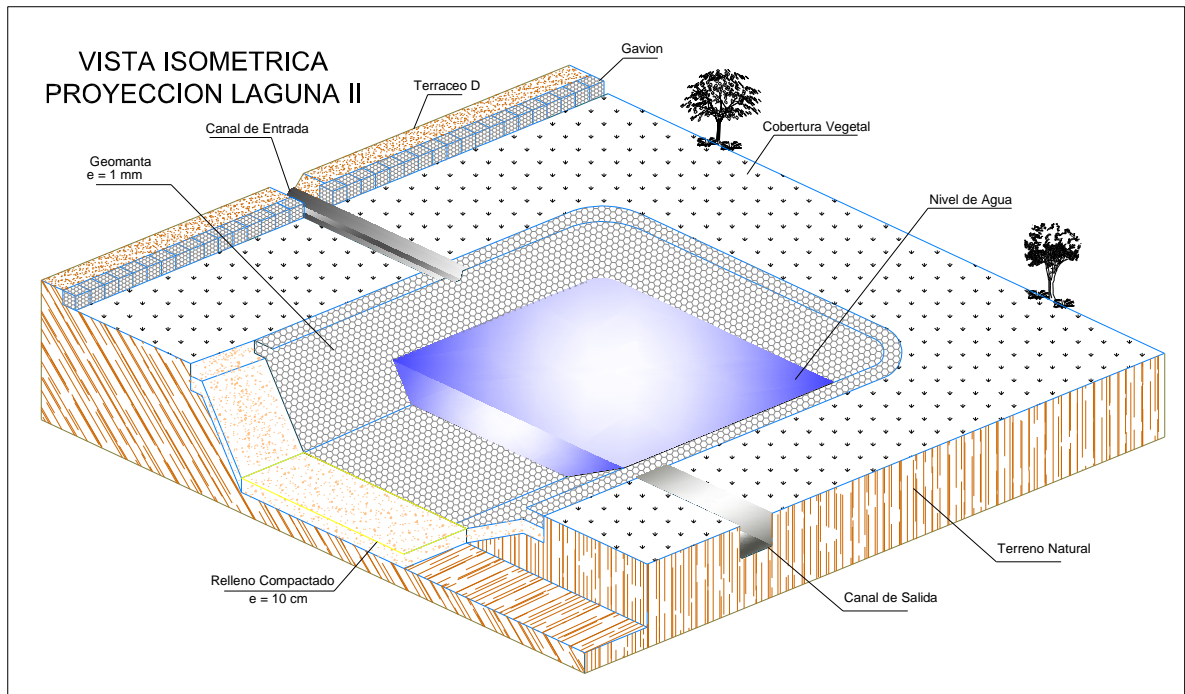
**Figura 4.12 (a) Emplazamiento laguna artificial N° 2. (b) Geometría laguna artificial N°2**



*Fuente: Elaboración Propia.*

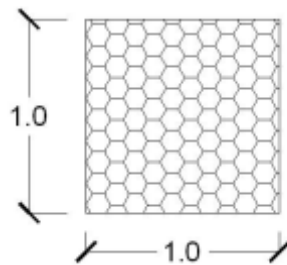
El detalle constructivo de la laguna artificial N°2 se muestra a continuación:

**Figura 4.13** Detalle constructivo laguna artificial N°2 y detalle de gaviones



### Geometría Gaviones

Escala: Representativa



**Fuente:** Elaboración Propia.

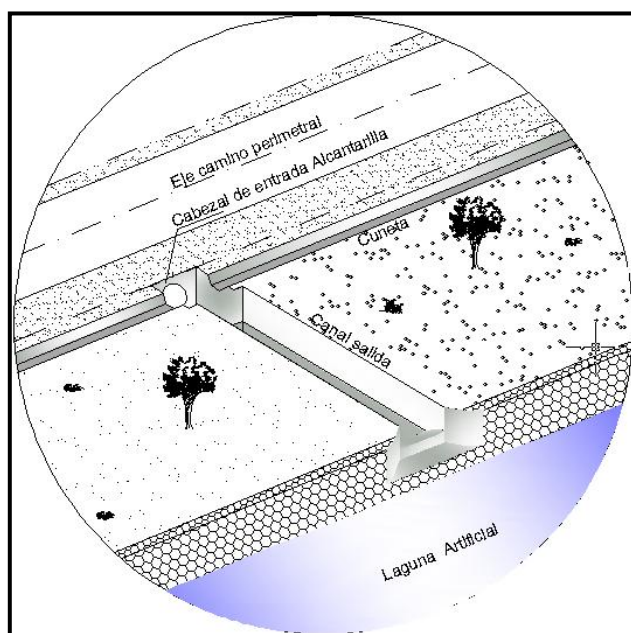
La figura permite apreciar una hilera de gaviones, colocados en el sector norte de la laguna, para cumplir la función de muros de contención de la última terraza del Terrazo D.

#### 4.2.2.4 Alcantarillas de salida para lagunas artificiales.

La necesidad de conducir las aguas de rebalse de las lagunas hacia las afueras de la zona aeroportuaria, obliga el diseño de alcantarillas transversales al camino perimetral.

Por otro lado se vio necesario emplear un canal abierto, paralelo al camino perimetral, en el tramo de separación entre lagunas artificiales, con la finalidad de recolectar las aguas del camino y las que escurran libremente entre las lagunas. (Ver Figura 4.14).

