

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE  
GEOCELDAS HDPE RELLENAS DE CONCRETO VS EL USO DE  
CONCRETO ARMADO COMO REVESTIMIENTO DE CANALES**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Jose Antonio Huarcaya Cangalaya

**ASESOR:**

Augusto Martin Alza Vilela

Lima, Julio, 2025

### Informe de Similitud

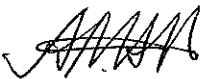
Yo, Augusto Martin Vilela Alza, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE GEOCELDAS HDPE RELLENAS DE CONCRETO VS EL USO DE CONCRETO ARMADO COMO REVESTIMIENTO DE CANALES del autor Jose Antonio Huarcaya Cangalaya, de constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 04/07/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, Perú, 04/07/2025

Apellidos y nombres del asesor: Augusto Martin Alza Vilela	
DNI: 08703104	Firma 
ORCID:	

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Guido y Narda, por darme la oportunidad de estudiar ingeniería civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Sin su apoyo durante estos 5 años, la elaboración de esta tesis no sería posible. Igualmente, el asesoramiento oportuno y brillante del Ingeniero Augusto Alza fue vital para organizar, planificar y desarrollar este trabajo. Finalmente, los aportes del Ingeniero Gustavo Fierro sobre el funcionamiento de las geoceldas fueron esenciales para comprender como diseñar estas mismas.



## RESUMEN

Esta tesis aborda el diseño de un tramo de 500 metros del canal minero del tajo Pampacancha, utilizando dos tipos de revestimiento: geoceldas HDPE rellenas de concreto y concreto armado. El trabajo se enfoca en realizar los diseños correspondientes, elaborar metrados, análisis de precios unitarios, presupuesto y cronograma de obra, con el objetivo de comparar variables económicas (tiempo y costo) y técnicas (durabilidad y espesor del revestimiento).

El objetivo principal es analizar las ventajas y desventajas de los canales de geoceldas en comparación con los tradicionales de concreto armado, evaluando tanto los aspectos técnicos como económicos derivados de los diseños. Para ello, se parte de las propiedades hidrológicas, geométricas y geotécnicas del canal. A continuación, se desarrollan los diseños de ambos tipos de revestimiento, considerando posibles fallas por corte, flexión, volteo y deslizamiento. Además, se realiza un análisis exhaustivo de la durabilidad de ambos diseños frente a fisuración, desgaste y exposición a rayos UV.

Los resultados muestran que las geoceldas rellenas de concreto representan una alternativa económica, fácil de instalar y duradera, superando al concreto armado en cuanto a eficiencia y costos. Este revestimiento ofrece mayores ventajas operativas y es más resistente en comparación con los canales tradicionales con juntas, contribuyendo a una mayor sostenibilidad del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I. Introducción</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	2
<b>1.2. Alcance</b> .....	2
<b>1.3. Justificación</b> .....	2
<b>1.4. Delimitación</b> .....	3
<b>1.5. Limitaciones</b> .....	3
<b>1.6. Metodología</b> .....	3
<b>1.7. Normativa Aplicable</b> .....	4
<b>CAPÍTULO II. Marco Teórico</b> .....	5
<b>2.1. Antecedentes de aplicaciones de geoceldas</b> .....	5
<b>2.1.1. Antecedentes internacionales</b> .....	5
<b>2.1.2. Antecedentes nacionales</b> .....	6
<b>2.2. Geosintéticos</b> .....	8
<b>2.2.1. Polímeros</b> .....	8
<b>2.2.1.1. Polietileno</b> .....	10
<b>2.2.1.2. Polipropileno</b> .....	11
<b>2.2.1.3. Poliéster</b> .....	11
<b>2.2.1.4. PVC</b> .....	12
<b>2.2.2. Tipos de Geosintéticos</b> .....	12
<b>2.2.2.1. Geotextiles</b> .....	12
<b>2.2.2.2. Geomallas</b> .....	13
<b>2.2.2.3. Geomembranas</b> .....	14
<b>2.2.2.4. Geoceldas</b> .....	15
<b>2.2.2.4.1. Legalización del uso de geoceldas</b> .....	16
<b>2.2.2.4.2. Aplicación de geoceldas como revestimiento en canales abiertos</b> .....	17
<b>2.2.2.4.2.1. Geoceldas HDPE rellenas de concreto</b> .....	18
<b>2.2.2.4.2.1.1. Mecanismo de Falla</b> .....	19
<b>2.2.2.4.2.1.2. Procedimiento de Instalación</b> .....	22
<b>2.3. Canales Hidráulicos</b> .....	26
<b>2.3.1. Tipos de Flujo</b> .....	28
<b>2.3.1.1. Flujo permanente (estacionario) y flujo no permanente</b> .....	28
<b>2.3.1.1.1. Flujo uniforme permanente</b> .....	29

2.3.1.1.2. Flujo variado .....	30
2.3.2. Estados de Flujo .....	31
2.3.2.1. Flujo laminar .....	31
2.3.2.2. Flujo turbulento.....	31
2.3.2.3. Expresiones para el análisis del estado de flujo.....	32
2.3.3. Regímenes de Flujo .....	33
2.3.4. Propiedades y Parámetros del flujo de un río .....	34
2.3.5. Canales de Límite Rígido .....	38
<b>CAPÍTULO III. Diseño .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. Predimensionamiento del Canal.....</b>	<b>41</b>
3.1.1. Cálculo del Borde Libre .....	41
3.1.2. Estabilidad del Talud.....	42
3.1.3. Secciones del Canal .....	46
<b>3.2. Diseño de Canal con revestimiento de concreto armado.....</b>	<b>48</b>
3.2.1. Predimensionamiento de base.....	48
3.2.2. Análisis y diseño estructural .....	48
3.2.2.1. Empuje Activo .....	49
3.2.2.2. Empuje Pasivo .....	50
3.2.2.3. Diagrama de Fuerzas Actuantes en el canal .....	51
3.2.2.4. Verificación de estabilidad al volteo y deslizamiento del canal .....	53
3.2.2.5. Verificación de presiones sobre el suelo .....	55
3.2.3. Diseño del canal en concreto armado .....	57
3.2.3.4. Combinaciones de Carga.....	57
3.2.3.5. Resistencia de Diseño.....	57
3.2.3.6. Diseño por Cortante .....	58
3.2.3.7. Diseño por Flexión.....	59
3.2.3.8. Disposición de Juntas .....	60
3.2.3.9. Memoria de Cálculo para Tramo 2 .....	61
3.2.4. Diseño Final de Canal con Revestimiento de Concreto Armado.....	63
<b>3.3. Diseño de Canal con revestimiento de geoceldas rellenas de concreto .....</b>	<b>64</b>
3.3.1. Predimensionamiento de Altura de Geocelda.....	64
3.3.2. Verificación por Cizallamiento.....	66
3.3.3. Verificación por Contracción de Fragua .....	68
3.3.3.1 Coeficiente de Deformación de Contracción Unitaria Última del Concreto .....	69
3.3.3.2 Factor del Tiempo de Curado .....	69
3.3.3.3 Factor de Humedad Relativa .....	70

3.3.3.4 Factor de Espesor del Concreto .....	71
3.3.3.5 Factor de Revenimiento del Concreto .....	72
3.3.3.6 Factor de Finos .....	72
3.3.3.7 Factor de Contenido de Aire .....	73
3.3.3.7 Factor de Contenido de Cemento .....	74
3.3.4. Verificación de Caudal de Filtración .....	76
3.3.5. Memoria de Cálculos para Tramo 2 .....	78
3.3.6. Diseño Final de Canal con Geoceldas Rellenas de Concreto .....	80
3.4. Durabilidad .....	81
3.4.1. Durabilidad de Canal con Revestimiento de Concreto Armado .....	81
3.4.2. Durabilidad de Canal con Revestimiento de Geoceldas Rellenas de Concreto .....	84
<b>CAPÍTULO IV. Costos y Presupuestos de las propuestas de diseño del canal .....</b>	<b>86</b>
4.1. Metrados .....	86
4.1.1. Metrado de diseño con concreto armado .....	86
4.1.2. Metrado de diseño con geoceldas rellenas de concreto .....	87
4.2. Costos .....	87
4.2.1. Tipos de Costos y Gastos involucrados en el proyecto .....	87
4.2.2. Análisis de Costos Unitarios .....	88
4.2.2.1. ACUS en diseño con concreto armado .....	88
4.2.2.2. ACUS en diseño con geoceldas rellenas de concreto .....	89
4.3. Presupuestos .....	89
4.3.1. Presupuesto de diseño con concreto armado .....	89
4.3.2. Presupuesto de diseño con geoceldas rellenas de concreto .....	89
4.4. Cronograma de Obra .....	90
4.4.1. Cronograma de Obra de diseño con concreto armado .....	90
4.4.2. Cronograma de Obra de geoceldas rellenas de concreto .....	91
<b>CAPÍTULO V. Conclusiones .....</b>	<b>92</b>
5.1. Discusión de Resultados .....	92
5.1.1. Comparación en Costos .....	92
5.1.2. Comparación en Tiempo de Ejecución .....	96
5.1.3. Comparación en Espesor de Revestimiento .....	97
5.1.4. Comparación en Durabilidad .....	100
5.2. Conclusiones .....	101
5.3. Recomendaciones .....	102
<b>Referencias .....</b>	<b>103</b>



## **CAPÍTULO I. Introducción**

En la presente investigación, se planteará el diseño de un canal hidráulico abierto que funcionará como medio de transporte hidráulico para la movilización del flujo desde un punto a otro. Asimismo, la descrita estructura hidráulica será diseñada y estabilizada mediante el uso de geosintéticos, que, según Chávez (2018), son materiales poliméricos sintéticos que interactúan con el suelo para mejorarlo.

El canal a diseñar es el canal de agua del tajo de Pampacancha, ejecutado por Hudbay Minerales. En la ejecución del proyecto, se hizo el diseño del tramo considerando un caudal constante de  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$ . A partir de los datos del expediente técnico elaborado por Hudbay Minerales, se obtendrán las diferentes condiciones climatológicas, hídricas y geotécnicas del proyecto.

Se realizará el diseño del canal con 2 tipos de revestimiento: concreto armado y geoceldas rellenas de concreto. Con el fin de obtener metrados, presupuestos, cronogramas de obra y planos de construcción, para comparar los diseños del canal mediante la comparación de las variables: costo, tiempo y espesor de revestimiento.

El eje central sobre el que se plantea la presente investigación es las ventajas en la aplicación de geoceldas. Según Chávez (2018), estas son consideradas como un geo-otro cuyo objetivo es trabajar como encofrado de materiales resistentes, para lograr una defensa ribereña ante sedimentos y flujos de alta velocidad. La metodología y procedimientos previos serán indispensables para el diseño y aplicación de una geocelda que cumpla con todos los parámetros y requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del canal.



## 1.1. Objetivos

### ○ **Objetivo general:**

Comparar el diseño de un canal revestido con geoceldas HDPE rellenas de concreto con un canal revestido con concreto armado, empleando como variables técnicas al espesor de revestimiento y la durabilidad, y como variables económicas al tiempo y costo de ejecución.

### ○ **Objetivos específicos:**

- Recopilar los datos hidráulicos y geotécnicos que definan las características del canal.
- Diseñar, mediante la información recopilada, las dimensiones y características de un canal con revestimiento de concreto y, adicionalmente, otro estabilizado con geoceldas para que se cumpla la función de transporte hidráulico.
- Comparar el presupuesto, tiempo, y espesor de revestimiento entre ambos canales.

## 1.2. Alcance

El uso de geosintéticos corresponde a una tecnología innovadora que se ha posicionado como una alternativa viable en los proyectos ingenieriles. Para el caso de esta tesis, si se lo compara con el concreto armado, las geoceldas se presentan como una opción más sostenible, dado que su producción requiere menos energía y emite menos gases de efecto invernadero, lo que refiere a un menor impacto ambiental. Además de que las mismas son totalmente reciclables y se pueden reutilizar en otros proyectos de construcción.

Asimismo, entre sus principales ventajas está su ligereza y facilidad al momento de instalar, lo que conlleva a una reducción en el costo y el tiempo de construcción, en comparación a los canales que utilizan únicamente concreto armado.

## 1.3. Justificación

El agua y demás recursos hídricos son utilizados para una amplia variedad de propósitos como lo son el riego, energía o abastecimiento de agua potable; por ello su manejo y aprovechamiento debe ser regulado. El diseño y desarrollo de estructuras que asisten al control del agua son proyectos especiales que se enfrentan a un grupo único y específico de condiciones físicas y meteorológicas a las cuales deberá adaptarse. El presente proyecto busca optimizar el diseño de estas estructuras, mostrando una alternativa más económica y con menor tiempo de ejecución.

Al ser un proyecto ingenieril, se tiene en consideración la optimización de recursos y tiempo de construcción del proyecto, por lo que plantear soluciones complementarias que cumplan con los requerimientos solicitados es parte de la evolución de procesos en el mundo de la ingeniería. El diseño de un canal hidráulico reforzado con geoceldas para el transporte y uso de recursos hídricos será el eje central en el que se basará la presente tesis, donde se pretende aportar el entendimiento y difundir una metodología que potenciará el proceso constructivo en canales abiertos.

#### **1.4. Delimitación**

El tramo de diseño serán 500 metros del canal minero NCP-2, el cual traslada agua con sedimentos. Está ubicado en el tajo de Pampacancha, distrito Liviataca, provincia de Chumbivilcas del departamento de Cusco. Cuenta con un caudal controlado de  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El diseño del revestimiento con concreto armado seguirá los ensayos y conocimientos extraídos por varios autores y casos prácticos de diseño de canales hidráulicos. Por otro lado, el diseño del revestimiento de geoceldas rellenas de concreto seguirá la normativa GS-15, y la ASTM correspondiente.

#### **1.5. Limitaciones**

Dado que el caudal es controlado, no se realizarán estudios hidráulicos para determinar las variables y características del flujo. No se realizará un programa de exploración geotécnico, por ende, se empleará los datos obtenidos por Hudbay Minerals sobre el canal a diseñar.

#### **1.6. Metodología**

Se obtendrán los parámetros geotécnicos e hidráulicos a partir del expediente técnico de Hudbay Minerales. Luego, se procederá con el diseño del canal con revestimiento de concreto armado, y con revestimiento de geoceldas rellenas de concreto. Después, se calcularán los metrados, precios unitarios, el presupuesto y cronograma de obra para ambos diseños. Finalmente, se realizará un análisis comparativo entre ambos diseños, evaluando las variables de tiempo, costo y espesor de revestimiento.

### 1.7. Normativa Aplicable

El diseño del canal será sometido a las siguientes normas:

- **Norma E.060 “Concreto Armado” (2020)**: Esta norma rige el diseño de elementos de concreto armado. El canal revestido con concreto armado será diseñado bajo los parámetros de esta norma.
- **GRI – GS 15 “Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Geocells Made From High Density Polyethylene (HDPE) Strips” (2013)**: Esta norma fija las especificaciones técnicas y pautas para el diseño de geoceldas HDPE. El canal revestido con geoceldas rellenas de concreto será diseñado bajo los parámetros de esta norma.



## CAPÍTULO II. Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de aplicaciones de geoceldas

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

El uso del primer prototipo de geocelda es del año 1986, para fines militares el USCOE diseña una celda HDPE de 200mmx200mmx200mm, lisa, sin perforaciones y que servía como confinamiento de arena y contaba con poca vida útil. Se empleaba para cargar equipo militar.

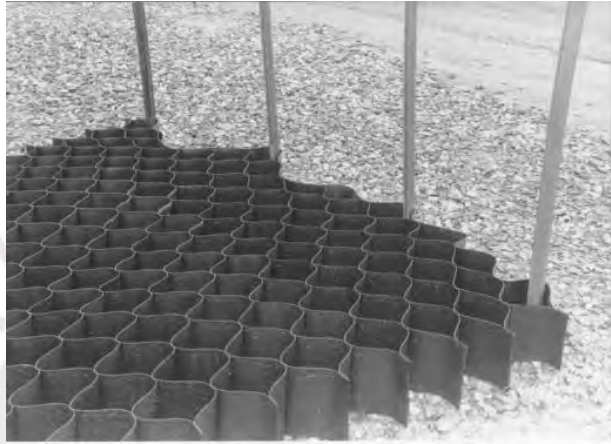


Figura 2.1: Sandgrid (Global Security Org, 2022).

A partir de ello, Robert Koerner obtiene que la resistencia a la extracción del relleno de la celda se calcula mediante:

$$\sigma_c = 2 \frac{H}{D} \sigma_h \tan \delta \quad (2.1)$$

Con dicha ecuación, se determina que el sistema no estaba optimizado, por lo cual se procedió a modificar la sección, y realizarle perforaciones y variaciones al diámetro y altura de la celda hasta llegar al producto actual que esta normado por la GS-15 del GRI desde el año 2013.

En el año 2016, se empleó la solución de geoceldas HDPE rellenas de concreto, como alternativa en un canal minero en la ciudad de Conceição de Mato Dentro, en el estado de Minas Gerais, y la unidad de procesamiento en Alvorada de Minas. En un oleoducto de 529km de extensión, el cual atraviesa 33 ciudades.





Figura 2.2: Geoceldas HDPE rellenas de concreto en canal minero de Brasil, extensión de 529km (TDM, 2016).

Trajo como beneficios un montaje rápido, manual y seguro, eliminando la necesidad tanto de mallas de acero de refuerzo como de encofrados de madera o metálicos a lo largo de los taludes.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

El pasado de la geocelda se remonta al mismo Perú, en los años 2500 A.C. en Caral, la cultura Supe, con las denominadas Shicras:



Figura 2.3: Shicra (PUCP, 2021).

Eran sistema de confinamiento para cimentar la construcción de pirámides como técnica de construcción antisísmica. Fueron encontradas en los núcleos de las pirámides de Caral. Las Shicras son bolsas hechas con fibras vegetales y drizas, rellenas con bloques de piedra (Servindi, 2021).

Hasta el día de hoy, son un sistema de confinamiento efectivo y económico, que funciona en construcciones con adobe. A partir de este concepto de confinamiento, nacen los primeros prototipos de las geoceldas, los cuales hoy en día llevan a un diseño mucho más avanzado.

En cuanto a proyectos recientes, uno de los más grandes a nivel nacional es el proyecto Toromocho, que se localiza en el distrito de Morococha que se encuentra en la provincia de Yauli-Junín. La operación minera afectaría al régimen hidrológico, por lo que fue de suma importancia determinar un manejo y control de los recursos hídricos presentes en la zona; esto se llevó a cabo mediante el uso de un sistema de drenaje superficial compuesto por canales con geoceldas rellenas de concreto. El uso de este geosintético significó una mejora en cuanto al rendimiento de instalación y al desempeño de la estructura hidráulica en comparación a los usuales canales construidos únicamente con concreto armado.



Figura 2.4: Colocación de geocelda texturada y perforada de HDPE (Crispín, 2016).



Figura 2.5: Vaciado de concreto en geoceldas (Crispín, 2016).

## **2.2. Geosintéticos**

Un geosintético es un material polimérico sintético en contacto con el suelo para mejorarlo, y con aplicaciones principalmente geotécnicas y medioambientales (Palmeira, 2018). Entonces, para la aplicación del geosintético es importante identificar la función principal que este ejercerá en el diseño. Las funciones principales que ejercen los geosintéticos son de: refuerzo, separación, drenaje, filtración e impermeabilización.

### **2.2.1. Polímeros**

Son materiales de gran peso molecular, generados a partir de la polimerización (unión) de moléculas monoméricas (las cuales son las moléculas más comunes de hidrocarburos). Suelen ser termoplásticos y se pueden someter a procesos de calentamiento y enfriamiento sin perder sus propiedades. Asimismo, sus propiedades dependen del grado de cristalinidad y, sobre todo, la orientación molecular (Shukla, 2016).



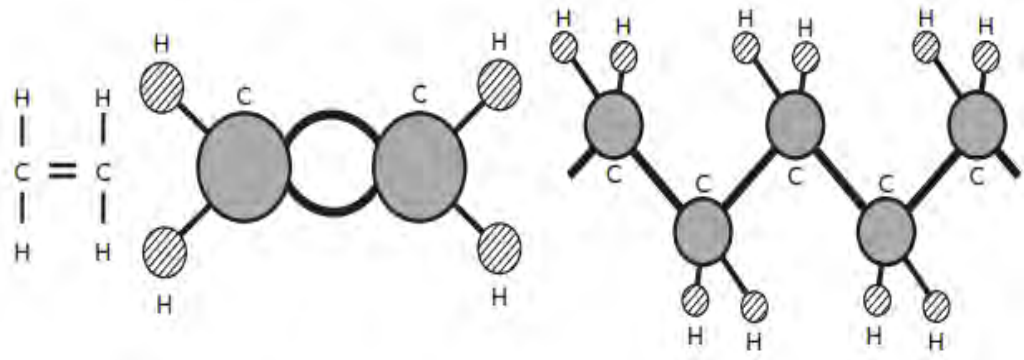


Figura 2.6: Proceso de polimerización del polietileno (Shukla, 2016).

En la imagen se aprecia como un monómero de etileno  $H_4C_2$ , se une con otros monómeros similares para generar el polímero polietileno.

Además, las propiedades mecánicas no se ven afectadas por cambios bruscos de temperatura.

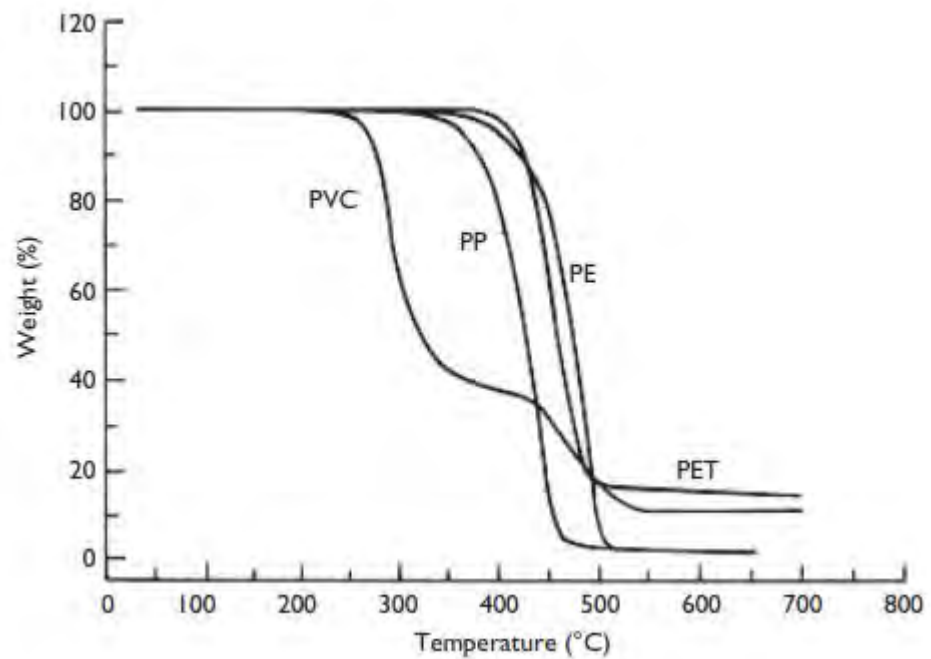


Figura 2.7: Efecto de temperatura en polímeros (Shukla, 2016).

Los polímeros más importantes y empleados en geosintéticos son el polietileno, polipropileno, poliéster y PVC.

### 2.2.1.1. Polietileno

Es un polímero termoplástico de gran densidad, formado por la polimerización de monómeros de etileno  $H_4C_2$  (Palmeira, 2018).

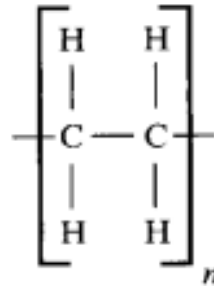


Figura 2.8. Configuración atómica del polietileno (Koerner, 2005).

Su densidad alta, le permite tener propiedades mecánicas elevadas, como la resistencia a la tracción, punzonamiento, etc. Tiene un bajo grado de cristalinidad  $CR = 95\%$  y presenta una temperatura de fusión baja a comparación de otros polímeros  $T_m = 130^\circ C$ . Por lo cual es sensible a los rayos UV (Palmeira, 2018).

Este polímero se divide en LDPE y HDPE, para representar su baja o alta densidad. El LDPE tiene un menor grado de cristalinidad y densidad, por lo cual es más plegable y flexible que el HDPE, el cual es más cristalino y por ende es más rígido.

Las geoceldas, son fabricadas usando como material principal al polietileno de alta densidad (HDPE). Este mismo material es empleado en la fabricación de tuberías y sillas de plástico, ya que es rígido, y resistente a la tracción, impactos y sobre todo a cambios de temperatura lo cual lo hace muy útil para la función de revestimiento en canales ya que no será afectado por efectos térmicos, los cuales podrían generar dilatación. Asimismo, es fácil de procesar mediante métodos de extrusión o inyección.

El polietileno es resistente a rayos UV, álcalis, ácidos, sales, detergentes, hidrolisis y microorganismos. Pero si es vulnerable al creep y a temperaturas de más de  $100^\circ C$ , así como a rayos UV sin estabilizar (Shukla, 2016).

Entonces, para comprender el funcionamiento de la geocelda, se debe tener claro que el material del que está hecha es el mismo que se encuentra en elementos rígidos de plástico, es decir, que la geocelda no está compuesta por un material indeformable y por ende no actúa como refuerzo para el concreto. Sino que actúa como un sistema estabilizador del concreto.

### 2.2.1.2. Polipropileno

Es un polímero termoplástico de baja densidad, formado por la polimerización de monómeros propeno  $CH_2$  y un enlace con el metilo  $CH_3$  (Palmeira, 2018). Se presenta a continuación su configuración atómica:

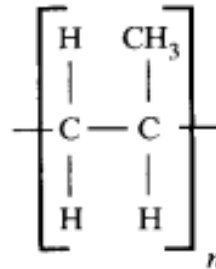


Figura 2.9. Configuración atómica del polipropileno (Koerner, 2005).

Su menor densidad, lo limita a tener propiedades mecánicas no tan altas como el polietileno. Pero tiene una temperatura de fusión más alta  $T_m = 165^\circ\text{C}$ , por lo cual es más adecuado para resistir rayos UV.

El enlace con el metilo, lo hace sensible a la oxidación por lo cual se requiere del uso de aditivos para mitigar el daño a las propiedades mecánicas (Vertematti, 2015).

### 2.2.1.3. Poliéster

Es un polímero termoplástico o termo-rígido de alta densidad, y alta cristalinidad. En el estado termoplástico, exhibe dureza, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión y baja absorción de humedad (Palmeira, 2018). Se presenta a continuación su configuración atómica:

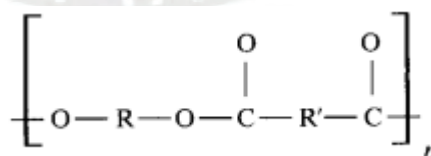


Figura 2.10. Configuración atómica del poliéster (Koerner, 2005).

Tiene una temperatura de fusión aún más alta que el propileno, con  $T_m = 235^\circ\text{C}$  por lo cual presenta gran resistencia química.

Al tener oxígeno en su composición química, es sensible a elevada alcalinidad por el efecto de hidrólisis. Asimismo, requiere de aditivos para lograr desarrollar una buena resistencia a rayos UV (Vertematti, 2015).

#### 2.2.1.4. PVC

Es un polímero termoplástico, el cual se presenta en estado rígido o flexible en función a la cantidad de plastificante empleado en su fabricación (Palmeira, 2018). Se presenta a continuación su configuración atómica:

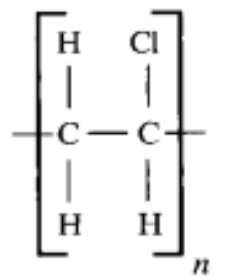


Figura 2.11. Configuración atómica del PVC (Koerner, 2005).

Presenta una gran resistencia al fuego dada su temperatura de fusión de  $T_m = 273^\circ\text{C}$ . Por ende, también tiene una gran resistencia a rayos UV y a efectos de abrasión.

### 2.2.2. Tipos de Geosintéticos

#### 2.2.2.1. Geotextiles

Son una tela permeable compuesto por filamentos de polipropileno (Palmeira, 2018). Se clasifican en función a su fabricación en tejidos y no-tejidos. Es el geotextil más versátil, y puede ejercer las funciones de refuerzo, separación, filtración y drenaje.



Figura 2.12. Geotextil Tejido (Shukla, 2016).



Figura 2.13. Geotextil No Tejido (Shukla, 2016).

#### **2.2.2.2. Geomallas**

Son juegos de costillas conectadas de 2 tipos según su fabricación, extruidas-biaxiales (hechas con polipropileno) o soldadas-uniaxiales (hechas con poliéster). Es el geotextil de refuerzo por excelencia debido a que presenta trabazón mecánica.





Figura 2.14. Geomalla Biaxial (Shukla, 2016).



Figura 2.15. Geomalla Uniaxial (Shukla, 2016).

### 2.2.2.3. Geomembranas

Es una membrana de baja permeabilidad, fabricada a partir de la extrusión de polímeros termoplásticos flexibles (PVC, Polipropileno, Polietileno, Poliéster, etc.). Su función principal es de barrera hidráulica ya que su permeabilidad baja impide el paso de los fluidos al suelo a proteger.

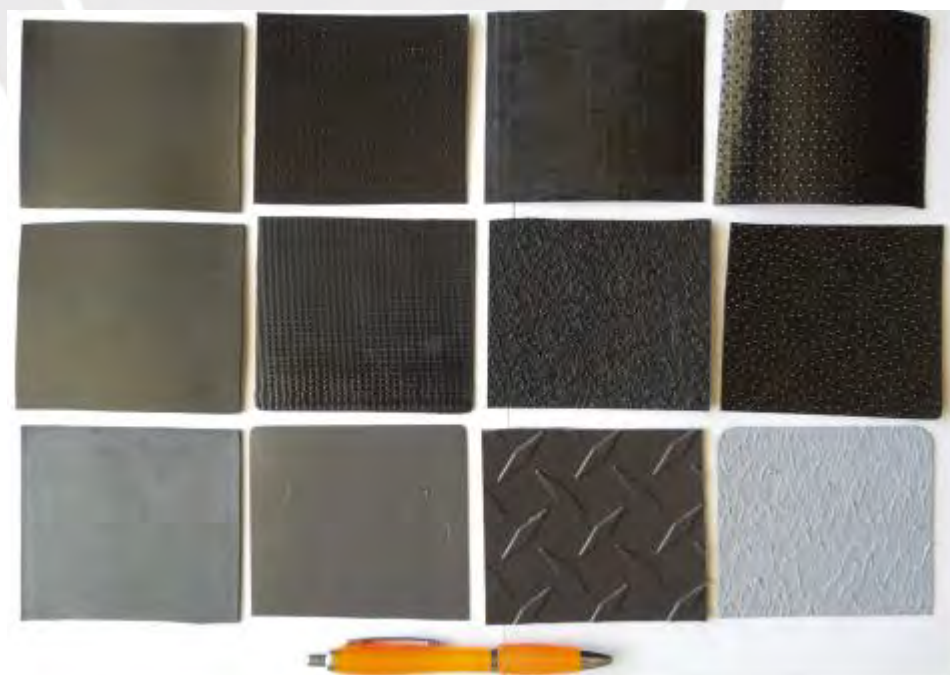


Figura 2.16. Geomembrana (Shukla, 2016).

#### 2.2.2.4. Geoceldas

Es un producto de estructura tridimensional, permeable, con forma de “panal de abejas”. El polímero principal en su fabricación es el polietileno de alta densidad (HDPE) el cual es soldado mediante ultrasonido y estabilizado con aditivos para resistir los rayos UV (Shukla, 2016).

