

# REGENERACIÓN DEL MIRADOR DE TURI Y ZONAS ALEDAÑAS

## ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

### FASE 2

- CÁLCULO DISEÑO DE MURO DE TIERRA ARMADA
- DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS



**CONSULTOR: ING. JUAN VILLAVICENCIO**

**ESPECIALISTA GEOTECNIA: ING. LUIS MATUTE D. MS**

**FECHA: JUNIO DE 2018**

## Contenido

<b>1 ESTUDIOS PRELIMINARES.....</b>	<b>3</b>
1.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL PROYECTO .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 DETERMINANTES DEL ESTUDIO .....	4
1.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....	5
1.5 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	5
1.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS .....	6
1.7 RECOMENDACIONES .....	6
1.8 CONCLUSIONES.....	7
<b>2 GEOLOGÍA .....</b>	<b>7</b>
2.1 LITOLOGÍA.....	7
2.2 MORFOLOGÍA .....	9
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	9
<b>3 DISEÑOS GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>10</b>
3.1 TRABAJO DE CAMPO.....	10
3.1.1 Exploración Geotécnica.....	10
3.1.2 Ensayo de Penetración por Cono Dinámico (DCPT) .....	12
3.1.3 Sondeos Eléctricos Verticales .....	14
3.2 RESULTADOS DE LABORATORIO .....	15
3.2.1 Ensayos de Clasificación .....	15
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO .....	15
3.4 MODELACIONES GEOTECNIAS PLANIFICADAS .....	17
3.5 CÁLCULO DEL MURO DE TIERRA ARMADA.....	18
3.6 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO .....	25
3.7 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS.....	31
3.8 CONCLUSIONES.....	36

## ESTUDIO GEOTÉCNICO FASE 2

### 1 Estudios Preliminares

#### 1.1 Análisis descriptivo del Proyecto

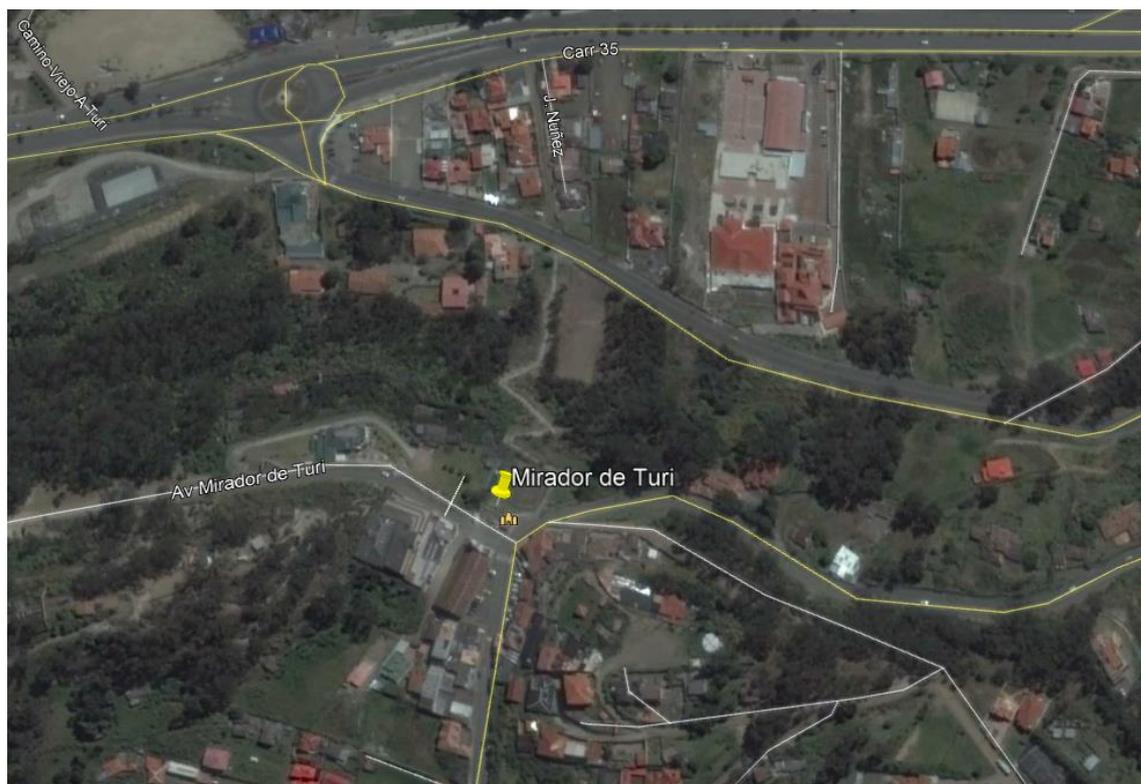
El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Cuenca por medio de su fundación "El Barranco", realiza la contratación de los estudios para la regeneración del Mirador de Turi y sus zonas aledañas, para el cual, se ejecutan los estudios geológicos – geotécnicos aplicados a los requerimientos arquitectónicos y estructurales del proyecto. El presente informe corresponde a la vía y caminerías ubicadas al noroeste de la zona de mirador. Para la elaboración del presente informe se realizó la inspección del área de estudio, donde se dispuso la excavación de cuatro calicatas para la descripción estratigráfica y extracción de muestras para realizar ensayos de mecánica de suelos, en el Laboratorio de suelos y materiales GEOLAB de la ciudad de Cuenca.

El área de estudio se localiza en la Provincia del Azuay, al sur del cantón Cuenca, en la parroquia Turi, en las coordenadas de referencia UTM (WGS 84): 721192 E, 9676813 N.