*Figura 4.14 Esquema de sistema de drenaje planteado.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

##### 4.2.2.4.1 Alcantarilla N°1.

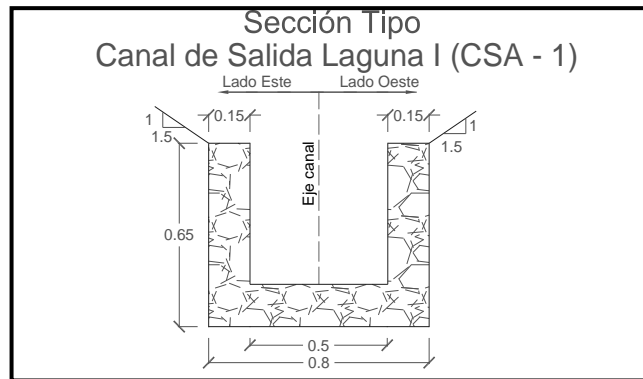
Correspondiente a la laguna artificial N° 1, la infraestructura total del sistema de drenaje para las aguas excedentes consta de:

- Canal de salida (H°C°).
- Cabezal de entrada (colchón hidráulico).
- Alcantarilla con control de entrada (*Chapa ARMCO*).

##### a) Obras hidráulicas complementarias (alcantarilla N°1).

La sección tipo del canal de salida para la alcantarilla N°1 se muestra en la Figura 4.15.

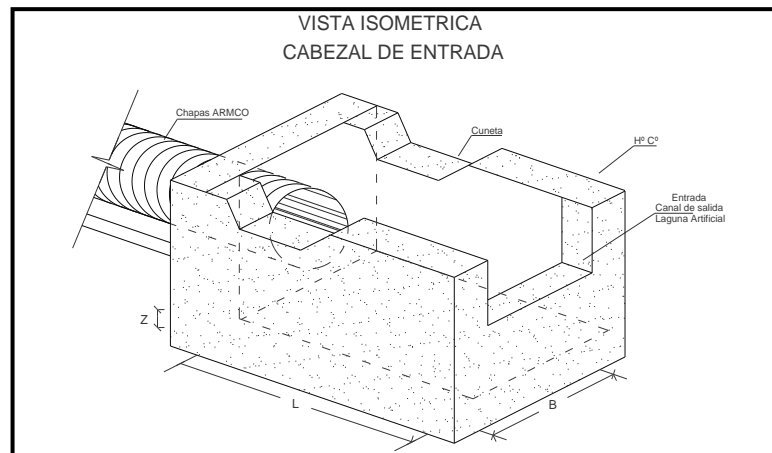
**Figura 4.15** Sección tipo, canal de salida Laguna I



*Fuente: Elaboración Propia.*

La Figura 4.16 permite apreciar las condiciones de entrada de la alcantarilla N° 1, con una caja receptora de tres entradas.

**Figura 4.16** Condiciones de Entrada Alcantarilla N°1



*Fuente: Elaboración Propia.*

La geometría del colchón hidráulico, presenta las siguientes dimensiones:

$$B = \text{Base del colchón} = 1.2 \text{ [m]}$$

$$L = \text{Largo del colchón} = 3.20 \text{ [m]}$$

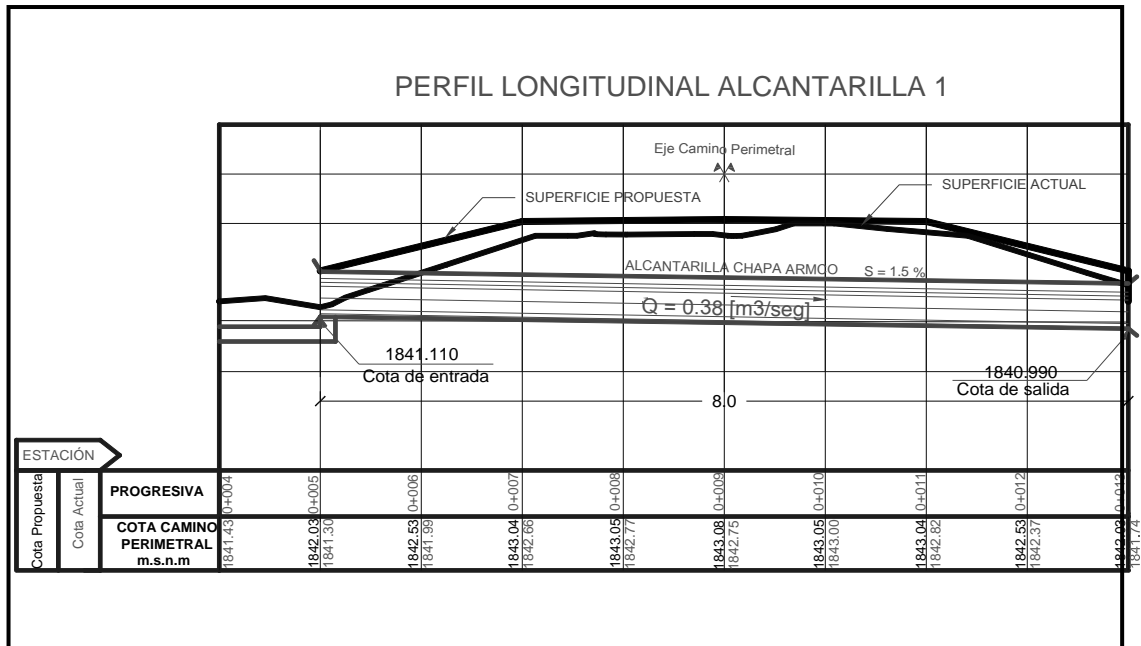
$$Z = \text{altura colchón} = 0.20 \text{ [m]}$$

#### **b) Diseño de alcantarilla N°1.**

La entrada de la alcantarilla no estará sumergida y el flujo de esta será parcialmente lleno

(características típicas de un flujo con control a la entrada). Tendrá una longitud de 8 metros, con una pendiente del 1.5 % (Ver Figura 4.15).