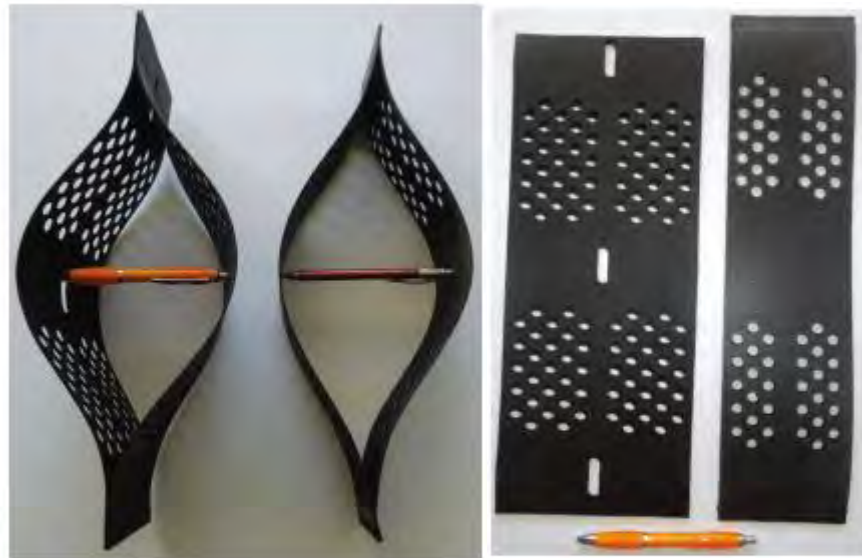


Figura 2.17. Geocelda individual (Shukla, 2016).

Se aprecia en las figuras que la geocelda contiene perforaciones, y es un material flexible. Con lo cual se presenta el concepto de que no funciona como refuerzo, sino como estabilizador para el relleno de esta.

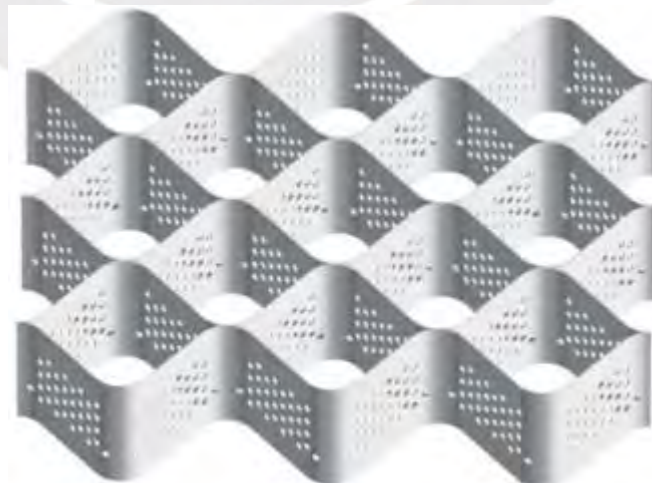


Figura 2.18. Geoceldas en elevación (ASTM, 2021).



Las perforaciones y la unión de las celdas generan un sistema que brinda estabilidad por confinamiento al relleno que contienen. La disposición de las perforaciones y la sección han sido optimizadas por décadas, hasta obtener el sistema presentado en la imagen.

Las aplicaciones principales de las geoceldas según (TDM, 2020). son las siguientes:

- Coberturas de cierres de minas.
- Muros de contención.
- Rellenos sanitarios.
- Protecciones de estribos de puentes.
- Estructuras disipadoras de energía.
- Sistemas de revegetación.
- Protección de canales y taludes.

Es en esta última aplicación donde se centrará el desarrollo del presente trabajo de investigación. A continuación, se muestra el sistema de geoceldas rellenas de concreto aplicado en un proyecto real.

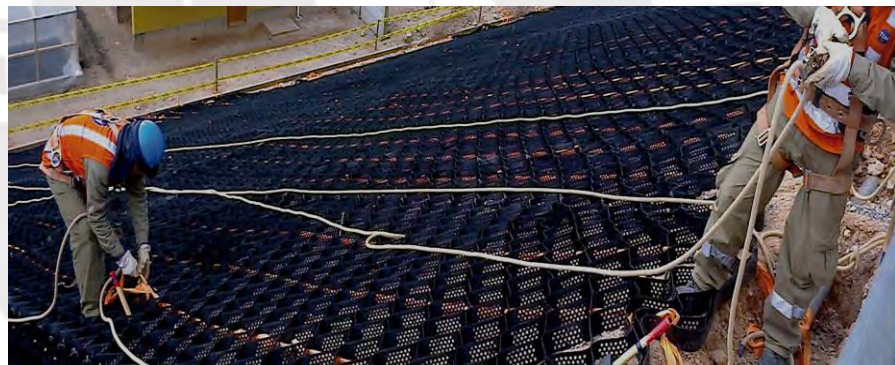


Figura 2.19. Geocelda en campo (TDM, 2020).

#### **2.2.2.4.1. Legalización del uso de geoceldas**

En Estados Unidos, las geoceldas están normadas por la ASTM D 8269 (*“Standard Guide for the Use of Geocells in Geotechnical and Roadway Projects”*), la cual avala en sus documentos citados al estándar GS-15 (*“Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Geocells Made From High Density Polyethylene (HDPE) Strips”*).

En Perú, también está normalizado el uso de la ASTM D 8269, la cual a su vez se basa en el GS-15. Por lo cual las aplicaciones de geoceldas deben ser realizadas en base a dicho

documento. Lo cual es un beneficio para el país, ya que se trata de una tecnología formalizada. Las propiedades mecánicas de las geoceldas HDPE, según el GS-15:

Propiedades	Método de Ensayo	Valor (S.I)	Frecuencia de ensayo (mínima)
Espesor Nominal	GRI-GS14	1.25 mm	Cada tira
Densidad	ASTM D 1505	0.94 g/cm <sup>3</sup>	90 000 kg
Resistencia al Desgarro	ASTM D 1004	155 N	20 000 kg
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	330 N	20 000 kg
Angulo de fricción de cortante	ASTM D 5321	30°	20 000 kg
Resistencia a rayos UV (% retenido tras 1600 horas)	ASTM D 5885	50%	Cada formula.
Resistencia Elástica	ASTM D 6693	18 kN/m	9 000 kg
Resistencia de Rotura	ASTM D 6693	13 kN/m	9 000 kg
Deformación Elástica	ASTM D 6693	12%	9 000 kg
Deformación de Rotura	ASTM D 6693	100%	9 000 kg

Tabla 2.1. Ensayos de propiedades mecánicas de geoceldas HDPE (GRI, 2021).

#### 2.2.2.4.2. Aplicación de geoceldas como revestimiento en canales abiertos

La aplicación de geoceldas como revestimiento en canales abiertos, consiste en comprender la función del revestimiento. La cual es de proteger a una superficie de la erosión (Palmeira, 2018). Bajo esta delimitación, la decisión de usar un revestimiento flexible o rígido dependerá del tipo de canal, y el flujo que contiene.

La decisión de aplicar un revestimiento temporal o permanente es dependiente directamente de la velocidad del flujo y de su duración, ya que estos son proporcionales a la erosión que sufre el canal. Se pueden apreciar las opciones en el siguiente gráfico:

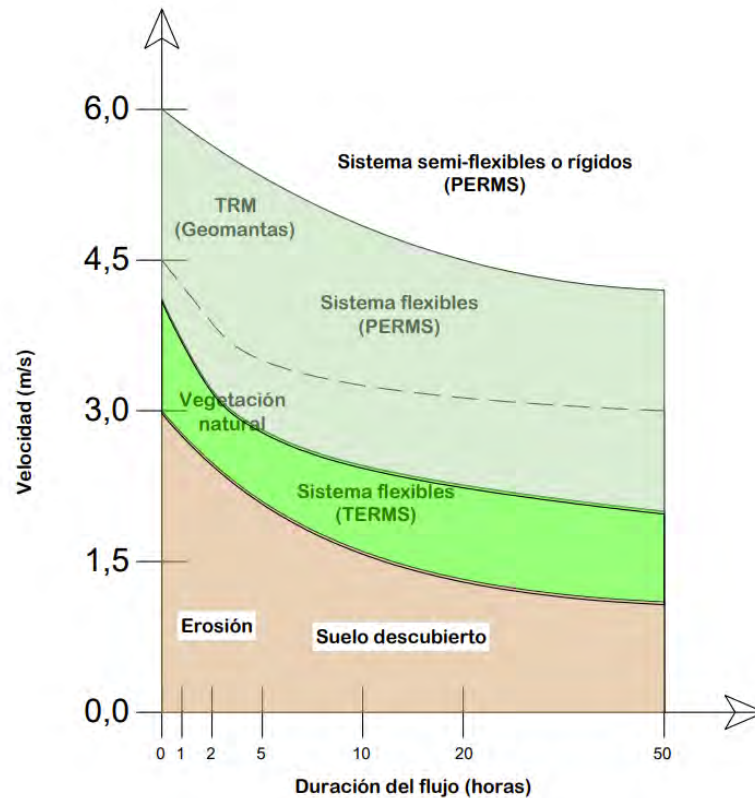


Figura 2.20. Revestimiento en función al flujo adaptado de (Palmeira, 2018).

La grafica sugiere que se usen siempre revestimientos permanentes para flujos de más de  $2.8 \text{ m/s}$ , lo cual suele ocurrir en canales de riego.

#### 2.2.2.4.2.1. Geoceldas HDPE rellenas de concreto

Las geoceldas HDPE rellenas de concreto son un revestimiento permanente y rígido. Por ende, se deben emplear cuando los taludes superan los  $20^\circ$ , y teniendo en cuenta el espaciamiento, altura, y método de vaciado del concreto. Asimismo, se sugiere emplear este tipo de revestimiento cuando el flujo se encuentra entre  $4 \text{ m/s}$  a  $6 \text{ m/s}$ , ya que el costo a comparacion de otros revestimientos es moderado (aproximado en  $20 \text{ \$/m}^2$ ) (Palmeira, 2018).

Al rellenar la geocelda de materiales cementantes (el más usado es el concreto), la parte fina de cemento y arena se adhiere a las corrugaciones de la geocelda. Mientras que la parte gruesa del concreto (el agregado), se traba con la perforación (Fierro, 2022).



Figura 2.21. Esquema de geocelda rellena de concreto con perforaciones.

Elaboración propia.

#### 2.2.2.4.2.1.1. Mecanismo de Falla

Se requiere de una gran magnitud de fuerza normal para remover el concreto de la geocelda. Entonces, el conjunto de geoceldas rellenas de concreto actúa como una losa apoyada en cada unión entre geocelda lo cual es un sistema rígido ante la flexión.

Por lo cual la forma de falla del sistema de geoceldas rellenas con concreto, es por cizallamiento por confinamiento. Es decir, que las fuerzas normales a la geocelda logren remover el concreto de relleno:

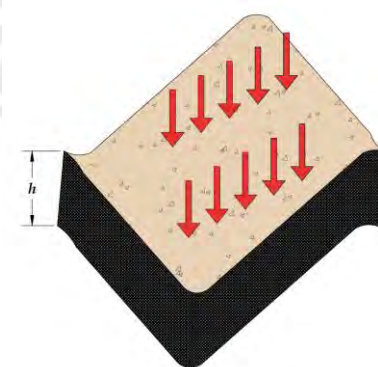


Figura 2.22. Esquema de falla de geocelda. Elaboración propia.

La fuerza normal al plano de la geocelda produce el cizallamiento que termina por sacar al relleno de esta. En el caso de la aplicación de geoceldas a canales, esta fuerza es la **fuerza**

**cortante hidráulica** o fuerza tractiva. La cual depende del caudal y la geometría del canal. Es por ello que el espesor  $h$ , de la geocelda se rige bajo esta fuerza, la cual, al depender directamente del caudal, genera que  $h$  dependa de  $Q$ .

Al ser instalada en un canal, y recibir cargas, se deforma cada celda individualmente, de modo que se da la posibilidad de rotación y se genera una configuración deformada:

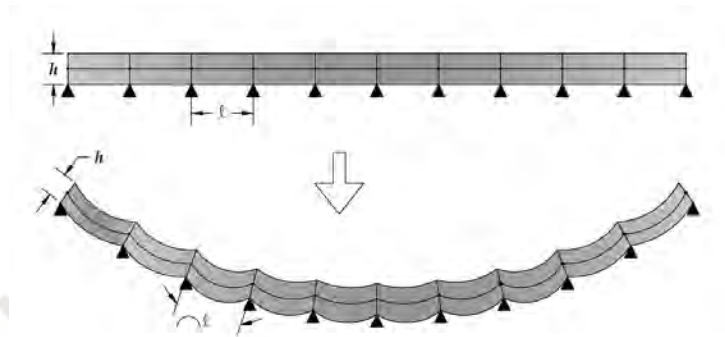


Figura 2.23. Esquema de deformaciones de geocelda. Elaboración propia.

Por otro lado, una losa de concreto armado, se deforma con una luz mucho mayor, del siguiente modo:

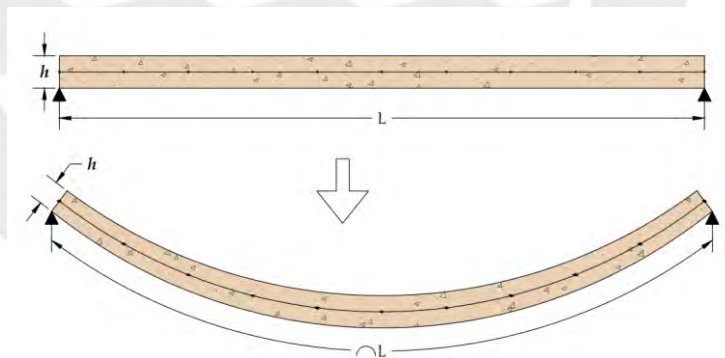


Figura 2.24. Esquema de deformaciones de losa de concreto armado.

Elaboración propia.

Cuando se usan losas de concreto armado de espesor  $h$ , y luz  $L$ , la rigidez flexural es aproximadamente:

$$K_{\text{losa de C.A}} = \frac{EI}{L}$$



Al usar el sistema de geoceldas, se toman muchos tramos apoyados por lo cual, la luz pasa a ser  $l \ll L$ . Por lo cual:

$$K_{\text{losa de geocelda}} = \frac{EI}{l}$$

Como:

$$l \ll L$$

$$\frac{EI}{l} \gg \frac{EI}{L}$$

$$K_{\text{losa de geocelda}} \gg K_{\text{losa de C.A}}$$

Por ende, las geoceldas NO se diseñan a flexión, ya que tienen una resistencia elevada debido al sistema de apoyos simples, cada celda actúa como un apoyo simple, y el relleno de cada celda actúa como una losa de concreto. La flexibilidad del sistema es posible debido a que cada celda individual tiene una capacidad de rotación. El límite de la deformación se da cuando la fuerza cortante aplicada a una celda individual, supera la resistencia al cortante de la geocelda. También se debe considerar la supresión que puede causar el fluido debajo de la geocelda, ya que esta deforma a la geocelda.

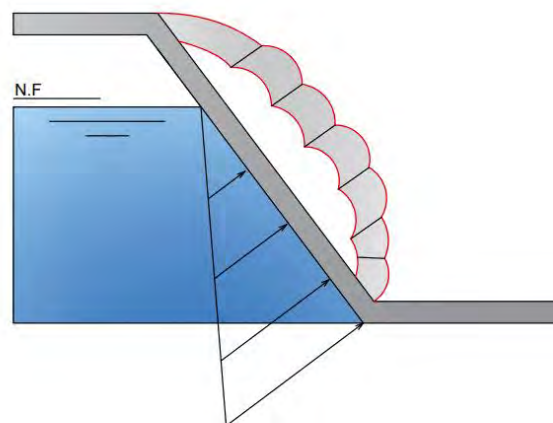


Figura 2.25. Esquema de deformaciones por sub-presión de la losa.

Elaboración propia.

La presión del líquido deforma la geocelda en sentido opuesto a las deformaciones del canal. Por ende, de ser necesario se instalan aliviaderos de sub-presión.

Asimismo, se asume de manera conservadora, que el concreto dentro de la geocelda, busca contraerse uniformemente. Entonces, existen espacios entre el concreto de relleno y la celda por lo cual el fluido puede entrar a estos vacíos.

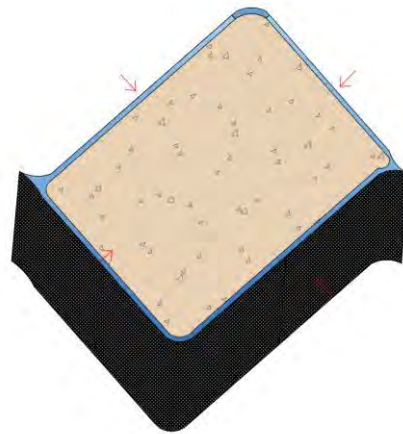


Figura 2.26. Esquema de geocelda rellena de concreto con perforaciones.

Elaboración propia.

Se emplea la ACI 209 para medir la tasa de flujo de percolación.

#### **2.2.2.4.2.1.2. Procedimiento de Instalación**

Para la instalación de la geocelda rellena de concreto, se decide el método de vaciado en función a la inclinación de la pared del canal.



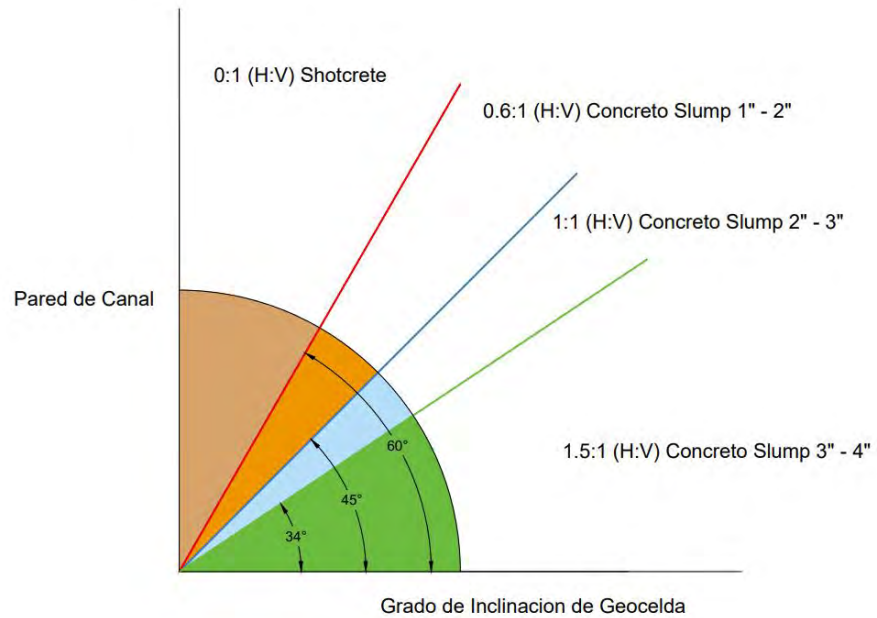


Figura 2.27. Método de vaciado de concreto en geoceldas adaptado de (Fierro, 2022).

Un elemento importante de las geoceldas es el tensor multiaxial, el cual se posiciona entre la geocelda y el terreno, para generar el compuesto celda-tensor. El tensor multiaxial tiene micro-corrugaciones al igual que la geocelda, de modo que confina al relleno de manera vertical.

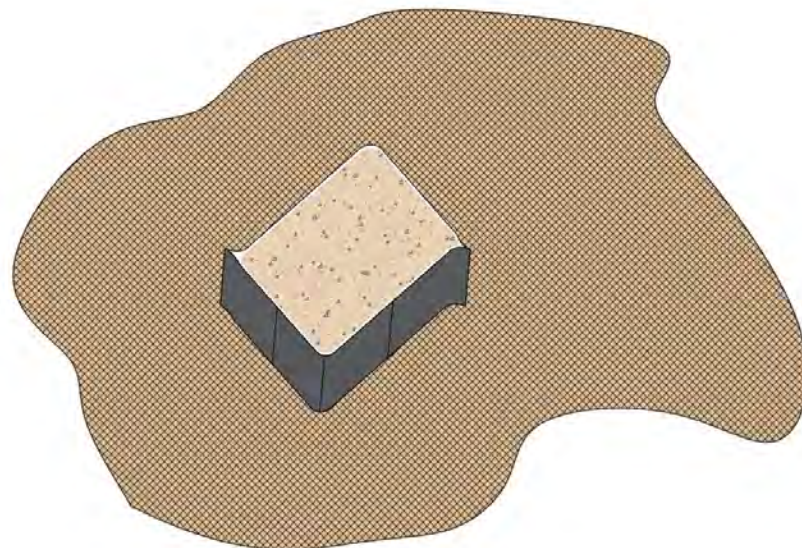


Figura 2.28. Esquema de geocelda colocada en el suelo con tensor multiaxial. Elaboración propia.

El proceso de instalación de geoceldas rellenas de concreto como revestimiento de canales es el siguiente:

Primero se debe preparar el terreno, limpiándolo de piedras grandes, escombros, etc. Y rellenando el suelo para obtener una superficie de tendido suave y compacta, tomando en cuenta generar el talud de diseño (Geopolimeros, 2021).



Figura 2.29. Superficie lista para el tendido de geoceldas (TDM, 2019).

Si es necesario (dependiendo del talud) se excava una zanja de anclaje en el pie y la corona del talud. Luego se extiende la geocelda hasta alcanzar su dimensión de abertura total, sujetándola con bastones desde la zanja de anclaje superior. Se colocan bastones en las uniones de los paneles (Geopolimeros, 2021).



Figura 2.30. Tendido de geoceldas (TDM, 2019).

Después, se vacía el concreto con el método dependiendo de la inclinación del talud tal cual se describió previamente.

Finalmente, se debe llegar al siguiente diseño, especificando la separación de estacas, las dimensiones de la geocelda, la calidad del concreto, la longitud de anclaje, y las propiedades del geotextil empleado entre la geocelda y el terreno (si es necesario).

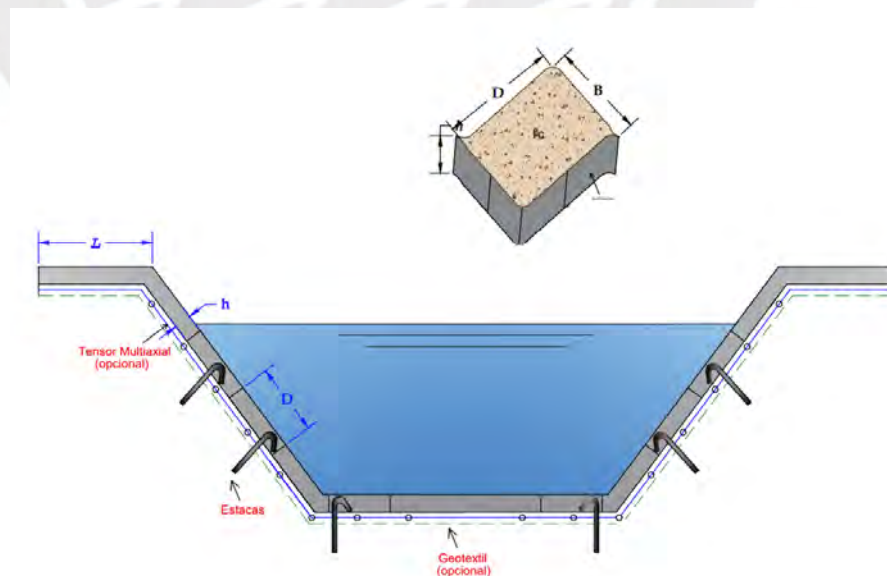


Figura 2.31. Esquema de canal con geoceldas. Elaboración propia.

### 2.3. Canales Hidráulicos

Chow define a un canal abierto como una estructura hidráulica con una superficie libre a través de la cual fluye un determinado líquido (comúnmente agua), de acuerdo con su origen. Estas estructuras pueden considerarse naturales o artificiales. En el caso de los canales naturales, se considera a los cursos de agua que se presentan naturalmente en los sistemas hidráulicos de la Tierra y sus propiedades generalmente son muy irregulares, por lo que se recomienda el estudio y análisis de sus características y parámetros para conocer sus propiedades y comportamiento. Por otro lado, para el caso de canales artificiales se considera la mano de obra humana para cumplir diferentes necesidades específicas.

Los canales artificiales usualmente son construidos con una pendiente de fondo constante y una sección transversal; asimismo, se diseñan con formas geométricas comunes siendo el trapecio la más usual, dado que proporcionan las pendientes necesarias para estabilizar debidamente la pendiente del canal (Chow, 1994).

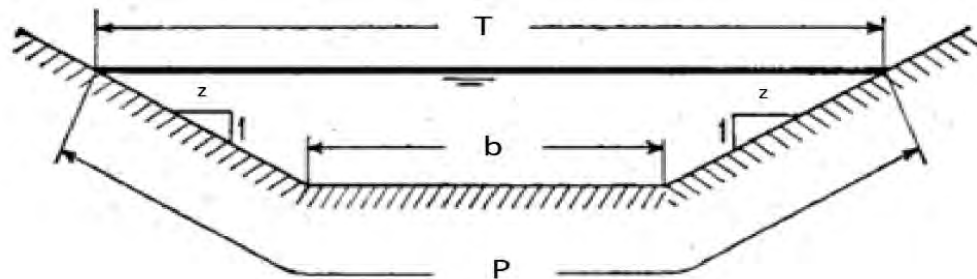


Figura 2.32: Sección transversal de un canal (Chow, 1994).

Las propiedades que definan la forma de la sección pueden ser definidas en su totalidad por la geometría de la sección y la profundidad a la que se encuentre el flujo. Por fines prácticos se detallarán las formulaciones utilizadas únicamente para una sección trapezoidal, la cual será utilizada para la presente investigación y cuyo detalle puede visualizarse en la Figura 2.32.

- Ancho de la base “b”. Longitud correspondiente al ancho en la base de la sección.
- Pendiente lateral “z”. Pendiente correspondiente a los márgenes de la sección.

- Tirante “y”. Profundidad del flujo medida verticalmente desde la base de la sección del canal hasta la superficie.
- Ancho superficial “T”. Superficie libre del canal.

$$T = b + 2zy \quad (2.2)$$

- Área mojada “A”. Área calculada correspondiente a los márgenes de la sección de canal y el fondo del flujo.

$$A = (b + zy)y \quad (2.3)$$

- Perímetro mojado “P”. Longitud correspondiente a los márgenes y base de la sección transversal que se encuentran bajo la profundidad del flujo.

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (2.4)$$

- Radio hidráulico “R”.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \quad (2.5)$$

- Profundidad hidráulica “D”.

$$D = \frac{A}{T} = \frac{(b + zy)y}{b + 2zy} \quad (2.6)$$

- Factor de sección “Z”.

$$Z = A\sqrt{D} = (b + zy)y \sqrt{\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}} \quad (2.7)$$



### 2.3.1. Tipos de Flujo

Podemos definir al flujo del agua como su movilización a través de un sistema con una finalidad productiva. Asimismo, esta migración puede clasificarse en dos categorías que consideran la estructura hidráulica por la cual se transporta: tuberías o canales abiertos. Y, si bien son similares, uno de los principales aspectos en los que difieren será que el canal abierto presenta una superficie libre, mientras que la tubería presenta un flujo confinado dado que el fluido debe llenar en su totalidad a la estructura hidráulica. Por ende, un canal hidráulico se verá sometido principalmente a la presión atmosférica al presentar una superficie libre; mientras que una tubería estará sometida principalmente a la presión hidráulica debido a su confinamiento (Chow, 1994).

Para el caso de flujos que transitan por canales abiertos, según diferentes criterios y sus características hidráulicas se podrán clasificar en varios tipos como se presenta en la Figura 2.33 y como se detallará a continuación.

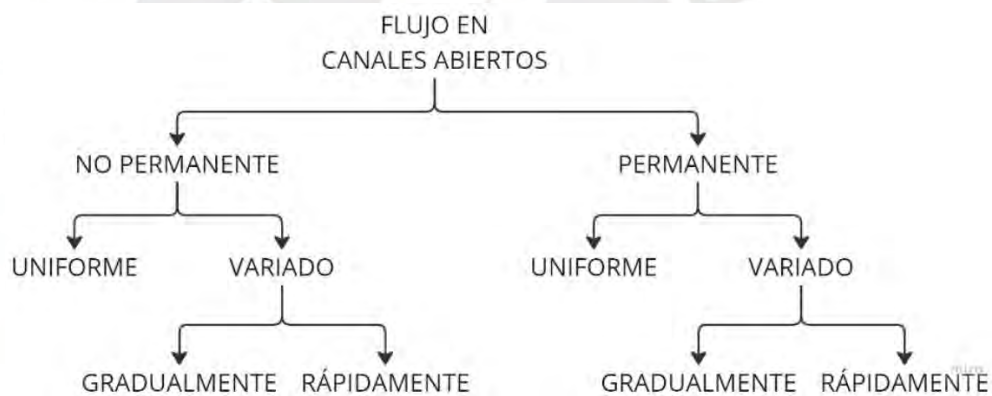


Figura 2.33: Clasificación del flujo en un canal. Elaboración Propia.

#### 2.3.1.1. Flujo permanente (estacionario) y flujo no permanente

El criterio utilizado para clasificar este tipo de flujo es el **tiempo**. El flujo en un canal hidráulico se considera constante si la profundidad no cambia y no cambia durante el intervalo de tiempo en el que se realiza el análisis. Caso contrario, se considerará al flujo como no permanente si la profundidad se ve alterada a lo largo del tiempo (Chow, 1994).

Usualmente suele estudiar el comportamiento del flujo bajo condiciones estacionarias, pero si las condiciones del flujo cambian significativamente, se decide clasificarlas como no permanentes.

El criterio utilizado para clasificar este tipo de flujo será el **espacio**. El flujo puede considerarse estacionario si el tirante varía o no respecto al tiempo.

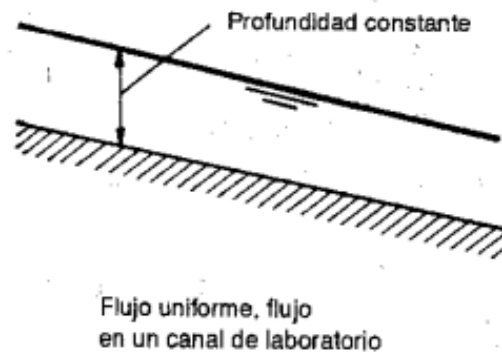


Figura 2.34: Flujo uniforme en un canal de laboratorio (Chow, 1994).

#### 2.3.1.1.1. Flujo uniforme permanente

Se puede considerar a este tipo de flujo como el fundamental a usar en el análisis de hidráulica en canales abiertos (Chow, 1994). Se caracteriza por el hecho de que la profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo considerado, mientras que un flujo uniforme no estacionario asume que la profundidad del flujo cambia con el tiempo, pero permanece paralela al fondo del canal. (se puede considerar como una condición prácticamente imposible) como se visualizará en la Figura 2.35.

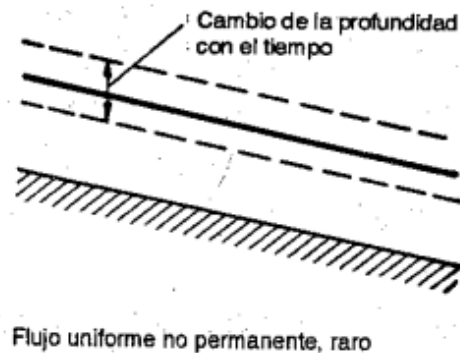


Figura 2.35: Flujo uniforme no permanente en un canal (Chow, 1994).



### 2.3.1.1.2. Flujo variado

Este puede clasificarse en dos categorías: rápidamente variado (FRV) y gradualmente variado (FGV). Consideraremos que un flujo es rápidamente variado si su tirante percibe grandes cambios en distancias considerablemente cortas; mientras que, si el cambio en la profundidad se da a lo largo de distancias considerables, se considerará gradualmente variado. Esto se podrá visualizar a mayor detalle en la Figura 2.36. Este caso aplica igualmente para flujos no permanentes y corresponde a diferentes fenómenos hidráulicos.