Figura 1 Esquema de distribución de fases



**Figura 2 Ubicación del Área de Estudio, Google Earth**



## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Ejecutar los estudios geológicos – geotécnico aplicados a los requerimientos arquitectónicos y estructurales del proyecto.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar el mapa geológico del área de estudio, en el cual se describan las formaciones geológicas presentes en el sitio.
- Ejecución de labores en campo, investigaciones geotécnicas y ensayos de campo.
- Ejecución de ensayos de laboratorio acorde al tipo de materiales encontrados en campo y al tipo de muestras obtenidas.
- Analizar los resultados de laboratorio y las observaciones realizadas en la exploración de campo, con el fin de obtener parámetros geomecánicos, a utilizarse en las modelaciones geotécnicas.
- Calculo y diseño de Muro de Tierra Armada.
- Diseño de estructura de pavimentos de la vía plaza y caminerías (vereda).
- Definir recomendaciones constructivas para los distintos aspectos geotécnicos considerados en el proyecto.

## **1.3 Determinantes del Estudio**

Para la determinación de los aspectos geotécnicos del proyecto, se realizó la exploración del terreno, mediante cuatro excavaciones a cielo abierto, de las cuales se realizó una descripción litológica y se extrajo muestras representativas para ensayos de laboratorio. Los

resultados y observaciones de las exploraciones se pueden revisar en los Anexos correspondientes a Monografías de Calicatas y Resultados de Laboratorio. En las muestras extraídas se realizaron ensayos de clasificación de suelos, con la siguiente finalidad:

- Determinar el tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*
- Determinar parámetros geomecánicos de diseño, mediante la correlación con parámetros geomecánicos recomendados en estudios específicos de la zona, como el Proyecto PRECUPA 1998.

Adicional en campo se realiza ensayos de cono dinámico (DCPT por sus siglas en inglés), con el fin de determinar características geomecánicas de materiales observadas en la exploración, por medio de correlacionar estos resultados con conteos SPT (Standar Penetration Test), para luego correlacionar estos conteos con parámetros geomecánicos.

#### **1.4 Metodología de Estudio**

Para la elaboración de este informe, se consideran las siguientes actividades:

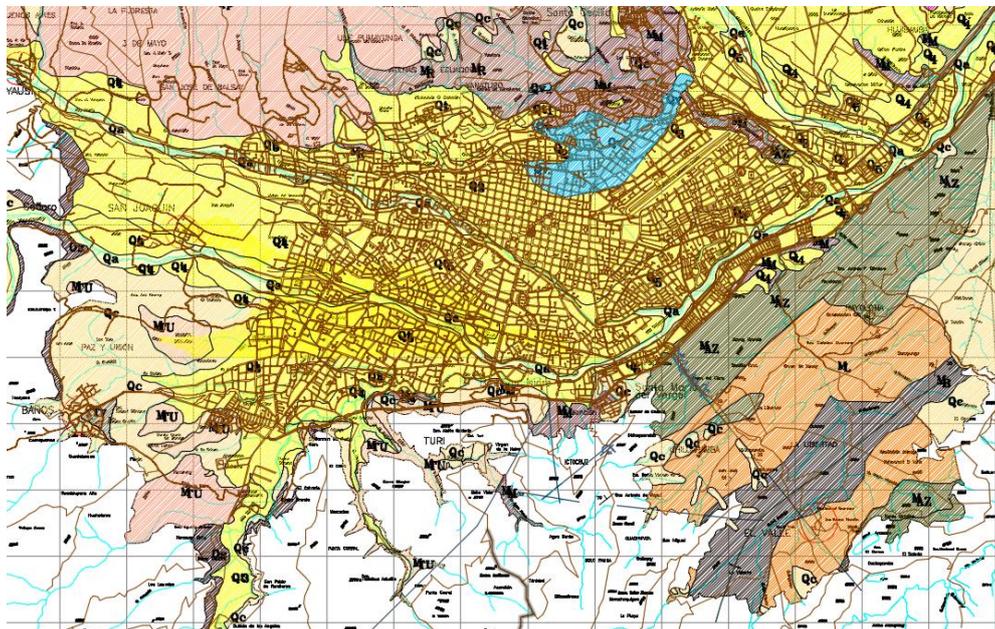
1. Recopilación y revisión de información existente de tipo cartográfico y geológico.
2. Elaboración del mapa geológico del área de estudio, en el cual se describe las formaciones geológicas presentes en el sitio.
3. Elaboración de un plan de investigaciones geotécnicas.
4. Ejecución de labores en campo, esto es, excavación de calicatas, obtención de muestras, ensayos de campo (DCPT).
5. Ejecución de los ensayos de laboratorio acorde al tipo de materiales encontrados en campo y al tipo de muestras obtenidas.
6. Análisis de resultados de laboratorio y determinación de parámetros geomecánicos.
7. Cálculos y modelaciones geotécnicas correspondientes.
8. Cálculo de cantidades de los diseños geotécnicos obtenidos.
9. Elaboración de especificaciones técnicas de los rubros que involucren aspectos geotécnicos.
10. Establecimiento de recomendaciones constructivas.
11. Elaboración del presente informe.

#### **1.5 Recopilación y Análisis de información secundaria**

Para la ejecución del presente proyecto, previamente en gabinete se realiza la recopilación, sistematización, validación y análisis de la información existente:

- Mapa geológico publicado en el Proyecto PRECUPA en el año de 1998, en escala de información 1:25000, que abarca el área de la cuenca geológica de Cuenca.

**Figura 2 Geología de Cuenca Escala 1:25000**



**Fuente: Proyecto Precupa**

**Elaboración: Cuerpo Suizo de Socorro (CSS); Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL)**

- Información de comportamiento geomecánico de los materiales de la cuenca geológica de Cuenca presentada en el informe final de Geología del Proyecto PRECUPA publicado en el año de 1998.
- Cartografía de Cuenca, publica en conjunto con la geología de Cuenca, en escala 1:25000 en el proyecto PRECUPA que incluye ríos, vías, y puntos de interés.

## **1.6 Descripción de procesos**

Para el presente proyecto, de acuerdo con los requerimientos arquitectónicos y de obras civiles contemplados, se debe realizar las siguientes modelaciones o cálculos geotécnicos:

- En las zonas aledañas al mirador, los requerimientos de obras civiles, plantean el aumentar el ancho de la vía del mirador, y los requerimientos arquitectónicos, el emplazar una caminería en volado, al costado de dicha vía, para lo cual se propone un muro de tierra armada.
- Para las vías aledañas al mirador, incluyendo el parqueadero se planifica la reconstrucción de la calzada por lo cual se planifica el diseño de una estructura de pavimentos de acuerdo a las características de los materiales encontrados y a una estimación del tráfico esperado en la zona.