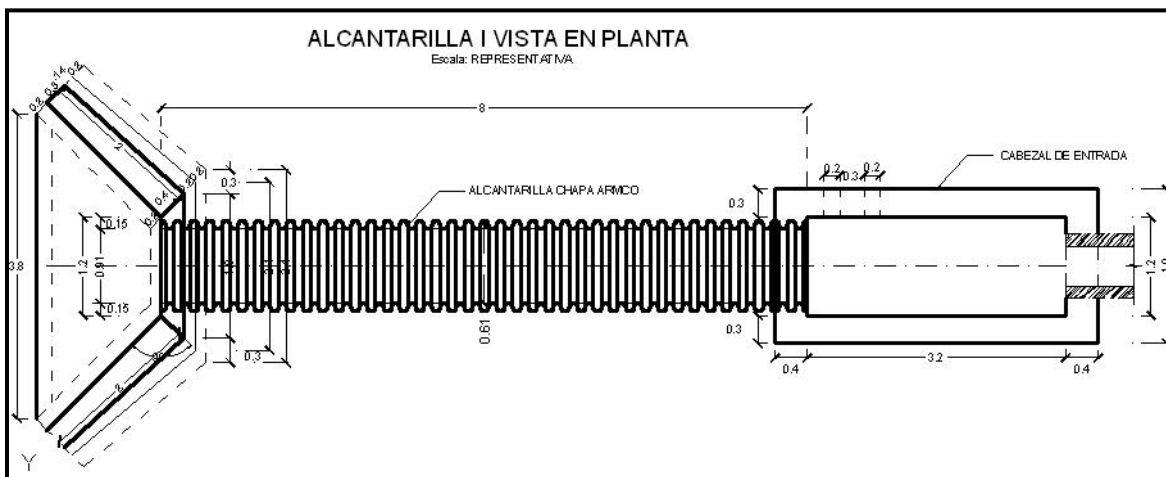
**Figura 4.17 Perfil Longitudinal alcantarilla N°1**



*Fuente: Elaboración Propia.*

El diámetro necesario para evacuar el caudal de diseño (0.38 m<sup>3</sup>/s) y tener velocidades aceptables (1.86 m/s –alcantarilla N°1) es de 24”

**Figura 4.18 Vista en planta alcantarilla N°1**



**Figura 4.19** Hoja de Cálculo – Culvert Master

The screenshot shows the 'Culvert Calculator - Alcantarilla 1 con 24"' window. It is divided into several sections for input and output data:

- Solve For:** Headwater Elevation
- Culvert:**
  - Discharge: 0.3800 m<sup>3</sup>/s
  - Maximum Allowable HW: 1.000 m
  - Tailwater Elevation: 0.800 m
- Inverts:**
  - Invert Upstream: 1,841.100 m
  - Invert Downstream: 1,840.980 m
  - Length: 8.000 m
  - Slope: 0.015000 m/m
- Section:**
  - Shape: Circular
  - Material: Aluminum
  - Size: 24 inch
  - Number: 1
  - Mannings: 0.024
- Headwater Elevations:**
  - Maximum Allowable: 1.000 m
  - Computed Headwater: 1,841.757 m
  - Inlet Control: 1,841.717 m
  - Outlet Control: 1,841.757 m
- Inlet:**
  - Entrance: Headwall
  - Ke: 0.50
- Exit Results:**
  - Discharge: 0.3800 m<sup>3</sup>/s
  - Velocity: 1.861 m/s
  - Depth: 0.402 m

Buttons at the bottom include OK, Cancel, Output, Solve, and Help.

**Fuente:** Elaboración Propia

El diseño de las alcantarillas se realizó empleando el software Culvert Master.

#### **4.2.2.4.2 Alcantarilla N°2.**

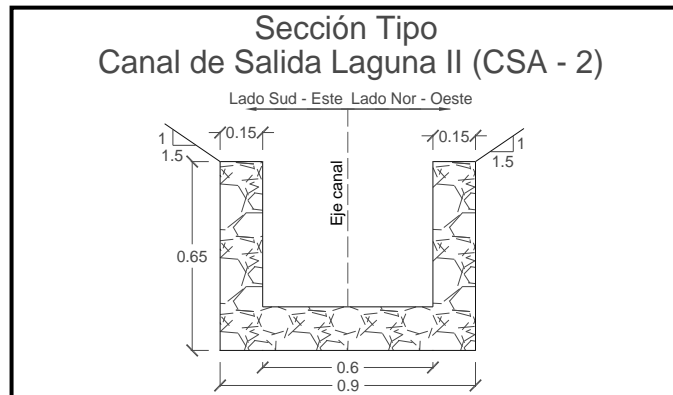
Correspondiente a la laguna artificial N° 2, la infraestructura total del sistema de drenaje para las aguas excedentes consta de:

- Canal de salida (H°C°).
- Cabezal de entrada (colchón hidráulico).
- Alcantarilla con control de entrada (*Chapa ARMCO*).

