

**UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante: Ricardo Riveros Velásquez**

**Profesores Comisión : Verónica Lazcano Castro**

**Gilda Espinoza Valenzuela**

**“EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS  
EN TALUDES DE GRAN ALTURA”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de

Ingeniero Civil

**ESTEBAN FABIÁN SALAS VALDERRAMA**

**Concepción, Enero de 2014**

*Dedicado:*

*A mi familia, amigos, compañeros y a quienes me brindaron su apoyo para lograr obtener este título profesional.*

*Especialmente a mi madre Ligia y mi hermano Sebastián, que aunque no estén conmigo presentes físicamente, sé que están felices al ver que he logrado uno de los objetivos más importantes de mi vida.*

## *Agradecimientos:*

*A Dios por darme las fuerzas en los momentos más difíciles, sin dejar que bajara los brazos para alcanzar esta meta.*

*A mi padres Mauricio Salas y Ligia Valderrama quienes me han aconsejado, enseñado y apoyado para lograr ser un profesional.*

*A mi hermana Daniela, tíos, abuelos y primos, que han sido comprensivos conmigo y me han brindado palabras de aliento para seguir adelante.*

*A mis amigos y compañeros con los cuales he compartido momentos muy gratos tanto en los estudios como en la vida cotidiana, entregándome su apoyo, alegría y amistad.*

*A mis profesores del Colegio Toquicura que me formaron en la enseñanza básica, profesores del Colegio Metodista de Concepción que me enseñaron a ser perseverante y a los profesores del Departamento de Ingeniería Civil, quienes me han entregado los conocimientos básicos con respecto a la profesión.*

*Y a la Universidad del Bío-Bío por haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera que desde niño anhelé.*

ÍNDICE	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
1.1    Objetivos del Proyecto.....	4
1.1.1    Objetivo General.....	4
1.1.2    Objetivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1    Meteorización de las Rocas .....	5
2.2    Erosión de los Suelos.....	6
2.2.1    Erosión Hídrica.....	6
2.3    Caracterización de Taludes .....	8
2.4    Estabilidad de Taludes .....	9
2.5    Estructura Externa del Talud .....	9
2.6    Sistemas Tradicionales de Impermeabilización de Terrazas .....	12
2.6.1    Hormigón Proyectado .....	12
2.6.2    Geosintéticos .....	13
2.6.3    Asfalto Cortado .....	15

<b>CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS EN TALUDES DE GRAN ALTURA.....</b>	<b>17</b>
3.1 Capa Base de Mortero H-5 .....	18
3.2 Capa de Imprimante Primer en Base a Solvente en Frío .....	20
3.3 Capa de Impermeabilizante Denso de Aplicación en Frío .....	21
3.4 Capa Superficial de Mortero H-20.....	21
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS.....</b>	<b>22</b>
4.1 Análisis Económico de las Alternativas .....	22
4.1.1 Hormigón Proyectado.....	22
4.1.2 Geosintéticos.....	23
4.1.3 Asfalto Cortado.....	24
4.1.4 Propuesta de Impermeabilización.....	25
4.2 Análisis Técnico de las Alternativas.....	27
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>34</b>
Anexo A: Marco Teórico .....	35
Anexo B: Propuesta de Sistema de Impermeabilización de Terrazas en Taludes de Gran Altura.....	41
Anexo C: Análisis Comparativo de las Alternativas de Impermeabilización de Terrazas.....	43

## **“EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS EN TALUDES DE GRAN ALTURA”**

**Esteban Fabián Salas Valderrama**

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío**

**essalas@alumnos.ubiobio.cl**

**Ricardo Riveros Velásquez**

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío**

**rriveros@ubiobio.cl**

### **RESUMEN**

Hace un par de años, la Ingeniería Civil ha estado asumiendo nuevos desafíos en el área de la ingeniería geotécnica, donde se ha demostrado que la calidad del suelo es un factor crucial al construir obras como los taludes, cuya principal función es aportar superficies niveladas y uniformes para la cabida de futuras obras, manteniendo su estabilidad a largo plazo. En el caso que el talud no cuente con un recubrimiento superficial adecuado en la terraza, componente que mantiene un continuo contacto con el agua que intercepta y drena, se daría lugar a infiltraciones que a mediano plazo podrían desestabilizar esta estructura. Es por esta situación, que se plantea evaluar un sistema alternativo de impermeabilización de terrazas, que conserve la estabilidad y garantice la evacuación de aguas, en taludes de gran altura. Por lo que se estudiaron y detectaron las fallas de los sistemas de impermeabilización más tradicionales, determinando los requerimientos necesarios para el diseño de una propuesta consistente en un paquete estructural compuesto por morteros de distinta resistencia y derivados asfálticos, capaz de cumplir con los parámetros relevantes que se exigen en un sistema de impermeabilización. El procedimiento de su instalación es rápido y seguro, considerando la altura del talud que complica la accesibilidad hacia las terrazas. Finalmente, la propuesta presenta un mayor costo en comparación a las demás alternativas, sin embargo, posee ventajas de reducir riesgos de filtración y costos de mantención.

Palabras Claves: Impermeabilización de terrazas, taludes de gran altura, infiltración.

6884 Palabras Texto + 12 Figuras/Tablas\*250 = 9884 Palabras Totales

## **“EVALUATION OF ALTERNATIVES IN TERRACE WATERPROOFING SLOPES OF GREAT HEIGHT”**

**Esteban Fabián Salas Valderrama**

**Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío**

**essalas@alumnos.ubiobio.cl**

**Ricardo Riveros Velásquez**

**Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío**

**rriveros@ubiobio.cl**

### **ABSTRACT**

A couple of years ago, the Civil Engineering has been taking on new challenges in the area of geotechnical engineering , which has shown that soil quality is a crucial factor in building works such as slopes, whose main function is to provide level and uniform surface for future works , maintaining long- term stability. If the batter does not have a suitable surface coating on the terrace component that maintains continuous contact with water traps and drains, it would result in leaks in the medium term could destabilize this structure. It is for this situation that arises evaluate an alternative system of waterproofing terraces, maintains the stability and ensure water evacuation at high altitude slopes. As studied and detected failures of systems over traditional waterproofing , determining the requirements for the design of a consistent proposal in a structural package consisting of mortars of various strength and asphalt derivatives , capable of meeting the relevant parameters required in a waterproofing system . The installation process is fast and safe, considering the height of the slope complicating the accessibility to the terraces. Finally, the proposal has a higher cost compared to other alternatives, however, has advantages of reducing risks of filtration and maintenance costs.

Keywords: Waterproofing of terraces, high altitude slopes, filtration.

6884 Words Text + 12 Figures/Tables \*250 = 9884 Total Words

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

Estos últimos años, la Ingeniería Civil ha venido realizando grandes esfuerzos en el campo de la mecánica de suelos, aportando soluciones que enfrenten los fenómenos de infiltración de agua y erosión, los cuales son originados por la acción de agentes climáticos como la lluvia, generando fallas en el terreno que inicialmente son capas superficiales removidas, pero que con el paso del tiempo pueden ser grandes masas derrumbadas de tierra.

Una de las soluciones geotécnicas que ha puesto énfasis en el control de estos fenómenos, ha sido el diseño y construcción de taludes, puesto que estas estructuras de tierra deben permanecer estabilizadas asegurando el balance interno entre fuerzas solicitantes de gravedad y fuerzas resistentes de cohesión y roce; ya que de lo contrario colapsarían a causa de la infiltración y posterior erosión, impactando no sólo en función y costos, sino que también en posibles pérdidas de vidas humanas.

En el presente proyecto de título se propondrá un sistema de protección superficial de taludes, basado en la impermeabilización de uno de los elementos de la estructura del talud: las terrazas, encargadas de captar las aguas lluvias que no infiltran y conducir las hacia puntos de desagüe mediante la incorporación de obras de saneamiento.

Es necesario recubrir las terrazas debido al continuo contacto que adquieren con el agua encauzada, la cual puede aumentar su caudal favoreciendo la infiltración en la superficie. Por lo tanto, en el presente proyecto se investigarán sistemas tradicionales de impermeabilización de terrazas, con el objetivo de proponer una alternativa que corrija las deficiencias de éstos y que garantice la estabilidad a largo plazo tanto del sistema de evacuación de aguas lluvia como del cuerpo del talud.



## **1.1. Objetivos del Proyecto**

### *1.1.1. Objetivo General*

Evaluar un sistema alternativo de impermeabilización de terrazas, que conserve la estabilidad y garantice una eficiente evacuación de aguas lluvias, en taludes de gran altura.

### *1.1.2. Objetivos Específicos*

- Determinar los parámetros relevantes para la impermeabilización de terrazas en taludes.
- Definir los materiales a emplear, dando a conocer las propiedades que cada uno aporta a la propuesta de impermeabilización.
- Generar propuesta de impermeabilización de terrazas en taludes de gran altura.
- Establecer un procedimiento de recubrimiento superficial que garantice calidad, costo, plazo y seguridad en terrazas de taludes de gran altura.
- Comparar el sistema propuesto con sistemas tradicionales, a través de análisis técnicos y económicos, con el fin de evaluar si su aplicación es viable.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

La formación del relieve terrestre se ha desarrollado en base a procesos geológicos internos y externos, de los cuales los externos son causados por la interacción directa de la corteza terrestre con la atmósfera, hidrósfera y biosfera. Clasificándolos como meteorización de rocas y erosión de suelos (Leví Marrero, 1970).

### **2.1. Meteorización de las Rocas**

La meteorización es el quiebre, descomposición y desintegración de las rocas en segmentos más pequeños, producto de la exposición a la intemperie, subclasificándola en meteorización física y meteorización química (Leví Marrero, 1970).