## **1.7 Recomendaciones**

- Es recomendable el aplicar para el proyecto métodos de exploración como calicatas debido a su bajo costo, facilidad en la ejecución, y debido a que se

pueden obtener muestras inalteradas del material y descripciones claras de los materiales encontrados.

- Se recomienda el distribuir las exploraciones geotécnicas en el área de estudio, de tal manera que se obtenga información de los materiales ubicados en cada zona de emplazamiento de las distintas estructuras emplazadas.
- De acuerdo a los materiales observados en visitas previas a la ejecución del proyecto, se ha constatado la presencia de material no cohesivos por lo cual, se planifica ensayos de laboratorio, como ensayos de clasificación de suelos, y ensayos de campo como DCPT (Dynamic Cone Penetration Test).

### **1.8 Conclusiones**

- La información geológica y cartográfica del Proyecto PRECUPA en escala 1:25000 será utilizada para la elaboración del mapa geológico del sitio.
- La información previa obtenida, específicamente la información del Proyecto PRECUPA 98, será de suma importancia debido a que presenta recomendaciones de parámetros geomecánicos para las distintas unidades geológicas, y dichos valores recomendados, servirán para validar los obtenidos para el presente proyecto.
- De acuerdo al tipo de material observado en visitas previas a la ejecución de la presente consultoría, se espera encontrar en el sitio materiales conglomerados, para lo cual se prevé la obtención de parámetros geomecánicos a partir de modelos de retro-análisis.
- Las modelaciones geotécnicas de las intervenciones previamente planificadas para el proyecto serán ejecutas en función de la información obtenida de campo, laboratorio y se basarán en la implantación arquitectónica del mismo.
- Se realizará el cálculo de capacidad portante y empuje de suelo para las estructuras consideradas en la zona del mirador, para las zonas aledañas al mirador, el diseño de un muro de tierra armada, y para las vías y parqueos el cálculo de una estructura de pavimento.

## **2 Geología**

El área de la ciudad de Cuenca se encuentra mapeada a detalle desde el punto de vista geológico gracias al Proyecto PRECUPA que presentó su informe final en 1998. El área del mirador Turi, se describe como la Formación Turi y dentro de su área de influencia se encuentran: Depósitos Aluviales, Depósitos Coluviales, Terrazas aluviales y Fluvio glaciares, Formación Mangán, Formación Azogues, Formación Loyola, y Formación Biblián.

### **2.1 Litología**

Las formaciones geológicas que afloran en el sitio de estudio y sus alrededores, se detallan a continuación:

- **Depósitos Aluviales (Da)**

Depósitos recientes post-glaciares (Hológeno) hasta nuestros días, material transportado y depositado por los ríos, el cual forma parte de las llanuras de inundación (especialmente en los valles amplios). Está compuesto por bloques, gravas y arenas limosas en diferentes porcentajes y composición, sus formas van de redondeadas a subangulares según la dinámica y morfología del curso fluvial.

- **Depósitos Coluviales (Dc)**

Depósitos de ladera y de pie de talud formados con materiales que han sufrido poco transporte, son muy heterogéneos dependiendo de la zona y el fenómeno inestable que les dio origen: deslizamientos, derrumbes, flujos, etc. De manera general se componen de mezclas heterogéneas de bloques y fragmentos angulares y subangulares en matriz limo arcillosa con microfragmentos.

- **Terrazas aluviales y fluvio glaciares (T<sub>1-4</sub>)**

Las terrazas (t<sub>1</sub>-t<sub>4</sub>) están formadas por bloques y boleos subangulares a redondeados y subesféricos (ocurrencia 40 y 70%) en matriz de grava areno arcillosa (ocurrencia 60 y 30%), la terraza t<sub>5</sub> está formada por estratos erráticos de arena, limo y depósito aluvial de potencia variada.

- **Formación Turi (PI T)**

Manifiesta una gran variación lateral de su litología, consiste de conglomerados de base, arenas, arcillas, tobos y brechas bien estratificadas. Según Erazo. En la carretera a Turi, se observan conglomerados con aportes volcánicos y areniscas en estratos casi horizontales sobre capas sedimentarias deformadas.

- **Formación Mangán (MM)**

Secuencia de limolitas, lutitas y areniscas finogranulares, en su parte inferior todos de color claro; en su parte media se encuentran lutitas asociadas con vetas de carbón; en la parte superior aflora una arenisca tobácea gruesa café, que se hace conglomerática hacia arriba.

- **Formación Azogues (MPIY)**

Afloramiento a lo largo de toda la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues y de Cruz Loma. Grandes cortes en areniscas de la Fm. Azogues se ven en la nueva autopista Cuenca – Azogues, tramo antes de El Descanso.

Secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas.

- **Formación Loyola (MI)**

Formación presente en los principales en los flancos del anticlinal de Cuenca y en el flanco oriental del sinclinal de Gualaceo. Actualmente con la apertura de la autopista Cuenca – Azogues se tiene importantes afloramientos en el tramo medio.

Formación sedimentaria clástica finogranular, consiste en una alternancia de lutitas gris oscuro muy fisibles, limolitas que meteorizan a arcillas de color blanco y habano,

localmente lentes de areniscas limosas habanas finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas, y mega brechas. En el lado oriental de la cuenca, en la base de la formación ocurren areniscas y conglomerados (básales) en discordancia sobre la Fm. Yunguilla. Abunda yeso, especialmente en las superficies alteradas.

- **Formación Biblián (MB)**

Secuencia sedimentaria clástica. Alternancia de argilitas, limolitas rojizas interestratificadas con areniscas tobáceas de grano fino a grueso y conglomerados con cantos mal sorteados y subangulares de la Fm. Yunguilla, se observa yeso secundario en grietas.