#### **a) Obras hidráulicas complementarias (alcantarilla N°2).**

La sección tipo del canal de salida para la alcantarilla N°2 se muestra en la Figura 4.18.

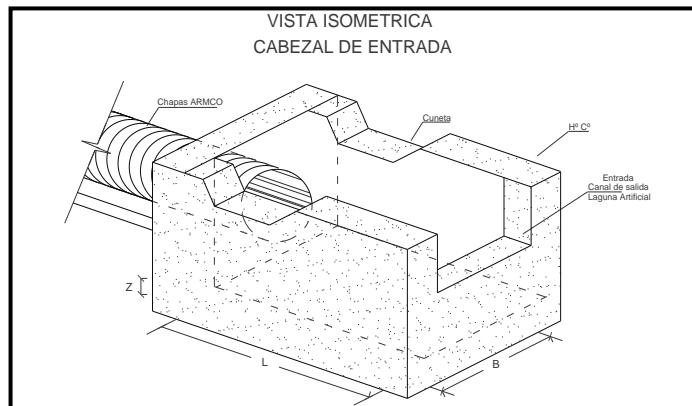
**Figura 4.20** Sección tipo canal de salida laguna I



*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 4.21 entrada de la alcantarilla N° 2, con una caja receptora de tres entradas.

**Figura 4.21** Condiciones de Entrada Alcantarilla N° 2



La geometría del colchón hidráulico, presenta las siguientes dimensiones:

$B = \text{Base del colchón} = 1.2 \text{ [m]}$

$L = \text{Largo del colchón} = 4.5 \text{ [m]}$

$Z = \text{altura colchón} = 0.20 \text{ [m]}$

**b) Diseño de alcantarilla N°2.**

De características hidráulicas, de pendiente y de longitud similares a las de la alcantarilla N°1, se tiene una alcantarilla no sumergida y un flujo parcialmente lleno, con una pendiente del 1.5 % y una longitud de 8 metros. (Ver Figura 4.22)



**Figura 4.24** Hoja de Cálculo – Culvert Master

Parameter	Value	Unit
Solve For	Headwater Elevation	
Discharge	0.2500	m <sup>3</sup> /s
Maximum Allowable HW	1.000	m
Tailwater Elevation	0.800	m
Invert Upstream	1,841.100	m
Invert Downstream	1,840.980	m
Length	8.000	m
Slope	0.015000	m/m
Shape	Circular	
Material	Aluminum	
Size	24 inch	
Number	1	
Mannings	0.024	
Entrance	Headwall	
Ke	0.50	
Maximum Allowable	1.000	m
Computed Headwater	1,841.612	m
Inlet Control	1,841.566	m
Outlet Control	1,841.612	m
Discharge	0.2500	m <sup>3</sup> /s
Velocity	1.591	m/s
Depth	0.323	m

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **4.2.3. Sector de Terraceos I, II, III y Muros de Gaviones**

Correspondiendo con las obras necesarias para el control de erosión con uso de geosintéticos se diseñó para que en los lugares de los terraceos que tienen muros de gavión y en los nuevos gaviones en el sector final de pista se colocara un Geodren detrás de estos gaviones, ya que estos gaviones no cumplieron con retener el suelo fino de los terraceos provocando una falsa estabilidad en estos lugares.

#### **4.2.3.1. Diseño de Geodren en Muros de Gavión**

##### **a.- Estimación del caudal de diseño**

A continuación se presenta una metodología para estimar el caudal de diseño en el caso de sistemas de subdrenaje.

##### **b.- Caudal por infiltración**

El agua lluvia cae directamente sobre la grama del área superior al lugar a ser emplazado el

Geodren. Gran parte de esta se infiltra debido a la permeabilidad del suelo. Para calcular el caudal por infiltración aportado al sistema de subdrenaje se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{inf.} = I_r * A * F_f$$

Dónde:  $I_r$  = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en el sitio más cercano al proyecto. De las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia. Usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos y se escoge la curva de 2 años.

$A$  = Área del campo sobre Geodren en consideración.

$F_f$  = Factor de filtración que considera el efecto de pérdida de agua por efecto de evaporación y saturación del suelo. (Se sugiere usar de 0.7 a 0.8).

**Nota:** En algunos casos se toman en cuenta el Caudal por Nivel freático y Caudal por escorrentía superficial, en este caso se tomará solo el de Infiltración según (Designing with Geosynthetic Cap 10) y observación de los lugares de diseño para emplazar los Geodrenes.

