



**Universidad Científica del Perú - UCP**  
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**“DISEÑO DE BARRERAS DINÁMICAS Y SU  
RELACIÓN CON LA PROTECCIÓN ANTE LAS  
CAÍDAS DE ROCAS, EN LA CARRETERA  
TARAPOTO – YURIMAGUAS, KM 19+950 AL KM  
19+990”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

**M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta**

**AUTORES:**

**RUÍZ RAMÍREZ, Rider**

**INFANTE VÁSQUEZ, Moisés**

**TARAPOTO – PERÚ  
2021**

# DEDICATORIA

A Dios, por ser mi principal guía durante todo el camino de mi carrera, por darme fortaleza en momentos de flaqueza.

A mi padre, por haberme inculcado valores, que hicieron de mí una persona de bien. Sobre todo, por ser un padre modelo a seguir.

A mis hijos por ser partícipe de esta etapa tan importante de mi vida.

**Rider Ruíz Ramírez**

Dedico de manera especial a aquellas personas humildes y sencillas que adornan e iluminan mi morada, aquel que me da fortalezas para seguir siendo un ejemplo de superación. Dedico a mi familia este inmenso esfuerzo, pero gratificante sentimiento.

**Moisés Infante Vásquez**

# **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi inspirador y acompañarme en el transcurso del desarrollo de esta Tesis.

A mi casa de estudios “Universidad Científica Del Perú” por haberme permitido formarme en sus aulas, adquiriendo nuevos conocimientos y compartiendo experiencias.

Agradezco a mi familia quienes son mi motor y motivo para salir a delante.

**Rider Ruíz Ramírez**

Un merecido agradecimiento a mi amada familia, por la paciencia que siempre ha tenido cuando los trabajos de estudiante y padre se mezclaban, porque siempre ven oportunidades donde otros ven problemas.

**Moisés Infante Vásquez**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° **227-2021-UCP-FCEI** del 26 de abril del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| • Ing. Joel Padilla Maldonado, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Caleb Ríos Vargas, M.Sc.      | Miembro    |
| • Ing. Luis Paredes Aguilar, M.Sc.   | Miembro    |

Como Asesor: **Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 15:00 horas del día **martes 21 de diciembre del 2021**, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“DISEÑO DE BARRERAS DINÁMICAS Y SU RELACIÓN CON LA PROTECCIÓN ANTE CAIDAS DE ROCAS, EN LA CARRETERA TARAPOTO – YURIMAGUAS, KM 19+950 AL KM 19+990”**.

Presentado por los sustentantes:

**RIDER RUIZ RAMÍREZ y MOISÉS INFANTE VÁSQUEZ**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL.**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS.**

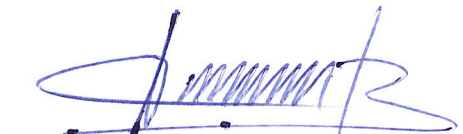
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE QUINCE (15).**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

**Iquitos – Perú**  
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

**Filial Tarapoto – Perú**  
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640  
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagñon 933

Universidad Científica del Perú  
[www.ucp.edu.pe](http://www.ucp.edu.pe)

# APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día .... de diciembre a las.... del 2021.



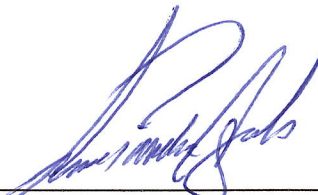
---

**M.SC. ING. JOEL PADILLA MALDONADO**  
PRESIDENTE DEL JURADO



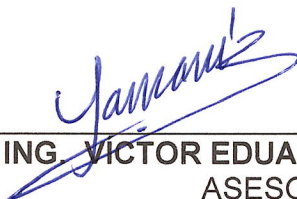
---

**M.SC. ING. CALEB RÍOS VARGAS**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**M.SC. ING. LUIS PAREDES AGUILAR**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**M.SC. ING. VÍCTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA**  
ASESOR

## **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“DISEÑO DE BARRERAS DINÁMICAS Y SU RELACIÓN CON LA PROTECCIÓN  
ANTE LAS CAÍDAS DE ROCAS, EN LA CARRETERA TARAPOTO –  
YURIMAGUAS, KM 19+950 AL KM 19+990”**

De los alumnos: **RUÍZ RAMÍREZ RIDER Y INFANTE VÁSQUEZ MOISÉS**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **19% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 27 de julio del 2021.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética – UCP

## Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP\_INGENIERÍACIVIL\_2021\_TESIS\_RIDERRUIZ\_MOISESINFANTE\_V1.pdf  
(D110619303) Submitted:

7/20/2021 6:43:00 PM Submitted By:  
revision.antiplagio@ucp.edu.pe Significance:  
19 %

### Sources included in the report:

Tesis Juan Carlos Muñante Solis.pdf (D95120602)  
[http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL\\_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&isAllowed=y)  
<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3797/CIVIL%20-%20Alex%20Jhonatan%20Ramirez%20Tecco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
<https://docplayer.es/94533607-Universidad-nacional-autonoma-de-mexico.html>  
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/10902/16242/4/Tesis%20BLCJ.pdf.txt>