La meteorización física consiste en dividir la roca en porciones de menor tamaño, conservando aún las propiedades de la roca original (Figura A1 Anexo A). Los principales agentes que la causan son:

- Cambios de temperatura: Cuando en regiones de clima seco, las rocas incrementan su tamaño al exponerse a altas temperaturas durante el día, pero de noche éstas disminuyen su tamaño volviendo a su estado normal, producto de las bajas temperaturas, gatillando agrietamientos en su superficie (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos I).
- Fragmentos transportados por viento: Restos rocosos que son levantados por el viento y llevados hacia otras rocas, corroyendo su superficie (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos I).
- Congelación del agua: Sucede en regiones con temperaturas bajo 0°C, donde el agua que queda atrapada en las grietas de las rocas, se congela y aumenta su volumen, hecho que causa presiones internas en la roca que la terminan destrozando (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos I).

La meteorización química es la descomposición de los minerales de la roca, alterando sus propiedades originales. Su principal causante es el agua que ejerce un efecto hidratante a través del anhídrido carbónico oxidando la roca (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos I).

## **2.2. Erosión de los Suelos**

La erosión es el proceso de desgaste y deterioro de la superficie terrestre donde las partículas de suelo desprendidas son arrastradas y transportadas hacia depósitos naturales, sirviendo como sedimentos para la formación del relieve terrestre (Leví Marrero, 1970).

### *2.2.1. Erosión Hídrica*

Los factores que generan una energía capaz de erosionar, pueden ser de origen climático, como la lluvia. Dando lugar al proceso de erosión hídrica, en el cual la superficie terrestre al establecer contacto con cualquier flujo de agua, comienza a degradarse producto de la disminución de la resistencia al corte de sus partículas, afectando la cohesión entre estas; generando su separación, arrastre y originando diversas fallas o irregularidades que se pueden observar en terrenos naturales y artificiales (Chavarría, 2007) (Figura A2 Anexo A).

El desarrollo de la erosión hídrica depende de un conjunto de factores tales como:

- **Erosividad:** Capacidad del clima para erosionar dentro de cierto período de tiempo, en función de las características físicas de las precipitaciones como la intensidad, duración y época (Chavarría 2007; Suárez 2009).
- **Erodabilidad:** Susceptibilidad del terreno ante la erosión, debido al fácil desprendimiento de sus partículas por efecto de la lluvia, influyendo propiedades del suelo, como su textura y capacidad de infiltración (Chavarría 2007; Suárez 2009).

- Vegetación: Su efecto se relaciona directamente con la interceptación, velocidad de escurrimiento e infiltración (Chavarría 2007).
- Topografía: Mientras mayor sea la pendiente, mayor será la cantidad y energía de la escorrentía superficial, aumentando la erosión sobre todo en terrenos desprotegidos, donde el impacto de las gotas de lluvia provocará que las partículas de suelo se movilizan en sentido de la pendiente (Chavarría 2007).

La erosión hídrica se desarrolla a través de varias etapas, al comienzo recibe el nombre de erosión hídrica, que es la etapa de separación y arrastre de las partículas de suelo por medio líquido sobre la superficie, debido al golpe que producen las gotas de agua lluvia que no infiltran en el terreno (Figura A3 Anexo A), y que comienzan a deslizarse transportando más partículas que se van mezclando con los materiales que encuentran a su paso, formando capas que van incrementando su espesor, lo que hace que se muevan con mayor velocidad pendiente hacia abajo (Figura A4 Anexo A). Entre los factores que más influyen en esta etapa son la textura del suelo, permeabilidad del suelo, estructura del suelo, pendiente del terreno, régimen de precipitación y velocidad de gota caída (Monsalves 2005; Chavarría 2007).

Posteriormente se da origen a la formación de surquillo, donde los riachuelos de la escorrentía superficial se van hundiendo en el terreno a medida que avanzan por la pendiente del talud, produciendo deslizamientos a menor escala (Figura A5 Anexo A), que a largo plazo pueden formar surcos de gran envergadura (Monsalves 2005; Chavarría 2007), dando inicio a la etapa siguiente de formación de cárcavas, que es el estado más avanzado y perceptible de la erosión hídrica, con la formación de surcos más profundos en los que se acumula agua que va erosionando el suelo adyacente (Figura A6 Anexo A). Sobre todo en presencia de terrenos irregulares o altamente erosionables, los cuales impiden el tránsito de maquinaria y disminuyen el área aprovechable. Su aparición se puede prevenir tempranamente, ya que la reparación trae consigo elevados costos. En promedio las cárcavas pequeñas poseen profundidades menores a 2,5 m, las medianas entre 2,5 m a 4,5 m y las grandes mayores a 4,5 m (Monsalves 2005; Chavarría 2007).

Finalmente se produce la etapa de los grandes desprendimientos de material al penetrar el agua con mayor profundidad, reduciendo la permeabilidad y cohesión de los estratos, provocando la separación de capas homogéneas de suelo. Es decir, al entrar en contacto dos capas saturadas de suelo con distintas resistencias al corte, se produce la falla por erosión que produce un deslizamiento (Figura A7 Anexo A), producto del incremento de esfuerzos de corte sobre los esfuerzos resistentes de una determinada masa de suelo (Monsalves 2005; Chavarría 2007).

### 2.3. Caracterización de Taludes

Los terrenos creados por el hombre y que son afectados por la erosión hídrica son los taludes, los cuales son grandes masas de tierra que se caracterizan por el ángulo de inclinación respecto a la horizontal que posee su superficie, aportando superficies niveladas y uniformes para la cabida de futuras obras, con el propósito de mantener su estabilidad por largos períodos de tiempo (Monsalves 2005; Suarez 2009). Tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura N°1: Fotografía de un talud en construcción**

Fuente: Fotografía de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco

## 2.4. Estabilidad de Taludes

El concepto de estabilidad de taludes se atribuye al cumplimiento del principio de equilibrio límite por parte del talud, asegurando el equilibrio a largo plazo frente a factores como la erosión hídrica, que son capaces de producirle fallas que generarían desprendimientos de su masa (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos II).

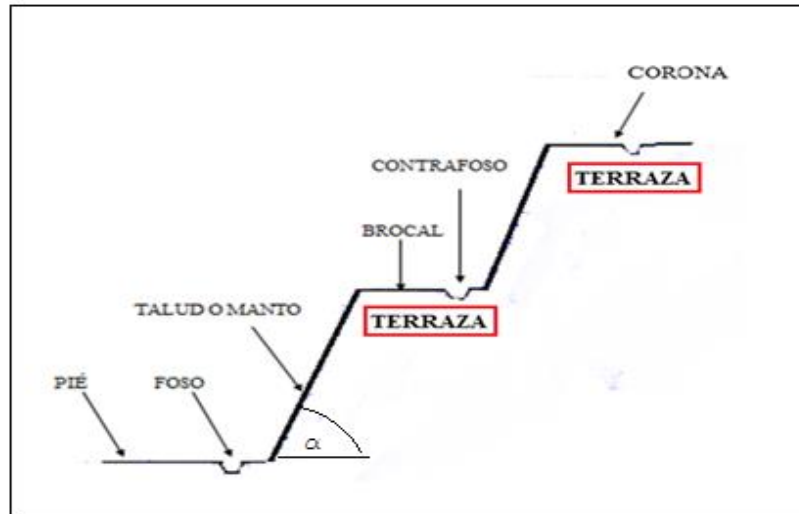
Cuando los esfuerzos solicitantes de corte como la gravedad, solicitaciones sísmicas, sobrecargas y el más relevante que se está analizando en este proyecto, la infiltración de agua en poros; son mayores a los esfuerzos resistentes al corte del terreno, como la cohesión y la fricción del material, se genera una superficie de falla en el talud sobre la cual escurre una masa de poco espesor, a través de movimientos bruscos a moderados de varios metros en pocos minutos, más conocidos como deslizamientos (Apuntes de Clases, Mecánica de Suelos II).

## 2.5. Estructura Externa del Talud

Tal como se observa en la Figura 2, la estructura externa de un talud se compone por una base o pie, que es el punto más bajo donde se produce una variación de pendiente. En la base se perfila un foso o zanja que drena el agua que viene tanto del pie como del talud.

El manto o talud es la masa de tierra inclinada entre la corona y la base. Mientras que la cabeza o corona, es el punto más alto del talud donde se produce una variación de pendiente, la cual se representa por un ángulo  $\alpha$  expresado en grados.

Los otros elementos son el brocal que es una especie de antepecho de la contracuneta o contrafoso, el cual es un elemento que se construye en la cabeza de los taludes con el fin de controlar las escorrentías superficiales, evitando que puedan infiltrarse (Información entregada en Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas).



**Figura N°2. Esquema de elementos constituyentes de la estructura externa del talud**

Fuente: Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas

Por otra parte la terraza, tal como se observa en la Figura 3, es una estructura física constituida por el brocal y el contrafoso, construida sistemáticamente en dirección perpendicular a la pendiente del talud con el fin de reducir la longitud y ángulo de este, previniendo la erosión y filtración (Suárez 2009).



**Figura N°3. Fotografía de una terraza sin recubrimiento**

Fuente: Fotografía de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco

Su principal función es interceptar inmediatamente las aguas lluvias y de escorrentía superficial, para evitar su filtración hacia la superficie del talud y transportarlas, por medio de contrafosos, hacia canaletas dispuestas a los costados del talud que las conducirán hacia depósitos naturales (Monsalves 2005; Chavarría 2007; Suárez 2009).