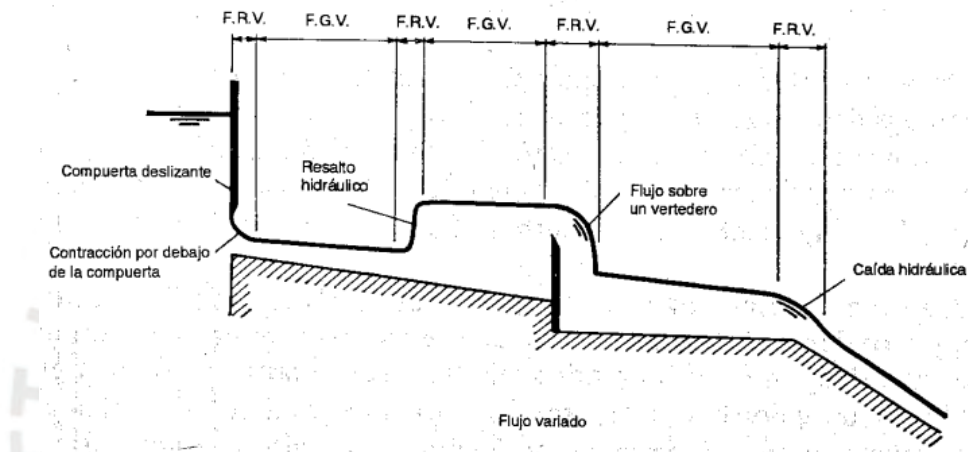


Figura 2.36: Flujo variado (Chow, 1994).

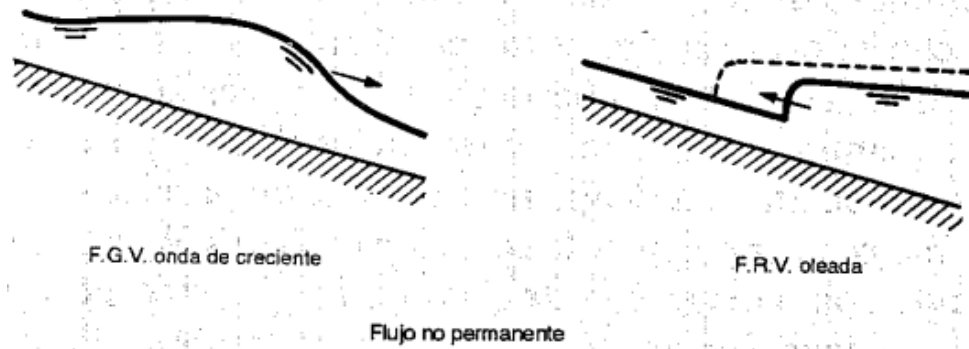


Figura 2.37: Flujo no permanente variado (Chow, 1994)

### **2.3.2. Estados de Flujo**

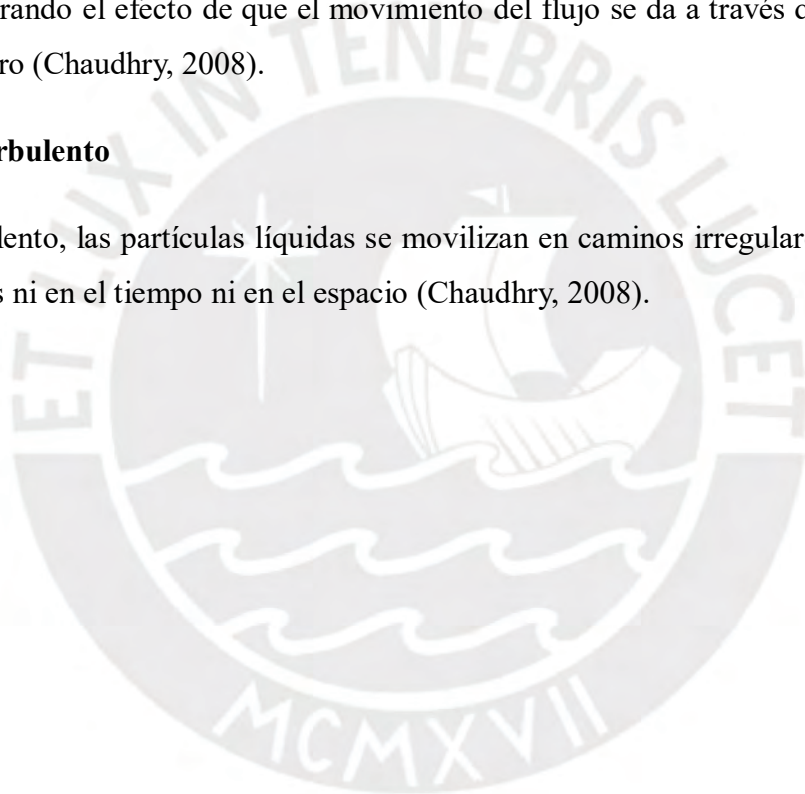
Se considera que el comportamiento o estado de flujo en un canal abierto se rige principalmente por la gravedad en relación con las fuerzas inerciales y a la viscosidad (Chow, 1994). Dependiendo del efecto generado por la viscosidad la inercia, clasificaremos al flujo como laminar, turbulento o transicional, que es un estado mixto entre los dos.

#### **2.3.2.1. Flujo laminar**

Se considera al flujo como laminar si las partículas líquidas se movilizan en trayectorias uniformes y definidas, generando el efecto de que el movimiento del flujo se da a través de capas delgadas una encima de otro (Chaudhry, 2008).

#### **2.3.2.2. Flujo turbulento**

En el flujo turbulento, las partículas líquidas se movilizan en caminos irregulares y no definidos que no están fijos ni en el tiempo ni en el espacio (Chaudhry, 2008).



### 2.3.2.3. Expresiones para el análisis del estado de flujo.

#### - Número de Reynolds

Entre las expresiones útiles que conocemos para relacionar la inercia con la viscosidad tenemos al Número de Reynolds (Expresión 2.8).

$$R^* = \frac{VL}{\nu} \quad (2.8)$$

- V: velocidad media del flujo
- L: longitud
- $\nu$ : viscosidad cinemática del líquido

Dependiendo del valor del número de Reynolds (pequeño o grande), se determinará el estado de flujo del líquido. Los autores y experimentos prácticos realizados por diferentes autores otorgan diferentes rangos de valores para determinar cuándo puede considerarse un valor como pequeño o grande; asimismo, también se debe considerar el tipo de sistema en el cual se moviliza el fluido (sistema de tuberías o canal abierto). Para efectos prácticos, consideraremos que el valor es pequeño cuando es menor de 2000; y grande cuando es mayor a 3000. Cabe recalcar que, en aplicaciones en la vida real, los flujos laminares de superficie libre son bastante escasos y raros debido a la alta variabilidad que puede presentar un fluido y una sección de canal. Por lo tanto, se considerará un flujo turbulento para el caso de estudio, dado que es el más común en los canales hidráulicos abiertos.

#### - Efecto de la gravedad

El efecto de la gravedad en el estado de flujo se puede expresar mediante la relación entre la gravedad y la fuerza de inercia. Esta se denomina Numero de Froude y se define como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.9)$$

- $V$ : velocidad media del flujo
- $L$ : longitud
- $g$ : aceleración de la gravedad
- $F < 1$ . **Flujo subcrítico**. Se presentan pronunciadas fuerzas gravitacionales, lo que genera que el flujo presente una baja velocidad y pueda describirse la corriente como tranquila y lenta
- $F > 1$ . **Flujo supercrítico**. Se presentan pronunciadas fuerzas inerciales y el flujo presenta una velocidad elevada que se puede describir la corriente como rápida y torrencial.
- $F = 1$ . **Flujo crítico**. Equivalencia entre la velocidad media del flujo, la velocidad crítica y la celeridad; expresadas de la siguiente forma:

$$V = \sqrt{gD} \quad (2.10)$$

- $D$ : Profundidad Hidráulica (Expresión 2.6)

Las perturbaciones u obstrucciones presentes en los canales pueden generar que el agua se mueva por encima y debajo del nivel medio del agua superficial, lo que generará parte de los cambios previamente descritos.

### 2.3.3. Regímenes de Flujo

Con los efectos descritos previamente, la combinación de estados en un flujo que transita por un canal abierto puede producir los siguientes regímenes de flujo:

- **Flujo subcrítico-laminar**:  $F < 1$  y  $R$  determina flujo laminar
- **Flujo supercrítico-laminar**:  $F > 1$  y  $R$  determina flujo laminar
- **Flujo subcrítico-turbulento**:  $F < 1$  y  $R$  determina flujo turbulento
- **Flujo supercrítico-turbulento**:  $F > 1$  y  $R$  determina flujo turbulento

La Figura 2.38 presenta una gráfica que expone a los 4 regímenes en relación con la profundidad-velocidad del flujo. Asimismo, La recta resaltada para  $F=1$  y la sección sombreada para el rango

de transición entre flujo laminar y turbulento, se encargan de dividir a la página entre las 4 secciones descritas.

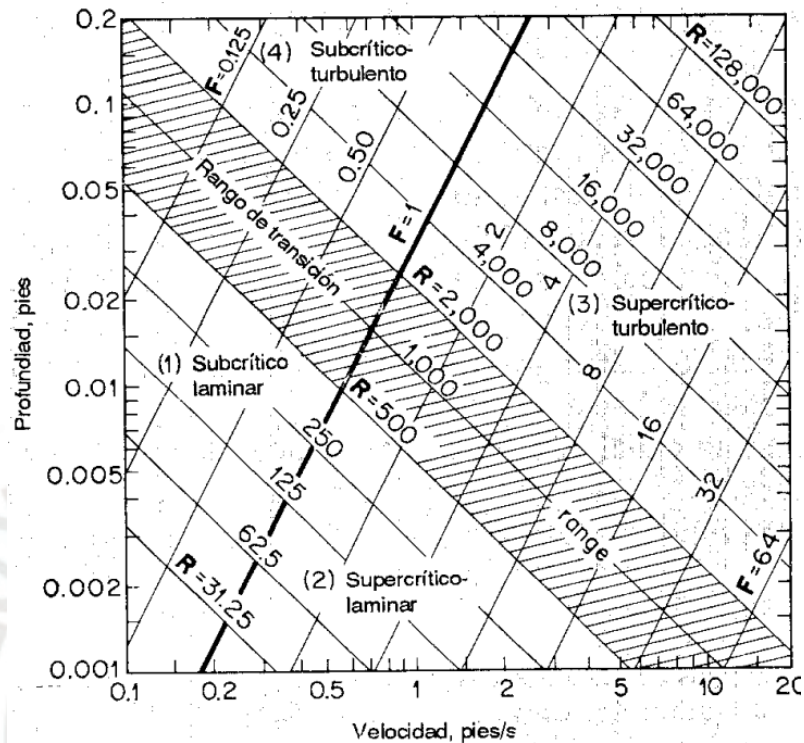


Figura 2.38: Relación profundidad-velocidad para los cuatro regímenes de flujo en canales abiertos (Chow, 1994).

Cabe recalcar que los regímenes laminares (subcrítico y supercrítico) no son comunes en los canales abiertos dado que usualmente el flujo tiende a ser turbulento.

#### 2.3.4. Propiedades y Parámetros del flujo de un río

Entre los parámetros base a analizar, se debe determinar la velocidad presente en el flujo. Dado que en los canales abiertos presentan superficies libres, la velocidad de flujo se verá afectada a lo largo de las paredes de la sección debido a diferentes factores como lo son la presencia de curvas, las formas inusuales que pueda presentar este y la rugosidad del canal. Usualmente la velocidad máxima registrada en un canal se presenta en la región central de la superficie libre de la sección como se visualiza en la Figura 2.39.



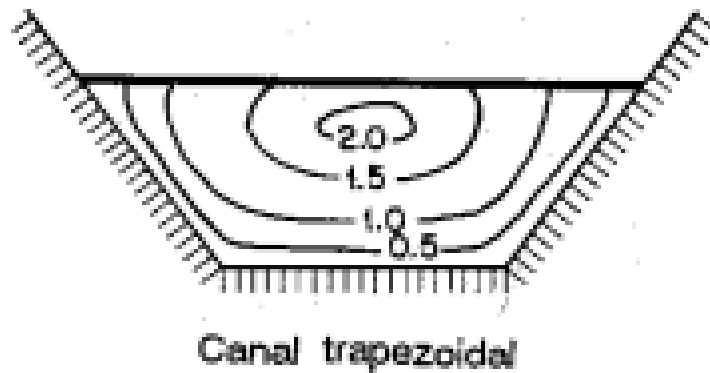


Figura 2.39. Curva de igual velocidad en una sección canal (Chow, 1994).

Cabe recalcar que existen secciones con un valor de ancho superficial muy alto para las cuales se considerará un “ancho infinito” y las superficies del canal no presentarán influencia en la distribución de velocidades.

Para cualquier flujo, el caudal  $Q$  en una sección de canal se verá expresada por la expresión 2.11, que refiere a la fórmula de continuidad en un flujo.

$$Q = VA \quad (2.11)$$

- $V$ : velocidad media del flujo
- $A$ : área mojada

Asimismo, si se trabaja con un flujo permanente en la longitud del canal; por lo que se puede determinar las características de cada sección de canal analizada mediante la expresión 2.12.

$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 = \dots = V_nA_n \quad (2.12)$$

Sin embargo, si el caudal del flujo no es uniforme en la longitud del canal, no se podrá utilizar la dicha expresión dado que el flujo será considerado variado.

A partir de la consideración de que el flujo es uniforme, se puede aplicar la ecuación de Chézy y Manning para determinar la velocidad del flujo:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (2.13)$$

- V: velocidad media del flujo
- R: radio hidráulico
- S: pendiente de la línea de energía
- C: factor de resistencia al flujo o coeficiente de Chézy.

Para determinar el último término se realizaron varias estimaciones; sin embargo, dado que el valor de C depende de varios parámetros además de la rugosidad del canal.

Posteriormente, se presentó una ecuación que se modificaría con el paso del tiempo hasta la actualidad denominada ecuación de Manning que se expresaría de la siguiente manera

Para:  
foot-pound-seconds

$$V = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

Para:  
Unidades SI

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

- n: coeficiente de rugosidad (n de Manning)

Los valores aproximados para el coeficiente de rugosidad se visualizan en la Tabla 2.2.

<b>Material</b>	<b>n</b>
<b>Metals</b>	
Steel	0.012
Cast iron	0.013
Corrugated metal	0.025
<b>Non-metals</b>	
Lucite	0.009
Glass	0.010
Cement	0.011
Concrete	0.013
Wood	0.012
Clay	0.013
Brickwork	0.013
Gunite	0.019
Masonry	0.025
Rock cuts	0.035
<b>Natural streams</b>	
Clean and straight	0.030
Bottom: gravel, cobbles and boulders	0.040
Bottom: cobbles with large boulders	0.050

Tabla 2.2. Posibles valores para n de Manning (Chaudhry, 2007).

El valor de la tabla 2.2 que compete al diseño el canal de concreto es de 0.013, aunque puede variar dependiendo de la calidad de la ejecución del canal entre valores desde 0.013 hasta 0.017 (Bolinaga, 1979). Por ende, para realizar un diseño contemplando una calidad intermedia de ejecución del canal, se empleará en el desarrollo de la tesis el valor de:

$$n_{concreto} = 0.015$$

Dada su simplicidad y resultados satisfactorios en aplicaciones prácticas, se suele utilizar la ecuación de Manning para todas las ecuaciones de flujo uniforme en estos sistemas hidráulicos.

Comparando a las ecuaciones de Chézy y Manning, podemos observar que dicho coeficiente se puede expresar de la siguiente manera:

Para:  
foot-pound-seconds

$$C = \frac{1.49}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (2.16)$$

Para:  
Unidades SI

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (2.17)$$

### 2.3.5. Canales de Límite Rígido

Para el diseño de este tipo de canales, el tamaño y la sección transversal del canal son seleccionados con la finalidad de que la descarga se lleve a través del canal para la carga disponible con un valor adecuado para la distancia de superficie libre (longitud vertical entre la superficie del flujo de diseño y la parte superior de las orillas del canal. A este término se le denomina freeboard (o borde libre) y permite cierta protección ante factores no considerados en el diseño, así como incertidumbres en la selección de diferentes parámetros o perturbaciones en la superficie del agua que puedan presentarse (Chaudhry, 2007).

Los alineamientos son seleccionados con la intención de que la longitud del canal sea lo más corto posible y que cumpla con las restricciones y requerimientos del proyecto, así como la accesibilidad, derecho de paso y equilibrio de las cantidades de corte y relleno. Asimismo, la pendiente de fondo comúnmente es dictada por la topografía del sitio; por otro lado, las dimensiones y forma que se designan para el canal deben considerar la cantidad de flujo que transportará, la eficiencia hidráulica requerida y, como se mencionó anteriormente, la economía y proceso constructivo.

En el caso de flujos grandes se utilizarán canales trapezoidales y se basan en la suposición de un flujo uniforme, aunque en ciertas secciones pueden ser necesarios diferentes procedimientos para evaluar al flujo del canal sometido a contextos extremos.

Otra de las consideraciones es la velocidad máxima permisible; la cual no es considerada si el flujo no transporta grandes cantidades de sedimentos. Si es que la cantidad de sedimentos es elevada, la velocidad del flujo no debe ser demasiado elevada para prevenir en su totalidad la erosión en los

bordes y base del sistema hidráulico; mientras que la velocidad mínima debe ser tal que no se depositen sedimentos ni se bloquee el transporte de material.

El tipo de suelo en el que se construirá el canal determinará la pendiente lateral del canal. Por ejemplo, en lados verticales se puede emplear rocas y arcillas rígidas, mientras que en pendientes laterales (1:3) se suelen emplear suelos arenosos. Para el caso de canales con revestimientos la *U. S. Bureau of Reclamation* recomienda una pendiente lateral de 1:1.5 (vertical: horizontal).

Dado que no se pueden prevenir con exactitud las perturbaciones que pueda sufrir el flujo a lo largo de su recorrido, la *U. S. Bureau of Reclamation* sugiere un borde libre determinado según la cantidad de caudal que transporta el flujo como se puede visualizar en la Tabla 2.3.

<b>Descarga (m<sup>3</sup>/s)</b>	< 0.75	0.75 – 1.5	1.5 – 85	> 85
<b>Borde libre (m)</b>	0.45	0.6	0.75	0.9

Tabla 2.3. Valor de borde libre sugerido (Chaudhry, 2007).

Se puede inferir que la altura total de cada sección de canal será la suma del borde libre y el tirante calculado para cada sección.

$$H_{sección} = y + f \tag{2.18}$$

- $H_{sección}$ : altura de la sección de canal
- $f$ : freeboard o borde libre de la sección de canal

De este modo, podemos determinar el siguiente procedimiento para el diseño de un canal de límite rígido revestido por un material.

- I. Determinar el tipo de material para el revestimiento y delimitar el valor del coeficiente de rugosidad para el mismo; asimismo, seleccionamos la



pendiente de energía en base a la topografía y demás condiciones propias del proyecto.

II. Según el caudal requerido y empleando la Ecuación de Manning

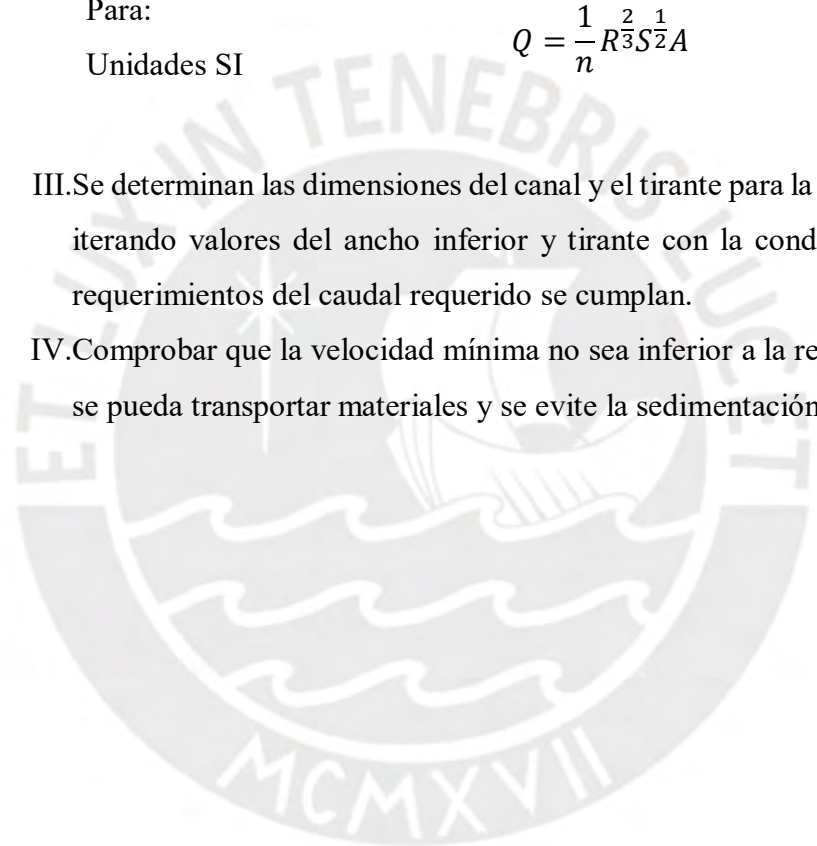
$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$  y la fórmula de Continuidad  $Q = VA$  obtenemos

Para:  
foot-pound-seconds  $Q = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A$  (2.19)

Para:  
Unidades SI  $Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A$  (20.20)

III. Se determinan las dimensiones del canal y el tirante para la sección deseada; iterando valores del ancho inferior y tirante con la condición de que los requerimientos del caudal requerido se cumplan.

IV. Comprobar que la velocidad mínima no sea inferior a la requerida para que se pueda transportar materiales y se evite la sedimentación.



## CAPÍTULO III. Diseño

### 3.1. Predimensionamiento del Canal

#### 3.1.1. Cálculo del Borde Libre

Se considera al borde libre que dependerá del tamaño del canal, la magnitud de las lluvias y las variaciones del nivel de agua. El U.S. Bureau of Reclamation sugiere utilizar la gráfica de la figura 3.1 para canales revestidos.

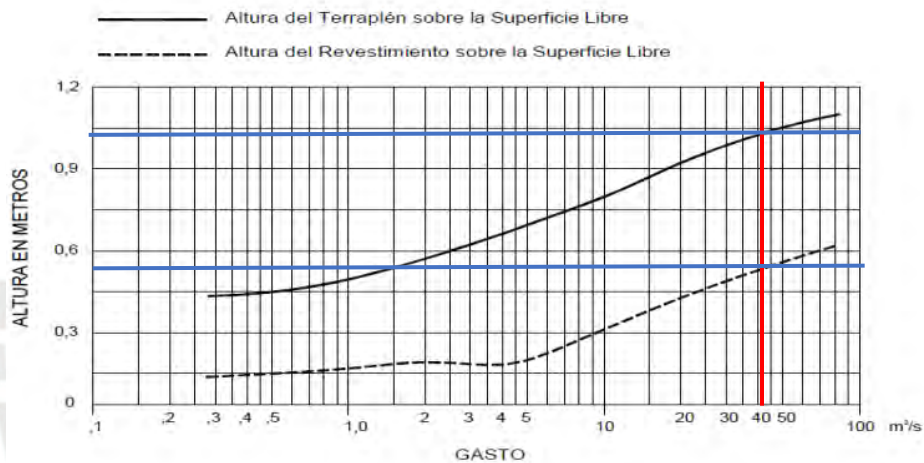


Figura 3.1. Borde libre recomendado por el U.S. Bureau of Reclamation para  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

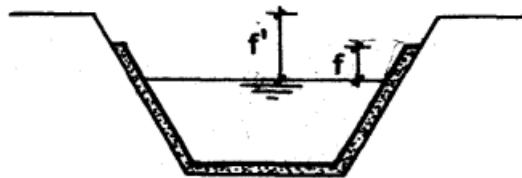


Figura 3.2. Margen libre en canales revestidos (Chaudhry, 2007).

La Figura 3.1 propone que el valor del borde libre para el canal de  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$  será de 0.50 m al revestimiento y de 1.00 m al banco aproximadamente (figura 3.2); dado que se está empleando concreto armado para el revestimiento, emplearemos un borde libre de 0.5 m:

$$f = 0.50m$$

$$f' = 1.00m$$

### 3.1.2. Estabilidad del Talud

El tipo de suelo fue obtenido a partir de la exploración de suelos realizada por Hudbay minerales en su desarrollo del tajo de Pampacancha, en el cual realizaron calicatas para obtener el siguiente perfil estratigráfico:

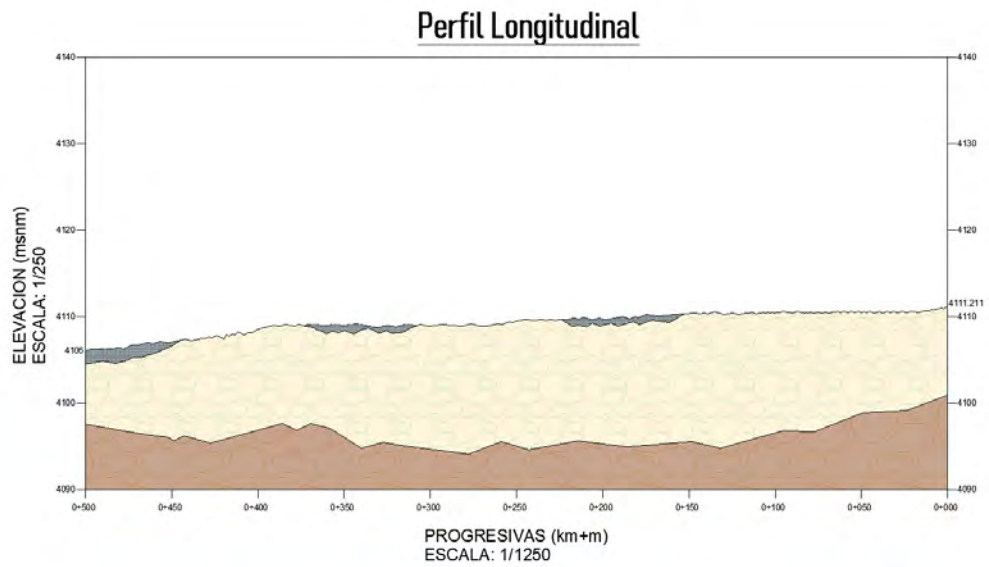


Figura 3.3. Perfil estratigráfico del Tajo Pampacancha adaptado de (Hudbay, 2021).

En la ejecución del proyecto, Hudbay hizo el diseño del tramo considerando un caudal de  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$ . La estratigrafía presentada fue la siguiente:

<b>Material</b>	<b>Peso Unitario (<math>\text{kN}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Cohesión (<math>\text{kPa}</math>)</b>	<b>Angulo de Fricción (<math>^\circ</math>)</b>
Suelo Orgánico	12	8	0
Grava Mal Graduada	19	0	32
Diorita	26	200	25

Tabla 3.1. Perfil Estratigráfico Tajo Pampacancha adaptado de (Hudbay, 2021).

A partir de ello, se realiza la estabilidad de taludes de dicho suelo, para identificar el talud necesario para el diseño del canal. Con geostudio, se consideró la siguiente sección:

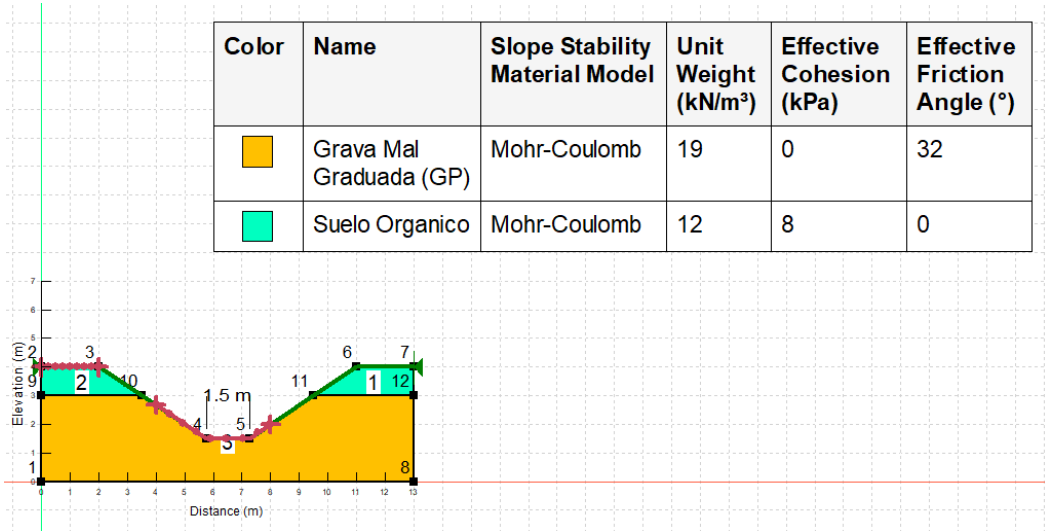


Figura 3.4. Perfil estratigráfico del Tajo Pampacancha adaptado de (Hudbay, 2021).

Se realizó el equilibrio límite con los siguientes análisis:

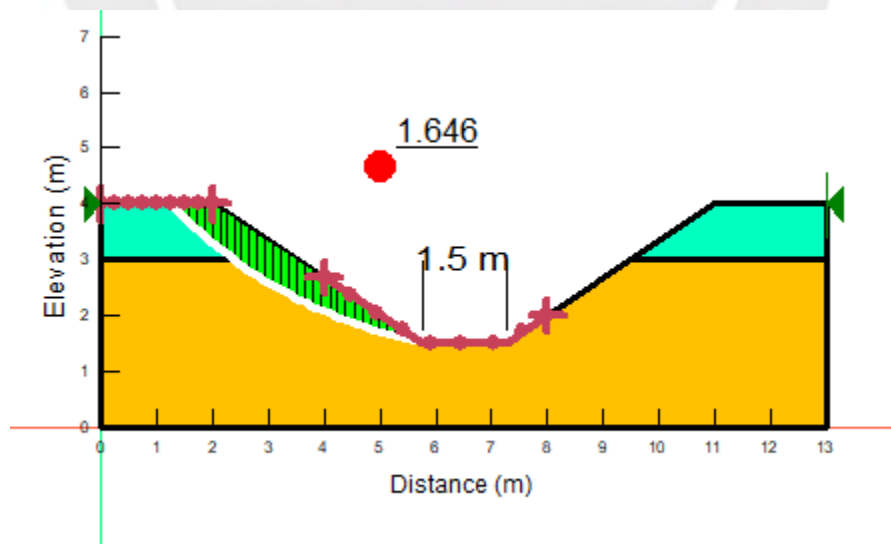


Figura 3.5. Estabilidad de taludes con el método de Morgenstern-Prince.  
Elaboración propia.

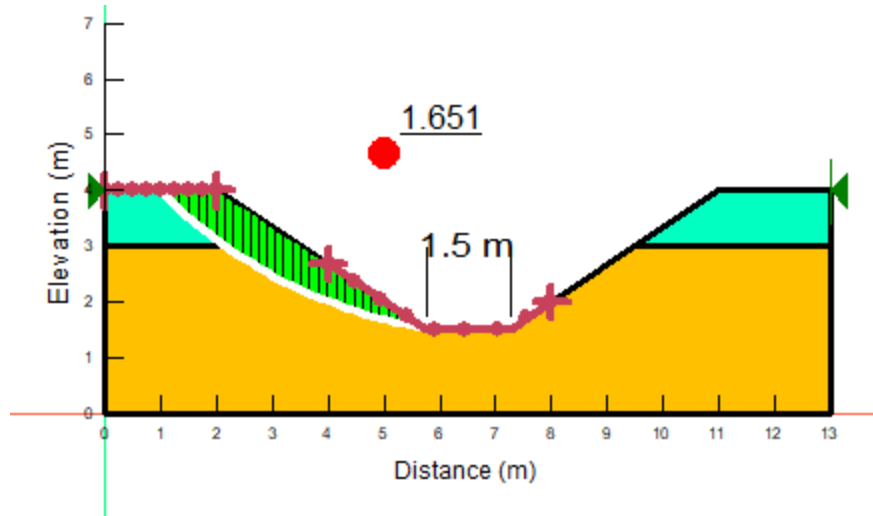


Figura 3.6. Estabilidad de taludes con el método de Spencer. Elaboración propia.