## **2.2 Morfología**

La presente área de estudio presenta pendientes altas típicas de los materiales de la formación Turi, por lo cual, para la implantación del actual mirador, se han ejecutado plataformas en relleno, y zonas pronunciadas de corte.

## **2.3 Geología Estructural**

Fisuración subvertical por desecación en areniscas, mientras que, para las zonas de conglomerados, se podrían generar fallas locales como caídas de bloques debido al lavado de finos, cuando los taludes se encuentren expuestos a la intemperie y a la acción de las lluvias.

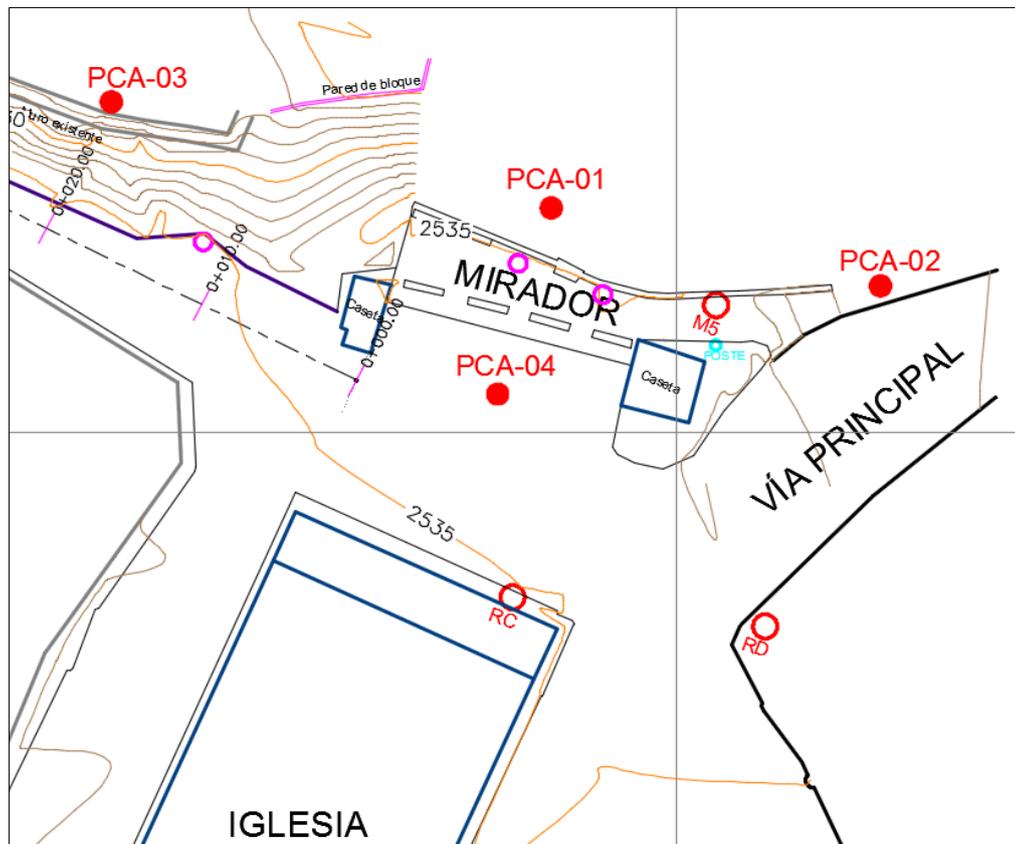
### 3 Diseños Geotécnicos

#### 3.1 Trabajo de Campo

##### 3.1.1 Exploración Geotécnica

Se realizó cuatro calicatas distribuidas en el área de proyecto de tal manera que se obtenga información para las distintas implantaciones arquitectónicas. En las exploraciones se realiza la descripción geológica - geotecnia y se extrae muestras para ensayos de laboratorio. A continuación, se presenta un croquis de ubicación de las calicatas y se realiza la descripción de cada una:

**Figura 3 Ubicación de exploraciones realizadas**



##### **PCA 01 (UTM-WGS84: 721193 E; 9676813 N)**

La calicata tiene una profundidad de 3.00 m, y se pueden identificar 2 tipos de materiales. Se observa una capa vegetal con raíces de 0.20 m al inicio de la calicata.

El primer material se encuentra en toda la profundidad de la calicata, es de tipo limoso de color negro, de baja plasticidad, consistencia media, y con un bajo contenido de arenas y gravas. Se presume que el material corresponde a un relleno realizado durante la construcción de la plataforma del mirador actual.

El segundo material se encuentra hacia el fondo de la calicata, es de tipo areno limoso de color café, con una consistencia entre media y dura, plasticidad baja, y un alto contenido de arenas y gravas. Se presume que este material corresponde a un conglomerado de la formación Turi.

**Foto 1 Excavación y materiales PCA 01**



**PCA 02 (UTM-WGS84: 721212 E; 9676809 N)**

La calicata tiene una profundidad de 2.20 m, y se pueden identificar 2 tipos de materiales. Se observa una capa con raíces de 0.15 m al inicio de la calicata.

El primer material se encuentra hasta los 1.00 m. Es un relleno al volteo colocado en el sitio, corresponde a una mezcla de material fino con basura y escombros (residuos de construcción).

El segundo material se encuentra desde los 1.00 m hasta el fondo de la calicata, es un material de relleno colocado para la conformación de la mesa de la vía, caracterizado por una arena arcillosa de color café, con una plasticidad baja, consistencia entre media y dura, y con un contenido considerable de arenas y gravas.

**Foto 2 Excavación y materiales PCA 02**



**PCA 03 (UTM-WGS84: 721167 E; 9676819 N)**

La calicata tiene una profundidad de 2.60 m, y se pueden identificar 2 tipos de materiales. Se observa una capa con raíces de 0.15 m al inicio de la calicata.

El primer material se encuentra hasta los 2.00 m. Es un material limoso de color café claro, con una plasticidad alta y una consistencia media. Puede corresponder a una facie tobacea degradada de la formación Turi.

El segundo material se encuentra desde los 2.00 m hasta el fondo de la calicata. Es un material areno limoso de color blanco, con una plasticidad y consistencia entre media y alta, y un contenido alto de arenas y gravas.