Para el flujo en terrazas se exige un alto control de la velocidad de transporte del flujo de agua, ya que si aumenta la velocidad se corre el riesgo de erosión en la superficie de la terraza por estar en permanente contacto con este flujo. Además, si el volumen de agua transportada aumenta, la infiltración en la terraza también aumenta, esto hace necesario la impermeabilización de estas estructuras.

Sobre todo en zonas con altas tasas de precipitación durante el año, como también en zonas de clima seco donde las precipitaciones provocan todos los años importantes deslizamientos, porque el suelo tiene un bajo poder de asimilación ante la intensidad de precipitación y tiempo de duración. Por lo cual también se debiera optar en estas zonas por la impermeabilización de terrazas en taludes.

La idea de impermeabilizar las terrazas surge de la necesidad de establecer un sistema alternativo de drenaje superficial que corrija las desventajas de los sistemas tradicionales y cumpla con los parámetros relevantes que todo sistema de impermeabilización debe poseer para asegurar la estabilidad del talud.

Por lo tanto, la principal función de la impermeabilización de terrazas es servir como barrera ante la infiltración y demás factores a los que se expone la superficie de la terraza, tales como ataque químico de sustancias que forman parte de la intemperie, como también de la acción erosiva de los animales y el hombre.

El desarrollo de esta función debe ser lo más breve y efectivo, ya que la escorrentía al estar en permanente contacto con la superficie de la terraza podría infiltrar o acumular agua desencadenando erosión; por lo que es necesario evacuar rápidamente las aguas hacia las obras de saneamiento, que también deben instalarse prontamente, considerando que las características geométricas del talud pueden ser modificadas por la acción climática.



## **2.6. Sistemas Tradicionales de Impermeabilización de Terrazas**

La impermeabilización de terrazas se puede ejecutar a través de distintos métodos, los cuales se diferencian en cuanto a materiales, mano de obra, procedimiento de instalación; dando a conocer a continuación los sistemas más tradicionales para dicha aplicación.

### *2.6.1. Hormigón Proyectado*

Este sistema consiste en la proyección de hormigón comprimido, a través de la boquilla de una manguera, con el propósito de adherirse eficazmente al terreno de la terraza y se compacte como capa de revestimiento de 2,5 a 5 cms de espesor, tal como se observa en la Figura 4.

El hormigón proyectado se caracteriza por presentar mayores cantidades de cemento que el hormigón normal, siendo un material con mayor resistencia a la compresión simple, con magnitudes que oscilan entre 200 (kg/cm<sup>2</sup>) y 450 (kg/cm<sup>2</sup>), presentando una razón agua/cemento más baja y alta compacidad (Bucarey y Carrasco, 2004). Siendo un material más resistente y rígido, que al exponerse a dilataciones y contracciones por variaciones de temperatura, da lugar al agrietamiento de los puntos de enlace de distintas capas sobre la terraza. Para contrarrestar esta situación se puede controlar la razón agua/cemento y usar pernos que anclen mallas de acero que deben instalarse antes de proyectar el hormigón, reforzando este sistema para que resista tanto la compresión como la tracción, y así evitar fisuramientos.

También se recomienda incorporar aditivos que mejoren su plasticidad, flexibilidad e impermeabilidad, implicando mayores costos de instalación.

Durante su colocación se genera desperdicio de material, pues la presión con que se coloca provoca el rebote de un 25% a 30% de hormigón, influyendo en rendimientos de instalación y costos. Además del impacto ambiental que causan estos excedentes contaminando directamente el alrededor.



**Figura N°4. Aplicación de hormigón proyectado tanto en terrazas y talud**

Fuente: Taludes correspondientes a la Vía Bucaramanga-Cúcuta, Colombia. Erosion.com.co

En cuanto a la maquinaria proyectora de hormigón, se prescinde de una revocadora para hormigón con bajo contenido de áridos, la cual va unida a la manguera que expulsa la mezcla. Debiendo ser manejada por operadores especialistas, medida que encarece la puesta en obra (Figura A8 Anexo A).

### 2.6.2. *Geosintéticos*

Otra alternativa para impermeabilizar terrazas son los geosintéticos, que son materiales compuestos a base de polímeros artificiales, obtenidos por tratamientos químicos de los derivados del petróleo, como Polipropileno o Poliéster; que se han utilizado para soluciones geotécnicas de mantenimiento y mejoramiento de suelos. Los geosintéticos más empleados son el geotextil no tejido y la geomembrana.

El geotextil no tejido, es un material textil plano constituido por filamentos entrecruzados en todas direcciones, donde cada uno está puesto sobre el otro de manera laminar, ya sea a través de agujas, termofusión u otros procesos químicos; con el fin de que el geotextil se adapte óptimamente al terreno y brinde las cualidades de protección, filtración y separación. Además de sus propiedades de resistencia al roce con el suelo, alta porosidad y permeabilidad (Pavco, 2012).

Por su parte, la geomembrana es un producto laminar, elaborado en base a Polietileno de alta densidad (HDPE), material que le confiere impermeabilidad al agua (Pavco 2012). Destacándose además por su resistencia al ataque químico, corrosión, rayos ultravioletas y por su escaso índice de permeabilidad de  $10^{-12}$ (cm/s).

Comúnmente se aplica la combinación de geotextil no tejido con la geomembrana, constituyendo un sistema en que el geotextil capta los fluidos presentes en el suelo, para que no infiltren y conducirlos a lo largo de su plano horizontal, reteniendo al mismo tiempo las partículas que podrían interrumpir su permeabilidad en caso que fueran transportadas. Además de aportar resistencia al roce y deformación, protegiendo a la geomembrana de la superficie irregular del suelo permitiendo su adaptabilidad a esta. Pues la principal función de la geomembrana es sólo impermeabilizar y anular toda infiltración de líquido.

Esta solución no es totalmente segura, pues aunque el geotextil proteja a la geomembrana de la irregular superficie de la terraza, al encontrarse expuesta a la intemperie podría recibir ataques abrasivos de partículas de suelo transportadas por escorrentía superficial o viento, y también de masas de tierra derrumbadas, que la podrían rasgar, perjudicando su impermeabilidad (Figura A9 Anexo A). Como también al desprenderse del terreno por efecto del viento, como se observa en Figura 5.



**Figura N°5. Geomembrana despegada producto de la acción del viento**

Fuente: Fotografía en terraza de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco

Por su parte, el geotextil, al proteger a la geomembrana del punzonamiento, podría sufrir daños por parte de la superficie, en caso que esta experimente altas variaciones de temperatura, modificando su volumen y punzonando al geotextil produciéndole rasgaduras que afectarían su función drenante (Figura A10 Anexo A).

### 2.6.3. *Asfalto Cortado*

Es una solución que brinda protección a taludes fácilmente erosivos, mediante la cohesión de partículas de suelo y sellado de la superficie, evitando infiltraciones y encauzando rápidamente las escorrentías superficiales a través de las terrazas para no dar lugar a un prolongado contacto entre el agua acumulada y la superficie imprimada (Chavarría, 2007). Tal como se observa en la Figura 6. En cuanto al drenaje, se recomienda instalar un geotextil antes de imprimir con asfalto, pues el geotextil drena el agua captada por el asfalto, hacia las canaletas instaladas a los costados del talud, reduciendo las posibilidades de infiltración.



**Figura N° 6. Fotografía de terraza recubierta por asfalto cortado**

Fuente: Fotografía de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco

El asfalto cortado se compone por cemento asfáltico más un líquido volátil, Kerosene, el cual se evapora dejando el cemento asfáltico que se mezcla con los agregados, permitiendo que se cohesionen y envuelvan a las partículas de suelo, otorgándole impermeabilidad al sistema (Chavarría, 2007). Su evaporización se debe al hecho de someter a altas temperaturas el asfalto cortado antes de imprimir la terraza, para adherirse perfectamente al terreno. Los asfaltos cortados más empleados son de curado medio MC-30, cuyo número representa la viscosidad cinemática en centistokes.

La utilización del asfalto cortado no ha sido aprobada ambientalmente, por la razón que al calentar la mezcla se evapora el fluidificante volátil que contamina el aire. Además, si la capa de asfalto varía su temperatura, comenzará a dilatarse y contraerse, provocando su agrietamiento, logrando este mismo efecto la exposición de los rayos ultravioletas que implicará el derrame de aceites que forman parte de este material, contaminando el suelo. Se debe considerar que cada par de años se debe realizar mantención al sistema, obligando a invertir a corto plazo en reparaciones para que siga cumpliendo su función impermeabilizante. En cuanto a su instalación, la operación de este sistema requiere de un calefactor para calentar el asfalto y una máquina aplicadora motorizada, con la cual se riega este material sobre la superficie (Figura A11 Anexo A).

Además, esta solución requiere de una mano de obra calificada, debido a la habilidad que se debe tener para emplear la máquina para calentar asfalto y para rociar el material por toda la superficie.

### CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS EN TALUDES DE GRAN ALTURA

La propuesta del sistema de impermeabilización consiste en un paquete estructural conformado por materiales de origen asfáltico aplicados en frío, junto con morteros de baja resistencia a la compresión, el cual se instalará considerando que la estructura del talud se encuentre estabilizada y que la superficie de la terraza se encuentra libre de excedentes y desniveles.

En primer lugar, se coloca la capa base del sistema compuesta por un mortero H-5 de 2,5 cm de espesor. Sobre esta capa base, en estado seco, se pasa con rodillo un imprimante Primer en base a solvente en frío, para luego sobre la capa de este imprimante ya seco, pasar nuevamente con rodillo un impermeabilizante denso en frío, formando otra capa sobre la cual aún en estado fresco, se esparce una determinada cantidad de arena que servirá para que la capa de impermeabilizante se acople eficazmente a la capa superficial del sistema, compuesta por un mortero H-20 de 3 cm de espesor, concluyendo con la instalación del sistema de impermeabilización propuesto, tal como se muestra en la Figura 7, que cubrirá en un 100% la superficie de las terrazas, garantizando la nula entrada de cualquier gota de agua.