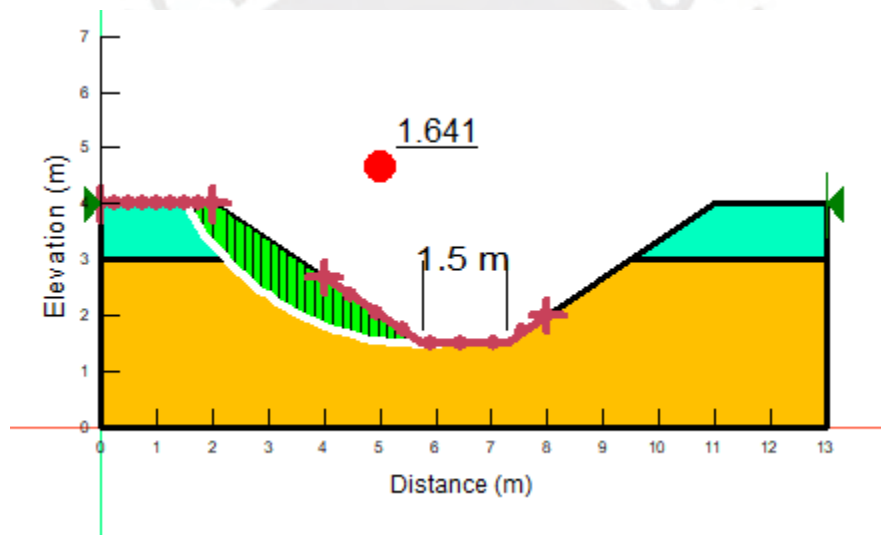


Figura 3.7. Estabilidad de taludes con el método de Bishop. Elaboración propia.



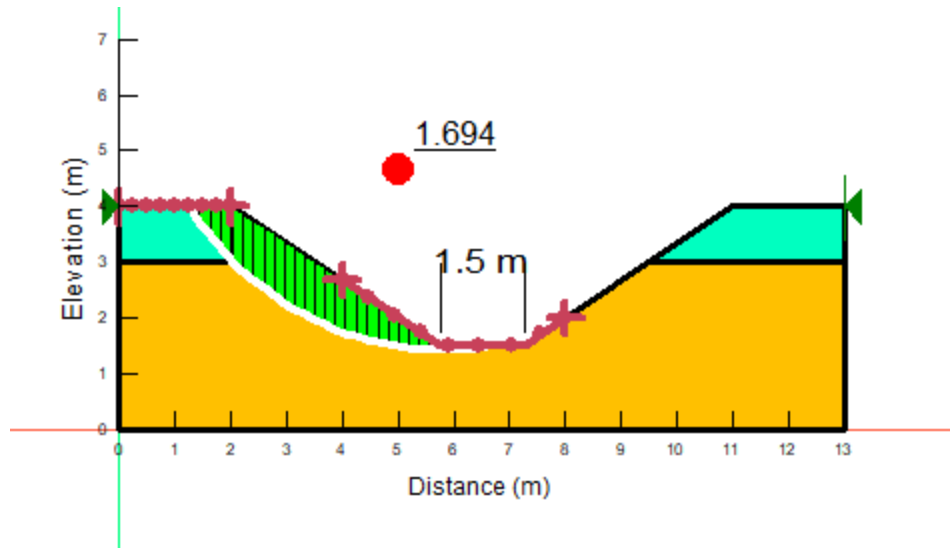


Figura 3.8. Estabilidad de taludes con el método de Janbu. Elaboración propia.

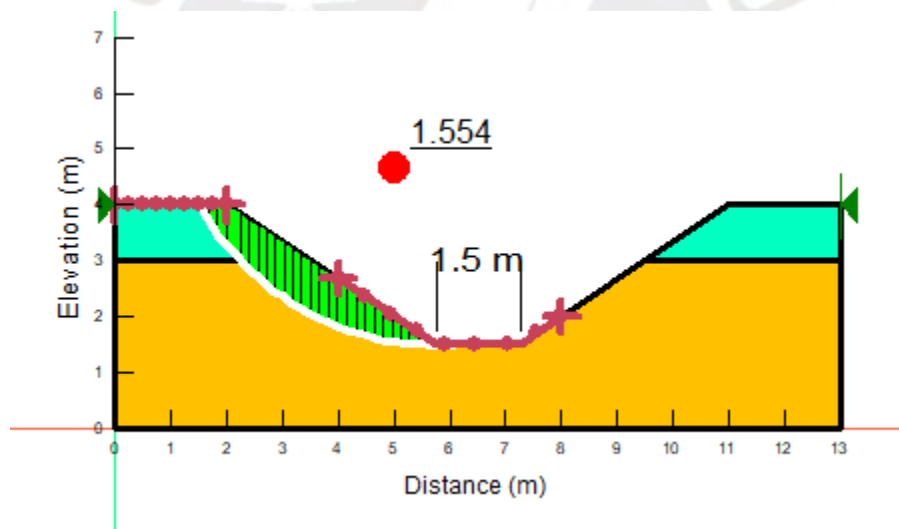


Figura 3.9. Estabilidad de taludes con el método de Fellenius. Elaboración propia.

Se obtiene finalmente un factor de seguridad mínimo entre todos los análisis de:

$$F.S = 1.554$$

El cual es mayor al  $F.S = 1.5$  mínimo que requiere la norma E.050, por lo cual el canal es estable para un talud de  $H:V = 1.5:1$ , y una solera de  $b = 1.5m$ , entonces mientras se mantenga dicho talud, se puede aumentar la solera del canal y se mejorara la seguridad del talud.

### 3.1.3. Secciones del Canal

El perfil longitudinal del canal NCP-2, se diseña con 2 tramos con distinta pendiente debido a la topografía del terreno, ya que se tiene un primer tramo de la progresiva 0+000 hasta 0+340.8, en el cual la pendiente longitudinal del terreno es de 1% y luego un segundo tramo hasta la progresiva 0+500, en el cual la pendiente longitudinal del terreno es de 0.5%.

Debemos considerar que existe un cambio de pendiente entre el primer y segundo tramo, por lo que se optará por construir una sección de transición para controlar la reacción del flujo de agua en este cambio en la pendiente.

Para ello se utiliza la fórmula de Asing que determina la longitud de transición.

$$L_T = 5 * y_2 \left( 1 + 4 \sqrt{\frac{y_2 - y_1}{y_1}} \right) \quad (3.1)$$

- $L_T$ : Longitud de transición (m)
- $y_2$ : tirante final (m)
- $y_1$ : tirante inicial (m)

Para el canal del tajo de Pampacancha, en el tramo 1 con pendiente de 1%, para la solera de 1.5 metros se tiene un tirante de  $y_1 = 1.669m$ . Para el tramo 2 con pendiente de 0.5%, para la solera de 1.5 metros se tiene un tirante de  $y_2 = 1.955m$ . Entonces:

$$L_T = 5 * 1.955 \left( 1 + 4 \sqrt{\frac{1.955 - 1.669}{1.669}} \right) = 25.96m$$

Tomando un valor conservador, se optará por utilizar  $L_T = 30 \text{ m}$ .

Se definen los tramos en la siguiente gráfica:

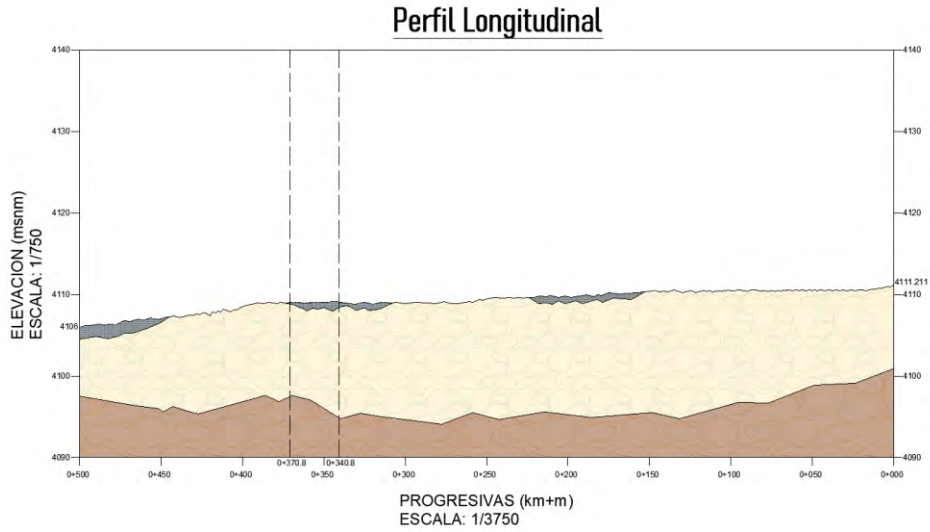


Figura 3.10. Perfil Longitudinal de Canal. Elaboración propia.

De acuerdo a la estabilidad de taludes previamente presentada, el ancho mínimo de solera es de  $1.5 \text{ m}$ , para un talud de  $z = 1.5$ . Se presenta a continuación, los datos controlados para el diseño de las secciones.

Datos

Caudal ( $m^3/s$ )	41.2
Talud	1.5
Solera mínima ( $m$ )	1.5

Tabla 3.2. Parámetros de diseño de canal

Las secciones serán diseñadas usando el software de Hcanales, considerando el talud, caudal, rugosidad y solera constantes. La rugosidad será obtenida de acuerdo al número de Manning de un canal revestido con concreto, con un valor de 0.015. El ancho de solera podrá incrementarse si lo requiere otra solicitud.

### 3.2. Diseño de Canal con revestimiento de concreto armado

En el siguiente apartado se presentan los cálculos realizados para realizar el diseño del tramo 1 del canal con revestimiento de concreto armado.

#### 3.2.1. Predimensionamiento de base

El espesor de la base de un canal hidráulico de concreto armado, depende del caudal. Se obtiene con la gráfica proporcionada por la U.S. Bureau of Reclamation.

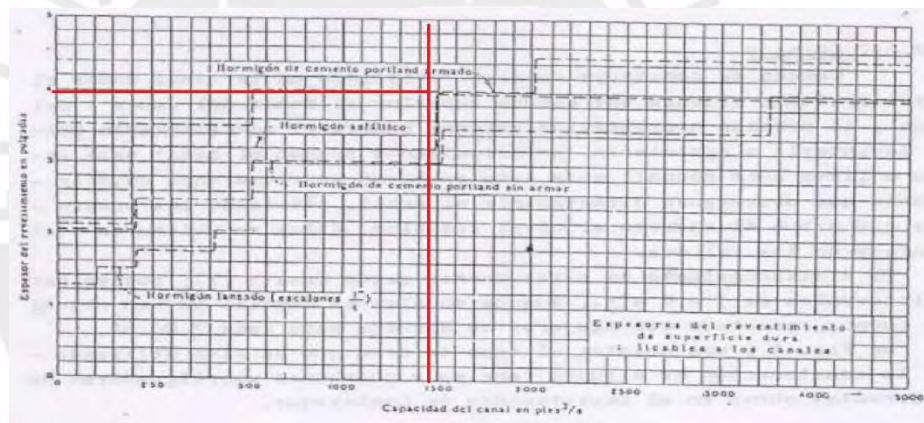


Figura 3.11. Espesor de la base del canal por Bureau of Reclamation (García, 1997)

Como se puede observar, el espesor recomendado corresponde a 4 pulgadas para el canal; sin embargo, se tomará una **altura de losa de 20 cm.** para la base del canal en todos los tramos.

#### 3.2.2. Análisis y diseño estructural

Las estructuras de retención, tales como muros de contención o, para el caso de la presente tesis, paredes de canal hidráulico, tienen procedimientos de diseño específicos que evalúan los

elementos con los que tienen contacto (Braja, 2013). Para diseñar de manera correcta este tipo de estructuras se debe tomar a consideración las fuerzas laterales que se presentan entre las estructuras y las masas de suelo retenidas. Por ende, las fuerzas laterales relacionadas son causadas debido a la presión lateral de la tierra (Braja, 2013). Entonces, se deben evaluar los empujes del suelo y la carga sísmica.

### 3.2.2.1. Empuje Activo

Cuando la parte superior de un muro se mueve hasta desarrollar un estado de equilibrio plástico, la presión estática presente en este muro genera un empuje activo del suelo referido como  $E_{as}$  (Torres, 2008).

Para obtener el coeficiente de empuje activo, se emplea la fórmula de Coulomb:

$$K_a = \frac{(\sin(\beta - \phi))^2}{(\sin(\beta))^2 * (\sin(\beta + \delta))^2 * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) * \sin(\phi - i)}{\sin(\beta + \delta) * \sin(\beta - i)}} \right]^2} \quad (3.2)$$

Donde:

- $\beta$ : ángulo de inclinación del muro con respecto a la vertical
- $i$ : ángulo de inclinación del talud con respecto a la horizontal
- $\phi$ : ángulo de fricción del suelo
- $\delta$ : ángulo de interacción suelo-estructura

Con ello, podemos calcular a la fuerza total por unidad de longitud del muro:

$$E_{as} = \frac{1}{2} * \gamma_s * H * K_a \quad (3.3)$$

Cabe recalcar que la dirección de la fuerza será perpendicular a la cara del muro, por lo que comparte el ángulo  $i$  con respecto a la horizontal.



Para el estado activo cuando el suelo presenta cohesión y fricción, se determina la presión debido al empuje activo con la siguiente expresión:

$$\sigma_a = (\gamma_s * H * K_a) - 2C * \sqrt{K_a} \quad (3.4)$$

- $C$ : cohesión del suelo

### 3.2.2.2. Empuje Pasivo

Cuando un muro empuja contra el terreno se genera la reacción llamada empuje pasivo de la tierra  $E_{ps}$  y, del mismo modo, también posee una fórmula de Coulomb para calcular este empuje  $K_{ep}$ .

$$K_p = \frac{(\sin(\beta + \phi))^2}{(\sin(\beta))^2 * (\sin(\beta - \delta)) * \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) * \sin(\phi + i)}{\sin(\beta - \delta) * \sin(\beta - i)}} \right]^2} \quad (3.5)$$

$$E_{ps} = \frac{1}{2} * \gamma_s * H * K_p \quad (3.6)$$

- $K_p$ : coeficiente de presión pasiva de Rankine

Para el estado pasivo cuando el suelo presenta cohesión y fricción, se determina la presión debido al empuje activo con la siguiente expresión:

$$\sigma_p = (\gamma_s * H * K_p) - 2C * \sqrt{K_p} \quad (3.7)$$

### 3.2.2.3. Diagrama de Fuerzas Actuantes en el canal

Se realizará el análisis del tramo 1 del canal, considerando el espesor de base de 20 centímetros previamente predimensionado, y una solera de 1.5 metros. Considerando el coeficiente de rugosidad del concreto de  $n = 0.015$ , para el caudal controlado de  $41.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , se obtiene el tirante a partir del software Hcanales:

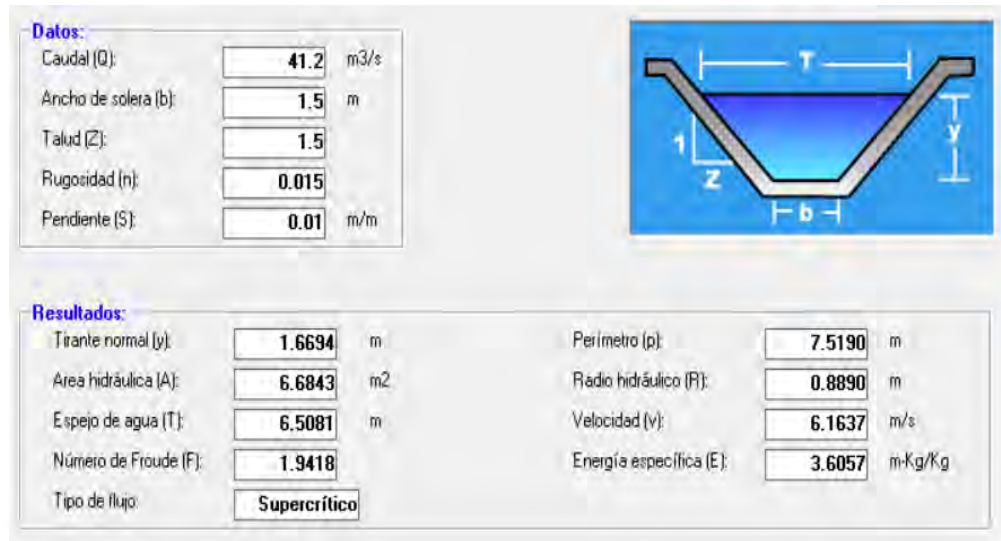


Figura 3.12. Diseño de canal con Hcanales - Tramo 1. Elaboración propia.

Con el tirante calculado del conforme a la geometría calculada:

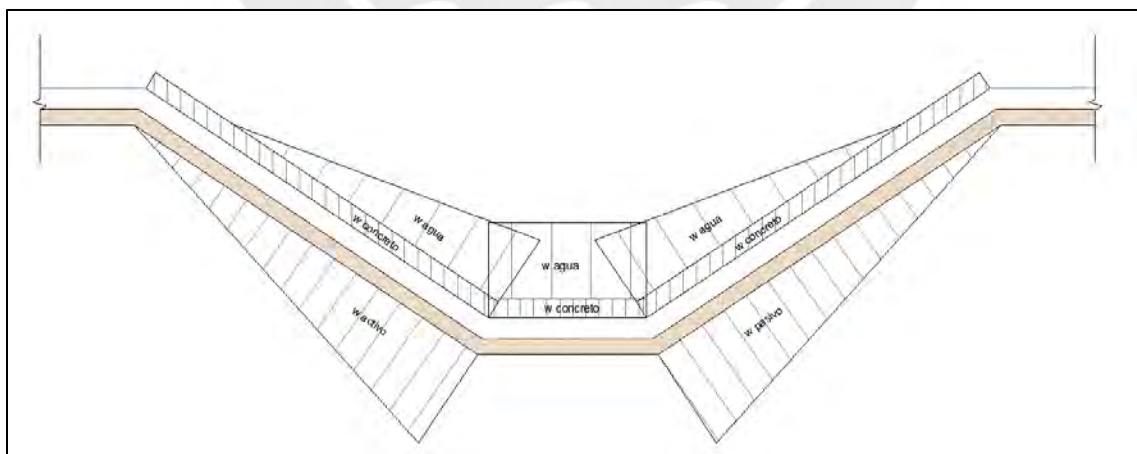


Figura 3.13. Diagrama de cuerpo libre del canal. Elaboración Propia.

Las fuerzas consideradas son el peso del agua, peso del concreto y empujes del suelo.

Para el cálculo de los esfuerzos producto del agua, se considera un peso específico del agua de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , y del diseño hidráulico se tiene un tirante de  $1.6694\text{m}$ . Se obtiene:

$$\omega_{\text{agua}} = 1\text{m} * 1.6694\text{m} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1669.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Considerando que dicha carga distribuida se aplica en dirección perpendicular a las paredes y base del canal, tal cual se evidencia en el diagrama de cuerpo libre.

Se determina igualmente el peso propio del canal, considerando que el peso del concreto es de  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Se obtiene:

$$\omega_{\text{concreto}} = 1\text{m} * 0.20\text{m} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ahora, debemos calcular el esfuerzo y empuje actuantes sobre la estructura hidráulica correspondientes al suelo. Para ello, se toman en cuenta las propiedades geotécnicas del estrato de apoyo GP:

Peso específico $\gamma_s$ ( $\text{ton/m}^3$ )	1.9
Ángulo de fricción ( $^\circ$ )	32

Tabla 3.3. Resumen de datos del suelo. Elaboración Propia.

Por ende, se obtiene el coeficiente de empuje activo y pasivo:

$$K_a = 1.16$$

$$K_p = 3.27$$

Con ello, se halla el empuje activo con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{a suelo}} = K_a * \gamma_s * H_{\text{constructiva}}$$

$$\sigma_{a \text{ suelo}} = 1.16 * 1900 \frac{kg}{m^3} * 2.169m = 4780 \frac{kg}{m * ml}$$

Luego, el empuje pasivo se halla con la siguiente expresión:

$$\sigma_{p \text{ suelo}} = K_p * \gamma_s * H_{constructiva}$$

$$\sigma_{p \text{ suelo}} = 3.27 * 1900 \frac{kg}{m^3} * 2.169m = 13\,476 \frac{kg}{m * ml}$$

### 3.2.2.4. Verificación de estabilidad al volteo y deslizamiento del canal

Se debe considerar que la verificación de la estabilidad del canal es algo esencial al momento de comprobar que el diseño elegido es correcto. Para ello, se evaluó la estabilidad del canal frente al volteo y deslizamiento considerando al tirante crítico calculado previamente. Asimismo, se considera un **punto O** donde se evaluará la estabilidad del canal.

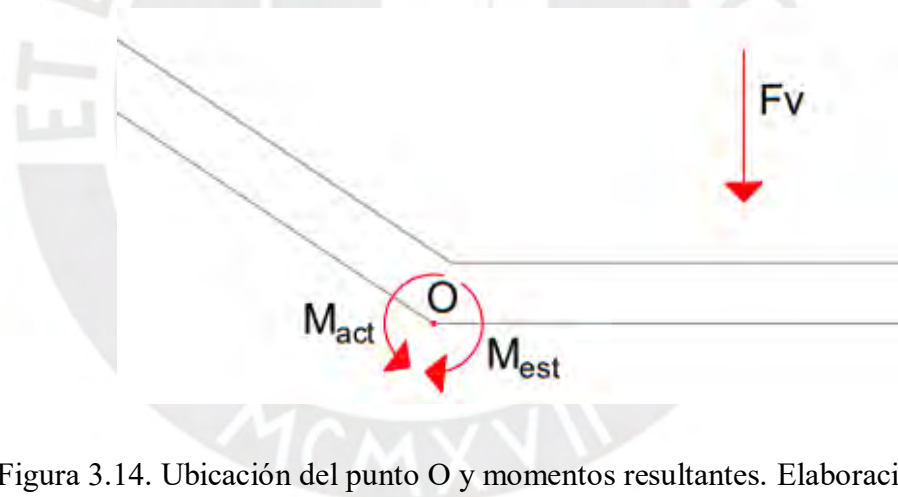


Figura 3.14. Ubicación del punto O y momentos resultantes. Elaboración Propia.

Las fuerzas verticales sobre el canal, son el peso del concreto del canal y la componente vertical producto de la carga de agua en las paredes y solera.

$$\sum F_v = W_{concreto} + W_{agua}$$

$$\sum F_v = 10.53ton$$

El deslizamiento del canal se produce por el empuje activo del suelo sobre una pared, el cual tendría como fuerza resistente a la fricción producida por el peso propio del canal vacío en el caso más desfavorable.

El empuje activo y pasivo del suelo es el área del diagrama de presiones que genera este sobre la pared del canal:

$$E_{act} = \frac{1}{2} * H_{constructiva} * \sigma_a \text{ suelo} = 5.19 \text{ ton}$$

$$E_{pas} = \frac{1}{2} * H_{constructiva} * \sigma_p \text{ suelo} = 14.61 \text{ ton}$$

Se procede a verificar el factor de seguridad por deslizamiento:

$$FS_{Deslizamiento} = \frac{\sum F_{est}}{\sum F_{act}} = \frac{\tan\left(\frac{2}{3}\phi\right) * \sum F_v + E_{pas}}{E_{act}}$$

$$FS_{Deslizamiento} = \frac{\tan\left(\frac{2}{3} * 32^\circ\right) * 10.53 + 14.61}{5.19}$$

$$FS_{Deslizamiento} = 2.99 > 2.0$$

Como el factor de deslizamiento es mayor a 2.0, el canal es seguro para las dimensiones y cargas presentadas.

El momento de volcamiento es:

$$\sum M_{vol} = E_{act} * \frac{H_{constructiva}}{3}$$

$$\sum M_{vol} = 3.76 \text{ ton.m}$$

El momento resistente se compone del momento producido por el peso del agua y del concreto de la pared del canal, tomados respecto al punto O:

$$\sum M_{res} = M_{concreto} + M_{agua} = 5.90 \text{ ton.m}$$

Se procede a verificar el factor de seguridad por volteo:

$$FS_{Volteo} = \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{act}} = \frac{5.90}{3.76}$$

$$FS_{Volteo} = 1.57 > 1.5$$

Como el factor de volteo es mayor a 1.5, el canal es seguro para las dimensiones y cargas presentadas.

### 3.2.2.5. Verificación de presiones sobre el suelo

Se verifica que las presiones transmitidas de la losa de concreto al suelo no sean mayores a la capacidad portante de este. Para ello, se calcula la capacidad portante del suelo empleando la ecuación de Meyerhoff:

$$q_u = c * N_c * s_c * i_c + \gamma_1 * D_f * N_q * i_q + \frac{1}{2} * \gamma_2 * B' * N_\gamma * s_\gamma * i_\gamma \quad (3.8)$$

Donde:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \quad (3.9)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3.10)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan 1.4\phi \quad (3.11)$$

Los factores de forma, al tratarse de una cimentación corrida en su longitud  $s_c = s_\gamma = 1$ .

Los factores de inclinación de carga, al tratarse de una carga vertical aplicada sobre el suelo  $i_c = i_\gamma = 1$ .



Asimismo,  $\gamma_1$  es el peso específico del suelo sobre la cimentación. Mientras que  $\gamma_2$  es el peso específico del suelo debajo de la cimentación. Se evidencia de la tabla 3.3, que:

$$\gamma_1 = 1900 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma_2 = 2600 \frac{kg}{m^3}$$

Por ende, la capacidad última de carga del suelo es:

$$q_u = 0 * 6.096 + 1.9 * 2.169 * 9.80 + \frac{1}{2} * 2.6 * 8.007 * 6.08$$

$$q_u = 92.6 \frac{ton}{m^2}$$

Empleando el factor de seguridad requerido por corte por la norma E.050, se obtiene:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{3}$$

$$q_{adm} = 30.9 \frac{ton}{m^2}$$

El esfuerzo ejercido por el peso propio del canal y el agua en este sobre el suelo es:

$$q_{ap} = \frac{\sum F_v}{B * L} + \frac{6e \sum F_v}{B}$$

Donde la excentricidad es:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_{res} - \sum M_{vol}}{\sum F_v}$$

$$e = 0.55m$$

$$q_{ap} = 19 \frac{ton}{m^2}$$

Por ende,  $q_{adm} > q_{ap}$ , así que el suelo resiste las cargas de gravedad aplicadas sobre este.

### 3.2.3. Diseño del canal en concreto armado

Siguiendo con los lineamientos especificados por la Norma E.060 (Norma E.060, 2020), se menciona que para el diseño de estructuras de concreto armado se utilizará el diseño por flexión y cortante. Además, si se utilizan los factores de carga (amplificación) y los factores de reducción de resistencia  $\phi$ .

También se calculará la respuesta de los elementos (fuerza y momento) en condiciones de servicio y en condiciones de diseño; esto último utilizando diferentes combinaciones de cargas.

#### 3.2.3.4. Combinaciones de Carga

Según la Norma E060, en el caso de incluir en el diseño al efecto producido por el peso y el empuje lateral de los suelos (CE), a la presión del agua y de otros materiales (CL) y a las cargas muertas y vivas, la combinación para el diseño será

$$1.4CM + 1.7CV + 1.7CE + 1.4CL$$

#### 3.2.3.5. Resistencia de Diseño

Se define a la resistencia de diseño como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones de la Norma E060, multiplicada por los factores  $\phi$  de reducción de resistencia:

- Flexión:  $\phi = 0.9$
- Cortante:  $\phi = 0.85$

### 3.2.3.6. Diseño por Cortante

El diseño debe cumplir con la condición:

$$\phi V_c > V_u$$

Donde  $V_c$  es la resistencia nominal a la cortante y  $V_u$  será la cortante última.

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d \quad (3.12)$$

Según la Norma E.060, se especifica que para el concreto no pre esforzado:

- Concreto colocado ante agua y expuesta a la misma: 40 mm

Por ende, se toma un recubrimiento de 4 centímetros para la losa de concreto de 20 centímetros. De modo que, para un metro lineal de análisis, considerando el uso de concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  se tiene la siguiente fuerza cortante para el canal:

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 100 * 16 = 10445 \text{ kgf}$$

Se crea un modelo en el programa ETAB 16.0, considerando el peso propio del canal, el peso del agua y el empuje activo actuando en una pared. De modo que se obtiene el siguiente diagrama de fuerza cortante en toneladas:

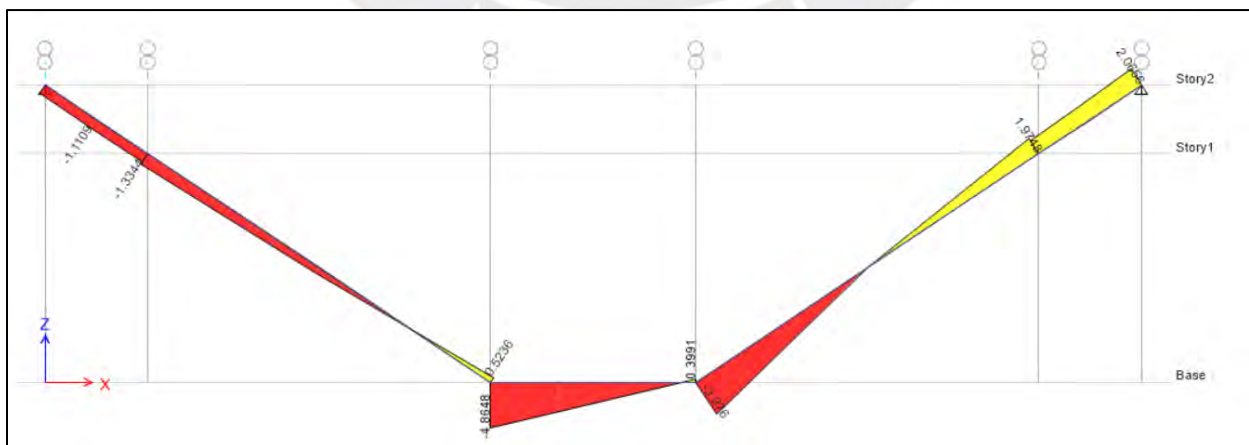


Figura 3.15. Diagrama de Fuerza Cortante de Tramo 1. Elaboración Propia.

Se obtiene una cortante máxima ultima de  $V_u = 4.865\text{ton}$

Se comprueba que  $\phi V_c > V_u$ , por ende, no necesita incrementarse el espesor o calidad del concreto del canal.

### 3.2.3.7. Diseño por Flexión

La cuantía mínima de refuerzo  $\rho_{min}$  y el área mínima de refuerzo  $A_{s_{min}}$  por tracción en sección rectangulares no será menor que:

$$\rho_{min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} * b * d$$

Por ende, para el tramo 1 se emplea concreto de  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo con  $f_y = 4200\text{ kg/cm}^2$ . Para un metro lineal de análisis, se obtiene:

$$\rho_{min} = \frac{0.7\sqrt{210}}{4200} = 0.242\%$$

$$A_{s_{min}} = 0.242\% * 100\text{cm} * 16\text{cm} = 3.86\text{cm}^2$$

Se procede a diseñar por flexión la losa de concreto del canal, a partir del diagrama de momento flector en toneladas – metro, obtenido del modelamiento del canal en Etabs 16.0:

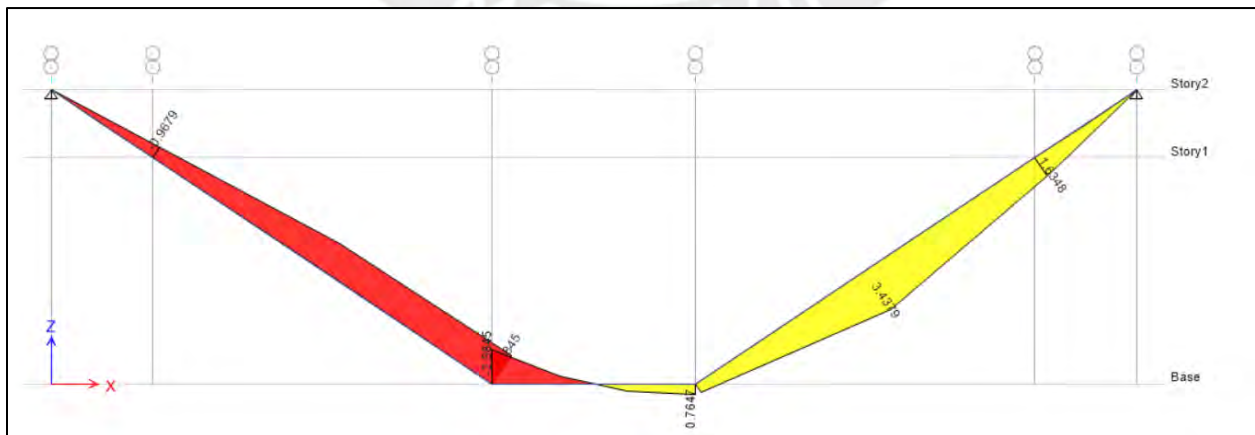


Figura 3.16. Diagrama de Momento Flector de Tramo 1. Elaboración Propia.