**Foto 3 Excavación y materiales PCA 03**



**PCA 04 (UTM-WGS84: 721190 E; 9676802 N)**

La calicata tiene una profundidad de 3.00 m, y se pueden identificar 2 tipos de materiales. Se observa una capa de pavimentos de 0.25 m al inicio de la calicata.

El primer material se encuentra hasta los 2.50 m. Es un material limoso de color negro, de baja plasticidad, consistencia media, y con un bajo contenido de arenas y gravas. Se presume que el material corresponde a un relleno realizado durante la construcción de la plataforma del mirador actual. Semejante al primer material observado en la PCA - 01.

El segundo material se encuentra desde los 2.50 m hasta el fondo de la calicata. Es un material areno limoso de color café claro, con una plasticidad media, con una consistencia entre media y alta, y un contenido alto de arenas y gravas.

**Foto 4 Excavación y materiales PCA 04**



### **3.1.2 Ensayo de Penetración por Cono Dinámico (DCPT)**

El ensayo de cono dinámico (DCPT) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural, cuando este se encuentra levemente cementado.

Se realizó un ensayo DCPT con el fin de obtener información sobre el grado de compactación que tiene el material asentado en la parte baja y originado en el corte de la parte superior del terreno. Los resultados de los ensayos de cono dinámico se presentan a continuación. El ensayo se realizó en la calicata PCA-02 a una profundidad de 1.00 m.

**Tabla 1 Ensayo DCPT para PCA 01 prof: 1.75 m**

<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD ENTRE LECTURA (mm)</b>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>GOLPES ACUMULADOS</b>	<b>DCP (mm/golpe)</b>
100	100	0	0	
200	100	3	3	66.67
300	100	8	11	27.27
400	100	8	19	21.05
500	100	7	26	19.23
600	100	7	33	18.18
700	100	9	42	16.67

**Tabla 2 Ensayo DCPT para PCA 03 prof: 1.10 m**

<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD ENTRE LECTURA (mm)</b>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>GOLPES ACUMULADOS</b>	<b>DCP (mm/golpe)</b>
100	100	0	0	
200	100	5	5	40.00
300	100	7	12	25.00
400	100	6	18	22.22
500	100	5	23	21.74
600	100	5	28	21.43
700	100	5	33	21.21
800	100	6	39	20.51

**Tabla 3 Ensayo DCPT para PCA 04 prof: 2.50 m**

<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD ENTRE LECTURA (mm)</b>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>GOLPES ACUMULADOS</b>	<b>DCP (mm/golpe)</b>
100	100	0	0	
200	100	3	3	66.67
300	100	2	5	60.00
400	100	3	8	50.00
500	100	3	11	45.45
600	100	3	14	42.86

**Tabla 4 Ensayo DCPT para PCA 04 prof: 3.00 m**

<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD ENTRE LECTURA (mm)</b>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>GOLPES ACUMULADOS</b>	<b>DCP (mm/golpe)</b>
100	100	0	0	
200	100	5	5	40.00
300	100	2	7	42.86
400	100	4	11	36.36
500	100	4	15	33.33
600	100	4	19	31.58
700	100	4	23	30.43

### **3.1.3 Sondeos Eléctricos Verticales**

A partir de la información geológica se determina que el material del sitio corresponde a la formación Turi, lo cual se constató mediante las exploraciones a cielo abierto (calicatas). Debido a las características geológicas del material, este tipo de materiales no presentan nivel freático superficial, factor que se determina por medio de estos sondeos y no se justifica la ejecución de los mismos.

### 3.2 Resultados de laboratorio

#### 3.2.1 Ensayos de Clasificación

En laboratorio se realizó los ensayos de clasificación a las muestras obtenidas en campo, con los siguientes resultados:

**Tabla 5 Resumen de Resultados de Laboratorio**

RESUMEN RESULTADOS ENSAYO DE CLASIFICACIÓN										
ID	MUESTRA	GRADACIÓN			LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN	
		Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP	Humedad	SUCS	AASHTO
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
PCA-01	1	12%	34%	53%	42.7%	27.9%	14.8%	16.0%	ML	A-7-6
	2	34%	35%	31%	43.5%	26.9%	16.6%	13.8%	SM	A-2-7
PCA-02	1	16%	35%	49%	45.9%	25.9%	20.0%	16.3%	SC	A-7-6
PCA-03	1	10%	25%	65%	83.2%	50.5%	32.7%	27.5%	MH	A-7-5
	2	28%	38%	34%	72.2%	51.6%	20.0%	30.9%	SM	A-2-7
PCA-04	1	24%	35%	41%	44.2%	30.7%	13.5%	20.1%	SM	A-7-5

### 3.3 Análisis de resultados de laboratorio

En base a los resultados de laboratorio y observaciones de campo, se ha establecido que, en la zona de la plataforma lateral al mirador, específicamente en la plataforma oeste del mirador (local Luminarias), se encuentra dos materiales, un primer material caracterizado como un limo de alta plasticidad con calificación SUCS MH y una potencia de 2.00 m, que corresponde a una facie tobacea degradada de la formación Turi; y un segundo material que corresponde a la arena limosa SM de la formación Turi.

Para cada zona se plantean distintas estructuras como parte del proyecto, y para la modelación geotécnica necesaria para el diseño de estas, se requiere obtener parámetros geomecánicos de los materiales encontrados. Para los materiales denominados limos de la formación Turi (MH), se obtendrán los parámetros geomecánicos en función de los DCPT de campo, y dichos parámetros serán validados de acuerdo a las condiciones que presenta el material en el sitio de estudio, mientras que para el material caracterizado como arena de la formación Turi (SM) se obtendrán los parámetros en función de un modelo de retro-análisis aplicado a un talud de la zona.