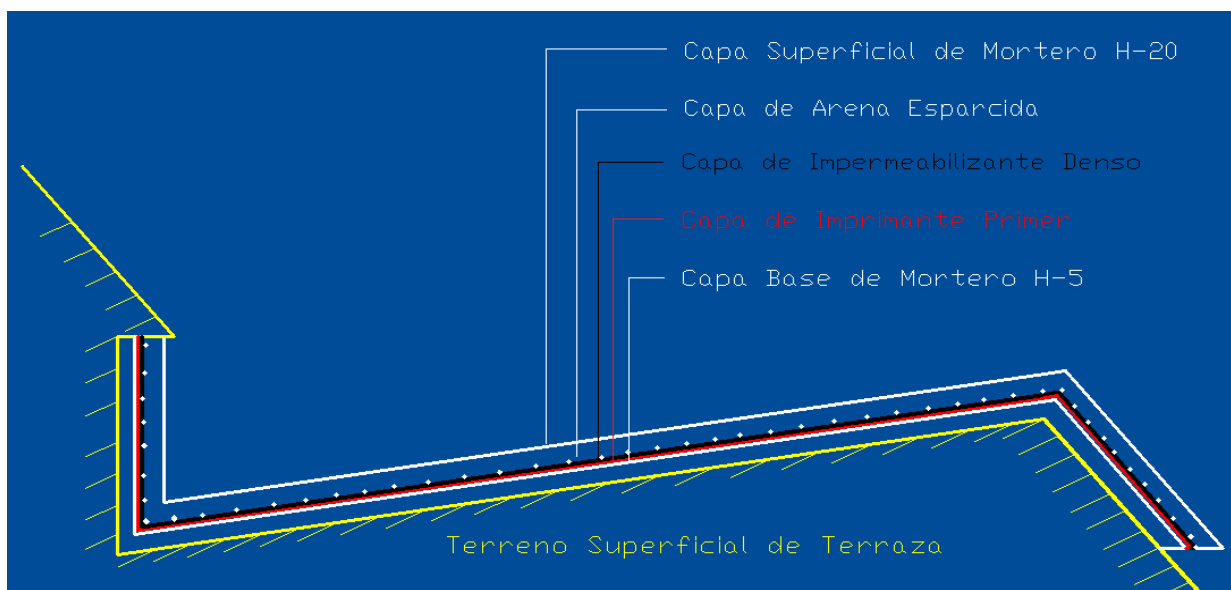


Figura 7. Esquema del sistema propuesto de impermeabilización

Fuente: Elaboración propia

El sistema es aplicable en todo tipo de suelos, más en erosionables compuestos por finos como arcillas, limos y arenas finas, y en zonas con altas tasas de humedad y pluviosidad.

Con respecto a la zona donde ejecutarlo, no existen limitaciones de clima, sirviendo tanto en zonas lluviosas, húmedas e incluso secas, ya que en este último caso se podrían presentar lluvias inesperadas que afectarían las propiedades del suelo, generando catástrofes.

En cuanto al proceso de instalación, se describirá detalladamente a continuación.

### **3.1. Capa Base de Mortero H-5**

En primer lugar se instala sobre la superficie de suelo, la capa base de este sistema compuesta por un mortero pobre, constituido por cemento, agregados finos y agua, cuyo espesor varía entre 2 a 2,5 cm.

El mortero es un tipo H-5 de baja resistencia a la compresión simple de 50 (kg/cm<sup>2</sup>), cuyas principales funciones son adaptarse, adherirse a la superficie del terreno natural, servir como barrera ante la humedad e impedir la infiltración hacia el suelo natural de la capa asfáltica que posteriormente se instalará sobre este mortero.

Con respecto a sus componentes, los agregados finos reducen el agrietamiento producto de la pérdida de agua durante el endurecimiento del mortero. Estos deben encontrarse constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estable, limpias y libres de terrones, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias. Además, deben cumplir con las especificaciones técnicas de acuerdo a ensayos de granulometría, humedad y con cantidades máximas de sulfato, ya que este es un componente que afecta a la durabilidad del mortero que constituyen (Bucarey y Carrasco, 2004).

Mientras que el cemento es Portland Tipo I, el cual es un aglomerante formado por Clínquer en estado sólido y yeso, que al contactarse con agua comienza a fraguar y endurecer formando un material aglutinante. El fraguado depende de la temperatura del lugar y en caso que sea baja, se recomiendan cementos de fraguado rápido con aditivos como cloruro de calcio (Bucarey y Carrasco, 2004).

El agua debe encontrarse limpia y libre de materia orgánica, aceites, sales, álcalis que perjudicarían la composición del aglomerante. Cumpliendo los requisitos de las normas chilenas de construcción o de las E.E.T.T, donde su PH varíe entre 5.5 y 8.0, y sus contenidos de sulfato no dañen al cemento (Bucarey y Carrasco, 2004).

Respecto a su puesta en obra, el mortero en estado fresco elaborado en planta, es transportado hacia donde se encuentra el talud, mediante camiones Mixer de 7 m<sup>3</sup>. Los cuales revuelven el mortero para no afectar su consistencia, trabajabilidad y uniformidad.

Una vez en el sitio de trabajo, se extrae el mortero del camión a través de una bomba pluma, capaz de transportarlo hacia puntos del talud que pueden presentar grandes alturas de 40 a 50 metros.

Este equipo es una bomba estacionaria, montada sobre un camión, provista de un brazo articulado que coloca la mezcla extraída por la bomba, en las terrazas de los taludes que se encuentran a gran altura (Figura B1 Anexo B).

La puesta en obra no prescindirá solamente de la bomba pluma, ya que esta deja caer el cemento sobre un punto de la terraza, sin expandir e imprimir la mezcla por toda su superficie. Por lo tanto se hace imprescindible la labor de la mano de obra que estará a cargo de la expansión, imprimación, compactación y nivelación con regla alisadora de la capa de mortero sobre la terraza, dentro del plazo de trabajabilidad del material y antes de cumplir la hora desde la imprimación, formando la capa base de mortero.

Debido al riesgo que presenta para la integridad de los trabajadores, la imprimación de la primera capa así como también del sistema en general en taludes de gran altura, es que se propone el uso de cuerdas de vida y arneses junto con la instalación de un sistema de montaje encabezado por andamios articulados, que faciliten y proporcionen mayor seguridad a la instalación (Figura B2 Anexo B).

En cuanto a otros alcances, la imprimación del mortero no debe realizarse con lluvia y con temperaturas bajo 2°C, recomendando trabajar en días soleados y de temperatura cálida. Además deberá realizarse bajo las condiciones fijadas en los estudios de impacto ambiental vigentes.



La ejecución de la imprimación se realizará trabajando 180 (m<sup>2</sup> de sector/día) para cumplir con 180 de mortero base. Por su parte, las juntas entre capas de mortero sobre la terraza, serán horizontales y verticales, de forma recta y continua.

Una vez instalado el mortero en la terraza, se debe mantener húmedo (curado), implementando fumigadores de agua o compuestos como el antisol, que garanticen el fraguado y endurecimiento del mortero. Una vez cumplido el fraguado, con el mortero seco, se limpia su superficie y retiran todos los desechos restantes de los trabajos.

### **3.2. Capa de Imprimante Primer en Base a Solvente en Frío**

Una vez que la capa base mortero se encuentra adherida al terreno natural, sobre su superficie seca, se aplica con rodillo una mano de imprimante primer en base a solvente en frío, que luego de una vez imprimado se debe dejar secando durante períodos de tres horas en caso de verano y de ocho horas en caso de invierno.

El primer en base a solventes es una pintura de color negro (Figura B3 Anexo B) elaborada a base de asfalto diluido en solventes de petróleo, ocupada en sistemas de impermeabilización en frío, funcionando como imprimante, sellador y mejorando la adhesividad de los revestimientos asfálticos sobre superficies como metales, morteros y hormigones. La densidad de este material es de 0,85 (kg/lts) y sobre morteros tiene un rendimiento de 0,25 (lts/m<sup>3</sup>) (Manual Sika, 1995).

Esta etapa comprende una duración de un día, donde se completan 180 de imprimación.

El transporte se hace a través de vehículos que traen la pintura en tambores de 180 lts, donde la cantidad de estos dependerá del área de terraza a recubrir y del rendimiento de colocación del material. Habrá que tener en cuenta que es un material inflamable mientras no esté seco y el envase que lo contiene debe estar siempre cerrado (Manual Sika, 1995).

### **3.3. Capa de Impermeabilizante Denso de Aplicación en Frío**

Una vez seca la capa de imprimante primer, se aplica nuevamente con rodillo una mano de impermeabilizante denso en frío (Figura B4 Anexo B). Esta etapa se desarrolla durante un día, cumpliendo con el mismo rendimiento de 180 m<sup>2</sup> de imprimación.

Este material es un líquido viscoso de color negro altamente impermeabilizante y anticorrosivo, que protege contra aguas agresivas, soluciones salinas y ácidas, y resistente a la intemperie (Manual Sika, 1995). Fabricado en base a asfalto, agentes plastificante y solvente de petróleo, de fácil aplicación y adherente a todo tipo de superficie. Funcionando como bicapa al combinarse con el imprimante primer en base a solvente, en estado seco, para obtener una alta adherencia y otorgarle la propiedad de flexibilidad al sistema de impermeabilización en su conjunto (Manual Sika, 1995). El impermeabilizante puede resistir temperaturas de hasta 80°C y su densidad es de 0,9 (kg/lts), mientras que su rendimiento es de 0,25 (lts/m<sup>3</sup>) (Manual Sika, 1995). Respecto al transporte y los cuidados para su uso, se establecen las mismas recomendaciones que con el imprimante en base a solventes.