El momento flector máximo en la base es:

$$M_u = 2.585 \text{ ton.m}$$

Se aplica la fórmula para hallar el eje neutro:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 * f'c * b}}$$
$$a = 1.04 \text{ cm}$$

Por ende, el acero requerido por flexión es:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s = 4.42 \text{ cm}^2$$

Se instalará una malla de  $\phi_v \text{ 3/8" @ 15 cm (superior)}$  y como acero inferior vertical, se dejará correr el acero inferior de las paredes. Como acero horizontal, se coloca acero mínimo con una malla de  $\phi_h \text{ 3/8" @ 17.5 cm}$  en la base del canal.

El momento flector máximo positivo en la pared es:

$$M_u = 3.438 \text{ ton.m}$$

Por ende, el acero requerido por flexión es:

$$A_s = 2.41 \text{ cm}^2$$

Se instalará una malla de  $\phi_v \text{ 1/2" @ 20 cm (inferior)}$  así como una malla de  $\phi_h \text{ 3/8" @ 17.5 cm}$  en las paredes del canal.

### 3.2.3.8. Disposición de Juntas

Se instalan juntas transversales de contracción y expansión. Las juntas de contracción serán realizadas cada 4 metros, y las juntas de expansión cada 12 metros.

Las juntas de contracción serán de espesor de 6mm de ancho, con profundidad igual a 5cm y rellanada con sellador plastificante.

Las juntas de expansión serán de espesor de 1/2" (12.7mm) de ancho, con relleno de poliestireno expandido y sellada con poliuretano.

### 3.2.3.9. Memoria de Cálculo para Tramo 2

Se repite el proceso con el segundo tramo, el cual cuenta con una pendiente de 0.5%. Se obtiene de Hcanales los siguientes parámetros:

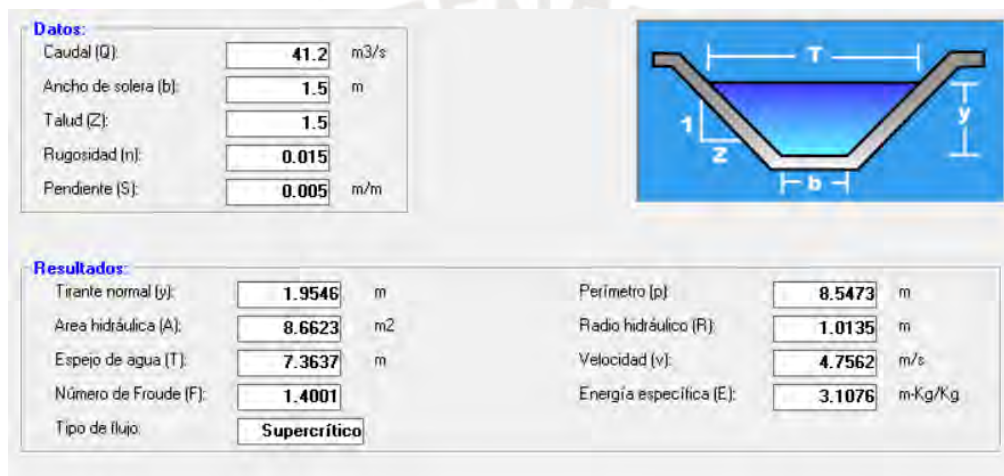


Figura 3.17. Diseño de canal con Hcanales - Tramo 2. Elaboración propia.

Se predimensiona emplear una losa de  $e = 20\text{cm}$ , con  $f'_c = 210\text{ kg/cm}^2$ . Se realiza la verificación por deslizamiento, volteo y capacidad portante del suelo:

#### Verificación de Capacidad Portante del Suelo

Capacidad Portante ( $\text{kg/cm}^2$ )      3.69

Esfuerzo Máximo ( $\text{kg/cm}^2$ )      0.20

#### Verificación por Deslizamiento



Fuerzas Actuantes ( <i>ton</i> )	6.65
Fuerzas Resistentes ( <i>ton</i> )	19.69
F.S deslizamiento	2.96
Verificación por Volteo	
Momento Volcante ( <i>ton.m</i> )	5.44
Momento Estabilizante ( <i>ton.m</i> )	8.24
F.S volteo	1.51

Tabla 3.4. Comprobación por deslizamiento, volteo y capacidad portante - Tramo 2. Elaboración propia.

Se realiza el diseño en concreto armado, y se obtienen los siguientes resultados



Figura 3.18. Diagrama de Fuerza Cortante de Tramo 2. Elaboración Propia.

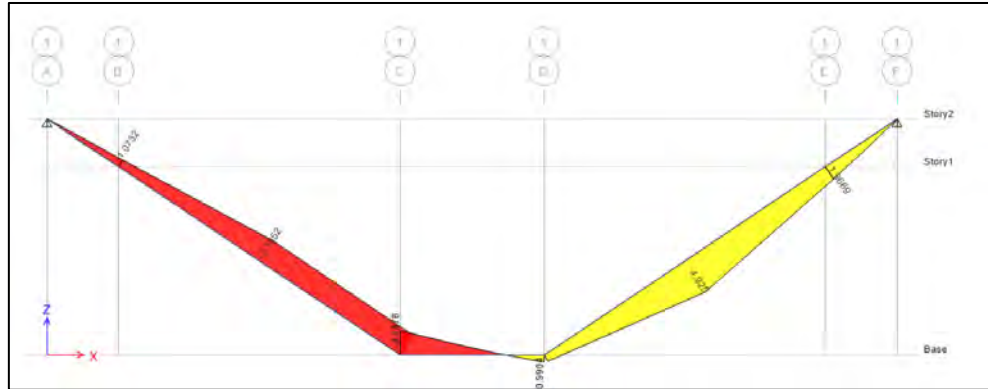


Figura 3.19. Diagrama de Momento Flector de Tramo 2. Elaboración Propia.

Se instalará una malla de  $\phi_v 1/2'' @ 20 \text{ cm}$  (superior) y  $\phi_v 1/2'' @ 15 \text{ cm}$  (inferior) así como una malla de  $\phi_h 3/8'' @ 17.5 \text{ cm}$  en la base.

### 3.2.4. Diseño Final de Canal con Revestimiento de Concreto Armado

Se repiten los cálculos para los tramos en transición, y se obtienen las siguientes secciones:

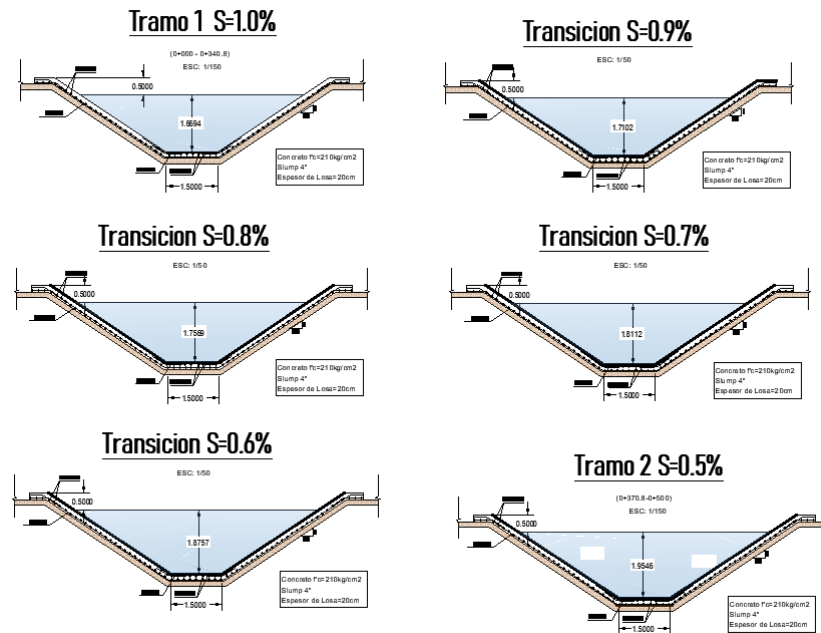


Figura 3.20. Secciones diseñadas de canal revestido con geoceldas rellenas de concreto. Elaboración propia.

### 3.3. Diseño de Canal con revestimiento de geoceldas rellenas de concreto

#### 3.3.1. Predimensionamiento de Altura de Geocelda

Se parte de un predimensionamiento de la altura de la geocelda en función a la velocidad del flujo del canal. Para ello, se emplea la siguiente tabla:

Altura de Geocelda (mm)	Velocidad Máxima (m/s)
50	4
75	6
100	7
150	8
200	10.5

Tabla 3.5. Altura de geocelda en función a velocidad del canal (TDM, 2020).

La relación entre la velocidad máxima admisible en función a la altura de la geocelda fue obtenida a partir del CIRIA Report 116 “Design of Reinforced Grass Waterways” (CIRIA, 1987).

Pero, la velocidad del canal es distinta a la velocidad máxima. Se debe emplear un factor de seguridad adecuado, el cual es para flujo subcrítico ( $F < 1$ ), de:

$$F \cdot S_{velocidad} = 1.25$$

Por otro lado, para flujo supercrítico ( $F > 1$ ), se emplea un factor de seguridad de aproximadamente:

$$F \cdot S_{velocidad} \approx 1.5$$

Y para flujos que superen un número de Froude de 3, se recomienda emplear un factor de seguridad mucho mayor, aproximadamente:

$$F \cdot S_{velocidad} \approx F$$

Con ello, se obtiene que la velocidad máxima es igual a:

$$v_{maxima} = v_{flujo} * F \cdot S_{velocidad}$$

En base a este criterio, se predimensiona una altura de geocelda inicial  $h$ .

Para el primer tramo de análisis, se tiene el siguiente diseño hidráulico a partir del uso del software Hcanales, considerando una solera de 1.5 m:

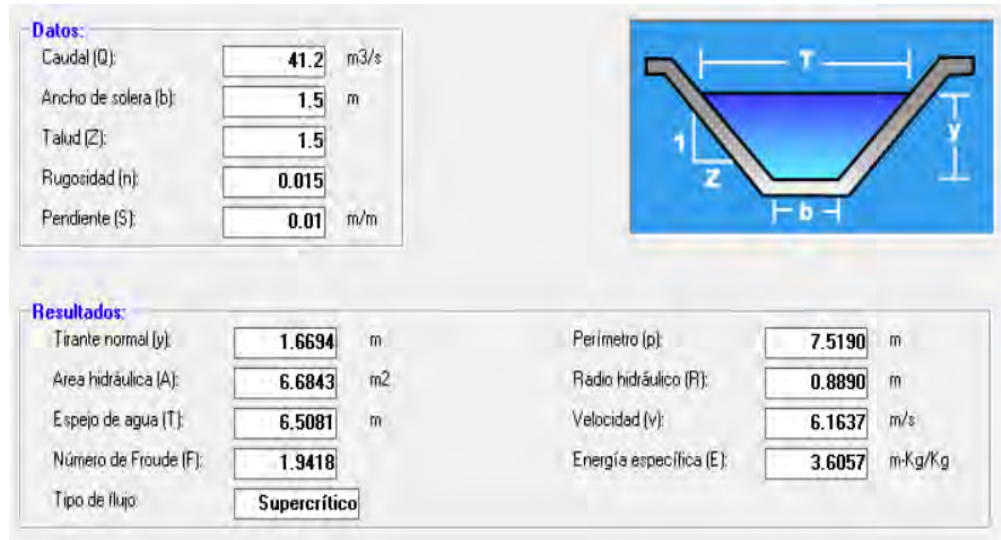


Figura 3.21. Diseño de canal con Hcanales - Tramo 1. Elaboración propia.

Con ello, se obtiene que la velocidad de diseño es igual a:

$$v_{maxima} = 6.164 * 1.5 = 9.25 \text{ m/s}$$

Por ende, se predimensiona la geocelda con altura  $h = 200\text{mm}$  y se verifica la velocidad máxima admisible por la geoceldas en comparación a la velocidad de diseño.

Verificación por Velocidad	
Tipo de Flujo	Supercrítico
F.S min	1.5
Velocidad diseño (m/s)	9.25
Altura de Celda (mm)	<b>200</b>
Velocidad máxima (m/s)	10.5
F.S	1.7 > 1.5 CUMPLE

Tabla 3.6. Comprobación por velocidad - Tramo 1. Elaboración propia.

### 3.3.2. Verificación por Cizallamiento

Luego se debe comprobar si esta altura inicial de celda permite que no haya fallas por cizallamiento. Se obtiene una fuerza tractiva actuante en la celda de:

$$\tau_{tractiva} = \gamma_{agua} * S * y$$

Por seguridad, se toma un factor de seguridad de:

$$F.S_{fuerza\ tractiva} = 1.5$$

Entonces, se diseña el equilibrio para soportar una fuerza tractiva de:

$$\tau_{tractiva\ diseno} = \tau_{tractiva} * F.S_{fuerza\ tractiva}$$

La fuerza que se opone a la fuerza tractiva es la fuerza de fricción entre la geocelda y el suelo. El diagrama de cuerpo libre es el siguiente:

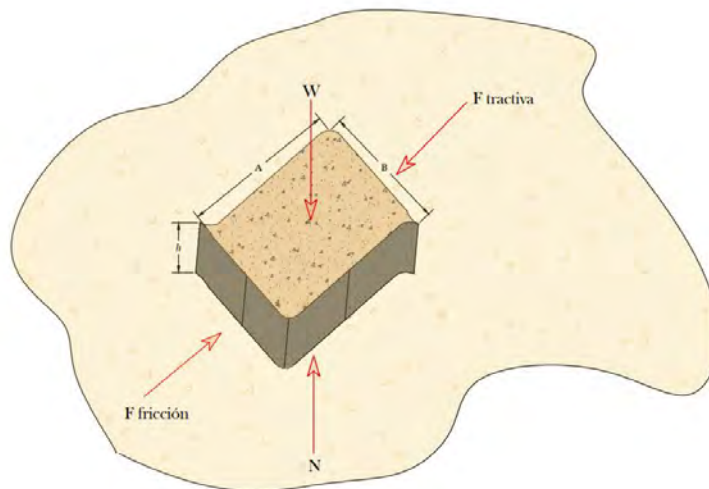


Figura 3.22. DCL Geocelda. Elaboración Propia.

Por equilibrio de fuerzas:

$$\sum F_x = \tau_{tractiva\ diseno} - \tau_{friccion} = 0$$

$$\sum F_y = N - W = 0$$

Para el análisis se considera  $1m^2$  de área, se considera como peso al volumen del concreto menos el volumen del agua, ya que el flujo del canal lleva a desplazar el concreto y llenar el espacio que este ocupa con agua, así que:

$$W = W_{concreto} - W_{agua}$$

$$W = \gamma_c * h_c * A_c - \gamma_a * h_a * A_a$$

Como ambos elementos tienen la altura predimensionada de la geocelda  $h_c = h_a = h$ , y se está analizando la misma área  $A_c = A_a = 1m^2$ .

$$W = N = (\gamma_c - \gamma_a) * h$$

La fuerza de fricción se halla en función a la fuerza normal y al coeficiente de fricción:

$$\tau_{friccion} = \mu * N$$

En el caso de la interacción entre el suelo y la geocelda, se toma el siguiente coeficiente de rozamiento:

$$\mu = \tan \delta$$

El ángulo de interacción suelo - geocelda se halla en función del ángulo de fricción del suelo:

$$\delta = \frac{2}{3} * \phi$$

Tenemos en consideración que el peso específico del concreto es  $2400 \text{ kg}/m^3$  y que el ángulo de fricción del suelo es  $32^\circ$ . Con ello, y los datos obtenidos por el software Hcanales, se procede a realizar la comprobación por fuerza cortante.

$$\tau_{tractiva} = 1000 \frac{\text{kg}}{m^3} * 0.01 * 1.669m = 16.69 \frac{\text{kg}}{m^2}$$

$$\tau_{friccion} = \tan\left(\frac{2}{3} * 32^\circ\right) * (2400 - 1000) \frac{\text{kg}}{m^3} * 200mm = 109.36 \frac{\text{kg}}{m^2}$$



Verificación por Corte	
Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )	16.69
Delta (°)	21.33
Fuerza Fricción (kg/m <sup>2</sup> )	109.36
F. S	6.55 > 1.5 CUMPLE

Tabla 3.7. Comprobación por cortante - Tramo 1. Elaboración propia.

### 3.3.3. Verificación por Contracción de Fragua

Luego, producto de la contracción de fragua, se debe verificar que el volumen de concreto contraído siga dentro de las corrugaciones de la pared de la geocelda:

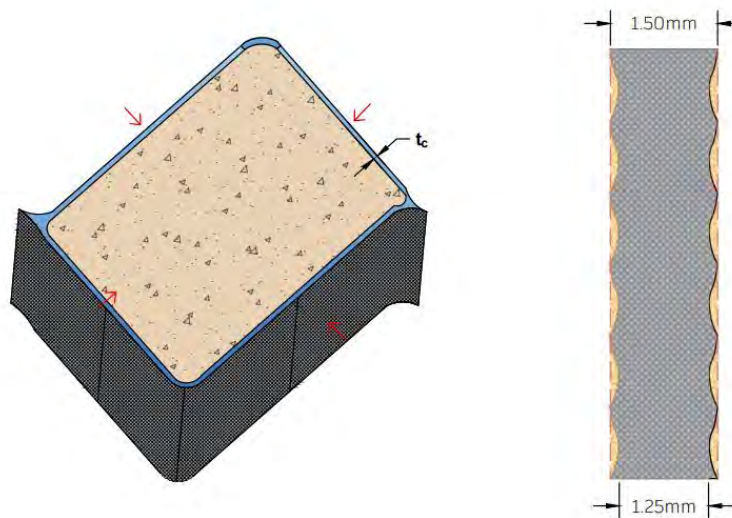


Figura 3.23. Corrugaciones de Geocelda. Elaboración Propia.

Las dimensiones de las corrugaciones son obtenidas de la GS-15, por lo cual deben ser siempre controlados. Al contraerse el concreto por fragua, se debe lograr que siga dentro de las corrugaciones de la geocelda. Por ende, el espesor contraído  $t_c$ , debe ser:

$$t_c < 0.125mm$$

Para ello, se calcula la contracción del hormigón con:

$$E_{sh} = S_{shu} * S_t * S_{th} * S_s * S_f * S_e * S_c \quad (3.13)$$

Se propone el uso de un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . El cual tendrá como dosificación en cemento: arena: piedra, una relación de 1: 1.2: 2.5 + 20L de agua, usando cemento Portland Tipo V y obteniéndose un slump de 4" con contenido de aire del 4%. Las propiedades se resumen en la siguiente tabla:

Datos del concreto	
Tiempo de curado (días)	7
Humedad relativa (%)	70%
Slump (")	4
%Arena en Agregados	50%
%Aire en Mezcla	4%
%Cemento en Mezcla	17%
Peso Cemento (kg/m3)	408

Tabla 3.8. Datos del concreto - Tramo 1. Elaboración propia.

Los coeficientes de la ecuación 3.13 son los siguientes de acuerdo al Comité 209 ACI.

### 3.3.3.1 Coeficiente de Deformación de Contracción Unitaria Última del Concreto

El coeficiente  $S_{shu}$  es la deformación de contracción unitaria última del concreto.

$$0.000415 \leq S_{shu} \leq 0.00107$$

Para realizar un diseño conservador, se toma el límite máximo de este valor:

$$S_{shu} = 0.00107$$

### 3.3.3.2 Factor del Tiempo de Curado

El factor del tiempo de curado  $S_t$  es obtenido directamente en función de los días y el método de curado. De acuerdo al Comité 209 ACI, se limita a los siguientes valores:

Tiempo de curado (días)	Por humedad	Por vapor
1	1.2	1.2
7	1.0	1.0
30	0.46	0.35
90	0.72	0.62
180	0.84	0.77
360	0.91	0.87
1800	0.98	0.97

Tabla 3.9. Factor de tiempo de curado (TDM, 2020).

A mayor tiempo de curado, el factor es menor indicando que el concreto se contrae menos. El tiempo ideal de fraguado es de 1 mes, y posterior a ello aumenta de nuevo el nivel de contracción.

En el caso del proyecto presente, se empleará un tiempo de curado de 7 días, ya que, si bien no es el tiempo óptimo para lograr un menor factor de tiempo de curado, es ideal para acelerar el proceso constructivo. Por ende, se tiene:

$$S_t = 1$$

### 3.3.3.3 Factor de Humedad Relativa

El factor de humedad relativa  $S_h$  es obtenido directamente en función de la humedad relativa.

$$S_h = \begin{cases} 1, & H \leq 40\% \\ 1.4 - 0.01H, & H \leq 80\% \\ 3 - 0.03H, & H \leq 100\% \end{cases}$$

A mayor humedad, el factor es menor indicando que en ambientes húmedos el concreto se contrae menos.

El tajo de Pampacancha se ubica en la provincia Chumbivilcas, la cual registra una humedad promedio de 70%, por ende:

$$S_h = 0.7$$

### 3.3.3.4 Factor de Espesor del Concreto

El factor de espesor del concreto  $S_{th}$  es obtenido directamente en función del espesor del elemento.

Espesor (")	$S_{th}$
$\leq 6$	1.00
9	0.84

Tabla 3.10. Factor de espesor (TDM, 2020).

A menor espesor, se contrae más el concreto ya que se restringe la contracción del concreto en las caras laterales, por lo cual se produce una mayor compresión en el centro del espesor del concreto, generando mayor contracción.

En el caso del proyecto, la geoceldas tiene un espesor de  $200mm > 6"$ , por ende:

$$S_{th} = 1$$

### 3.3.3.5 Factor de Revenimiento del Concreto

El factor de revenimiento del concreto  $S_s$  es obtenido directamente en función del slump.

Slump (")	$S_s$
2	0.97
3	1.01
4	1.05
5	1.09

Tabla 3.11. Factor de slump (TDM, 2020).

A mayor slump, se contrae más el concreto ya que requiere de mayor agua en la mezcla para ser más fluido y obtener el slump requerido.

El concreto empleado tiene un slump de 4", por ende:

$$S_s = 1.05$$

### 3.3.3.6 Factor de Finos

El factor de finos  $S_f$  es obtenido directamente de la mezcla, siendo la proporción de arena en esta.

% Finos por peso	$S_f$
40	0.86
50	1.00
70	1.04

Tabla 3.12. Factor de contenido de finos (TDM, 2020).

A mayor cantidad de finos, se contrae más el concreto ya que se aumenta la superficie específica lo cual conlleva a mayor área superficial dispuesta a la hidratación del cemento.

La mezcla del concreto del proyecto, tiene un 50% de contenido de arena. Por lo cual:

$$S_f = 1$$

### 3.3.3.7 Factor de Contenido de Aire

El factor de contenido de aire  $S_e$  es obtenido directamente de la mezcla, siendo el porcentaje de vacíos en esta.

% Aire	$S_e$
4	0.98
6	1.00
10	1.03

Tabla 3.13. Factor de contenido de aire (TDM, 2020).



A mayor cantidad de vacíos, se contrae más el concreto.

La mezcla planteada tiene un porcentaje de aire de 4%, por ende:

$$S_e = 0.98$$

### 3.3.3.7 Factor de Contenido de Cemento

El factor de contenido de cemento  $S_c$  es obtenido directamente de la mezcla, siendo la proporción de cemento en esta.

Contenido de Cemento ( $kg/m^3$ )	$S_f$
223	0.87
334	0.95
418	1.00
557	1.09

Tabla 3.14. Factor de contenido de cemento (TDM, 2020).

A mayor cantidad de cemento, se contrae más el concreto ya que una mayor relación agua-cemento resulta en una mayor cantidad de agua hidratando el cemento.

La mezcla planteada contiene un 17% de cemento, lo cual equivale a  $408 \frac{kg}{m^3}$ , por ende:

$$S_c = 0.99$$

El valor de  $E_{sh}$ , se muestra calculado en la siguiente tabla:

<b>Análisis de percolación</b>	
Sshu (deformación de contracción ultima)	0.00107
St (tiempo de contracción)	1
Sh (humedad relativa)	0.7
Sth (Espesor mínimo de elemento)	0.84
Ss (Revenimiento del concreto)	1.05
Sf (Contenido de finos)	1
Se (Contenido de aire)	0.98
Sc (Contenido de cemento)	0.99
Esh	0.000641

Tabla 3.15. Análisis de percolación - Tramo 1. Elaboración propia.

El área de contracción de fragua se halla empleando la siguiente formula:

$$A_{contraccion} = E_{sh} * A_{geocelda}$$

El área de la geocelda es obtenida a partir de las dimensiones de esta, la cual se encuentra en las especificaciones técnicas de la empresa manufactora. Con ello, se obtiene el área y perímetro de la geocelda, con los cuales se obtiene el espesor de contracción:

$$t_c = \frac{A_{contraccion}}{P_{geocelda}}$$

A partir de ello, se obtiene el espesor del concreto contraído por la fragua, y se debe verificar que  $t_c < 0.125mm$ . Con este método se dimensiona la sección de geocelda con los modelos comerciales, para escoger el tipo de geocelda a emplear en el proyecto:

<b>Dimensiones de sección de la geocelda</b>							
Modelo	A (mm)	B (mm)	Área (m2)	Área contracción (mm2)	P (mm)	tc (mm)	<0.125mm
TW 15	219	188	0.02059	13.19	577.25	0.0229	CUMPLE
TW 20	259	224	0.02901	18.59	684.86	0.0271	CUMPLE
TW 25	292	251	0.03665	23.49	770.10	0.0305	CUMPLE
TW 30	329	287	0.04721	30.26	873.18	0.0347	CUMPLE
TW 35	416	374	0.07779	49.86	1118.81	0.0446	CUMPLE
TW 40	508	475	0.12065	77.33	1390.96	0.0556	CUMPLE

Tabla 3.16. Comprobación por contracción de fragua - Tramo 1. Elaboración propia.

Se escoge la geocelda TW40 con dimensiones 508x475x200 mm. Ya que mientras más grande sea la sección de geoceldas, menos unidades se emplean por metro cuadrado de área de canal, siendo la decisión más económica usar la celda de mayor área.

Modelo	A (mm)	B (mm)	Área (m <sup>2</sup> )	Área contracción (mm <sup>2</sup> )	P (mm)	tc (mm)
TW 40	508	475	0.12065	77.33	1390.96	0.0556

Tabla 3.17. Elección del modelo de geocelda - Tramo 1. Elaboración propia.

### 3.3.4. Verificación de Caudal de Filtración

Después se procede a obtener el caudal de filtración que se filtra en las corrugaciones de las paredes de la geocelda durante el fraguado. Para ello, se toma en cuenta la permeabilidad de la geocelda es de  $K = 1 * 10^{-9} m/s$ .

El gradiente hidráulico se evidencia gráficamente como:

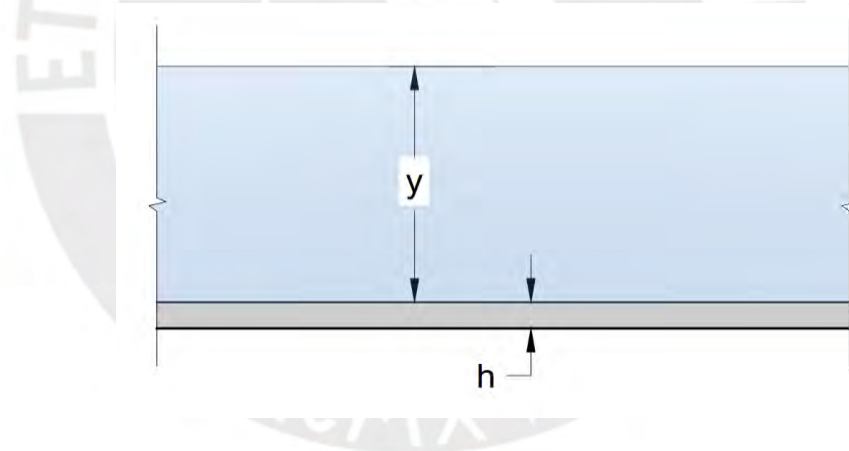


Figura 3.24. Gradiente hidráulico en geoceldas. Elaboración Propia.

$$i = \frac{y + h}{h}$$

Con ello, se obtiene el caudal de filtración con:

$$Q_f = K * i * A_{contraccion}$$

Para poder obtener el caudal filtrado en todo el canal, se obtiene el caudal por metro cuadrado de área:

$$q_f = \frac{Q_f}{A_{geocelda}}$$

Con dicho valor, se puede obtener el caudal filtrado en todo el canal empleando:

$$Q_{filtrado\ total} = q_f * A_{canal}$$

Y el área del canal viene dada por:

$$A_{canal} = P * L_{canal}$$

Entonces:

$$Q_{filtrado\ total} = \frac{K * i * A_{contraccion}}{A_{geocelda}} * P * L_{canal} \quad (3.14)$$

Este caudal filtrado se debe comparar con el caudal del flujo, para verificar si es considerable su efecto.

Con estas dimensiones, y la longitud del tramo ya conocida se calcula el flujo de percolación:

<b>Datos del canal</b>	
Longitud (m)	340.8
<b>Análisis de percolación</b>	
i (m/m)	9.35
K (cm/s)	1.00E-09
Ac (mm <sup>2</sup> )	77.33
q (m <sup>3</sup> /s)	7.23E-13
q (m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> )	5.99E-12
Q percolado (L/día)	1.33
Q canal (L/día)	3.56E+09
%Caudal percolado (día)	0.000000%

Tabla 3.18. Comprobación de caudal percolado - Tramo 1. Elaboración propia.

El cual resulta ser un factor que no afecta al caudal del canal, por ende, no ocurren problemas por percolación.

### 3.3.5. Memoria de Cálculos para Tramo 2

Se repite el proceso con el segundo tramo, el cual cuenta con una pendiente de 0.5%. Se obtiene de Hcanales los siguientes parámetros:

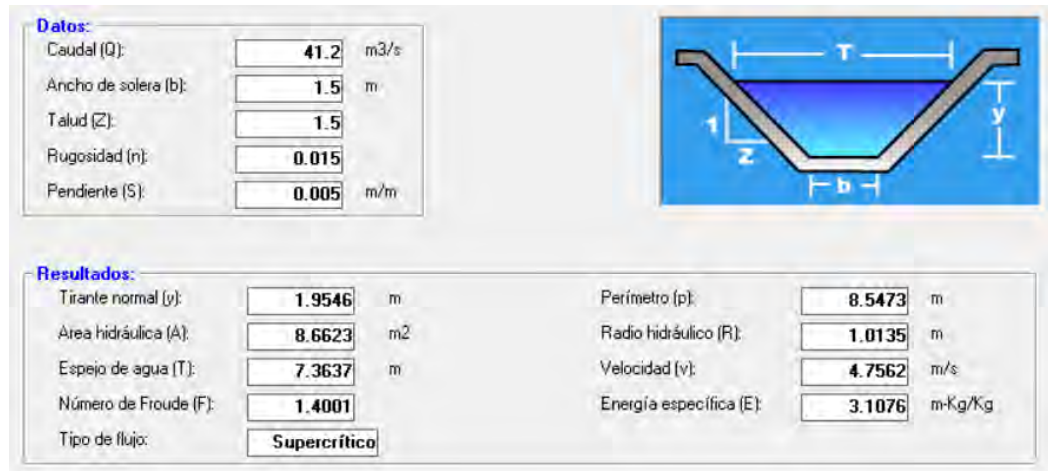


Figura 3.15. Diseño de canal con Hcanales - Tramo 2. Elaboración propia.