A partir de los resultados del ensayo DCPT se pueden obtener valores de conteos SPT (Standar Penetration Test), al aplicar las correlaciones propuestas por Marawam M. Shahien y Ahmed Farouk en 2012. El valor resultante directamente es equivalente al N<sub>60</sub> o valor corregido de conteos SPT y las correlaciones son las siguientes:

$$N_{100SH} = 0.2 N_{DCPT}$$

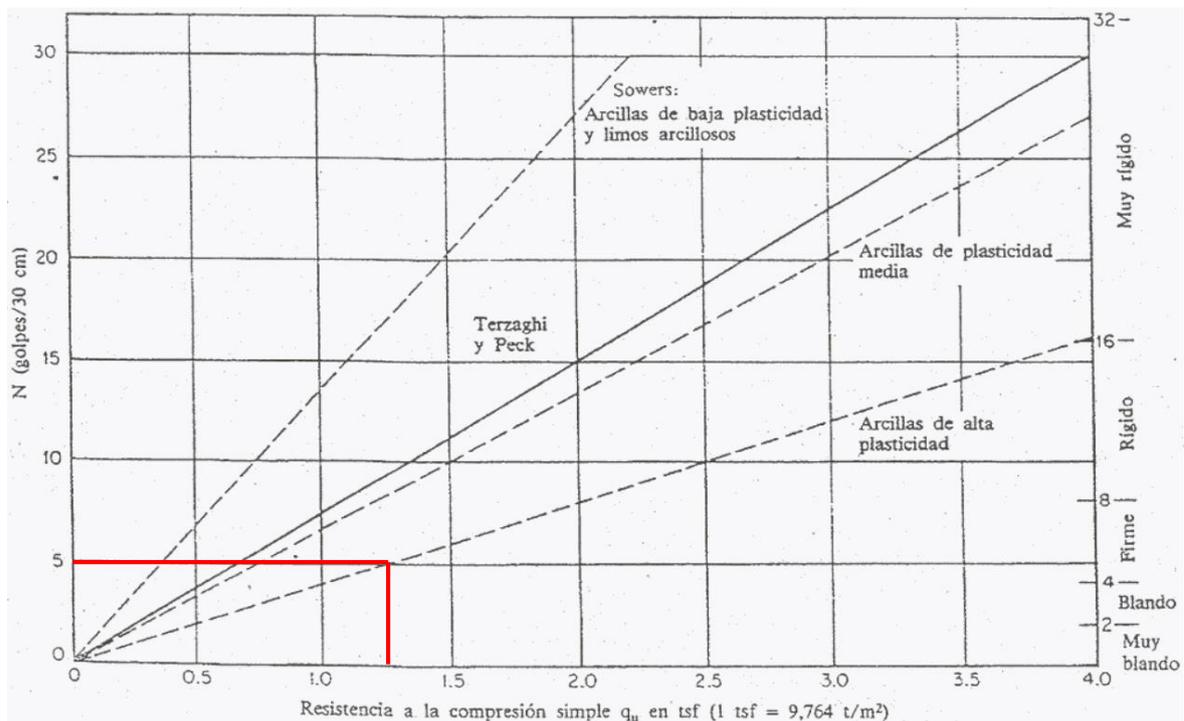
$$N_{100SH} = \frac{0.18N_{60}}{1 - \sqrt{0.012N_{60}}}$$

**Tabla 6 Obtención de valores N60 SPT a partir de Número de Golpes ensayo DCPT PCA-03  
prof= 1.10 m**

Turi PCA-03 prof: 1.10 m		
DCPT		SPT
N DCPT	N100 (SH)	N60
5	1.0	4
7	1.4	5
6	1.2	5
5	1.0	4
5	1.0	4
5	1.0	4
6	1.2	5

Para el material denominado como limo de la formación Turi, debido a la proporción de finos, y plasticidad que presenta, se obtendrán los parámetros geomecánicos, específicamente la cohesión no drenada, en función de los conteos N60 y el ábaco propuesto por Department of Navy (1982), que se presenta a continuación:

**Figura 4 Abaco N60 vs Cohesión Department of Navy (1982)**

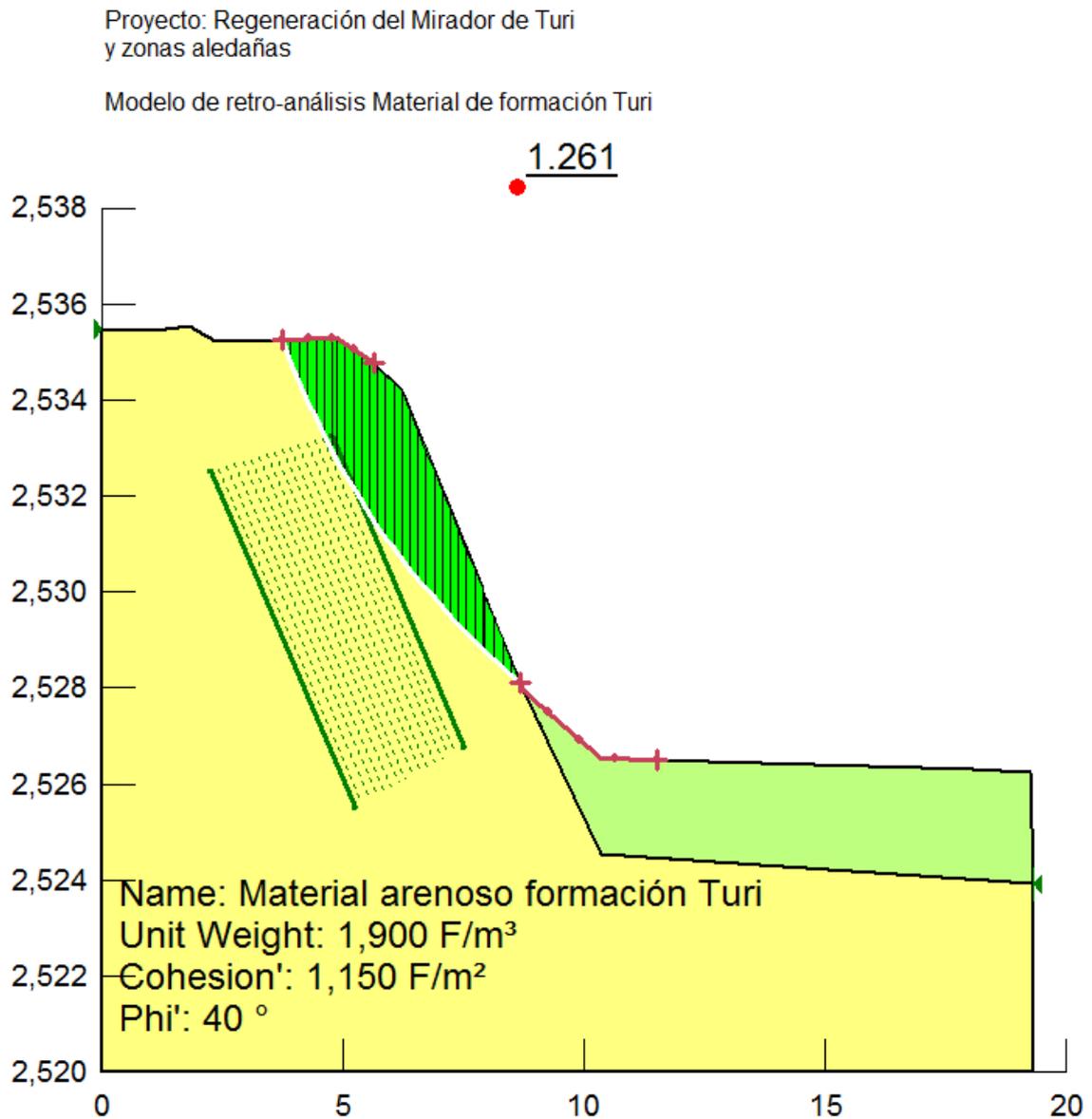


Del ábaco anterior y un N60 de 5 se obtiene una compresión simple de 1.25 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 0.675 kg/cm<sup>2</sup> (6750 kg/m<sup>2</sup>), a la cual le corresponde un ángulo de fricción interna de cero, por encontrarse el material en condiciones no drenadas.

Por último para el material denominado como arena limosa de la formación Turi (SM), debido a la naturaleza del material granular, los parámetros geomecánicos serán obtenidos a partir de un modelo de retro análisis aplicado a un talud de 9 m de altura, ubicado al costado del mirador actual, partiendo de un ángulo de fricción interna de 40 grados (recomendado para arenas con gravas), y se retro calcula la cohesión del material hasta obtener un factor de seguridad de 1.25, condiciones de estabilidad temporales. Con

el retro análisis se obtiene una cohesión de 1150 kg/m<sup>2</sup>. A continuación se presenta la ubicación del talud y el modelo de retro análisis realizado:

**Figura 5 Modelo de retro análisis, material areno limoso formación Turi**

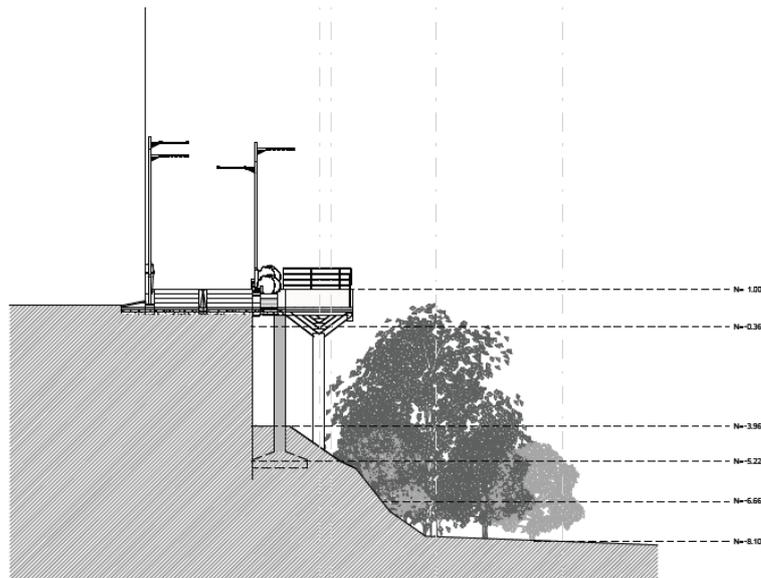


### 3.4 Modelaciones geotecnicas planificadas

Para el presente proyecto, de acuerdo con los requerimientos arquitectónicos y de obras civiles contemplados, se debe realizar la siguiente modelación o cálculo geotécnico:

- En las zonas aledañas al mirador, los requerimientos de obras civiles, plantean el aumentar el ancho de la vía del mirador, y los requerimientos arquitectónicos, el emplazar una caminería en volado, al costado de dicha vía, para lo cual se propone un muro de tierra armada, el cual será modelado, con el empuje del material arenoso de la formación Turi, y con la cimentación sobre el material limoso de la formación Turi.

**Figura 6 Propuesta arquitectónica y de obra civil zona aledaña al Mirador de Turi**

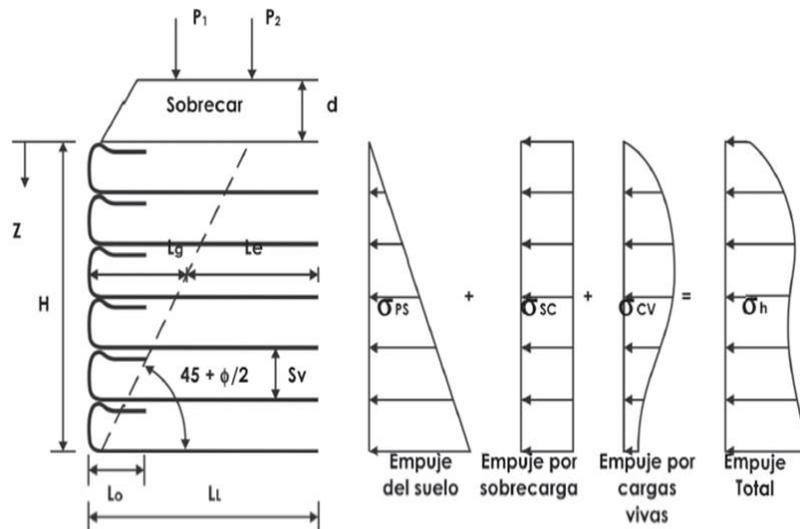


### 3.5 Cálculo del muro de tierra armada

Se realiza el cálculo del muro de tierra armada para la zona aledaña del mirador, la cual funcionará como un terraplén de soporte para el tramo de vía que se requiere completar y para el tramo de caminería planteado como parte del proyecto arquitectónico del mirador.