### c.- Caudal total de diseño

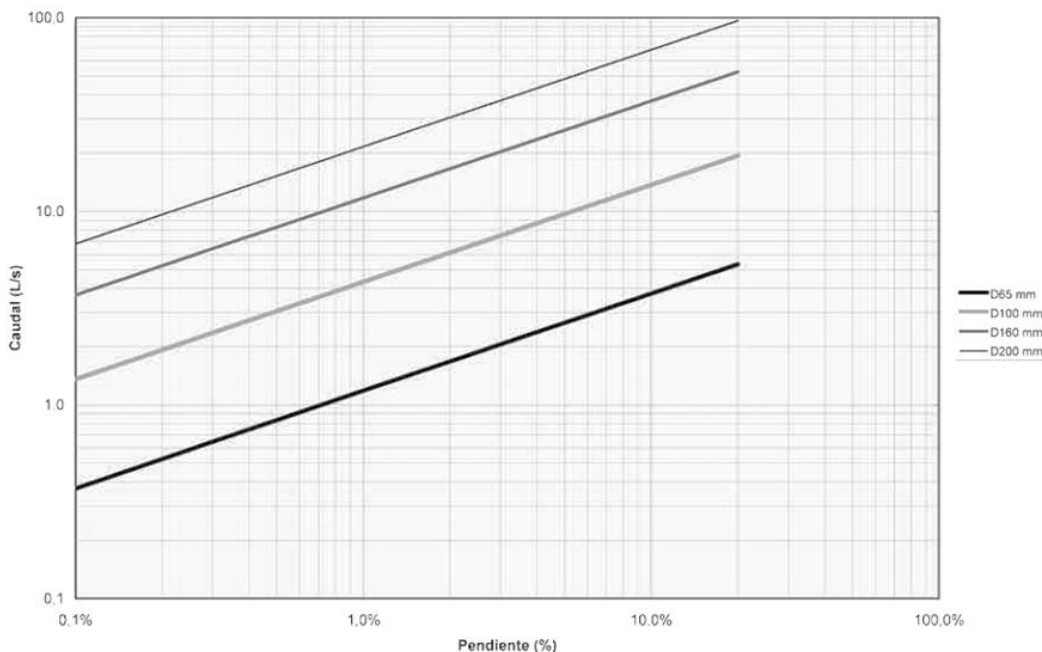
Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal total de diseño:

$$Q_{diseño} = Q_{inf}$$

$$Q_{diseño} = (1.36 * 10^{-5} \text{ m/s} * 250 * 0.7)$$

$$Q_{diseño} = 0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Figura 4.25** Monograma para el cálculo del diámetro de tubería a usar según ecuación de Prandtl-Colebrook



**Fuente:** Designing with Geosynthetic Cap 10, 5 Ed.

#### d.- Selección del Geodren adecuado

Según el nomograma para una pendiente de 1% el diámetro de tuberías existentes para Geodren circular, el caudal máximo que pueden transportar es el siguiente:

Tubería de 65 mm (2.5") =  $Q_{max} = 0.00119 \text{ m}^3/\text{s}$

Tubería de 100 mm (4") =  $Q_{max} = 0.00433 \text{ m}^3/\text{s}$  ----- Ok!

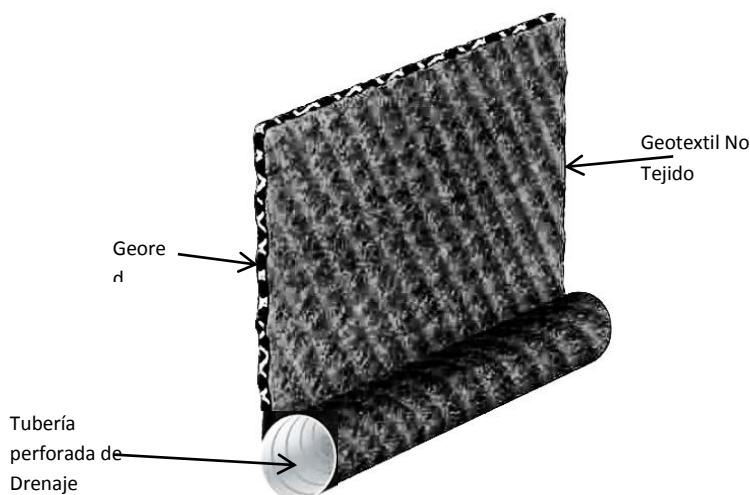
Tubería de 160 mm (6") =  $Q_{max} = 0.01174 \text{ m}^3/\text{s}$

Tubería de 200 mm (8") =  $Q_{max} = 0.02157 \text{ m}^3/\text{s}$

El caudal determinado para cada tramo de 30 metros entre cada punto de evacuación, para cada colector principal es igual a  $0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con este caudal total se determina que la tubería adecuada a emplear para estos colectores principales es de 100 mm (4").

El ejemplo tomado es para el Geodren planar más desfavorable de 3m de altura.