Igualmente, se predimensiona por velocidad una altura de celda de  $h = 150\text{mm}$  y se comprueba por corte y percolación:

Verificación por Velocidad	
Tipo de Flujo	Supercrítico
F.S min	1.5
Velocidad diseño (m/s)	7.13
Altura de Celda (mm)	<b>150</b>
Velocidad máxima (m/s)	8
F.S	1.68 > 1.5 CUMPLE

Verificación por Corte	
Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )	9.77
Delta (°)	21.33
Fuerza Fricción (kg/m <sup>2</sup> )	82.02
F. S	8.39 > 1.5 CUMPLE

Tabla 3.26. Comprobación por velocidad y cortante - Tramo 2. Elaboración propia.

Con la altura de geocelda de  $h = 150\text{mm}$ , la cual cumple las solicitaciones de fuerza cortante y velocidad permisible, se procede a calcular la contracción del flujo por percolación. Para ello, se requiere conocer las propiedades del concreto de relleno.

Empleando el mismo concreto  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$  usado en los anteriores tramos, se obtienen los siguientes resultados:

<b>Datos del concreto</b>	
Tiempo de curado (días)	7
Humedad relativa (%)	70%
Slump (")	4
%Arena en Agregados	54%
%Aire en Mezcla	3%
%Cemento en Mezcla	16%
Peso Cemento (kg/m3)	391.5171289

<b>Análisis de percolación</b>	
Sshu (deformación de contracción ultima)	0.00107
St (tiempo de contracción)	1
Sh (humedad relativa)	0.7
Sth (Espesor mínimo de elemento)	1
Ss (Revenimiento del concreto)	1.05
Sf (Contenido de finos)	1.01
Se (Contenido de aire)	0.98
Sc (Contenido de cemento)	0.98
Esh	0.00076286

Tabla 3.20. Datos del concreto y análisis de percolación - Tramo 2. Elaboración propia.

<b>Dimensiones de sección de la geocelda</b>							
Modelo	A (mm)	B (mm)	Área (m2)	Área contracción (mm2)	P (mm)	tc (mm)	<0.125mm
TW 15	219	188	0.02059	15.70	577.25	0.0272	CUMPLE
TW 20	259	224	0.02901	22.13	684.86	0.0323	CUMPLE
TW 25	292	251	0.03665	27.96	770.10	0.0363	CUMPLE
TW 30	329	287	0.04721	36.02	873.18	0.0412	CUMPLE
TW 35	416	374	0.07779	59.34	1118.81	0.0530	CUMPLE
TW 40	508	475	0.12065	92.04	1390.96	0.0662	CUMPLE



Tabla 3.21. Comprobación por contracción de fragua - Tramo 2. Elaboración propia.

Modelo	A (mm)	B (mm)	Área (m <sup>2</sup> )	Área contracción (mm <sup>2</sup> )	P (mm)	tc (mm)
TW 40	<b>508</b>	<b>475</b>	<b>0.12065</b>	<b>77.33</b>	<b>1390.96</b>	<b>0.0556</b>

Tabla 3.22. Elección del modelo de geocelda - Tramo 2. Elaboración propia.

Se escoge la geocelda TW40 con dimensiones 508x475x150 mm.

Con estas dimensiones, y la longitud del tramo ya conocida se calcula el flujo de percolación:

<b>Datos del canal</b>	
Longitud (m)	129.2
<b>Análisis de percolación</b>	
i (m/m)	14.03
K (cm/s)	1.00E-09
Ac (mm <sup>2</sup> )	92.04
q (m <sup>3</sup> /s)	1.29E-12
q (m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> )	1.07E-11
Q percolado (L/día)	1.02
Q canal (L/día)	3.56E+09
%Caudal percolado (día)	0.000000%

Tabla 3.23. Comprobación de caudal percolado - Tramo 2. Elaboración propia.

El cual resulta ser un factor que no afecta al caudal del canal, por ende, no ocurren problemas por percolación.

### 3.3.6. Diseño Final de Canal con Geoceldas Rellenas de Concreto

En la transición de ambos tramos, se dimensionaron los tramos intermedios en cada cambio de 0.1% de pendiente de fondo de canal. Los cálculos se encuentran anexados. Finalmente, se obtienen las siguientes secciones:

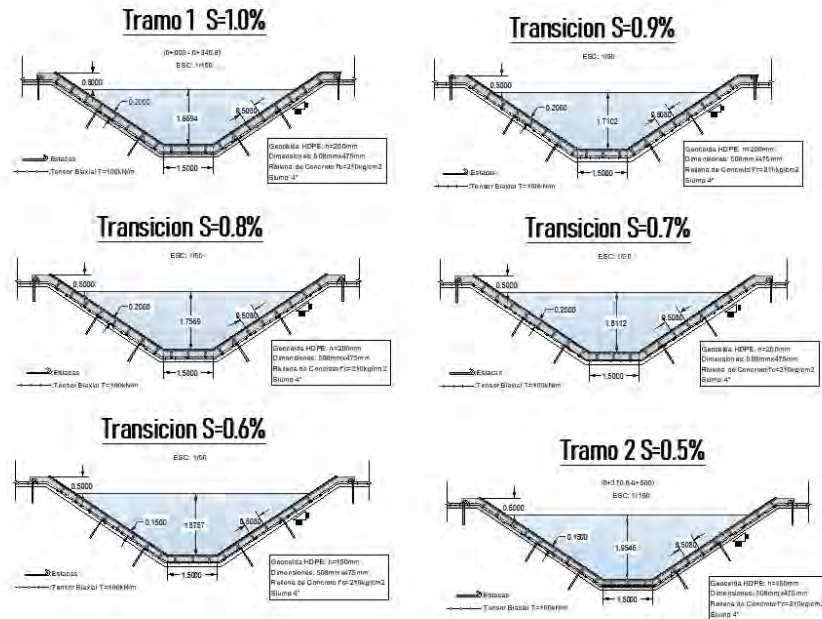


Figura 3.27. Secciones diseñadas de canal revestido con geoceldas rellenas de concreto.

Elaboración propia.

### 3.4. Durabilidad

#### 3.4.1. Durabilidad de Canal con Revestimiento de Concreto Armado

El concreto armado se puede desgastar por la fisuración, para ello se colocan juntas longitudinales y respecto al refuerzo transversal, la norma E.060 dispone que en ambientes agresivos se debe cumplir:

$$S \leq 2h$$

En las zonas más esforzadas. En el caso del canal de concreto, se ha verificado en la tesis que las secciones con mayor momento flector son las de momento negativo en el encuentro de las paredes con la base del canal, y el momento positivo se maximiza en el centro de las paredes.

Como el espesor del canal es de  $h = 20\text{cm}$ , se debe cumplir que  $S_{max} = 40\text{cm}$ . El espesor máximo entre refuerzo transversal en el canal es de 25 centímetros, con lo cual el refuerzo de acero controla la fisuración transversal del canal.

Según el ACI-209, la contracción del concreto se halla mediante la expresión:

$$\varepsilon_s(t) = \varepsilon_{su} * K_t * K_h * K_{vs} \quad (3.14)$$

Por recomendación del ACI-209, se toma el valor de retracción libre de  $\varepsilon_{su} = 0.00078$ .

El valor de  $K_t$  depende del tiempo después de los 7 días de curado, con valor:

$$K_t = \frac{t}{35 + t}$$

Luego, el coeficiente  $K_h$  depende de la humedad relativa, la cual es de 70% por ende:

$$K_h = 1.4 - 0.01 * 70 = 0.7$$

Finalmente, el coeficiente  $K_{vs}$  depende de la relación entre el volumen del elemento y el área expuesta por donde se evapora el agua, esto sería para el caso del canal el espesor que es 200mm.

Por ende:

$$K_{vs} = 1.2e^{-0.00472*200} = 0.467$$

Con los valores hallados, se puede obtener un gráfico de la deformación unitaria en el concreto en el tiempo (sin considerar efectos de creep):

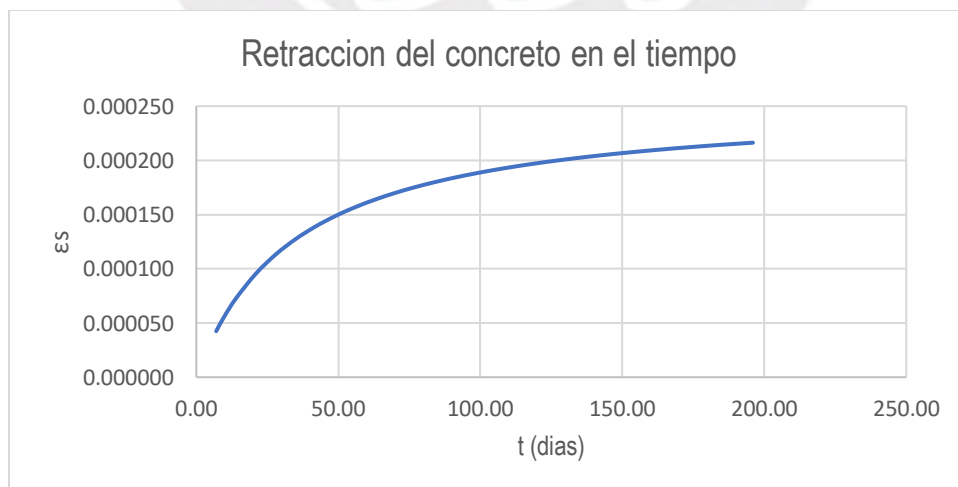


Figura 3.28. Retracción del concreto en el tiempo. Elaboración propia.

Se pueden estimar los esfuerzos producidos en el concreto producto de la retracción mediante la fórmula:

$$\sigma_c(t) = E_c * \varepsilon_s(t)$$

Empleando los datos obtenidos anteriormente, se elabora la siguiente gráfica:

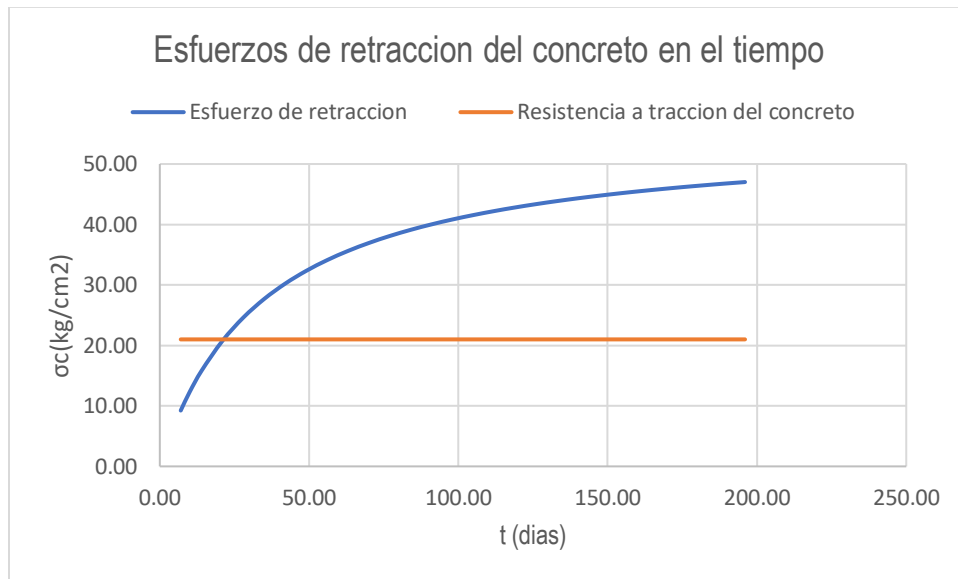


Figura 3.29. Esfuerzos de retracción del concreto en el tiempo. Elaboración propia.

De la figura anterior se evidencia como tras 21 días, se espera que los esfuerzos de retracción producto del secado del concreto, generen fisuramiento en el canal. Si bien dichas fisuras son controladas por las juntas de contracción y el refuerzo de acero, se espera que con el paso del tiempo reaparezcan y se requiera de brindarle mantenimiento al concreto.

Otro efecto que afecta a la durabilidad del concreto es la exposición a rayos UV, la cual de acuerdo a (Construction and Building Materials, 2020) genera una degradación en la pasta de cemento y pierde un 30% de sus propiedades mecánicas tras ser sometido a 1000 horas de exposición. Dicho efecto se combate mediante el uso del recubrimiento normativo entre las barras de acero de refuerzo y la cara expuesta de concreto.

### 3.4.2. Durabilidad de Canal con Revestimiento de Geoceldas Rellenas de Concreto

De acuerdo al estándar del GS-15, las geoceldas presentan las siguientes propiedades de durabilidad:

Propiedades	Método de Ensayo	Valor de Ensayo
Tiempo de Inducción Oxidativa		
Estándar	ASTM D 3895	100 min.
Alta presión	ASTM D 5885	400 min.
Envejecimiento en Horno a 85 °C		
Estándar	ASTM D 3895	55% retenido tras 90 días
Alta presión	ASTM D 5885	80% retenido tras 90 días
Resistencia a rayos UV		
Estándar	ASTM D 3895	-
Alta presión	ASTM D 5885	50% retenido tras 1600 horas

Tabla 3.24. Propiedades de Durabilidad de Geoceldas HDPE. Adaptado de GRI – GS 15 “Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Geocells Made From High Density Polyethylene (HDPE) Strips” (2013).

En el caso de aplicación, las geoceldas no son sometidas a temperaturas elevadas. Pero si están expuestas a rayos UV ya que la región de Cusco tiene índices de radiación promedio de 16. Para evitar la pérdida de las propiedades resistentes de la geocelda, las cuales ocasionarían la falla del

canal, se debe proteger el canal. Por ende, se deben considerar geoceldas con pintura acrílica en las celdas expuestas.





## CAPÍTULO IV. Costos y Presupuestos de las propuestas de diseño del canal

### 4.1. Metrados

Los metrados desarrollados para ambos diseños, fueron realizados de acuerdo a la normativa:

- Norma técnica, metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas (2018).

Las partidas consideradas en el caso de ambas alternativas, fueron ligadas directamente al proceso constructivo que tienen ambos canales.

#### 4.1.1. Metrado de diseño con concreto armado

Para la construcción del canal revestido con concreto armado, se consideraron las siguientes partidas principales:

- Excavación Masiva
- Perfilado de Taludes
- Concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de Refuerzo  $fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera

Los Metrados con mayor influencia en el presupuesto se presentan a continuación:

Partida	Unidad	Metrado
Excavación Masiva	M3	16788.64
Perfilado de Taludes	M2	4056.05
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	M3	1114.27
Acero de Refuerzo $fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$	Kg	50755.28
Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera	M2	202.78

Tabla 4.1. Metrados más influyentes en diseño revestido con concreto armado.

Elaboración propia.

#### 4.1.2. Metrado de diseño con geoceldas rellenas de concreto

Para la construcción del canal revestido con geoceldas rellenas de concreto, se consideraron las siguientes partidas principales:

- Excavación Masiva
- Perfilado de Taludes
- Concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Geoceldas HDPE
- Geomalla
- Estacas de Anclaje

Los Metrados con mayor influencia en el presupuesto se presentan a continuación:

Partida	Unidad	Metrado
Excavación Masiva	M3	16788.64
Perfilado de Taludes	M2	4056.05
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	M3	1032.92
Geoceldas HDPE	Und	22063.00
Geomalla	M2	5305.05
Estacas de Anclaje	Und	21991.00

Tabla 4.2. Metrados más influyentes en diseño revestido con geoceldas.

Elaboración propia.

## 4.2. Costos

### 4.2.1. Tipos de Costos y Gastos involucrados en el proyecto

El costo total de un producto, o en términos generales “costo”, será el monto total de capital invertido en el mismo (dinero, esfuerzo, tiempo, recursos) y este puede ser conocido en el presupuesto de la obra, que integra los costos y cantidades del proyecto en cuestión (Suarez, 2016).

Entre los diferentes tipos de costos que son considerados al momento de realizar un proyecto, los más relevantes son:

- **Costos directos:** Refiere a los gastos relacionados al proceso de construcción del proyecto, que incluye los materiales, mano de obra y equipo utilizado en el conjunto de actividades.
- **Costos indirectos:** Relacionados a gastos administrativos, organizacionales, técnicos y de supervisión. Representan un porcentaje del costo directo.
- **Costos por financiamiento:** Generados por la inversión de recursos propios para el cumplimiento de programas o calendarios de obra. Representan un porcentaje de la suma de los costos directos e indirectos.
- **Cargos por utilidad:** Deducciones generadas al contratista de las cuales se obtiene la ganancia para la constructora.
- **Cargos adicionales:** Gastos generados por impuestos o derechos generados por las actividades relacionadas al proyecto.

#### 4.2.2. Análisis de Costos Unitarios

Se realizó un Análisis de Precios Unitarios para cada una de las partidas, tomando en consideración precios actualizados y sugeridos del mercado, obtenidos de diferentes fuentes como lo son:

- Boletín CAPECO
- Sodimac
- Promart

##### 4.2.2.1. ACUS en diseño con concreto armado

Para la realización de los análisis de costos unitarios del canal revestido con concreto armado se contemplaron las siguientes consideraciones:

- Vaceado de concreto premezclado con bomba.
- Excavación, corte y remoción del terreno con maquinaria pesada.
- Trazo y replanteo con equipo topográfico.
- Encofrado con Paneles de Madera.

- Apuntalamiento con Puntales de Acero.

#### 4.2.2.2. ACUS en diseño con geoceldas rellenas de concreto

Para la realización de los análisis de costos unitarios del canal revestido con geoceldas rellenas de concreto se contemplaron las siguientes consideraciones:

- Vaceado de concreto premezclado con bomba.
- Excavación, corte y remoción del terreno con maquinaria pesada.
- Trazo y replanteo con equipo topográfico.
- Anclado con Tensor Multiaxial y Estacas de Anclaje.

### 4.3. Presupuestos

El presupuesto constará de la suma del costo directo y el costo indirecto, empleando los metrados, precios y análisis de costos unitarios descritos previamente.

#### 4.3.1. Presupuesto de diseño con concreto armado

El costo directo de las partidas más incidentes en el presupuesto es el siguiente:

Partida	Costo Directo (S/.)
Excavación Masiva	78 683.16
Perfilado de Taludes	21 753.70
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	380 968.12
Acero de Refuerzo $fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$	202 162.43
Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera	12 452.66

Tabla 4.3. Metrados más influyentes en diseño revestido con concreto armado.

Elaboración propia.

El costo directo total del diseño con revestimiento de concreto armado es: **S/. 800 699.51**

El presupuesto desglosado por partidas se encuentra anexado.

#### 4.3.2. Presupuesto de diseño con geoceldas rellenas de concreto

El costo directo de las partidas más incidentes en el presupuesto es el siguiente:

Partida	Costo Directo (S/.)
Excavación Masiva	78 683,16
Perfilado de Taludes	21 753,70
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	345 220.01
Geoceldas HDPE	76 034.03
Geomalla	57 790.28
Estacas de anclaje	56 799.32

Tabla 4.4. Metrados más influyentes en diseño revestido con geoceldas.  
Elaboración propia.

El costo directo total del diseño con revestimiento de geoceldas es: **S/. 731 761.57**

El presupuesto desglosado por partidas se encuentra anexado.

#### 4.4. Cronograma de Obra

Los cronogramas de obra se elaboran en función al rendimiento empleado en los análisis de costos unitarios, y fijando una jornada laboral de 8 horas diarias de lunes a viernes.

##### 4.4.1. Cronograma de Obra de diseño con concreto armado

Se presenta el cronograma de obra resumido por el inicio y fin de las partidas principales

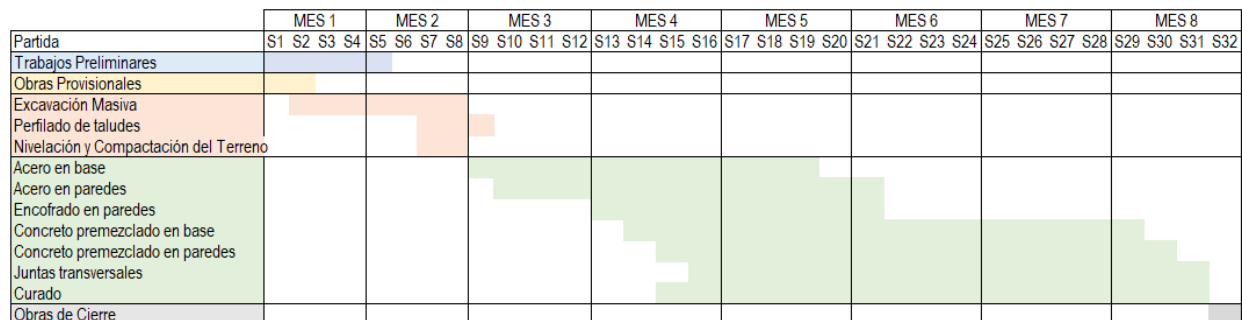


Figura 4.1. Cronograma resumido de alternativa con concreto armado. Elaboración propia.

El cronograma de obra desglosado por partidas tiene una duración de 192 días calendario.

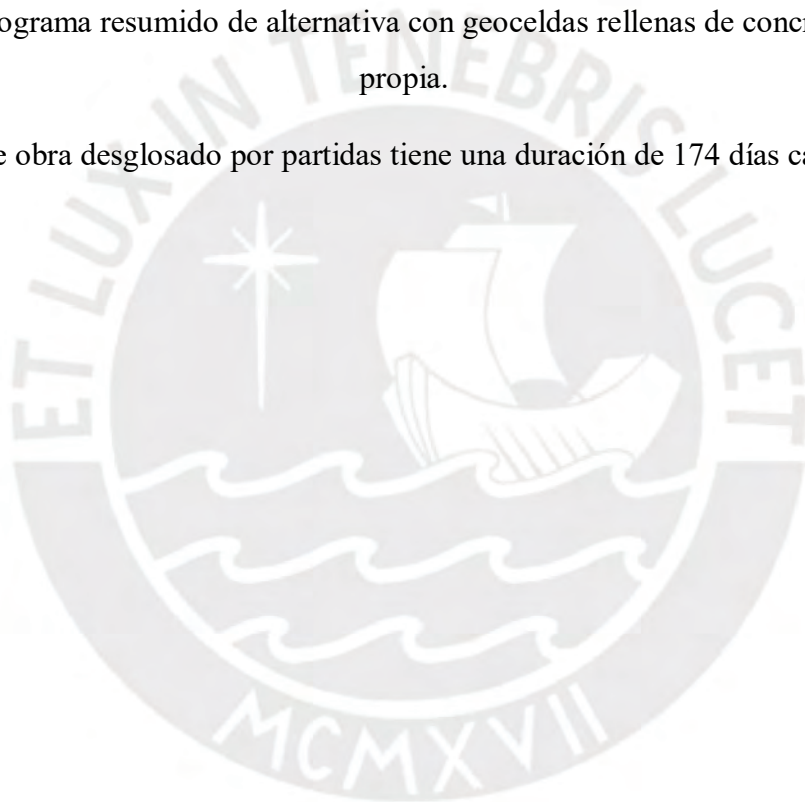
#### 4.4.2. Cronograma de Obra de geoceldas rellenas de concreto

Se presenta el cronograma de obra resumido por el inicio y fin de las partidas principales:

Partida	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
Trabajos Preliminares	█				█																											
Obras Provisionales	█																															
Excavación Masiva	█				█																											
Perfilado de taludes	█				█				█																							
Nivelación y Compactación del Terreno	█				█				█																							
Geomalla Biaxial en base									█				█																			
Geoceldas HDPE TW40 en base									█				█																			
Estacas de Anclaje L=40 cm en base									█				█																			
Concreto premezclado en base									█				█																			
Geomalla Biaxial en paredes									█				█																			
Geoceldas HDPE TW40 en paredes									█				█																			
Estacas de Anclaje L=40 cm en paredes									█				█																			
Concreto premezclado en paredes									█				█																			
Obras de Cierre																									█							

Figura 4.2. Cronograma resumido de alternativa con geoceldas rellenas de concreto. Elaboración propia.

El cronograma de obra desglosado por partidas tiene una duración de 174 días calendario.





## CAPÍTULO V. Conclusiones

### 5.1. Discusión de Resultados

#### 5.1.1. Comparación en Costos

A partir de los metrados de partidas iguales se genera la siguiente tabla comparativa:

Partida	Unidad	Metrado diseño con Geoceldas	Metrado diseño con Concreto Armado
Excavación Masiva	M3	16788.64	16788.64
Perfilado de Taludes	M2	4056.05	4056.05
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	M3	1032.92	1114.27

Tabla 5.1. Metrados de partidas iguales. Elaboración propia.

- Ambas alternativas de diseño requieren de la misma excavación y perfilado de taludes, ya que la sección transversal se mantiene estable para la solera de 1.5 metros, y cuando incrementan las solicitaciones de cortante y flexión para el diseño con concreto armado, se resuelve aumentando la cantidad de acero de refuerzo en vez de ensanchando la sección.
- La alternativa de concreto armado requiere de  $81.43 \text{ m}^3$  más de concreto. Ocurre debido a que las geoceldas en ciertas secciones pueden disminuir su espesor a 15 centímetros, mientras que el diseño con concreto armado requiere de los 20 centímetros de espesor en todo el trayecto.

A partir del análisis de precios unitarios, se obtiene que el costo directo de las partidas similares entre ambas alternativas es:

Partida	Costo Directo diseño con Geoceldas (S/.)	Costo Directo diseño con Concreto Armado (S/.)
Excavación Masiva	78 683,16	78 683,16
Perfilado de Taludes	21 753,70	21 753,70
Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	345 220.01	380 968.12
	445 656.87	481 404.98

Tabla 5.2. Costo Directo de Metrados de partidas iguales. Elaboración propia.

La tabla muestra que la disminución de espesor permitida en el diseño con geoceldas, genere que el costo directo de las partidas similares entre ambas alternativas de diseño sea S/. 35 748.11 menor en la alternativa con geoceldas. Lo cual representa el 52% de la diferencia presupuestal en costo directo.

A partir de los metrados de partidas distintas se genera la siguiente tabla comparativa:

Partida	Unidad	Metrado diseño con Geoceldas	Metrado diseño con Concreto Armado
Geoceldas HDPE	Und	22063.00	-
Geomalla	M2	5305.05	-
Estacas de anclaje	Und	21991.00	-
Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	Kg	-	50755.28
Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera	M2	-	202.78

Tabla 5.3. Metrados de partidas distintas. Elaboración propia.

- Las geoceldas no emplean encofrado ni refuerzo de acero, por ende, se reemplaza esta partida por geoceldas y geomallas. El encofrado solo se emplea en las paredes del canal,

en las secciones donde se ubican las juntas longitudinales. Mientras que la geomalla se coloca en toda la superficie del canal.

A partir del análisis de precios unitarios, se obtiene que el costo directo de las partidas diferentes entre ambas alternativas es:

Partida	Costo Directo diseño con Geoceldas (S/.)	Costo Directo diseño con Concreto Armado (S/.)
Geoceldas HDPE	76 034.03	-
Geomalla	57 790.28	-
Estacas de anclaje	56 799.32	-
Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	-	202 162.43
Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera	-	12 452.66
	190 623.63	214 615.09

Tabla 5.4. Costo Directo de Metrados de partidas distintas. Elaboración propia.

La tabla muestra que estabilizar el canal con geoceldas es más económico que reforzarla con acero ya que el costo directo de las partidas de estabilización de las geoceldas son S/. 23 991.45 menores que el costo directo de las partidas de refuerzo del concreto, lo cual representa el 35% de la diferencia total en costo directo.

La diferencia total entre presupuestos es de S/. 68 937.94 de los cuales aproximadamente el 87% ocurre por la diferencia de costo directo entre las partidas de estabilización de geoceldas con las partidas de refuerzo de concreto, y el mayor volumen requerido de concreto en el diseño de revestimiento de concreto armado.

Al comparar el costo directo de cada partida con el costo directo total de la alternativa de diseño, se obtienen los siguientes gráficos:

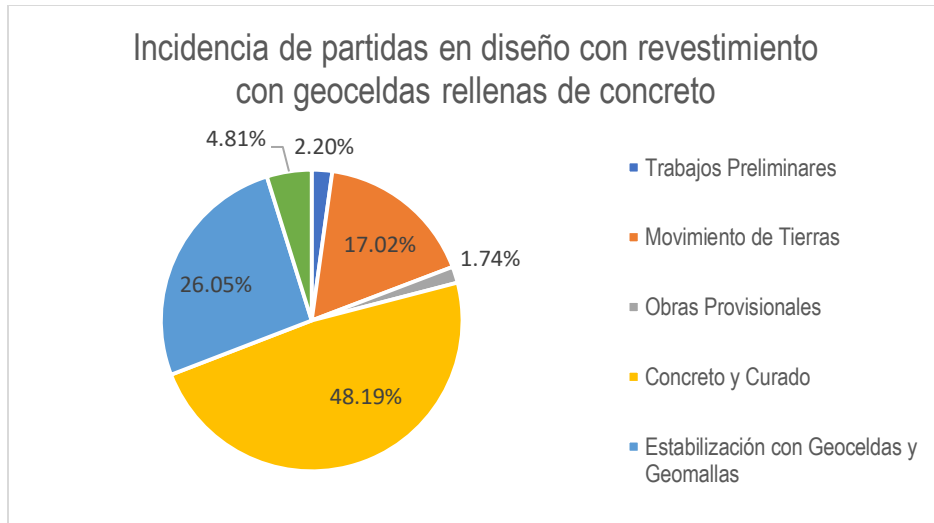


Figura 5.1. Incidencia de partidas principales en costo directo de diseño con revestimiento de geoceldas rellenas de concreto. Elaboración propia.

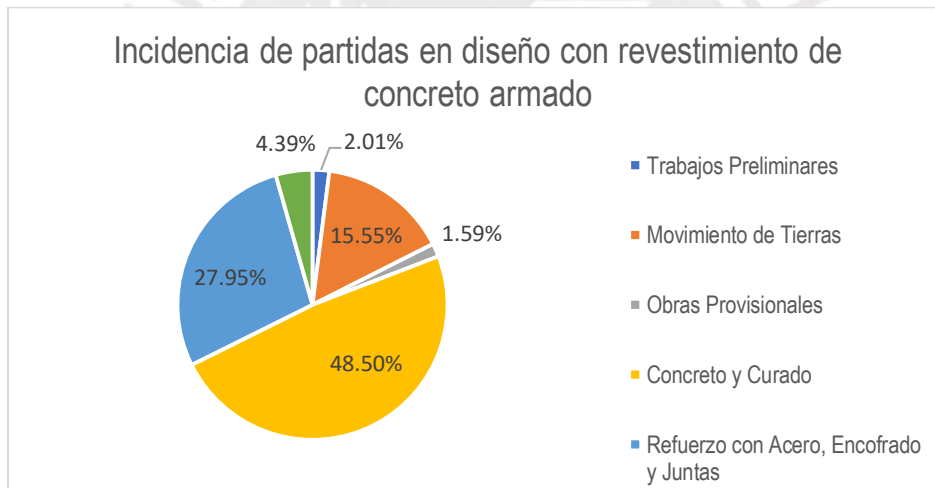


Figura 5.2. Incidencia de partidas principales en costo directo de diseño con revestimiento de concreto armado. Elaboración propia.

Ambas imágenes muestran que el costo directo consta principalmente del vaciado de concreto y el método de refuerzo o estabilización. En el caso de las geoceldas rellenas de concreto, el método de estabilización tiene una incidencia 1.9% menor en el presupuesto, y el concreto también tiene una incidencia 0.31% menor en el presupuesto. Si bien se trata de números bajos, el costo de la ejecución de las obras es grande y son las diferencias en estas 2 partidas las que

terminan causando que la alternativa del revestimiento con geoceldas sea más económica que la alternativa del revestimiento con concreto armado.

Asimismo, esta diferencia en incidencia demuestra que el método de refuerzo o estabilización, y el ahorro en volumen de concreto son los causantes de la diferencia de costos entre ambas alternativas.