### **3.4. Capa Superficial de Mortero H-20**

Se debe esparcir arena gruesa y seca, sobre el impermeabilizante asfáltico denso aún en estado fresco, para luego cuando se encuentre seco, se deba soplar y retirar toda la arena suelta excedente, para lograr tener una superficie rugosa que se acople eficazmente a la última capa del sistema constituida por un mortero H-20, cuya resistencia a la compresión es de 200 (kg/cm<sup>2</sup>), y espesor no menor a 3 cms. Esta capa superficial de mortero presenta mayores propiedades de resistencia mecánica y tenacidad al ataque químico, por el hecho de encontrarse expuesta a la intemperie y sometida a la erosión de las lluvias y escorrentías superficiales. Su finalidad es proteger al material asfáltico de la radiación ultravioleta y también reforzar el sistema de impermeabilización, anulando toda posibilidad de filtración, a través de la evacuación de las aguas y protegiéndolo de fisuraciones por impacto. Esta etapa consta de un período de un día donde se colocan 180 m<sup>2</sup> de mortero.

La puesta en obra se repite como cuando se instaló el mortero base, por lo tanto, se siguen las mismas recomendaciones, concluyendo con la instalación del sistema de impermeabilización.

## **CAPÍTULO 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS**

### **4.1. Análisis Económico de las Alternativas**

A continuación se mostrarán los presupuestos de cada aplicación de recubrimiento, considerando maquinaria, materiales y mano de obra, para comparar los valores unitarios totales y concluir cuál es la alternativa más económica.

#### *4.1.1. Hormigón Proyectado*

El presupuesto de valor unitario del sistema de hormigón proyectado, que se observa en la tabla 1, presenta el valor de la máquina proyectora de hormigón que se obtiene de la relación del valor de arriendo diario de este equipo con el rendimiento de 180 m<sup>2</sup> diarios de imprimación (Ecuación C1 Anexo C).

El valor del hormigón proyectado se obtuvo de la relación del valor por metro cúbico del hormigón en empresas hormigoneras con un volumen de 0,05 m<sup>3</sup> de una capa de 5 cms de espesor (Ecuación C2 Anexo C).

En cuanto a la mano de obra, se muestran los valores de dos maestros de primera y dos jornales, los cuales se obtienen de la relación entre el valor diario de cada trabajador con el rendimiento promedio de 144 metros cuadrados diarios que se realizan en obras de hormigón proyectado (Ecuaciones C3 y C4 Anexo C). Sin embargo, estos resultados se relacionan con el rendimiento de 180 m<sup>2</sup> diarios de imprimación (Ecuaciones C5 y C6 Anexo C) obteniendo los valores por metro cuadrado que se observan en la tabla 1. De esta manera se obtiene el valor unitario total del presupuesto luego de sumar los gastos generales equivalentes al 35% del total del costo directo y el IVA correspondiente al 19%.

**Tabla 1. Presupuesto del Sistema de Hormigón Proyectado**

<b>MAQUINARIA</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Proyectora de Hormigón	0,005
<b>MATERIALES</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Hormigón Proyectado	0,162
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
2 Maestros de Primera	0,020
2 Jornales	0,016
<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Total Costo Directo	0,203
Gastos Generales (35%)	0,071
<b>Total Valor Unitario Neto</b>	<b>0,274</b>
IVA (19%)	0,052
<b>TOTAL VALOR UNITARIO</b>	<b>0,326</b>

Fuente: Cementos Melón

#### 4.1.2. Geosintéticos

El presupuesto de valor unitario del sistema de geosintéticos, que se observa en la tabla 2, presenta el valor del equipo de sellado, que se obtiene de la relación entre el valor del gas licuado, que forma parte de los equipos de sellado, con el rendimiento del gas sobre los 180 m<sup>2</sup> de imprimación (Ecuación C7 Anexo C). En la tabla se observan los valores promedio de la geomembrana de HDPE y del geotextil no tejido.

Además, se muestran los valores de dos maestros de primera y de dos jornales, los cuales se obtienen de la relación entre el valor diario de cada trabajador con el rendimiento promedio de metros cuadrados diarios con que se instalan los geosintéticos (Ecuaciones C8 y C9 Anexo C). Sin embargo estos resultados se relacionan con el rendimiento de 180 m<sup>2</sup> diarios de imprimación (Ecuaciones C10 y C11 Anexo C) obteniendo los valores por metro cuadrado que se observan en la tabla 2.

**Tabla 2. Presupuesto del Sistema de Geosintéticos**

<b>MAQUINARIA</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Equipo de Sellado	0,002
<b>MATERIALES</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Geotextil No tejido	0,033
Geomembrana de HDPE	0,064
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
2 Maestros de Primera	0,010
2 Jornales	0,004
<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>VALOR (UF/m2)</b>
Total Costo Directo	0,113
Gastos Generales (35%)	0,040
Total Valor Unitario Neto	0,153
IVA (19%)	0,029
<b>TOTAL VALOR UNITARIO</b>	<b>0,182</b>

Fuente: Geosintéticos Pavco

#### 4.1.3. Asfalto Cortado

El presupuesto de valor unitario del sistema de asfalto cortado, que se observa en la tabla 3, presenta el valor del regador con motor que se obtiene de la relación entre el valor de la hora de arriendo de la máquina con el rendimiento que posee por hora. (Ecuación C12 Anexo C).

Como también el valor del asfalto MC-30, al relacionar el valor del litro de asfalto con el rendimiento sobre  $180 \text{ m}^2$  (Ecuación C13 Anexo C). El valor del gas licuado, obtenido de la relación entre el valor del gas con el rendimiento del gas sobre los  $180 \text{ m}^2$  de imprimación (Ecuación C14 Anexo C). Mientras que el valor del petróleo se obtiene de la relación entre el valor del litro con el rendimiento del petróleo sobre los  $180 \text{ m}^2$  de imprimación (Ecuación C15 Anexo C). En cuanto a la mano de obra, se muestran los valores de un maestro de primera y de dos jornales, los cuales se obtienen de la relación entre el valor diario de cada trabajador con el rendimiento promedio de metros cuadrados diarios con que se imprima el asfalto (Ecuaciones C16 y C17 Anexo C). Sin embargo estos resultados se relacionan con el rendimiento de  $180 \text{ m}^2$  diarios de imprimación (Ecuaciones C18 y C19 Anexo C) obteniendo los valores por metro cuadrado que se observan en la tabla 3.

**Tabla 3. Presupuesto del Sistema de Asfalto Cortado**

<b>MAQUINARIA</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
Regador con Motor	0,005
<b>MATERIALES</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
Asfalto MC-30	0,029
Petróleo	0,0005
Gas Licuado	0,002
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
1 Maestro de Primera	0,005
2 Jornales	0,004
<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
Total Costo Directo	0,045
Gastos Generales (35%)	0,016
<b>Total Valor Unitario Neto</b>	<b>0,061</b>
IVA (19%)	0,012
<b>TOTAL VALOR UNITARIO</b>	<b>0,073</b>

Fuente: Clasa S.A. Asfaltos

#### 4.1.4. Propuesta de Impermeabilización

El presupuesto de valor unitario de la propuesta de impermeabilización, que se observa en la tabla 4, presenta los valores de los morteros H-5 y H-20, que se obtienen de la relación del valor por metro cúbico de los morteros en empresas con un volumen de 0,025 m<sup>3</sup> de una capa de 2,5 cms de espesor en caso del H-5 y de 0,03 m<sup>3</sup> de una capa de 3 cms de espesor en caso del H-20. (Ecuaciones C20 y C21 Anexo C).

También se muestra el valor de la arena que se obtiene de la relación entre el valor por metro cúbico y el volumen de la capa de arena (Ecuación C22 Anexo C).

Como también del imprimante primer en base a solventes y del impermeabilizante denso en frío, que se obtienen de la relación entre el valor del tambor que los contiene y el rendimiento que tienen sobre los morteros (Ecuaciones C23 y C24 Anexo C).

En cuanto a la mano de obra, se muestran los valores de dos maestros de primera y dos jornales, los cuales se obtienen de la relación entre el valor diario de cada trabajador con el rendimiento de

180 m<sup>2</sup> diarios de imprimación (Ecuaciones C25 y C26 Anexo C) obteniendo los valores por metro cuadrado que se observan en la tabla 4.

Se tiene que dejar en claro, que para el sueldo diario de cada trabajador, se consideró el sueldo base, las gratificaciones correspondientes al 25% del base, además de la movilización y horas de colación.

**Tabla 4. Presupuesto de la Propuesta de Impermeabilización**

<b>MATERIALES</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
Mortero H-5	0,081
Mortero H-20	0,098
Arena	0,003
Imprimante Primer	0,019
Impermeabilizante Denso	0,021
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
2 Maestro de Primera	0,018
2 Jornales	0,012
<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>VALOR (UF/m<sup>2</sup>)</b>
Total Costo Directo	0,251
Gastos Generales (35%)	0,088
<b>Total Valor Unitario Neto</b>	<b>0,339</b>
IVA (19%)	0,064
<b>TOTAL VALOR UNITARIO</b>	<b>0,403</b>

Fuente: Cementos Melón - Sika S.A

En vista a los valores unitarios totales obtenidos, se concluye que el asfalto cortado posee un menor costo, debido a su práctica aplicación y escasa mano de obra. En cambio la propuesta es la solución más costosa, porque emplea más materiales para brindar protección a la terraza tanto de la infiltración como de otros factores.