*Figura 4.26 Geodren Circular*



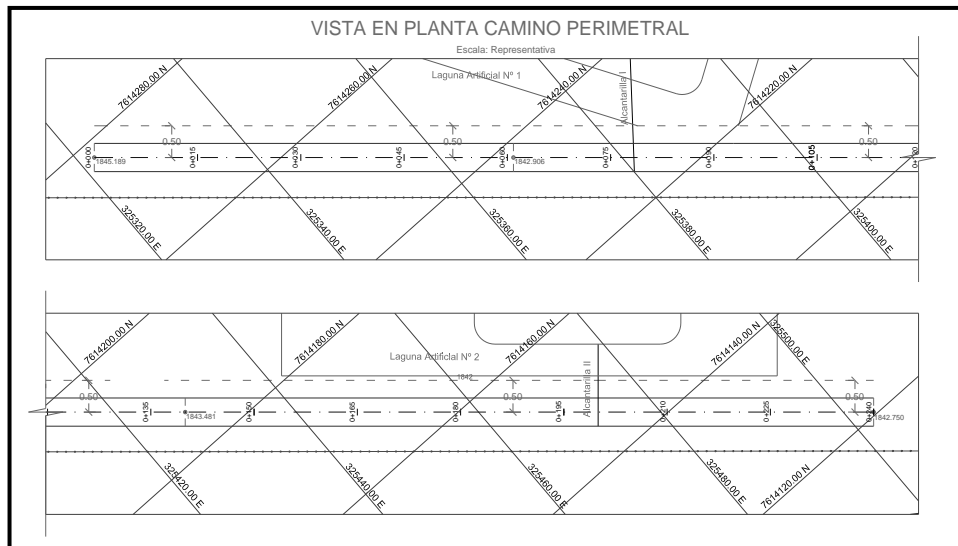
#### 4.2.3.2 Obras Civiles adicionales

Corresponde a las obras necesarias para la estabilidad y funcionabilidad del sector en su conjunto que comprenden muros de gaviones, canales nuevos dentro de los terracedos, movimiento de tierras y conformación de terrazas

##### a.- Desplazamiento del Camino Perimetral

Debido a la proximidad de las depresiones topográficas al camino perimetral, en el sector de las lagunas artificiales, se vio la necesidad de desplazar 0.5 [m] el eje del camino, en una longitud de 240 [m].

**Figura 4.27** Desplazamiento del Camino Perimetral



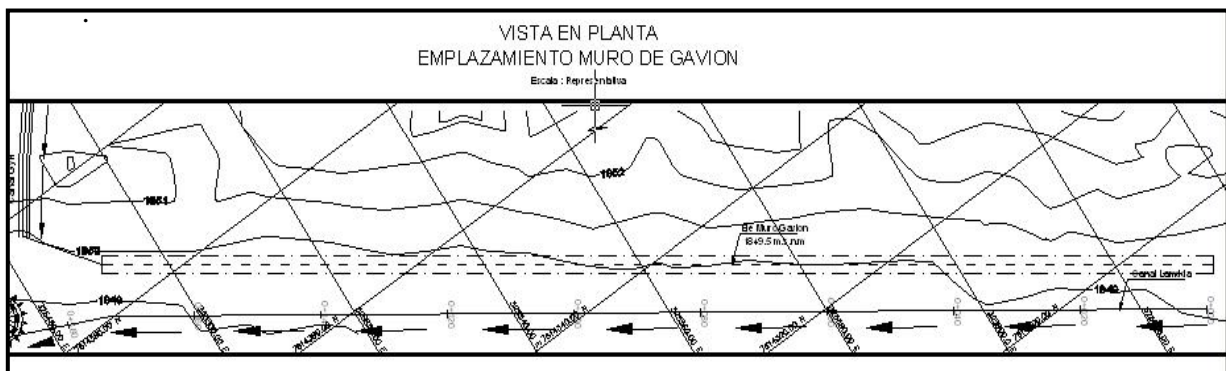
*Fuente: Elaboración Propia.*

### **b.- Muros de Gavión para Contención de Terrazas**

En el sector Norte de la prolongación eje de pista, se ve la necesidad de preservar la estabilidad de las terrazas, para evitar fallas del talud por desmoronamiento del mismo.

La solución adoptada fue la construcción de un muro de gaviones con espaldón de Geo dren como se calculó anteriormente, y cuyo emplazamiento se encuentra próximo al nuevo canal Lambda. (Ver Figura 4.28).

**Figura 4.28** Emplazamiento muro de gaviones final prolongación eje de pista.

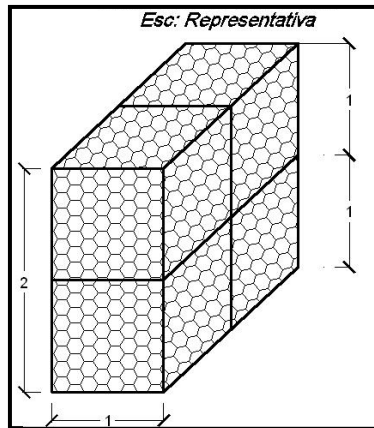


*Fuente: Elaboración Propia.*

La geometría del muro presenta una base de 2 [m] y una altura de 2 [m]:



**Figura 4.31** Dimensiones Muro Gavión Camino Perimetral



**Fuente:** Elaboración Propia

#### **d.- Movimientos de tierra (Nivelación de superficies/Terraceos)**

Como se menciona anteriormente, la estabilidad de los sectores con “terraceos” ha alcanzado un éxito parcial, duramente afectado por constantes deslizamientos, hundimientos, socavaciones y la escasa densidad de vegetación inexistente exceptuando el terraceo I que se procederá de diferente manera ya que cuenta con más cobertura vegetal que los demás terraceos y solo se mejorara el drenaje de los canales existentes con una serie de canales nuevos, y obras complementarias

Se ha visto por conveniente realizar nivelaciones en las terrazas, con nuevas pendientes de escurrimiento, un sistema de drenaje adecuado con canales nuevos colectores y la inclusión de **Geodren** en el espaldón de los muros de gaviones existentes para evitar perdida de suelo fino, una cobertura vegetal que permita mitigar los efectos de la erosión dando estabilidad a los terraceos II y III. Que para el cálculo se los denomina **A y B**; Se llamará **C** al terraceo nuevo en el sector final de pista lado derecho y **D** en el sector final detrás de pista.