### 5.1.2. Comparación en Tiempo de Ejecución

A partir del cronograma de obra, se evidencia que la ejecución del canal con revestimiento de concreto armado implica 18 días calendario adicionales al tiempo de ejecución de la alternativa de revestimiento con geoceldas. A partir de los cronogramas de obra, se elabora un cronograma de obra con ambas alternativas:

Partida	MES 1		MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8										
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32					
<b>CANAL TAJO PAMPACANCHA REVESTIDO CON CONCRETO ARMADO km 0+000- km0+500</b>																																					
Trabajos Preliminares																																					
Obras Provisionales																																					
Excavación Masiva																																					
Perfilado de taludes																																					
Nivelación y Compactación del Terreno																																					
Acero en base																																					
Acero en paredes																																					
Encofrado en paredes																																					
Apuntalamiento en paredes																																					
Concreto premezclado en base																																					
Concreto premezclado en paredes																																					
Curado																																					
Obras de Cierre																																					
<b>CANAL TAJO PAMPACANCHA REVESTIDO CON GEOELDAS HDPE km 0+000- km0+500</b>																																					
Trabajos Preliminares																																					
Obras Provisionales																																					
Excavación Masiva																																					
Perfilado de taludes																																					
Nivelación y Compactación del Terreno																																					
Geomalla Biaxial en base																																					
Geoceldas HDPE TW40 en base																																					
Estacas de Anclaje L=40 cm en base																																					
Concreto premezclado en base																																					
Geomalla Biaxial en paredes																																					
Geoceldas HDPE TW40 en paredes																																					
Estacas de Anclaje L=40 cm en paredes																																					
Concreto premezclado en paredes																																					
Obras de Cierre																																					

Figura 5.3. Comparación de cronogramas de obra. Elaboración propia.

La diferencia en tiempo de ejecución surge a partir de que la instalación de acero toma más días de ejecución que la instalación del sistema geoceldas y geomalla. Pese a ello, debido a que el volumen de concreto es similar, ambas alternativas toman igual de tiempo en vaciar. Por ende, se

investigan los rendimientos y días de ejecución de las partidas de instalación de acero y encofrado vs la instalación de geoceldas, geomallas y estacas de anclaje:

Diseño	Partida	Rendimiento	Días de Ejecución
Con geoceldas rellenas de concreto	Geoceldas HDPE	500 und/día	16
	Geomalla	250 m <sup>2</sup> /día	21
	Estacas de anclaje		
Con concreto armado	Acero de Refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	500 kg/día	72
	Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera	15 m <sup>2</sup> /día	14

Tabla 5.5. Rendimiento y Tiempo de Ejecución de Metrados de partidas distintas. Elaboración propia.

Debido al proceso constructivo del sistema de concreto armado, se permite armar y encofrar algunos sectores mientras que se hormigonan algunos sectores anteriormente armados y encofrados, por lo cual no se termina de estabilizar el canal hasta la semana 21, mientras que debido a la rapidez del tendido de geoceldas y geomallas, las actividades de estabilización terminan en la semana 12, desde la cual simplemente se dedican las actividades a realizar el hormigonado de cada sector.

### 5.1.3. Comparación en Espesor de Revestimiento

El canal revestido con concreto armado presenta un espesor constante para la solera y paredes de 20 centímetros, mientras que el canal con geoceldas presenta un espesor variable, de 20 a 15 centímetros.

Las solicitaciones de cortante y flexión aumentan conforme aumenta el tirante, generando que el acero requerido por flexión aumente. Se evidencia en la siguiente tabla:



Tramo	Cuantía de acero en flexión (%)
Tramo 1 (km 0+000-0+340.8)	0.56%
Transición 1 (km 0+340.8-0+348.3)	0.58%
Transición 2 (km 0+348.3-0+355.8)	0.62%
Transición 3 (km 0+355.8-0+363.3)	0.68%
Transición 4 (km 0+363.3-0+370.8)	0.75%
Tramo 1 (km 0+370.8-0+500)	0.75%

Tabla 5.6. Cuantía de acero en flexión vs tramo de diseño con revestimiento de concreto armado. Elaboración propia.

Para el proyecto, las condiciones de carga generan que el concreto tenga que mantener un espesor constante para proveer la resistencia a flexión y corte requeridas en el diseño de concreto armado.

Para el diseño con geoceldas rellenas de concreto, la flexión no es una solicitud a tomar en cuenta debido a la forma de falla. El cizallamiento es la solicitud que domina el diseño, la cual es directamente proporcional a la velocidad del flujo. Por ende, la velocidad del flujo determina el espesor del revestimiento.

Con el fin de comparar la seguridad de ambos diseños frente a su solicitud principal, se obtienen los valores de resistencia al corte del diseño con concreto armado y la resistencia al cizallamiento del diseño con geoceldas:

Tramo	Resistencia al corte $\phi V_c$ (ton)	Resistencia al cizallamiento $\tau_s (kg/m^2)$
Tramo 1 (km 0+000-0+340.8)	10.45	109.36
Transición 1 (km 0+340.8-0+348.3)	10.45	109.36
Transición 2 (km 0+348.3-0+355.8)	10.45	109.36
Transición 3 (km 0+355.8-0+363.3)	10.45	109.36
Transición 4 (km 0+363.3-0+370.8)	10.45	82.02
Tramo 1 (km 0+370.8-0+500)	10.45	82.02

Tabla 5.7. Resistencia al corte de diseño de concreto armado vs Resistencia al cizallamiento de diseño de geoceldas rellenas de concreto. Elaboración propia.

El factor de seguridad de los diseños ante el corte y el cizallamiento fue:

Tramo	F.S corte	F.S cizallamiento
Tramo 1 (km 0+000-0+340.8)	2.09	6.55
Transición 1 (km 0+340.8-0+348.3)	2.07	7.11
Transición 2 (km 0+348.3-0+355.8)	2.05	7.78
Transición 3 (km 0+355.8-0+363.3)	2.04	8.63
Transición 4 (km 0+363.3-0+370.8)	2.03	7.29
Tramo 1 (km 0+370.8-0+500)	2.02	8.39

Tabla 5.8. Factor de seguridad al corte de diseño de concreto armado vs Factor de seguridad al cizallamiento de diseño de geoceldas rellenas de concreto.

Elaboración propia.

En la anterior tabla se demuestra que el canal de geoceldas rellenas de concreto es más seguro a sollicitaciones de cizallamiento que el canal de concreto armado a sollicitaciones de corte, incluso para un menor espesor de revestimiento adoptado.

#### **5.1.4. Comparación en Durabilidad**

En el caso del canal con revestimiento de concreto armado, el concreto se desgasta por fisuración debido a la retracción del concreto y al creep. Ambos factores generan fisuras que deben ser sometidas a mantenimiento. Por otro lado, el canal revestido con geoceldas rellenas de concreto controla la fisuración del concreto al confinarlo con geoceldas.

Respecto a la degradación por rayos UV, el polietileno HDPE y el concreto tienen distintas formas de desgaste. Ambos pierden sus propiedades mecánicas, pero el canal de geoceldas es diseñado con un factor de seguridad al corte 3 veces mayor que el canal de concreto armado. Además, tras emplear pintura acrílica sobre las geoceldas sometidas a rayos UV se controla la degradación del plástico. Como el canal de geoceldas tiene un diseño más holgado que el canal de concreto, la pérdida de propiedades mecánicas es menos detrimental. El canal de concreto sí es susceptible a pérdidas de propiedades mecánicas, las cuales son vitales para el estado límite último de cortante. Por ende, se debe proveer recubrimiento y control constante de la fisuración.

Entonces, en ambos casos las geoceldas prueban ser un material más sencillo de proteger frente a radiación UV y a fisuración que el concreto. Dicho motivo genera que el diseño con geoceldas sea más sostenible en conjunto a la disminución de costos.

## 5.2. Conclusiones

- La comparación de costos entre ambos diseños revela que la alternativa de menor costo directo es el uso de geoceldas rellenas de concreto, con un costo directo de S/. 68 937.94 menos que la alternativa con revestimiento de concreto armado.
- A partir de los cronogramas de obra de ambos diseños, la opción de menor tiempo de ejecución es el uso de geoceldas con un tiempo de ejecución de 18 días calendarios.
- El espesor requerido por el diseño con geoceldas es menor al espesor requerido por el diseño de concreto armado, lo cual se evidencia con la disminución de espesor del canal con geoceldas de 20cm a 15cm en los últimos 136.7 metros de canal, lo cual no se pudo replicar en el canal con concreto armado que maneja un espesor de 20cm constante.
- Las geoceldas rellenas de concreto presentan un mayor factor de seguridad al cizallamiento (F. S=6.55 mínimo) que el canal de concreto armado al corte (F. S=2.02 mínimo).
- El diseño del canal de concreto armado se limita por la fuerza cortante y momento flector inducidos, mientras que el diseño del canal de geoceldas se limita por la velocidad del flujo admisible.
- El factor principal para la disminución de costos en la alternativa con geoceldas en comparación a la alternativa de concreto, fue menor volumen de concreto requerido para rellenar las geoceldas, lo cual generó una diferencia de costo del S/. 35 748.11, correspondientes al 52% de la diferencia en costo directo.
- El segundo factor predominante de la disminución de costos entre alternativas fue el método de estabilización, ya que las geoceldas no requieren de encofrado ni refuerzo de acero por lo cual se generó una diferencia de costo del S/. 23 991.45, correspondientes al 35% de la diferencia en costo directo.
- El mecanismo de falla por cizallamiento del canal de geoceldas HDPE, permite emplear menor espesor de concreto que en el uso de revestimiento de concreto armado. Por lo cual se logra obtener un sistema con menor metrado de concreto (81.35m<sup>3</sup> menos), lo cual incide en un menor costo directo.
- En canales mineros de caudales elevados, como el del tajo Pampacancha, es recomendable el uso de revestimiento de geoceldas rellenas con concreto por el ahorro económico y en tiempo de ejecución.

- Las geoceldas comerciales tienen un espesor máximo de 20 centímetros por lo cual tienen una velocidad máxima de diseño, por lo cual cuando hay caudales elevados, se requiere de una menor pendiente de fondo de canal, mayor área en el canal (lo cual se traslada a una mayor solera, talud y tirante). Todos estos efectos generan que sea inviable el uso de geoceldas rellenas de concreto en esta situación.
- Por otro lado, al emplear revestimiento de concreto armado se puede aumentar el espesor de la losa de concreto. Por ende, al ser sometido a caudales elevados simplemente requiere de un aumento de espesor y de solera.
- La durabilidad del canal de geoceldas se puede controlar con mayor facilidad, puesto que el mayor inconveniente son los rayos UV los cuales se pueden combatir mediante pintura acrílica en las zonas expuestas, mientras que en el canal de concreto se producirá fisuración por retracción y creep con el paso del tiempo, lo cual generará fisuración que se debe controlar con mantenimiento al canal (generando sobrecostos).
- La inclinación del canal fue mantenida constante en ambos diseños, puesto que se empleó la inclinación máxima posible para garantizar la estabilidad al deslizamiento del terreno durante la etapa de excavación.

### **5.3. Recomendaciones**

- Se debería realizar la misma comparación en un canal con caudal variable, para evidenciar los cambios en el diseño en función al caudal y poder delimitar a partir de que valores es recomendable usar la alternativa de geoceldas HDPE rellenas de concreto, o emplear concreto armado.
- El análisis de precios unitarios se debe emplear con rendimientos variables, para verificar a partir de que rendimiento es más rentable cada alternativa. En especial, en las partidas de tendido de geoceldas y encofrado de madera ya que ambos aspectos generan las diferencias en el plazo de ejecución de obra.
- Se puede realizar un análisis sísmico de ambos canales si se emplea el coeficiente de empuje de Mononobe-Okabe para verificar los empujes activo y pasivo del suelo.
- Se podría realizar un análisis del asentamiento de la base del canal tras ser sometido a la presión del agua y el peso del canal.
- Una aplicación en campo de un proyecto de geoceldas demostraría la facilidad de instalación y ahorro en tiempo, costo directo básico y durabilidad.

## Referencias

- American Concrete Institute (2014). Norma *ACI 318-014*
- Bolinaga, J.J. (1979). *Drenaje Urbano*. INOS
- Chaudhry, H. M. (2007). *Open-Channel Flow* (2nd 2008 ed.). Springer.
- Chaves, A. J. S. P. L., Nogueira, C. J. R. C., & Santana, P. R. C. (2020).
- Chaves, A. J. S. P. L., Nogueira, C. J. R. C., & Santana, P. R. C. (2020). *Estudio de la Resistencia a tracción del concreto expuesto a condiciones de abrasión*. *Construction and Building Materials*.
- Chen, X., Zhao, Y., Mo, B., & Mi, H. (2014). *An improved experimental method for simulating erosion processes by concentrated channel flow*. *Plos ONE*, 9(6), 1-7. doi:10.1371/journal.pone.0099660.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Colombia: McGraw-Hill InterAmerican, Editorial Nomos.
- CIRIA. (1987). *Design of reinforced grass waterways* (CIRIA Report 116). Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- Crispín, J. (2016). *Uso de geoceldas rellenas de concreto en canales*. [XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA].
- Das, B. M. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4.<sup>a</sup> ed.).  
[https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_low\\_1\\_iss](https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos_de_ingenieria_low_1_iss)



Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales. (2010). *Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico* (Autoridad Nacional del Agua [ANA]).

EIRL, E. E. M. (2018). *Norma técnica. Metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas*.

Fierro, Gustavo (2022). *GEOCELDAS EN OBRAS CIVILES: CONCEPTOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN*. IGS PERU, Lima, Perú.

García, Elmer (1997) *Manual de Diseño Hidráulico de Canales y Obras de Arte*. Lima: Ediciones UNI.

García, N. (2015). *Operación de canales conceptos generales* (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], Ed.; 1.<sup>a</sup> ed.). Rebeca Távira Gerardo. ISBN 978-607-9368-43-2 (obra impresa), 978-607-9368-42-5 (obra digital)

Geopolimeros (2021). *GEOCELDAS: Sistema de Confinamiento Celular*.

Global Security Org. (2022). *Sand Grid: A Multipurpose Construction System*. Recuperado de: [https://www.globalsecurity.org/military/library/report/call/call\\_96-7\\_part3.htm](https://www.globalsecurity.org/military/library/report/call/call_96-7_part3.htm)

GRI (2016). “*Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Geocells Made From High Density Polyethylene (HDPE) Strips*”.

Hurtado, D. F., & Rojas, V. A. (2015). *Metodología para la obtención de metrados de las partidas de estructuras utilizando modelos BIM oportunidad de mejora*.

Koerner, Robert (2005). *Designing with Geosynthetics* (5.<sup>a</sup> ed.). Nueva Jersey: Pearson.

León, N. (2021). *Los Análisis de Precios Unitarios* — Data Construcción. *Data Construcción*.

<https://www.dataconstruccion.com/blog/analisis-de-precios-unitarios-apus>

Linsley, R. K., Franzini, J. B., Freyberg, D. L. & Tchobanoglous, G. (1992). *Water-Resources Engineering* (Subsequent). McGraw-Hill Science Engineering.

Matienzo Cruz, F. C. (2012). *Costos de construcción* (1.<sup>a</sup> ed.). Editorial Digital.

Maza Álvarez, J. A.; Flores García, F. (1996). *Transporte de sedimentos - Capítulo 10*". *Manual de Ingeniería de Ríos* (Instituto de Ingeniería [UNAM]).

Meyer-Peter, E.; Muller, R. (1948). *Formulas for bed load transport*. Proceedings of the 2nd Meeting of International Association for Hydraulic Structures Research. Pp. 39-64.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (noviembre de 2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones*.

Palmeira, Ennio (2018). *Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente* (8.<sup>a</sup> ed.). Sao Paulo: Oficina de Textos.

PUCP (2021). Punto Edu: *Shicras: Antigua técnica de la civilización Caral ayuda a construir viviendas antisísmicas*. Recuperado de: <https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticia/shicras-antigua-tecnica-de-la-civilizacion-caral-ayuda-a-construir-viviendas-antisismicas/>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción “SENCICO”. (diciembre de 2020). *NORMA E.060 CONCRETO ARMADO*.

Servindi (2021). *Shicras, técnica sismo-resistente de los antiguos Caral*. Recuperado de:  
<https://www.servindi.org/03/09/2018/shicras-tecnica-sismo-resistente-de-los-antiguos-caral>

Shukla, Sanjay (2016). *Geosynthetic Engineering*. Londres: Taylor & Francis.

Suárez, C. (2016). *Costo y tiempo en edificación*. México: LIMUSA.

TDM (2016). *Canalización y protección de Márgenes de Revestimiento de Canal Periférico CN-02*. Conciencia: TDM.

TDM (2019). *Instalación de Revestimiento de Geoceldas*.

TDM (2020). *Aplicaciones y Propiedades de Geoceldas*. Recuperado de:  
<https://www.tdm.com.pe/products-geosinteticos-geoceldas/>

Torres Belandria R. (2008). *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*: Venezuela: Hidro ULA. Recuperado de:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rafaeltorres/publicaciones/Texto%201/Muros%20de%20Contenci%F3n-2008-RT.pdf>

Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Civil, Jiménez Terán, J. M., & García Pacheco, V. H. (Directores). (2013, septiembre). Manual de Apuntes de la Experiencia Educativa de Tuberías y Canales. *Creative Commons*. Recuperado 19 de abril de 2023, de  
<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf>

Vergara, C. (2022). *Presupuesto de Obra — Data Construcción. Data Construcción.*

<https://www.dataconstruccion.com/blog/alcance-Sj2hd-ENBRF-7bffz->

[gb28f#:~:text=El%20presupuesto%20de%20construcci%C3%B3n%2C%20tambi%C3%A9n,proyecto%20para%20llevarlo%20a%20cabo.](#)

Vertematti, José Carlos (2015). *Manual Brasileiro de Geossintéticos* (2.<sup>a</sup> ed.). Sao Paulo: Blucher.



**ANEXO 1**  
**“MEMORIA DE CÁLCULO DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO DE CONCRETO**  
**ARMADO**



GEOMETRIA DEL CANAL	
Tirante Critico (m)	1.67
Talud (z)	1.50
Solera (m)	1.50
Borde Libre (m)	0.50
Espesor de Losa (cm)	20.00
Angulo de Inclinacion del Talud (°)	123.69
Altura Total de Canal (m)	2.17
Ancho Total de Canal (m)	8.01
Lado Horizontal de Pared (m)	3.25
Lado Horizontal de Pelo de Agua (m)	2.50
Lado Inclinado de Pared (m)	3.91
Lado Inclinado de Espejo de Agua (m)	3.01
Longitud Total de Canal (m)	9.32
Longitud Horizontal de apoyo (m)	0.50
DATOS DEL SUELO	
Cohesion del Suelo (kg/cm2)	0.00
Peso Unitario (t/m3)	1.90
Angulo de Friccion (°)	32.00
Ka	1.16
Kp	3.27
δ(°)	21.33
Nq	7.12
Nc	9.80
Ny	6.08
Peso Unitario Estrato Inferior (t/m3)	2.60
qu (kg/cm2)	9.26
qadm (kg/cm2)	3.09
DATOS DEL CONCRETO	
Peso Unitario (t/m3)	2.40
Resistencia a la Compresion (kg/cm2)	210.00
DATOS DEL ACERO DE REFUERZO	
Resistencia a la Fluencia (kg/cm2)	4200.00

FUERZAS VERTICALES	
W agua pared	2.09
W agua solera	2.50
W concreto pared	1.56
W concreto solera	0.72
Fv (ton)	10.53
EMPUJES	
Sobre las paredes	
Ea (ton)	5.19
Ep (ton)	14.61
M Ea (ton.m)	3.76
MOMENTOS ESTABILIZANTES	
M agua (ton.m)	2.52
M concreto (ton.m)	3.38

ESFUERZO EN SOLERA	
excentricidad (m)	0.55
Carga Uniforme (kg/cm2)	0.13
Carga Variable (kg/cm2)	0.05
σmax(kg/cm2)	0.19
σmin(kg/cm2)	0.08

SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO	
Fact(ton)	5.19
Fest(ton)	15.51
F.S deslizamiento	2.99

SEGURIDAD AL VOLTEO	
Mvol(ton.m)	3.76
Mest(ton.m)	5.90
F.S volteo	1.57

FACTORES DE REDUCCION (φ)	
Flexion	0.90
Corte	0.85

RECUBRIMIENTO (cm)	4.00
Peralte Efectivo (cm)	16.00

RESISTENCIA AL CORTANTE	
φVc (ton)	10.45

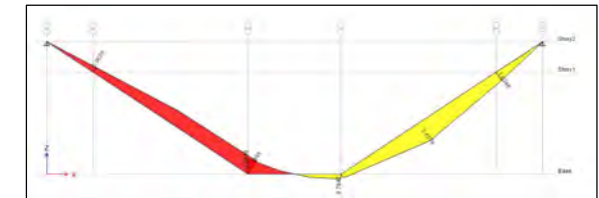
ACERO MINIMO	
Horizontal (cm2/ml)	4.00
Vertical (cm2/ml)	3.00

ACERO MAXIMO	
Asv max (cm2/ml)	25.5

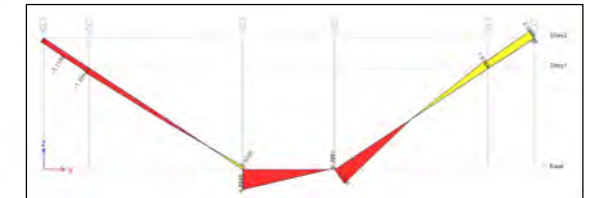
DISEÑO POR CORTE	
Vu (ton)	5.01

DISEÑO POR FLEXION	
Mu (ton.m)	3.44
a(cm)	1.40
Asv(cm2/ml)	5.94
smax (cm)	40.00
#Mallas	1.00
Ø barra	0.500
Ab (cm2)	1.27
s (cm)	21

DMF



DFC





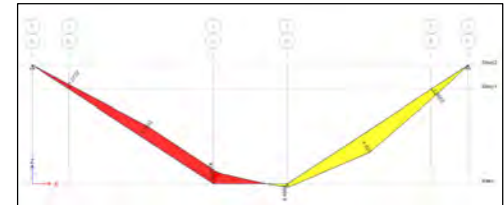
GEOMETRIA DEL CANAL	
Tirante Critico (m)	1.95
Talud (z)	1.50
Solera (m)	1.50
Borde Libre (m)	0.50
Espesor de Losa (cm)	20.00
Angulo de Inclination del Talud (°)	123.69
Altura Total de Canal (m)	2.45
Ancho Total de Canal (m)	8.86
Lado Horizontal de Pared (m)	3.68
Lado Horizontal de Pelo de Agua (m)	2.93
Lado Inclinado de Pared (m)	4.43
Lado Inclinado de Espejo de Agua (m)	3.52
Longitud Total de Canal (m)	10.35
Longitud Horizontal de apoyo (m)	0.50
DATOS DEL SUELO	
Cohesion del Suelo (kg/cm2)	0.00
Peso Unitario (t/m3)	1.90
Angulo de Friccion (°)	32.00
Ka	1.16
Kp	3.27
δ(°)	21.33
Nq	7.12
Nc	9.80
Ny	6.08
Peso Unitario Estrato Inferior (t/m3)	2.60
qu (kg/cm2)	10.33
qadm (kg/cm2)	3.44
DATOS DEL CONCRETO	
Peso Unitario (t/m3)	2.40
Resistencia a la Compresion (kg/cm2)	210.00
DATOS DEL ACERO DE REFUERZO	
Resistencia a la Fluencia (kg/cm2)	4200.00

FUERZAS VERTICALES	
1.20 W agua pared	2.87
W agua solera	2.93
W concreto pared	1.77
W concreto solera	0.72
Fv (ton)	12.92
EMPUJES	
Sobre las paredes	
Ea (ton)	6.65
Ep (ton)	18.72
M Ea (ton.m)	5.44
MOMENTOS ESTABILIZANTES	
M agua (ton.m)	4.04
M concreto (ton.m)	4.20
ESFUERZO EN SOLERA	
excentricidad (m)	0.53
Carga Uniforme (kg/cm2)	0.15
Carga Variable (kg/cm2)	0.05
σmax(kg/cm2)	0.20
σmin(kg/cm2)	0.09

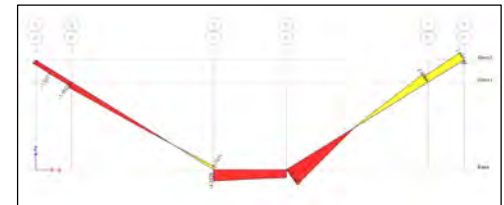
SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO	
Fact(ton)	6.65
Fest(ton)	19.69
F.S deslizamiento	2.96
SEGURIDAD AL VOLTEO	
Mvol(ton.m)	5.44
Mest(ton.m)	8.24
F.S volteo	1.51
FACTORES DE REDUCCION (φ)	
Flexion	0.90
Corte	0.85
RECUBRIMIENTO (cm)	
Peralte Efectivo (cm)	16.00
RESISTENCIA AL CORTANTE	
φVc (ton)	10.45
ACERO MINIMO	
Horizontal (cm2/ml)	4.00
Vertical (cm2/ml)	3.00
ACERO MAXIMO	
Asv max (cm2/ml)	25.5

DISEÑO POR CORTE	
Vu (ton)	5.17
DISEÑO POR FLEXION	
Mu (ton.m)	4.92
a(cm)	2.04
Asv(cm2/ml)	8.69
smax (cm)	40.00
#Mallas	1.00
Ø barra	0.500
Ab (cm2)	1.27
s (cm)	15

DME



DFC



**ANEXO 2**

**“MEMORIA DE CÁLCULO DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO DE GEOCELIDAS  
HDPE RELLENAS DE CONCRETO”**



Memoria de Cálculo Diseño de Revestimiento de Geoceldas Rellenas de Concreto Tramo 1

DATOS DEL CANAL	
Perímetro Mojado (m)	7.519
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	41.2
Tirante y (m)	1.6694
Velocidad v(m/s)	6.1637
Numero de Froude F	1.9418
Pendiente de Fondo S (m/m)	1.000%
Densidad de Agua (kg/m <sup>3</sup> )	1000

Verificacion por Velocidad	
Tipo de Flujo	Supercritico
F.S min	1.5
Velocidad diseno (m/s)	9.25
Altura de Celda (mm)	200
Velocidad maxima (m/s)	10.5
F.S	1.7 >

CUMPLE

1.5

DATOS DEL CONCRETO	
Densidad de Concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2400

Verificacion por Corte	
Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )	16.69
Delta (°)	21.33
Fuerza Friccion (kg/m <sup>2</sup> )	109.36
F.S	6.55 >

CUMPLE

1.5

DATOS DEL SUELO	
Angulo de Friccion (°)	32

Recomendacion de Concreto	
f'c minima (kg/cm <sup>2</sup> )	210

**SECCION EN HCANALES**

**Datos:**

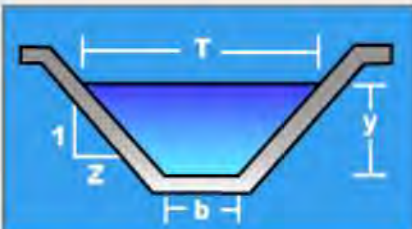
Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

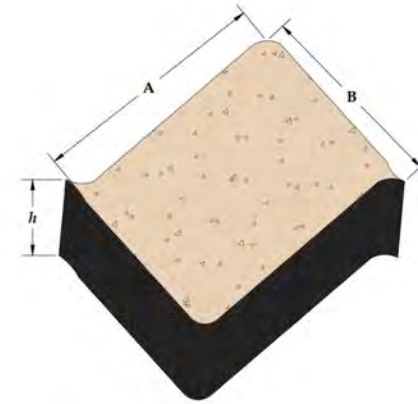
Tirante normal (y): <input type="text" value="1.6694"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="7.5190"/> m
Area hidráulica (A): <input type="text" value="6.6843"/> m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.8890"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="6.5081"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="6.1637"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="1.9418"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="3.6057"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <input type="text" value="Supercrítico"/>	

DATOS DEL CONCRETO	
Tiempo de curado (días)	7
Humedad relativa (%)	70%
Slump (")	4
%Arena en Agregados	50%
%Aire en Mezcla	4%
%Cemento en Mezcla	17%
Peso Cemento (kg/m3)	408

Análisis de Percolacion	
Sshu (deformacion de contraccion ultima)	0.00107
St (tiempo de contraccion)	1
Sh (humedad relativa)	0.7
Sth (Espesor minimo de elemento)	0.84
Ss (Revenimiento del concreto)	1.05
Sf (Contenido de finos)	1
Se (Contenido de aire)	0.98
Sc (Contenido de cemento)	0.99
Esh	0.000640932

DATOS DEL CANAL	
Longitud (m)	340.8

Análisis de Percolacion	
i (m/m)	9.35
K (cm/s)	0.00
Ac (mm2)	77.33
q (m3/s)	0.00
q (m3/s/m2)	0.00
Q percolado (L/dia)	1.33
Q canal (L/dia)	3559680000.00
%Caudal percolado (dia)	0.00



DIMENSIONES DE SECCION DE GEOCELDA							
Modelo	A (mm)	B (mm)	Area (m2)	Area contraccion (mm2)	P (mm)	tc (mm)	<0.125mm
TW 15	219	188	0.02059	13.19	577.25	0.0229	CUMPLE
TW 20	259	224	0.02901	18.59	684.86	0.0271	CUMPLE
TW 25	292	251	0.03665	23.49	770.10	0.0305	CUMPLE
TW 30	329	287	0.04721	30.26	873.18	0.0347	CUMPLE
TW 35	416	374	0.07779	49.86	1118.81	0.0446	CUMPLE
TW 40	508	475	0.12065	77.33	1390.96	0.0556	CUMPLE

Escogo: TW 40 **508** **475** **0.12065** **77.33** **1390.96** **0.0556**

MODELO	ABETURA	ALTURAS				
TW 15	219mm x 188mm	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm
TW 20	259mm x 224mm					
TW 25	292mm x 251mm					
TW 30	320mm x 287mm					
TW 35	416mm x 374mm					
TW 40	508mm x 475mm					

DATOS DEL CANAL	
Perimetro Mojado (m)	8.5473
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	41.2
Tirante y (m)	1.9546
Velocidad v(m/s)	4.7562
Numero de Froude F	1.4001
Pendiente de Fondo S (m/m)	0.500%
Densidad de Agua (kg/m <sup>3</sup> )	1000

Verificacion por Velocidad	
Tipo de Flujo	Supercritico
F.S min	1.5
Velocidad diseno (m/s)	7.13
Altura de Celda (mm)	<b>150</b>
Velocidad maxima (m/s)	8
F.S	1.68

CUMPLE  
1.5

DATOS DEL CONCRETO	
Densidad de Concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2400

Verificacion por Corte	
Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )	9.77
Delta (°)	21.33
Fuerza Friccion (kg/m <sup>2</sup> )	82.02
F.S	8.39

CUMPLE  
1.5

DATOS DEL SUELO	
Angulo de Friccion (°)	32

Recomendacion de Concreto	
f'c minima (kg/cm <sup>2</sup> )	210

**SECCION EN HCANALES**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Áncho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

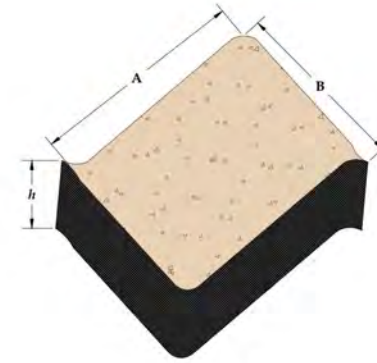
Tirante normal (y): <input type="text" value="1.9546"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="8.5473"/> m
Área hidráulica (A): <input type="text" value="8.6623"/> m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="1.0135"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="7.3637"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="4.7562"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="1.4001"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="3.1076"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <input type="text" value="Supercrítico"/>	

DATOS DEL CONCRETO	
Tiempo de curado (días)	7
Humedad relativa (%)	70%
Slump (")	4
%Arena en Agregados	54%
%Aire en Mezcla	2.5%
%Cemento en Mezcla	16%
Peso Cemento (kg/m3)	391.5171289