## 4.2. Análisis Técnico de las Alternativas

En este análisis se comparan con la tabla 5, las alternativas vistas en cuanto al nivel de satisfacción con que cumplen con cada uno de los parámetros que un sistema de impermeabilización debiera cumplir. Los cuales se identificaron durante la descripción de cada sistema, destacando la impermeabilidad, adherencia, flexibilidad, drenaje, resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a los cambios de temperatura y a las sobrecargas. Además del valor unitario total de cada alternativa.

Los niveles de satisfacción, de cada parámetro que se presentarán a continuación, serán óptimo, bueno, suficiente e insuficiente.

### ➤ Impermeabilidad

En el hormigón proyectado es buena, infiltrándose agua en grietas. En caso de los geosintéticos es óptima, debido a la alta impermeabilidad que del polietileno de alta densidad del que está hecha la geomembrana. Es óptima en el asfalto cortado, por el hecho de cohesionar las partículas evitando toda infiltración. Y en la propuesta también es óptima, al contar con más de una capa como la de los imprimantes asfálticos que poseen una alta impermeabilidad que pudieran bloquear el paso de agua que pudiera ingresar por las grietas de la capa superficial de mortero.

### ➤ Adherencia

Es óptima en el hormigón proyectado por el hecho de proyectarse a presión sobre la superficie. En los geosintéticos es insuficiente ya que necesitan máquinas selladoras para fijarse al terreno, pudiendo despegarse. En asfaltos cortados es óptima por el hecho de la cohesión de las partículas que hacen que este material penetre fácilmente al terreno. En la propuesta es buena, debido a ocupar mortero H-5 para adherirse de mejor al terreno, por el hecho de ser un material poco resistente.



➤ Flexibilidad

En el hormigón proyectado es insuficiente por el motivo de estar hecho para resistir esfuerzos, pero no dilataciones y contracciones que lo pudieran agrietar. En los gesintéticos es óptima porque son materiales plásticos que se adaptan a toda forma de superficie sin romperse. En asfalto cortado es suficiente, puesto que si bien son materiales que se adhieren sin ningún problema al terreno, también podrían experimentar dilataciones y contracciones que pudieran agrietarlo. En la propuesta es buena, debido que esta característica es aportada por los imprimantes asfálticos y las capas de mortero que al no poseer una alta resistencia, son menos rígidas y corren menor riesgo de agrietarse por cambios de volumen.

➤ Drenaje

En todas las alternativas es óptimo, por el hecho que al ser de impermeabilización, lo que importa es el diseño del perfil de la terraza, garantizando el rápido transporte del agua para que no haya riesgo de infiltración.

➤ Resistencia UV

Es óptima en el hormigón proyectado porque sus componentes no se ven dañados por la radiación. Es óptima en los geosintéticos por estar hechos de un material tan resistente a la radiación del sol como el polietileno de alta densidad. Sin embargo es insuficiente en el asfalto cortado, que lo agrieta y va resquebrajando con el tiempo. En la propuesta es óptima por el hecho que la capa más superficial se compone de mortero, que al igual que el proyectado, no es dañado por los rayos del sol.

➤ Resistencia a la Temperatura

Es insuficiente en hormigón proyectado, porque los cambios de temperatura le varían el volumen, generando agrietamientos. En geosintéticos es suficiente ya que al cambiar la temperatura del suelo, este material pudiera ser punzonado y rasgado, afectando el sistema de impermeabilización. En asfalto cortado es insuficiente por ser un material termoplástico que a bajas temperaturas se contrae y a altas se dilata, provocando su agrietamiento. En la propuesta es suficiente, porque los morteros al no ser tan rígidos, no se agrietan tan fácilmente como el hormigón, teniendo mayor durabilidad.

➤ Resistencia a Sobrecargas

Como el hormigón proyectado es resistente al impacto y esfuerzos, este factor es óptimo. En el caso de los geosintéticos es suficiente debido al ataque erosivo que pueda sufrir la geomembrana por parte de partículas que pudieran rasgarla. En asfalto cortado es buena porque cuenta con el geotextil que protege al asfalto de punzonamientos. En la propuesta es óptima porque la capa expuesta al ambiente está formada por un mortero, que por ser un material derivado del cemento, posee las mismas propiedades de resistencia a sobrecargas.

**Tabla 5. Análisis Comparativo Técnico y Económico de las Alternativas**

	Hormigón Proyectado	Geosintéticos	Asfalto Cortado	Propuesta
Impermeabilidad	Buena	Óptima	Óptima	Óptima
Adherencia	Óptima	Insuficiente	Óptima	Buena
Flexibilidad	Insuficiente	Óptima	Suficiente	Buena
Drenaje	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
Resistencia UV	Óptima	Óptima	Insuficiente	Óptima
Resistencia $\Delta T^{\circ}$	Insuficiente	Suficiente	Insuficiente	Suficiente
Sobrecargas	Óptima	Suficiente	Buena	Óptima
Valor (UF/m <sup>2</sup> )	0,326	0,182	0,073	0,403

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

Dado el análisis de los sistemas tradicionales, se concluye que los parámetros relevantes que todo sistema de impermeabilización de terrazas en taludes de gran altura debe cumplir son la impermeabilidad, adherencia, flexibilidad y drenaje superficial, resultando relevantes la resistencia a sobrecargas, cambios de temperatura y radiación ultravioleta. En consideración a estos parámetros, la propuesta no se concibe en base a un solo material, sino como un paquete estructural constituido por morteros de distinta resistencia e imprimantes asfálticos, que de acuerdo a las propiedades que cada uno posee, satisfacen cada parámetro requerido.

De acuerdo a lo estipulado en las normas chilenas NCh 2458. Of 1999, correspondiente los requisitos generales de construcción y seguridad en sistemas de protección para trabajos en altura, y de la NCh 1258/1. Of 2004, correspondientes a los equipos de protección personal a utilizar, se concluye que las condiciones de calidad y seguridad del procedimiento de instalación del sistema son aceptables.

Finalmente, si bien la propuesta presenta un mayor costo en comparación a los sistemas tradicionales, los materiales que la componen pueden satisfacer los parámetros relevantes que se exigen en un sistema de impermeabilización, reduciendo posibilidades de agrietamiento e infiltración. Proponiendo de esta manera un desarrollo experimental de este sistema de recubrimiento, en el que se compruebe su durabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

### ➤ Tesis o Proyectos de Título

- Chavarría G. (2007). Estudio de factibilidad técnica-económica del uso de asfalto cortado en la protección de taludes de fácil erosión. Depto. de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Leddy K. (2012). Factibilidad técnica –económica del uso de cemento siderúrgico y emulsión asfáltica para estabilización de taludes. Depto. de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Monsalves W. (2005). Protección de talud con enfoque a soluciones de protección vegetal. Depto. de Ingeniería en Construcción, UTFSM. Sede Talcahuano.

### ➤ Libros

- Bucarey A. y Carrasco V. (2004). Cemento, Fabricación y Clasificación. Revista de Cementos Bío-Bío, Capítulo 4: Páginas 12-14.
- Departamento de Ingeniería- Geosistemas Pavco. (2012). Manual de Diseño con Geosintéticos, Novena Edición, Bogotá D.C, Colombia.
- Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. (2012). Manual de Carreteras, Volumen N°5 de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción.
- Jaime Suárez. (2009). Deslizamientos. Análisis Geotécnico, Volumen N°1, U.I.S. Escuela de Filosofía, Bogotá D.C, Colombia.
- Leví Marrero. (1970). *La Tierra y sus Recursos: Una Nueva Geografía General Visualizada*, Publicaciones Cultural, S.A., Caracas, Venezuela.

- Manual Sika Chile (1994-1995). Catálogo de productos. Sección 6, Impermeabilizantes Superficiales, Pág. 98-115

➤ **Websites**

- Cemento Melón. Chile. Catálogo de productos. <http://www.melon.cl/morteros>. 30 de Abril de 2013.
- DPL GROUT LTDA. Proyección de shotcrete. <http://www.dplgrout.cl/index.php>. 12 de Noviembre de 2013.
- Erosion.com.co.<http://www.erosion.com.co/geotecnia-vial/85-v%C3%ADa-bucaramanga-c%C3%BAcuta.html>. 02 de Diciembre de 2013.
- Grupo Asfalchile. Catálogo de impermeabilizantes y revestimientos. <http://www.asfalchile.cl/>. 26 de Abril de 2013.
- Mi+d: Un lugar para la ciencia y tecnología. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/12/05/139835>. 02 de Noviembre de 2013.
- ObrasWeb. Sección construcción <http://www.obrasweb.mx/construccion/2013/09/20/autopista-del-sol-una-obra-con-20-anos-de-derrumbes>. 03 de Noviembre de 2013.
- Optimasoil, España. Catálogo de productos. <http://www.optimasoil.com/es/aplicacion-nanotecnologia/erosion>. 29 de Mayo de 2013.
- Slideshare. <http://www.slideshare.net/MyFert2010/erosion-hidrica>. 31 de Octubre de 2013.