Estas obras complementarias como la nivelación de terraceos, con movimiento de tierras, cálculo de canales nuevos, caídas verticales, disipadores de energía, caídas escalonadas, y todo lo que se refiere a obras complementarias, cálculos, perfiles y diseño de obras menores se realizaron y están en los **Anexos de capítulo IV** estudio de gabinete.

El principal enfoque que se quiso dar al estudio fue para el uso de GEOSINTÉTICOS en ese cometido se concluyó con realizar por separado el análisis de ítems en los que se incluyen los Geosintéticos.

#### 4.2.4. Alcance del Estudio con Uso de Geosintéticos.-

El estudio cuya ejecución en términos físico-económicos tiene el siguiente alcance:

De acuerdo con el estudio presentado en los anteriores capítulos, el presente Estudio resume sus tareas de ejecución, de acuerdo al siguiente:

##### 4.2.4.1. Canalización Quebrada SILS:

De acuerdo al análisis de factibilidad técnico-económica se escogió como alternativa el perfilado de la quebrada SILS, asignándole un talud regular 2: 1.5, verificando su estabilidad, protegiendo su superficie con el “uso de geosintético” un manto de control de erosión permanente o geomanta, la cual permitirá el crecimiento y mayor trabazón de las raíces de los pastos con el suelo, otorgando una mayor resistencia a la erosión.

*Tabla 4.3 Ítems de geosintéticos para Canalización Quebrada Sils*

I	CANALIZACIÓN QUEBRADA SILS			
Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
	PROV. Y COLOCADO DE GEOMANTA	5.739,21 m2	82,18	471.648,28

*Fuente: Elaboración Propia*

##### 4.2.4.2. Lagunas Artificiales.

a) **Lagunas Artificiales:** Estas lagunas podrán salvar las depresiones topográficas que se encuentran bastante pronunciadas en la actualidad y permitirán la generación de bioclimas que faculten la proliferación vegetal que otorgue un aporte considerable al control de

erosión en el sector se adoptó la solución con el uso de geomembranas impermeables de espesor calculado para control de filtraciones subterráneas.

**b) Muros de Contención (Gaviones):** Permitirán contener el suelo y estabilizar las grandes depresiones que se presentan en los sectores superiores a las lagunas artificiales y Con inclusión de Geodrenes para la filtración de aguas subterráneas y superficiales en los espaldones de los muros de gaviones, evitando formación de surcos y cárcavas

*Tabla 4.4 Items de geosintéticos para Construcción de Lagunas Artificiales*

<b>II</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE LAGUNAS ARTIFICIALES</b>			
<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>PARCIAL</b>
	PROV Y COLOCADO DE GEOMEMBRANA (HDPE E=1.0 MM) - LAGUNA ARTIF. 1	800,0 M2	115,59	92.472,0
	PROV Y COLOCADO DE GEOMEMBRANA (HDPE E=1.0 MM) - LAGUNA ARTIF. 2	600,0 M2	115,59	69.354,00
	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN - LAGUNA ARTIF. 1	342,0 M3	67,86	23.208,12
	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN - LAGUNA ARTIF. 2	72,0 M3	67,86	4.885,92

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.2.4.3. Construcción de Terraceos:**

**a) Perfilado de Terraceos existente (A-B):** Debido al continuo proceso de erosión se ha visto necesario realizar el re-perfilado de los terraceos existentes, estabilizando con una nueva cobertura vegetal, en función a un correcto sistema de drenaje con canales y en la inclusión de geodrenes en la parte de los muros de gaviones existentes.

**b) Nuevos Terraceos (C-D):** Nacen como solución para mejorar la estabilidad de los sectores bastante degradados, con la implementación de nueva cobertura vegetal y controlando el curso de las aguas superficiales con el sistema de drenaje sugerido, además

de muros con gaviones y de otras obras hidráulicas complementarias que a su vez encausaran hacia las lagunas artificiales.

**Tabla 4.5** *Items para Conformación de Terraceos*

<b>III</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE TERRACEOS</b>			
<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>PARCIAL</b>
	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN - LAGUNA ARTIF. 1	205,0 M2	67,86	13.911,3
	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN - LAGUNA ARTIF. 2	172,0 M2	67,86	11.671,9

*Fuente: Elaboración Propia*

**4.2.4.4. Ejecución de Obras Adicionales:** Corresponde a las obras necesarias para la estabilidad y funcionabilidad de todo el sector en su conjunto, desplazamiento del eje del camino perimetral y protección de talud con la construcción de gaviones en la franja derecha (Sur) del camino y la inclusión de Geodren en el espaldón del muro de gaviones te del sector prolongación eje de pista.