Análisis de Percolación	
Sshu (deformación de contracción última)	0.00107
St (tiempo de contracción)	1
Sh (humedad relativa)	0.7
Sth (Espesor mínimo de elemento)	1
Ss (Revenimiento del concreto)	1.05
Sf (Contenido de finos)	1.01
Se (Contenido de aire)	0.98
Sc (Contenido de cemento)	0.98
Esh	0.00076286

DATOS DEL CANAL	
Longitud (m)	129.2

Análisis de Percolación	
i (m/m)	14.03
K (cm/s)	0.00
Ac (mm <sup>2</sup> )	92.04
q (m <sup>3</sup> /s)	0.00
q (m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> )	0.00
Q percolado (L/día)	1.02
Q canal (L/día)	3559680000.00
%Caudal percolado (día)	0.00



DIMENSIONES DE SECCION DE GEOCELDA							
Modelo	A (mm)	B (mm)	Area (m <sup>2</sup> )	Area contracción (mm <sup>2</sup> )	P (mm)	tc (mm)	<0.125mm
TW 15	219	188	0.02059	15.70	577.25	0.0272	CUMPLE
TW 20	259	224	0.02901	22.13	684.86	0.0323	CUMPLE
TW 25	292	251	0.03665	27.96	770.10	0.0363	CUMPLE
TW 30	329	287	0.04721	36.02	873.18	0.0412	CUMPLE
TW 35	416	374	0.07779	59.34	1118.81	0.0530	CUMPLE
TW 40	508	475	0.12065	92.04	1390.96	0.0662	CUMPLE

Escogo:

TW 40	<b>508</b>	<b>475</b>	<b>0.12065</b>	<b>92.04</b>	<b>1390.96</b>	<b>0.0662</b>
-------	------------	------------	----------------	--------------	----------------	---------------

MODELO	ABETURA	ALTURAS				
TW 15	219mm x 188mm	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm
TW 20	259mm x 224mm					
TW 25	292mm x 251mm					
TW 30	320mm x 287mm					
TW 35	416mm x 374mm					
TW 40	508mm x 475mm					



**ANEXO 3**

**“PRESUPUESTO DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO DE CONCRETO ARMADO”**



**CANAL TAJO PAMPACANCHA REVESTIDO CON CONCRETO ARMADO km 0+000- km0+500**

Partida	Descripción	Unidad	Metrado	Costo Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
01.	Trabajos Preliminares				
01.01.	Limpieza del Terreno				
01.01.01	Limpieza de Maleza y Basura	m2	4625.47	S/ 2.32	S/ 10,752.18
01.02.	Trazo y Replanteo				
01.02.01	Trazo de eje del canal	ml	500.00	S/ 10.64	S/ 5,320.80
02.	Movimiento de Tierras				
02.01.	Excavación Masiva				
02.01.01.	Cortes al Terreno				
02.01.01.01	Cortes al Terreno Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	12947.31	S/ 4.69	S/ 60,680.04
02.01.01.02	Cortes al Terreno Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	299.83	S/ 4.69	S/ 1,405.23
02.01.01.03	Cortes al Terreno Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	275.45	S/ 4.69	S/ 1,290.96
02.01.01.04	Cortes al Terreno Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	294.78	S/ 4.69	S/ 1,381.53
02.01.01.05	Cortes al Terreno Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	305.87	S/ 4.69	S/ 1,433.53
02.01.01.06	Cortes al Terreno Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	2665.39	S/ 4.69	S/ 12,491.86
02.01.02.	Perfilado de taludes				
02.01.02.01	Perfilado de taludes Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	2665.06	S/ 5.36	S/ 14,293.41
02.01.02.02	Perfilado de taludes Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	59.78	S/ 5.36	S/ 320.59
02.01.02.03	Perfilado de Taludes Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	61.05	S/ 5.36	S/ 327.43
02.01.02.04	Perfilado de Taludes Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	62.48	S/ 5.36	S/ 335.07
02.01.02.05	Perfilado de Taludes Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	64.28	S/ 5.36	S/ 344.72
02.01.02.06	Perfilado de Taludes Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	1143.42	S/ 5.36	S/ 6,132.47
02.01.03.	Nivelación y Compactación del Terreno				
02.01.03.01	Nivelacion y Compactacion Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	3070.61	S/ 5.21	S/ 15,992.28
02.01.03.02	Nivelacion y Compactacion Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	68.48	S/ 5.21	S/ 356.63
02.01.03.03	Nivelacion y Compactacion Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	69.53	S/ 5.21	S/ 362.10
02.01.03.04	Nivelacion y Compactacion Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	70.73	S/ 5.21	S/ 368.35
02.01.03.05	Nivelacion y Compactacion Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	72.23	S/ 5.21	S/ 376.16
02.01.03.06	Nivelacion y Compactacion Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	1273.91	S/ 5.21	S/ 6,634.76
03.	Obras Provisionales				
03.01	Campamento de Obra	m2	100.00	S/ 62.50	S/ 6,250.00
03.02	Almacen de Obra	m2	25.00	S/ 34.21	S/ 855.35
03.03	Comedor de Obra	m2	40.00	S/ 16.19	S/ 647.54
03.04	Servicios Higiénicos portátiles	Und	5.00	S/ 1,000.06	S/ 5,000.29
04.	Obras de Arte				
04.01.	Canal con Concreto Armado				
04.01.01.	Base de Canal				
04.01.01.01	Concreto premezclado $f_c=210\text{kg/cm}^2$ impermeable en base				
04.01.01.01.01	Concreto base Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	107.35	S/ 334.22	S/ 35,878.76
04.01.01.01.02	Concreto base Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	2.36	S/ 334.22	S/ 789.59
04.01.01.01.03	Concreto base Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	2.36	S/ 334.22	S/ 789.59
04.01.01.01.04	Concreto base Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	2.36	S/ 359.22	S/ 848.65
04.01.01.01.05	Concreto base Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	2.36	S/ 359.22	S/ 848.65
04.01.01.01.06	Concreto base Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	40.70	S/ 359.22	S/ 14,619.37
04.01.01.03.	Curado de Concreto en base del canal				
04.01.01.03.01	Curado de Concreto con Agua en base	m2	750.00	S/ 1.40	S/ 1,046.43
04.01.01.04.	Acero de refuerzo Grado 60 $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ en base				
04.01.01.04.01	Acero en base Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	kg	10387.92	S/ 3.98	S/ 41,375.95
04.01.01.04.02	Acero en base Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	kg	229.30	S/ 3.98	S/ 913.31
04.01.01.04.03	Acero en base Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	kg	246.38	S/ 3.98	S/ 981.33
04.01.01.04.04	Acero en base Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	kg	263.45	S/ 3.98	S/ 1,049.35
04.01.01.04.05	Acero en base Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	kg	280.53	S/ 3.98	S/ 1,117.37
04.01.01.04.06	Acero en base Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	kg	4832.60	S/ 3.98	S/ 19,248.63
04.01.02.	Paredes de Canal				
04.01.02.01.	Concreto premezclado $f_c=210\text{kg/cm}^2$ impermeable en paredes				
04.01.02.01.01	Concreto paredes Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	631.23	S/ 334.22	S/ 210,967.09
04.01.02.01.02	Concreto paredes Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	14.13	S/ 334.22	S/ 4,721.72
04.01.02.01.03	Concreto paredes Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	14.40	S/ 334.22	S/ 4,811.21
04.01.02.01.04	Concreto paredes Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	14.69	S/ 359.22	S/ 5,278.59
04.01.02.01.05	Concreto paredes Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	15.07	S/ 359.22	S/ 5,414.37
04.01.02.01.06	Concreto paredes Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	267.25	S/ 359.22	S/ 96,000.55
04.01.02.03.	Curado de Concreto en paredes del canal				

04.01.02.03.01	Curado de Concreto con Agua en paredes	m2	4556.05	S/ 1.40	S/ 6,356.77
04.01.02.04.	Acero de refuerzo Grado 60 fy=4200kg/cm2 en paredes				
04.01.02.04.01	Acero en pared Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	kg	26520.72	S/ 3.98	S/ 105,634.17
04.01.02.04.02	Acero en pared Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	kg	593.41	S/ 3.98	S/ 2,363.61
04.01.02.04.03	Acero en pared Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	kg	324.00	S/ 3.98	S/ 1,290.52
04.01.02.04.04	Acero en pared Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	kg	343.05	S/ 3.98	S/ 1,366.40
04.01.02.04.05	Acero en pared Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	kg	351.45	S/ 3.98	S/ 1,399.85
04.01.02.04.06	Acero en pared Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	kg	6382.48	S/ 3.98	S/ 25,421.94
04.01.02.05.	Encofrado y Desencofrado con Paneles de Madera				
04.01.02.05.01	Encofrado y Desencofrado Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	132.94	S/ 61.41	S/ 8,163.64
04.01.02.05.02	Encofrado y Desencofrado Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	3.19	S/ 61.41	S/ 195.77
04.01.02.05.03	Encofrado y Desencofrado Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	3.26	S/ 61.41	S/ 199.95
04.01.02.05.04	Encofrado y Desencofrado Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	3.33	S/ 61.41	S/ 204.61
04.01.02.05.05	Encofrado y Desencofrado Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	3.43	S/ 61.41	S/ 210.51
04.01.02.05.06	Encofrado y Desencofrado Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	56.64	S/ 61.41	S/ 3,478.18
04.01.03	Juntas Transversales en Canal				
04.01.03.01	Junta de Contraccion c/4m e=6mm profundidad 5cm	ml	880.79	S/ 4.99	S/ 4,394.22
04.01.03.02	Junta de Expansion c/12m e=1/2" rellenas de poliestireno	ml	434.72	S/ 11.05	S/ 4,804.16
05.	Obras de Cierre				
05.01	Desmontaje de Obras Provisionales	m2	165	S/ 80.34	S/ 13,255.89
05.02	Limpieza de Obra	m2	4625.47	S/ 4.74	S/ 21,905.56
				<b>Costo Directo</b>	<b>S/ 800,699.51</b>



**ANEXO 4**

**“PRESUPUESTO DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO DE GEOCELDAS HDPE  
RELLENAS DE CONCRETO”**



**CANAL TAJO PAMPACANCHA REVESTIDO CON GEOCELDAS HDPE km 0+000- km0+500**

Partida	Descripción	Unidad	Metrado	Costo Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
01.	Trabajos Preliminares				
01.01.	Limpieza del Terreno				
01.01.01	Limpieza de Maleza y Basura	m2	4625.47	S/ 2.32	S/ 10,752.18
01.02.	Trazo y Replanteo				
01.02.01	Trazo de eje del canal	ml	500.00	S/ 10.64	S/ 5,320.80
02.	Movimiento de Tierras				
02.01.	Excavación Masiva				
02.01.01.	Cortes al Terreno				
02.01.01.01	Cortes al Terreno Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	12947.31	S/ 4.69	S/ 60,680.04
02.01.01.02	Cortes al Terreno Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	299.83	S/ 4.69	S/ 1,405.23
02.01.01.03	Cortes al Terreno Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	275.45	S/ 4.69	S/ 1,290.96
02.01.01.04	Cortes al Terreno Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	294.78	S/ 4.69	S/ 1,381.53
02.01.01.05	Cortes al Terreno Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	305.87	S/ 4.69	S/ 1,433.53
02.01.01.06	Cortes al Terreno Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	2665.39	S/ 4.69	S/ 12,491.86
02.01.02.	Perfilado de taludes				
02.01.02.01	Perfilado de taludes Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	2665.06	S/ 5.36	S/ 14,293.41
02.01.02.02	Perfilado de taludes Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	59.78	S/ 5.36	S/ 320.59
02.01.02.03	Perfilado de Taludes Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	61.05	S/ 5.36	S/ 327.43
02.01.02.04	Perfilado de Taludes Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	62.48	S/ 5.36	S/ 335.07
02.01.02.05	Perfilado de Taludes Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	64.28	S/ 5.36	S/ 344.72
02.01.02.06	Perfilado de Taludes Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	1143.42	S/ 5.36	S/ 6,132.47
02.01.03.	Nivelación y Compactación del Terreno				
02.01.03.01	Nivelacion y Compactacion Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	3070.61	S/ 5.21	S/ 15,992.28
02.01.03.02	Nivelacion y Compactacion Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	68.48	S/ 5.21	S/ 356.63
02.01.03.03	Nivelacion y Compactacion Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	69.53	S/ 5.21	S/ 362.10
02.01.03.04	Nivelacion y Compactacion Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	70.73	S/ 5.21	S/ 368.35
02.01.03.05	Nivelacion y Compactacion Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	72.23	S/ 5.21	S/ 376.16
02.01.03.06	Nivelacion y Compactacion Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	1273.91	S/ 5.21	S/ 6,634.76
03.	Obras Provisionales				
03.01	Campamento de Obra	m2	100.00	S/ 62.50	S/ 6,250.00
03.02	Almacen de Obra	m2	25.00	S/ 34.21	S/ 855.35
03.03	Comedor de Obra	m2	40.00	S/ 16.19	S/ 647.54
03.04	Servicios Higiénicos portátiles	Und	5.00	S/ 1,000.06	S/ 5,000.29
04.	Obras de Arte				
04.01.	Canal con Geoceldas HDPE rellenas de concreto				
04.01.01.	Base de Canal				
04.01.01.01.	Concreto premezclado f'c=210kg/cm2 impermeable en base				
04.01.01.01.01	Concreto base Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	107.35	S/ 334.22	S/ 35,878.76
04.01.01.01.02	Concreto base Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	2.36	S/ 334.22	S/ 789.59
04.01.01.01.03	Concreto base Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	2.36	S/ 334.22	S/ 789.59
04.01.01.01.04	Concreto base Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	2.36	S/ 334.22	S/ 789.59
04.01.01.01.05	Concreto base Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	1.77	S/ 334.22	S/ 592.19
04.01.01.01.06	Concreto base Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	30.52	S/ 334.22	S/ 10,201.44
04.01.01.03.	Curado de Concreto en base del canal				
04.01.01.03.01	Curado de Concreto con Agua en base	m2	750.00	S/ 1.40	S/ 1,046.43
04.01.01.04.	Geoceldas HDPE TW40 (508mmx475mm) Espesor 15 cm en base				
04.01.01.04.01	Geoceldas base Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	Und	45.00	S/ 3.45	S/ 155.08
04.01.01.04.02	Geoceldas base Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	Und	775.00	S/ 3.45	S/ 2,670.82
04.01.01.05.	Geoceldas HDPE TW40 (508mmx475mm) Espesor 20 cm en base				
04.01.01.05.01	Geoceldas base Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	Und	2045.00	S/ 3.45	S/ 7,047.53
04.01.01.05.02	Geoceldas base Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	Und	45.00	S/ 3.45	S/ 155.08
04.01.01.05.03	Geoceldas base Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	Und	45.00	S/ 3.45	S/ 155.08
04.01.01.05.04	Geoceldas base Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	Und	45.00	S/ 3.45	S/ 155.08

04.01.01.06.	Geomalla Biaxial en base				
04.01.01.06.01	Geomalla Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	511.00	S/ 10.89	S/ 5,566.55
04.01.01.06.02	Geomalla Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	11.00	S/ 10.89	S/ 119.83
04.01.01.06.03	Geomalla Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	11.00	S/ 10.89	S/ 119.83
04.01.01.06.04	Geomalla Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	11.00	S/ 10.89	S/ 119.83
04.01.01.06.05	Geomalla Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	11.00	S/ 10.89	S/ 119.83
04.01.01.06.06	Geomalla Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	194.00	S/ 10.89	S/ 2,113.33
04.01.01.07	Estacas de Anclaje L=40 cm en base	Und	3110.00	S/ 14.00	S/ 43,540.00
04.01.02.	Paredes de Canal				
04.01.02.01.	Concreto premezclado f <sub>c</sub> =210kg/cm <sup>2</sup> impermeable en paredes				
04.01.02.01.01	Concreto paredes Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m3	631.23	S/ 334.22	S/ 210,967.09
04.01.02.01.02	Concreto paredes Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m3	14.13	S/ 334.22	S/ 4,721.72
04.01.02.01.03	Concreto paredes Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m3	14.40	S/ 334.22	S/ 4,811.21
04.01.02.01.04	Concreto paredes Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m3	14.69	S/ 334.22	S/ 4,911.22
04.01.02.01.05	Concreto paredes Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m3	11.30	S/ 334.22	S/ 3,778.17
04.01.02.01.06	Concreto paredes Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m3	200.44	S/ 334.22	S/ 66,989.47
04.01.02.03.	Curado de Concreto en paredes del canal				
04.01.02.03.01	Curado de Concreto con Agua en paredes	m2	4556.05	S/ 1.40	S/ 6,356.77
04.01.02.04.	Geoceldas HDPE TW40 (508mmx475mm) Espesor 15 cm en paredes				
04.01.02.04.01	Geoceldas paredes Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	Und	300.00	S/ 3.45	S/ 1,033.87
04.01.02.04.02	Geoceldas paredes Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	Und	5297.00	S/ 3.45	S/ 18,254.65
04.01.02.05.	Geoceldas HDPE TW40 (508mmx475mm) Espesor 20 cm en paredes				
04.01.02.05.01	Geoceldas paredes Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	Und	12610.00	S/ 3.45	S/ 43,456.88
04.01.02.05.02	Geoceldas paredes Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	Und	278.00	S/ 3.45	S/ 958.05
04.01.02.05.03	Geoceldas paredes Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	Und	285.00	S/ 3.45	S/ 982.17
04.01.02.05.04	Geoceldas paredes Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	Und	293.00	S/ 3.45	S/ 1,009.74
04.01.02.06.	Geomalla Biaxial en paredes				
04.01.02.06.01	Geomalla Tramo 1 (S=1.0%) (0+000 - 0+340.8)	m2	3005.86	S/ 10.89	S/ 32,744.12
04.01.02.06.02	Geomalla Transicion 1 (S=0.9%) ( 0+340.8 - 0+348.3)	m2	67.28	S/ 10.89	S/ 732.86
04.01.02.06.03	Geomalla Transicion 2 (S=0.8%) ( 0+348.3 - 0+355.8)	m2	68.55	S/ 10.89	S/ 746.75
04.01.02.06.04	Geomalla Transicion 3 (S=0.7%) ( 0+355.8 - 0+363.3)	m2	69.98	S/ 10.89	S/ 762.27
04.01.02.06.05	Geomalla Transicion 4 (S=0.6%) ( 0+363.3 - 0+370.8)	m2	71.78	S/ 10.89	S/ 781.88
04.01.02.06.06	Geomalla Tramo 2 (S=0.5%) (0+370.8 - 0+500)	m2	1272.62	S/ 10.89	S/ 13,863.21
04.01.02.07	Estacas de Anclaje L=40 cm en paredes	Und	18881.00	S/ 0.70	S/ 13,259.32
05.	Obras de Cierre				
05.01	Desmontaje de Obras Provisionales	m2	165.00	S/ 80.34	S/ 13,255.89
05.02	Limpieza de Obra	m2	4625.47	S/ 4.74	S/ 21,905.56
				<b>Costo Directo</b>	<b>S/ 731,761.57</b>

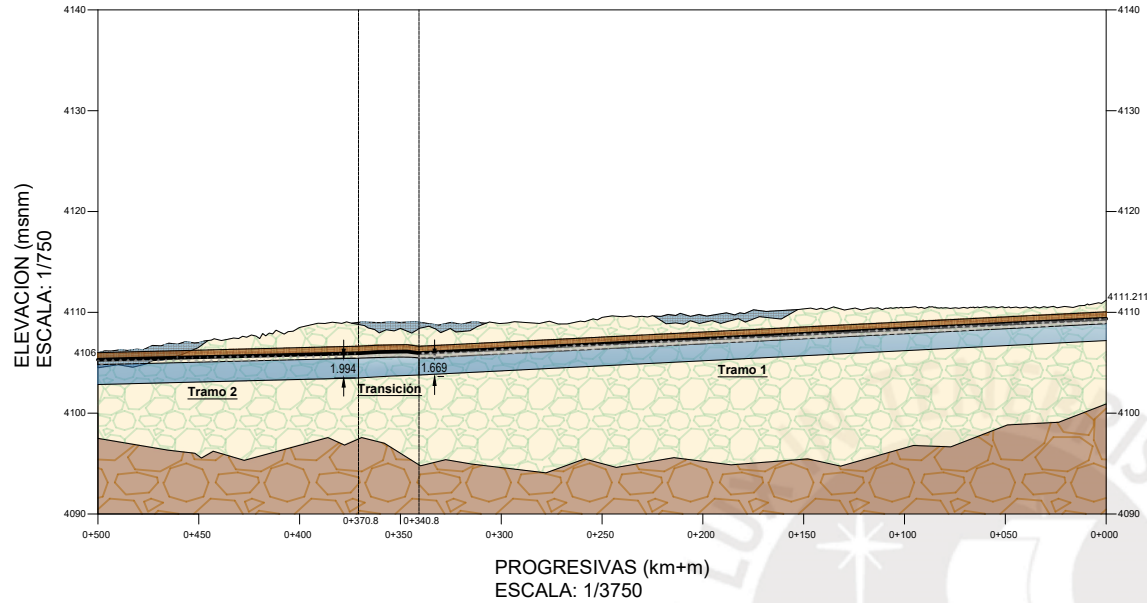
MCMXVII



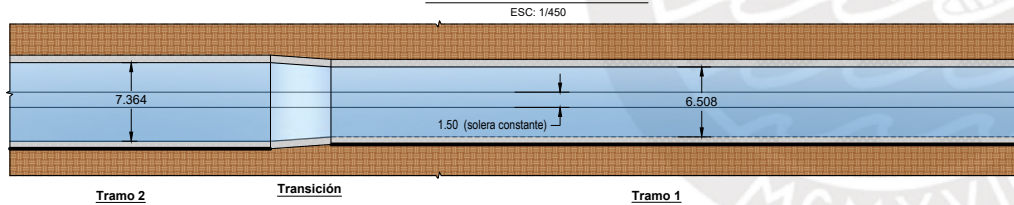


**ANEXO 5**  
**“PLANOS”**

# Perfil Longitudinal

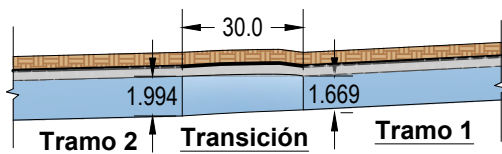


# Canal en Planta



# Perfil Longitudinal de Transición

ESC Horizontal: 1/1875  
ESC Vertical: 1/375



## PARÁMETROS HIDRÁULICOS

TRAMO	Tirante y (mm)	Velocidad v (m/s)	Numero de Froude F	Pendiente de Fondo S (%)
Tramo 1	1669	6.164	1.94	1.0
Transición	Variable.	Variable.	Variable.	Variable.
Tramo 2	1955	4.756	1.40	0.5

## ESTRATIGRAFÍA

- : SUELOS ORGÁNICOS (Pi) COMPRESIBLES SATURADOS.
- : GRAVA MAL GRADUADA (GP) CON ALGO DE FINOS, DE CANTOS SUB-REDONDEADOS, TM=16", BAJA PLASTICIDAD, MEDIANAMENTE DENSA, MUY HÚMEDA, GRIS MARRÓN.
- : DIORITA, GRIS CLARO, POCO FRACTURADA.

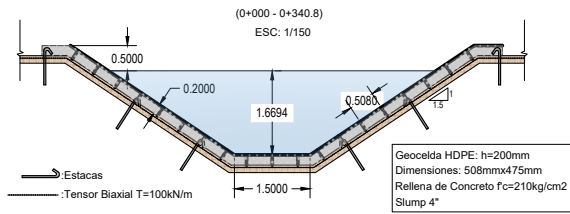
## PARÁMETROS GEOTECNICOS

MATERIAL	Peso Unitario Y (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión c (kPa)	Ángulo de Fricción Ø (°)
Suelo orgánico (St)	12	8	0
Grava mal graduada (GP)	19	0	32
Diorita	26	200	25

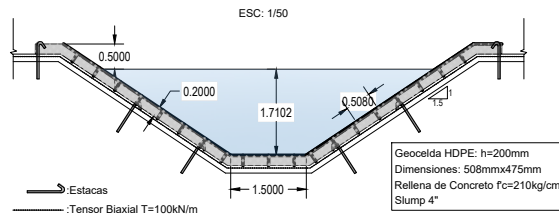
## DIMENSIONES TRANSICIÓN

Progresiva Inicial (km+m)	Progresiva Final (km+m)	Pendiente de Fondo S (%)	Tirante y (mm)	Velocidad v (m/s)
0+340.8	0+348.3	0.9	1710	5.926
0+348.3	0+355.8	0.8	1757	5.671
0+355.8	0+363.3	0.7	1811	5.394
0+363.3	0+370.8	0.6	1876	5.092

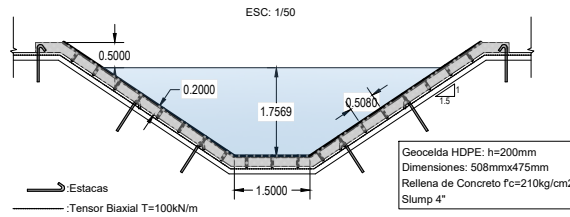
## Tramo 1 S=1.0%



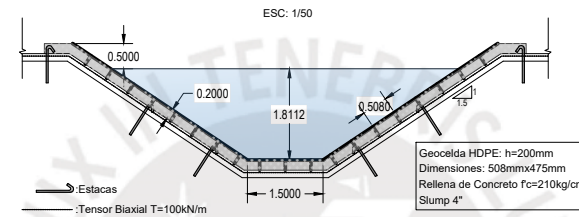
## Transicion S=0.9%



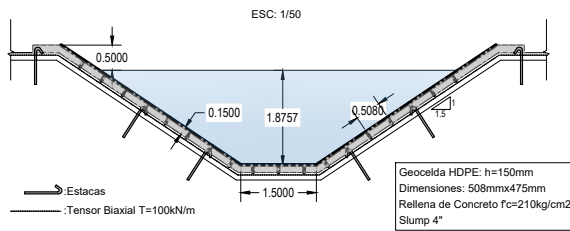
## Transicion S=0.8%



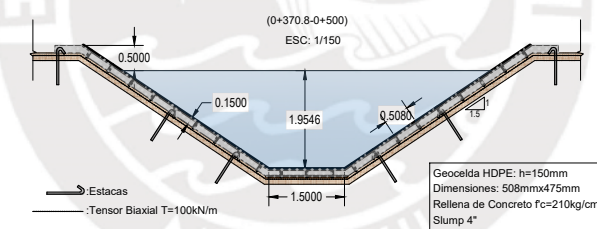
## Transicion S=0.7%



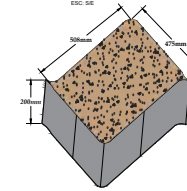
## Transicion S=0.6%



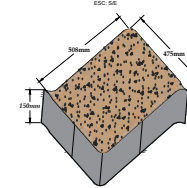
## Tramo 2 S=0.5%



### Detalle Geocelda h=200mm



### Detalle Geocelda h=150mm



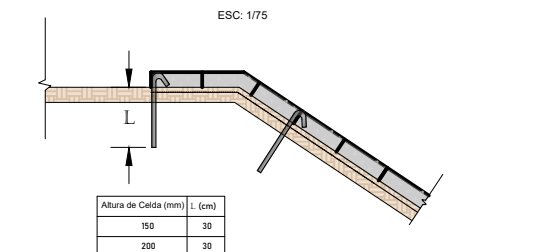
#### Notas del concreto:

1. El concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> tendrá slump 4", con cemento Portland Tipo V.
2. Dosificación= 1 bolsa de cemento: 20L de agua:1.2 bolsas de agregado fino: 2.5 bolsas de agregado grueso.
3. Con contenido de aire de 2%

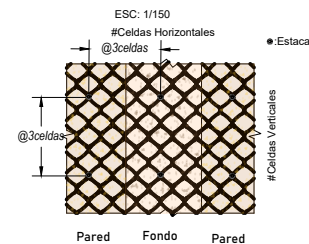
#### Notas de instalación:

1. El concreto será vaciado por gravedad.
2. Se emplearán estacas cada 2 geoceldas.
3. Se debe limpiar el terreno antes del tendido del tensor multiaxial y de las geoceldas.
4. El concreto debe fraguar por 7 días.
5. El acabado del concreto debe ser frochado con madera.

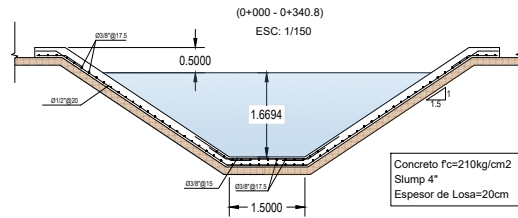
## Detalle Anclaje de Geocelda



## Distribucion de Estacas en Planta

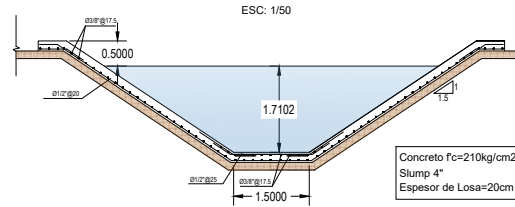


### Tramo 1 S=1.0%



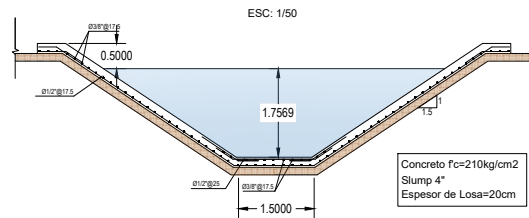
Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Transicion S=0.9%



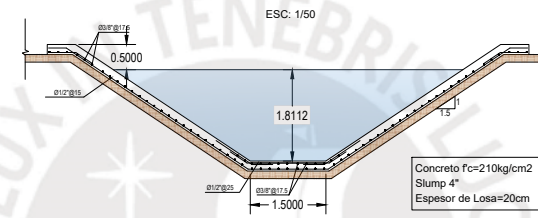
Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Transicion S=0.8%



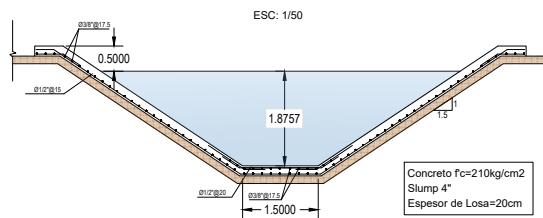
Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Transicion S=0.7%



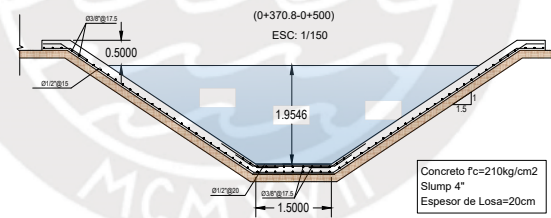
Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Transicion S=0.6%



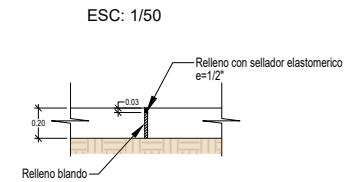
Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Tramo 2 S=0.5%

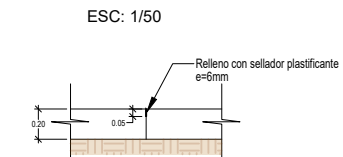


Concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$   
 Slump 4"  
 Espesor de Losa=20cm

### Detalle Junta de Aislamiento @12m



### Detalle Junta de Contracción @4m



#### Notas del concreto:

1. El concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  tendrá slump 4", con cemento Portland Tipo V.
2. Dosificación= 1 bolsa de cemento: 20L de agua:1.2 bolsas de agregado fino: 2.5 bolsas de agregado grueso.
3. Con contenido de aire de 2%

#### Notas de instalación:

1. El concreto será vaciado por gravedad.
2. El diseño considera la presencia de un terraplén en la sección derecha del canal

<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b>			
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DE CANAL MINERO DEL TAJO PAMPACANCHA PROPUESTA CON REVESTIMIENTO DE CONCRETO ARMADO			
<b>Lamina:</b> DETALLE DE SECCIONES DE CONCRETO ARMADO			
<b>Ubicación:</b> Departamento: Cusco Provincia: Chumbivilcas Distrito: Livilca	<b>Revisado por:</b> José Antonio Huarcoya Cangalaya	<b>Fecha:</b> Julio - 2024 <b>Escala:</b> Indicada	<b>E - 03</b>