# ANEXO

## ANEXO A: MARCO TEÓRICO



**Figura A1. Efecto de la meteorización física observada en una roca**

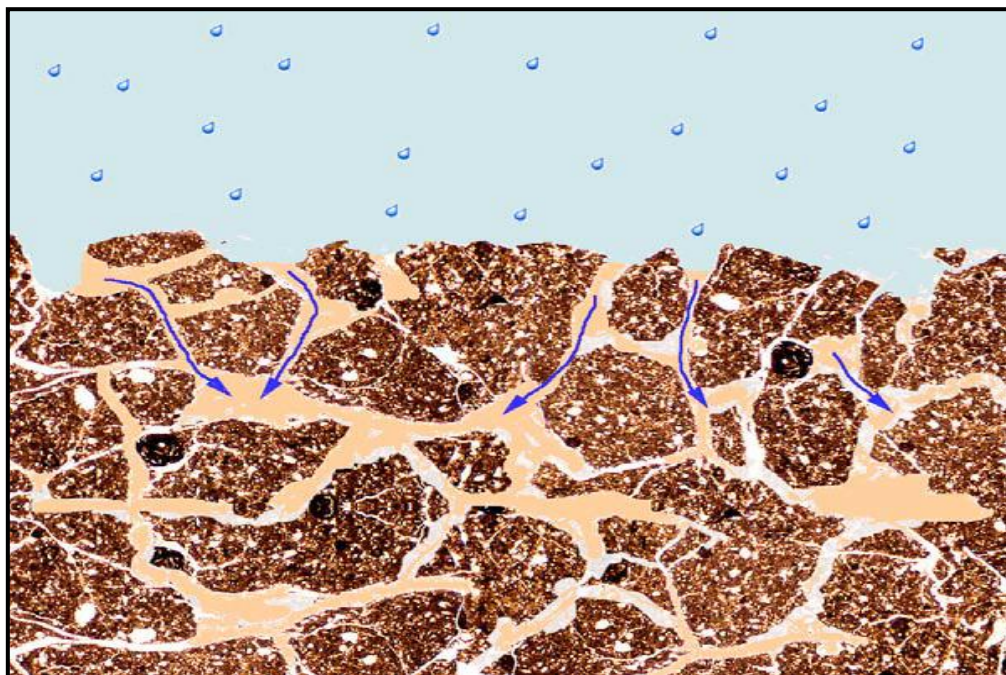
Fuente: Apuntes de clases Mecánica de Suelos I, curso básico y conceptos fundamentales



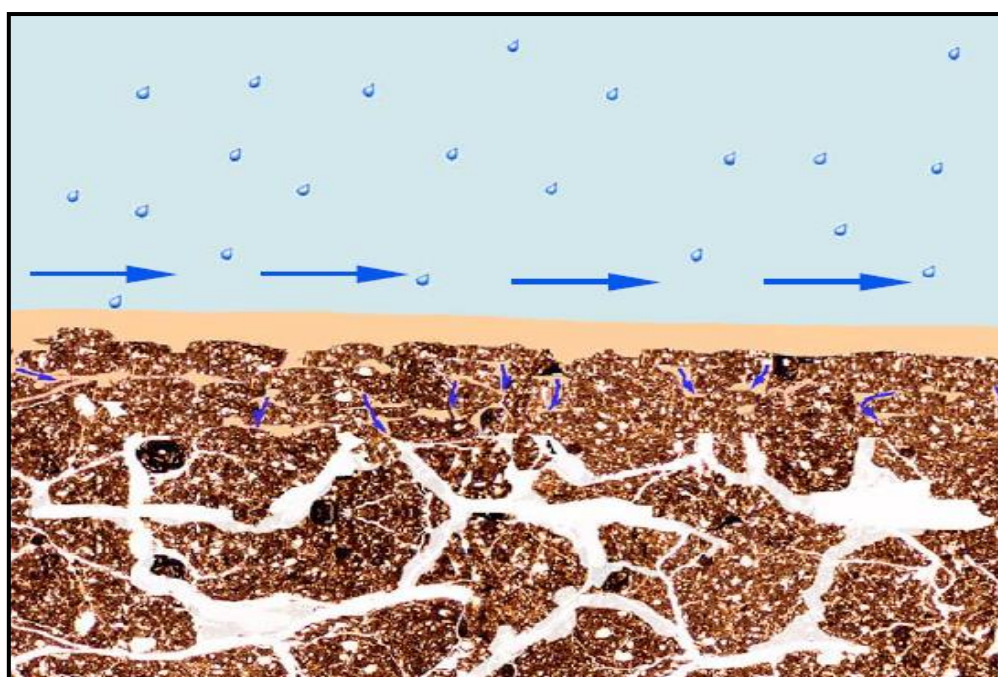
**Figura A2. Falla causada por los efectos de la erosión en un terreno**

Fuente: Fotografía de talud en obra de reposición y ampliación Ruta 150, sector Lirquén Quebrada-Honda





**Figura A3. Fenómeno del impacto de aguas lluvias sobre el terreno**  
Fuente: Apuntes de Erosión Hídrica, Slideshare.net



**Figura A4. Fenómeno del transporte de aguas lluvias no infiltradas**  
Fuente: Apuntes de Erosión Hídrica, Slideshare.net



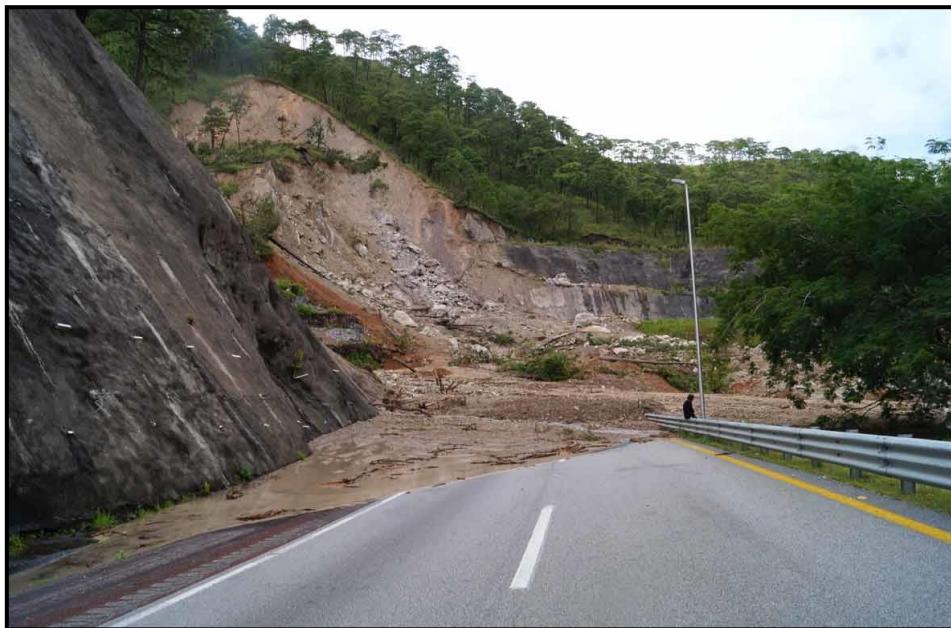
**Figura A5. Surquillo formado en un talud**

Fuente: Fotografía de talud en obra de reposición y ampliación Ruta 150, sector Lirquén Quebrada-Honda



**Figura A6. Cárcava presente en una superficie de suelo**

Fuente: Apuntes de Erosión Hídrica, Slideshare.net



**Figura A7. Talud cuyas capas han sufrido deslizamiento, producto de la falla por erosión**

Fuente: Fotografías de autopista del sol Cuernavaca-Acapulco, México. Obrasweb.mx



**Figura A8. Recubrimiento de talud con hormigón proyectado mediante revocadora**

Fuente: dplgrout.cl



**Figura A9. Geomembrana rota producto de la erosión**

Fuente: Fotografía [tribunadelabahia.com.mx](http://tribunadelabahia.com.mx)



**Figura A10. Geotextil rasgado producto de punzonamientos**

Fuente: Fotografía en terraza de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco



**Figura A11. Aplicación de asfalto cortado en caliente, con la ayuda de máquina regadora de asfalto**  
Fuente: Fotografía de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco

## ANEXO B: PROPUESTA DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS EN TALUDES DE GRAN ALTURA



**Figura B1. Instalación de mortero transportado por camión mixer a través de bomba pluma**  
Fuente: Fotografía de talud perteneciente a By-Pass Penco - Lirquén, Sector Penco



**Figura B2. Implementación de andamios articulados en recubrimiento de taludes**

Fuente: Andamios multidireccionales, olx.com



**Figura B3. Muestra de imprimante primer**

Fuente: [chl.sika.com](http://chl.sika.com)



**Figura B4. Aplicación con impermeabilizante denso**

Fuente: [chl.sika.com](http://chl.sika.com)

**ANEXO C: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE TERRAZAS**

**Ecuación C1. Valor unitario por metro cuadrado de máquina proyectora de hormigón.**

De acuerdo a lo cotizado en empresas de maquinaria pesada donde se arriendan estos equipos, su valor corresponde a 0,85 (UF/día), el cual se divide por el rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día) con que se revestirán las terrazas.

---


$$\frac{(-)}{(-)} \quad \left(\frac{-}{2}\right)$$

**Ecuación C2. Valor unitario por metro cuadrado de hormigón proyectado.**

En cuanto al hormigón a proyectar, su valor en empresas hormigoneras es de 3,25 (UF/m<sup>3</sup>) incluyendo la incorporación de aditivos y transporte en camiones. Por otra parte, su espesor una vez imprimado sobre la terraza, es de 5 cms, con el cual se calcula su volumen considerando como área un metro cuadrado, obteniendo como resultado 0,05 m<sup>3</sup>.