**Tabla 4.6** *Items para Ejecución de Obras Adicionales*

<b>IV</b>	<b>EJECUCION DE OBRAS ADICIONALES</b>			
<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNITARIO</b>	<b>PARCIAL</b>
IV-I	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN –CAMINO PERIMETRAL	300,0 M2	67,86	20.358,0
IV-II	PROV. Y COLOCADO DE GEODREN – PROLONG. EJE PISTA	440,0 M2	67,86	29.858,4

*Fuente: Elaboración Propia*

## **V- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.**

### **5.1. CONCLUSIONES.-**

- El presente estudio se presentó como un proyecto que alcanza un nivel de interés regional y departamental, que responde a una necesidad latente de seguridad y serviciabilidad para las operaciones aéreas en el aeropuerto Cap. Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija, y que demanda mantener un aeropuerto vivo, activo, capaz de resistir un crecimiento empinado en la economía de la región, como consecuencia de sus extensas reservas de gas especialmente. Es que se elaboró el presente documento con el único fin de darle una alternativa a corto y mediano plazo para su solución, cuya infraestructura se encuentra atacada constantemente por fenómenos de erosión que desgastan el suelo de fundación en toda su superficie (pavimentos, franjas de seguridad, prolongación extremo eje de pista y cursos de agua), poniendo en riesgo la vida de servicio de las estructuras emplazadas en el lugar, es por ello que este estudio demostró que con la utilización de geosintéticos principalmente, daremos una solución a esta problemática actual.
- Es necesario referirse a los objetivos específicos trazados en el principio de este estudio ya que se logró dar solución de manera efectiva y eficaz a estas inquietudes.
- Se logró obtener información primaria de datos topográficos, datos hidrológicos-hidráulicos, estudios de suelos, que sirvieron para el trabajo desarrollado en gabinete.
- Se obtuvo información secundaria referida a las obras ejecutadas anteriormente, con las constantes visitas y levantamientos topográficos del lugar de estudio.
- En el capítulo III se realizó la evaluación y estado actual del sistema de drenaje y el estudio de suelos
- De los procesos de erosivos en toda la zona aeroportuaria estudiados y que afectan cursos fluviales en ambientes expuestos al fenómeno de la erosión hídrica, altamente dinámica, son fenómenos de complejos que en gran medida se

presentaron alternativas de solución a los efectos de erosión, basado en el uso de Geosintéticos principalmente:(Mantos de control erosivo en el sector de la salida de la Quebrada Sils, geodrenes calculados para empotrarse en los espaldones de los muros de gavión, geomembranas impermeables en el sector de las lagunas artificiales), construcción de obras de drenaje y alivio de aguas superficiales en los sectores de los terracedos antiguos y nuevos , así se cumplió con los objetivos específicos trazados, soluciones con el uso de tecnología referida al uso de geosintéticos principalmente.

- Nuestro país no cuenta con normativa respecto a ensayos o requerimientos para estos materiales, ya que la normativa adoptada es de otros países vecinos y se adoptaron para algunos de estos para el desarrollo de este estudio.
- En ese sentido, se han mostrado aspectos metodológicos para obtener parámetros de diseño en el desarrollo de propuestas tanto de obras de contención, como de drenaje, la utilización de nuevas técnicas y elementos de ingeniería, consideradas como opciones adecuadas para el fin perseguido.
- Una vez realizada la evaluación del sistema de drenaje de los sectores críticos, se puede concluir que los mismos se encuentran en un estado estructural regular, con ligeras fisuras y cursos de agua colmatados o enterrados en algunos sectores, cumpliendo de esta manera una función de drenaje y escurrimiento insatisfactoria por tanto el uso de geosintéticos es la alternativa más apropiada para resolver estos problemas según nuestro criterio.
- Realizando el nuevo perfilado de las terrazas existentes, protegiendo su superficie con vegetación y proporcionando un sistema de drenaje y con la inclusión del Geodrenes como espaldones de los muros de gaviones existentes y nuevos, se brindará estabilidad a los caminos perimetrales comprometidos con estos terracedos, y se evitará el constante deslizamiento de sus terrazas hacia la pista 13-31.
- La canalización de la quebrada SILS con ayuda de geosintéticos (manto de control erosivo permanente), sin duda alguna es un aporte de gran importancia al sistema de drenaje de todo el aeropuerto, dado que la mayor cantidad de aguas que circulan por

el actual sistema de drenaje, transita por esta quebrada.

- La estabilidad de taludes de la nueva canalización de la quebrada SILS, empleando software, presenta valores de factor de seguridad por encima de 2.0, muy favorables para su implementación además de colocar en estos taludes Geomantos permanentes que ayudarán en la cobertura vegetal, importante en el momento estabilizar el sector en su conjunto.
- La construcción de lagunas artificiales con uso de Geomembranas, representa una solución final a la constante problemática de erosión del sector final prolongación eje de pista, ya que permitirá la recolección de gran parte de las aguas de lluvia del sector, formando bioclimas, que permitan el crecimiento de vegetación.
- Es importante la utilización de los Geodrenes en los gaviones, ya que absorben de mejor manera las aguas sobrantes de las lluvias y presentan una barrera en la pérdida de suelo fino, que perjudicó de manera considerable al proceso erosivo en los lugares de los muros de gaviones existentes con anterioridad.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda para este estudio en especial como principal recomendación el *USO DE GEOSINTÉTICOS* en el control de erosión en el aeropuerto Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija
- Tomando como aspectos técnicos y económicos el *USO DE GEOSINTÉTICOS* es el más recomendado para este caso de acuerdo con nuestro criterio.
- Si bien el *USO DE GEOSINTÉTICOS* no es una alternativa reciente se debe tomar en cuenta que esta evoluciona constantemente, es por eso que se recomienda al momento del uso de estos materiales utilizar en base a sus últimos estudios.
- Al momento de aplicar los *GEOSINTÉTICOS* en los casos de geomembranas en las lagunas artificiales, mantos de control erosivo para el caso de la quebrada Sils, y el Geodren en los muros de gaviones, seguir los procedimientos necesarios para el buen uso de estos materiales.