Para el cálculo del muro de tierra armada se analiza tanto la estabilidad interna como externa, en función de lo cual se definen las características geométricas del muro, al controlar criterios de estabilidad, como volcamiento, deslizamiento, capacidad portante, además de analizar el reforzamiento con geomallas, que absorben los esfuerzos y reducen la presión en la cara del muro.

**Figura 1 Esquema de cálculo de estabilidad interna para muros de tierra armada**



El análisis de estabilidad interna del muro, se realiza con la consideración de que el material de confinamiento a optarse para la conformación del muro de tierra armada cumpla las características de una subbase tipo II, para la cual se puede considerar un ángulo de fricción interna de 40 grados, y en función de la cual se obtiene un  $k_a$  de 0.22. Sin embargo, para condiciones dinámicas se obtiene a partir de la teoría de Mononobe-Okabe un  $k_{as}$  de 0.33, que corresponde a un coeficiente de empuje lateral con sismo afectado por un coeficiente de sismo horizontal de 0.21g, valor obtenido de acuerdo a las

recomendaciones del capítulo de peligro sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC 2015). El cálculo en condiciones dinámicas se realiza a partir de las siguientes expresiones:

$$K_{as} = \frac{\text{para } \beta < \phi - \theta}{\text{Cos}^2(\phi - \psi - \theta)} \\ \text{Cos}\psi * \text{Cos}^2\theta * \text{Cos}(\delta + \theta + \psi) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{Sen}(\phi + \delta) * \text{Sen}(\phi - \beta - \psi)}{\text{Cos}(\psi + \delta + \theta) * \text{Cos}(\theta + \beta)}} \right]^2$$

Donde:

$\beta$  = Angulo del talud de material retenido con respecto a la horizontal

$\phi$  = Angulo de fricción interna del suelo retenido

$\theta$  = Angulo del trasdós del muro respecto a la vertical

$\delta$  = Angulo de fricción entre el suelo y el geotextil

$$\psi = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{(1-k_v)} \right]$$

$k_h$  = Coeficiente de sismo horizontal

$k_v$  = Coeficiente de sismo vertical

Dentro del cálculo de estabilidad interna, como primer punto, se establece la resistencia admisible de la geomalla, para lo cual se consideró un valor de 100 kN/m, correspondiente a resistencia ultima a la tensión de una geomalla tipo biaxial 100 l=6.0 m. A este valor se lo divide para los respectivos factores de reducción obteniéndose una resistencia máxima admisible de la geomalla igual a 20.6 kN/m.

$$T_{adm} = T_{ult}/FS \\ FS = (FR_D * FR_{FL} * FR_{DQB})$$

Donde:

$T_{ult}$  = Resistencia última del geotextil por el método de la tira ancha. (ASTM D 4595).

$FSg$  = Valores recomendados de 1.3 a 1.5 para condiciones estáticas.

$FR_D$  = Factor de Reducción por daños durante la instalación.

$FR_{FL}$  = Factor de Reducción por carga continua sobre el geotextil (fluencia).

$FR_{DQB}$  = Factor de Reducción por degradación química/biológica.

**Tabla 7 Factores de reducción para el diseño de con geotextiles**

Factores de reducción	Valor
$FR_D$	1.35
$FR_{FL}$	2.00
$FR_{DQB}$	1.4

Seguido se evalúan las presiones de tierra originadas por la presión del suelo, de las cargas, sobrecargas y las cargas vivas, a partir de las siguientes expresiones:

$$\sigma_{PS} = K_a * \gamma * z$$

$$\sigma_{SC} = K_a * q$$

$$\sigma_{CV} = P(x^2z/R^5)$$

$$\sigma_h = \sigma_{PS} + \sigma_{SC}$$

Donde:

$\sigma_{PS}$  = Presión debida al suelo

$K_a = \tan(45 - \phi/2)$ , coeficiente de presión activa

$\phi$  = Ángulo de fricción del suelo de relleno en la zona reforzada

$\gamma$  = Peso unitario del suelo de relleno

$z$  = Profundidad desde la superficie hasta la capa en estudio

$\sigma_{SC}$  = Presión debida a sobrecargas

$q = \gamma * D$ . Sobrecargas en la superficie, donde  $\gamma$  es el peso unitario de la sobrecarga

$D$  = Profundidad del suelo de sobrecarga

Para el presente cálculo, se ha considerado una sobrecarga de una capa de material con 60 cm de espesor que simule el tráfico generado sobre el muro de tierra armada, consideración basada en las especificaciones de la AASHTO para muros de retención, adicional una capa de 100 cm de espesor por motivo de la estructura vial de la vía superior.

Todas las componentes horizontales de las cargas que afectan al muro deben ser sumadas y comparadas con la presión admisible del geotextil para obtener el espesor de cada capa de refuerzo, según la ecuación siguiente:

$$Sv = T_{adm}/(\sigma_h * FSg)$$

Donde:

$Sv$  = Separación vertical (Espesor de cada capa)

$T_{adm}$  = Esfuerzo admisible del geosintético, calculado según ecuación

$\sigma_h$  = La presión lateral total en la profundidad total

$FSg$  = Factor de seguridad global

Paso siguiente se calcula las longitudes de desarrollo del refuerzo con geomalla, que se componen por dos longitudes que sumadas arrojan la longitud total a utilizarse por cada capa en la sección transversal del muro. El cálculo de las dos longitudes se detalla a continuación:

### Longitud geométrica:

Se determina a partir de la siguiente expresión:

$$L_g = (H - z) * \tan(45^\circ - \phi/2)$$