**Ecuación C3. Valor unitario por metro cuadrado de dos maestros de primera.**

El valor por día trabajado de dos maestros de primera equivale a 2,318 (UF/día) y el valor para dos jornales equivale a 1,802 (UF/día). Luego se divide el valor diario de cada trabajador por el rendimiento promedio de metros cuadrados diarios de 144 (m<sup>2</sup>/día) que se realizan en obras de hormigón proyectado, ocupando revocadoras.

$$\frac{2,318 \text{ (UF/día)}}{144 \text{ (m}^2\text{/día)}} + \frac{1,802 \text{ (UF/día)}}{144 \text{ (m}^2\text{/día)}}$$

**Ecuación C4. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales.**

$$\frac{1,802 \text{ (UF/día)}}{144 \text{ (m}^2\text{/día)}} + \frac{1,802 \text{ (UF/día)}}{144 \text{ (m}^2\text{/día)}}$$

**Ecuación C5. Valor unitario por metro cuadrado de dos maestros de primera, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

Sin embargo, como en este proyecto de título se está analizando la instalación de los sistemas de impermeabilización de terrazas, con un rendimiento diario de 180 (m<sup>2</sup>/día), por lo tanto los valores por metro cuadrado se obtienen en relación a este rendimiento.

---

**Ecuación C6. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

---

**Ecuación C7. Valor unitario por metro cuadrado de Gas Licuado.**

Los equipos de sellado por termofusión funcionan a base de Gas Licuado, sustancia que posee un valor de 0,064 (UF/Kg), cuyo rendimiento sobre 180 m<sup>2</sup> equivale a 0,033 (Kg/m<sup>2</sup>), por lo tanto el valor por metro cuadrado del Gas Licuado, al multiplicar estos datos corresponde a 0,002 (UF/m<sup>2</sup>).

---

---

**Ecuación C8. Valor unitario por metro cuadrado de dos maestros de primera.**

El valor por día trabajado de dos maestros de primera equivale a 3,434 (UF/día) y el valor para dos jornales equivale a 1,288 (UF/día). Luego se divide el valor diario de cada trabajador por el rendimiento promedio de metros cuadrados diarios de 250 (m<sup>2</sup>/día) que se realizan en instalación de geosintéticos.

$$\frac{3,434}{250} + \frac{1,288}{250}$$

**Ecuación C9. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales.**

$$\frac{1,288}{250} + \frac{1,288}{250}$$

**Ecuación C10. Valor unitario por metro cuadrado de dos maestros de primera, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

Sin embargo, como en este proyecto de título se está analizando la instalación de los sistemas de impermeabilización de terrazas, con un rendimiento diario de 180 (m<sup>2</sup>/día), por lo tanto los valores por metro cuadrado se obtienen en relación a este rendimiento.

---

**Ecuación C11. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

---

**Ecuación C12. Valor unitario por metro cuadrado de regadora de asfalto.**

El rendimiento de esta máquina es por lo general de 50 (m<sup>2</sup>/h), a un valor de 0,253 (UF/h), donde la razón entre estos datos, da como resultado el valor por metro cuadrado de la máquina equivalente a 0,005 (UF/ m<sup>2</sup>).

---



---

**Ecuación C13. Valor unitario por metro cuadrado de Asfalto Cortado.**

El asfalto cortado posee un valor de 0,029 (UF/lit) y un rendimiento de 1 (lt/m<sup>2</sup>), cifras que dan como resultado un valor por metro cuadrado del asfalto de 0,029 (UF/m<sup>2</sup>).

Asfalto Cortado MC-30 = Valor del litro \* Rendimiento sobre

$$\text{Asfalto Cortado} = 0,029 \text{ (UF/lit)} * 1 \text{ (lt/m}^2\text{)} = 0,029 \text{ (UF/ m}^2\text{)}$$

**Ecuación C14. Valor unitario por metro cuadrado de Gas Licuado.**

Por otra parte, como se indicó anteriormente, el Gas licuado posee un valor de 0,002

Gas Licuado =

**Ecuación C15. Valor unitario por metro cuadrado de Petróleo.**

Posee un valor de 0,029 (UF/lit) que multiplicado con su rendimiento de 0,016 (lt/m<sup>2</sup>) sobre una superficie de 180 m<sup>2</sup> se obtiene un valor de 0,0005 (UF/m<sup>2</sup>)

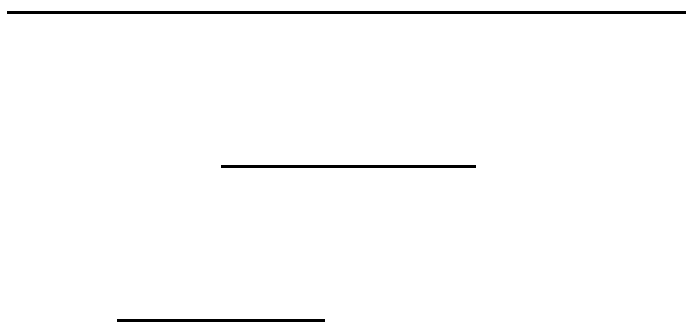
Petróleo = Valor del litro \* Rendimiento

$$\text{Petróleo} = 0,029 \text{ (UF/ lit)} * 0,016 \text{ (lt/ m}^2\text{)} = 0,0005 \text{ (UF/ m}^2\text{)}$$

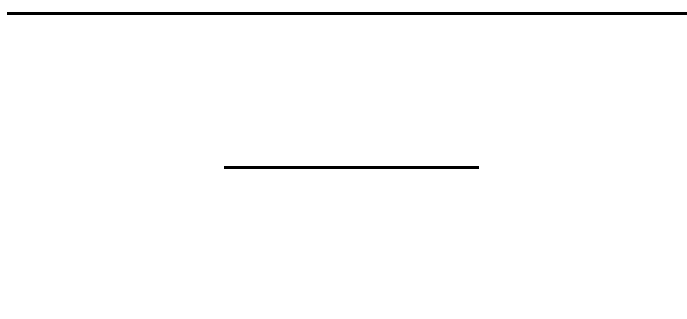
**Ecuación C16. Valor unitario por metro cuadrado de un maestro de primera.**

Sin embargo, estos valores se dividen por un rendimiento de 250 (m<sup>2</sup>/día), el cual se emplea en la mayoría de las impermeabilizaciones con asfaltos cortados. Por lo que los valores por metro cuadrado corresponderán a 0,007 (UF/m<sup>2</sup>) para el maestro de primera y 0,005 (UF/m<sup>2</sup>) para los dos jornales.

En primer lugar, el único maestro de primera posee un valor de 1,717 (UF/día) y los dos jornales, el valor diario de 1,288 (UF/día).



**Ecuación C17. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales.**



**Ecuación C18. Valor unitario por metro cuadrado de un maestro de primera, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

Sin embargo, al estar analizando la instalación de los sistemas de impermeabilización de terrazas con un rendimiento diario de 180 (m<sup>2</sup>/día), los valores por metro cuadrado se obtienen en relación a este rendimiento

---

**Ecuación C19. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales, considerando un rendimiento de 180 (m<sup>2</sup>/día).**

---

**Ecuación C20. Valor unitario por metro cuadrado de Mortero H-5.**

En primer lugar, según lo cotizado en las empresas hormigoneras, el valor de los morteros H-5 y H-20 es de 3,25 (UF/m<sup>3</sup>) incluyendo la incorporación de aditivos que conservan la compacidad y humedad de la mezcla, además de su transporte y la colocación a través de bomba.

Para el mortero H-5 de la capa base, cuyo espesor es de 2,5 cms, se calculó su volumen considerando como área un metro cuadrado, obteniendo como resultado 0,025 m<sup>3</sup>.

Por lo tanto con los datos entregados se obtuvo el valor por metro cuadrado del mortero H-5.

**Ecuación C21. Valor unitario por metro cuadrado de Mortero H-20.**

Por otro lado, para el mortero H-20 de la capa externa del sistema de impermeabilización, cuyo espesor es de 3 cms; se calculó su volumen considerando como área un metro cuadrado, obteniendo como resultado  $0,03 \text{ m}^3$ . De igual manera se obtiene el valor por metro cuadrado del mortero H-20.

**Ecuación C22. Valor unitario por metro cuadrado de Arena.**

En cuanto al valor de la arena que se va a implementar para otorgarle rugosidad al impermeabilizante denso en frío en estado seco, con el mortero H-20, su valor en el mercado es de 0,6 (UF/ $\text{m}^3$ ). Pero considerando que sólo se va a esparcir, se asume un pequeño espesor máximo de capa de arena, calculando su volumen y considerando como área un metro cuadrado, dando como resultado  $0,005 \text{ m}^3$ . De esta manera se obtiene el valor por metro cuadrado de la arena.

En cuanto a los derivados asfálticos, los valores hallados en el mercado son de UF 13,45 para el imprimante primer en base a solvente en tambor de 180 lts y de UF 15,10 para el impermeabilizante denso en frío, también en tambor de 180 lts.



**Ecuación C23. Valor unitario por metro cuadrado de Imprimante Primer en base a solvente.**

En caso del imprimante primer en base a solvente que posee un rendimiento de 0,25 (lts/m<sup>2</sup>) sobre mortero, según lo averiguado en manuales, se obtiene el valor por metro cuadrado.

---

**Ecuación C24. Valor unitario por metro cuadrado de Impermeabilizante Denso en Frío.**

Lo mismo para el impermeabilizante denso en frío que posee un rendimiento promedio de 0,25 (lts/m<sup>2</sup>) sobre cualquier tipo de superficie, obteniéndose el valor por metro cuadrado.

---

**Ecuación C25. Valor unitario por metro cuadrado de dos maestros de primera.**

Con respecto a la mano de obra, el valor unitario de dos maestros de primera equivale a 3,176 (UF/día) y para dos jornales equivale a 2,146 (UF/día).

---

---

---

**Ecuación C26. Valor unitario por metro cuadrado de dos jornales.**

Como el objetivo es determinar el valor por metro cuadrado, se divide el sueldo diario de cada trabajador por el rendimiento de metros cuadrados diarios con que se revestirán las terrazas, el cual equivale a 180 (m<sup>2</sup>/día) según lo especificado.

---



---

$$\frac{(-)}{(-)}$$