### Instances where selected sources appear:

27

# ÍNDICE

## Contenido

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO .....	2
APROBACIÓN.....	3
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	14
<b>1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1. Antecedentes internacionales .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2. Antecedentes nacionales.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.3. Antecedentes Locales .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. DEFINICIONES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.1 Partes de una barrera dinámica .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Anclajes de barrera dinámica de acuerdo a especificaciones técnicas.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.3 Barreras Flexibles de redes de anillos de acero .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.4 Zonas de intersección .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.5 Estructura de Soporte.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.6 Componentes de conexión.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.7 Placas base y piezas de conexión al terreno .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.8 Primeras pruebas de campo .....</b>	<b>29</b>
<b>1.2.9 Elementos de frenado.....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.10 Redes de cables de acero.....</b>	<b>35</b>
<b>1.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....</b>	<b>46</b>
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	56
<b>2.4.1 Objetivo General.....</b>	<b>58</b>
<b>2.4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>58</b>
<b>2.5.1 Hipótesis General .....</b>	<b>59</b>
<b>2.6.1 Identificación de las variables .....</b>	<b>59</b>
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	60
<b>3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>60</b>



<b>3.3</b>	<b>TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4</b>	<b>PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS</b> <b>61</b>	
<b>3.5</b>	<b>MÉTODO DE ESTUDIO DEL CASO .....</b>	<b>61</b>
	<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
	<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....</b>	<b>98</b>
	<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de barreras dinámicas .....	19
Figura 2: Red de cable de retícula cuadrada: a) geometría y b) distribución de las cargas desde la zona de impacto .....	21
Figura 3: Red de anillos: a) geometría y b) componentes de un anillo .....	22
Figura 4: Configuraciones de una red de anillos: a) conexión con 4 anillos adyacentes, y b) conexión con 6 anillos adyacentes.....	22
Figura 5: Red de cable G.T.S.: a) geometría, b) patrón de creación de la red por filas y distribución de las cargas y deformabilidad.....	23
Figura 6: Red de cable Omega .....	24
Figura 7: Postes actuando como estructura de soporte de la red de cables. ....	24
Figura 8: Detalle de diferentes partes superiores de los postes .....	25
Figura 9: Conexión de la red de intercepción a los cables perimetrales mediante a) cables de cosido, y b) grilletes. ....	26
Figura 10: Placas de anclajes o piezas de conexión de diferentes fabricantes a) Mallatalud, b) Geobrug y c) Mallatalud, y d) desconocido. ....	28
Figura 11: Primeras barreras individuales con marco de madera .....	29
Figura 12: Barreras individuales .....	29
Figura 13: Propuesta de las primeras pantallas para el control de caídas de r ..	31
Figura 14: Primera prueba de barreras con uso de elementos de frenado.....	32
Figura 15: Sistema de frenado a base del ensanchamiento de un tubo de ace .	34
Figura 16: Sistema de frenado a base de anillos .....	35
Figura 17: Redes a base de anillos de acero .....	37
Figura 18: Sujeción de redes en las barreras.....	38
Figura 19: Disposición de los cables en la estructura de la barrera .....	40
Figura 20: Apoyo articulado en la base de los postes .....	41
Figura 21: Anclas utilizadas en el sistema de barreras dinámicas .....	43
Figura 22: Inicio de replanteo de ubicación de la barreras dinámicas con wincha y estacas .....	53
Figura 23: Marcación de puntos de los postes con wincha y pintura.....	54
Figura 24: Marcado de puntos para perforación .....	54
Figura 25: Inicio de perforación.....	55
Figura 26: Pronóstico probabilístico a nivel nacional.....	64
Figura 27: Pronóstico probabilístico de lluvia en el 2021.....	65
Figura 28: Valores de probabilidad por regiones según categoría (Inferior, Normal y Superior). ....	65
Figura 29: Diagrama fuerza de reacción – desplazamiento .....	78
Figura 30: Esquema y diagrama de cuerpo libre de la deformación en la red metálica .....	80
Figura 31: Diagramas de fuerzas actuantes en los principales nodos de la pantalla.....	81
Figura 32: Diagramas de fuerzas actuantes en los principales nodos de la pantalla.....	82
Figura 33: Diagramas en elevación y planta de la deformación de la red .....	86
Figura 34: Perfil a utilizar en los postes .....	89
Figura 35: Vista en 3-D de la base del poste .....	95
Figura 36: Esquema de anclaje .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: suministro e instalación y puesta en operación.....	19
Tabla 2: Precipitación máxima mensual .....	66
Tabla 3: Valor generalizado de C. $UCS=C*Is$ .....	73
Tabla 4: Esfuerzo último de resistencia en el perímetro del ancla .....	91
Tabla 5: Cuadro de Resumen de los Resultados.....	97



**Universidad Científica del Perú - UCP**

*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**“DISEÑO DE BARRERAS DINÁMICAS Y SU  
RELACIÓN CON LA PROTECCIÓN ANTE LAS  
CAÍDAS DE ROCAS, EN LA CARRETERA  
TARAPOTO – YURIMAGUAS, KM 19+950 AL KM  
19+990”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

**M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta**

**AUTORES:**

**RUÍZ RAMÍREZ, Rider**

**INFANTE VÁSQUEZ, Moisés**

**TARAPOTO – PERÚ  
2021**

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 – Km 19+990 de la provincia y departamento de San Martín, con el propósito de realizar un diseño de Barreras Dinámicas y su relación para la protección ante la caída de rocas, prevenir accidentes y pérdidas de vidas humanas así como proteger la vía que es una de las más afectadas por las constantes caídas de rocas registradas en épocas de lluvias (Octubre-Abril), además es el medio de transporte terrestre único para la conexión entre la ciudad de Tarapoto y el distrito de Yurimaguas.

El propósito de implementar barreras dinámicas en la carretera Tarapoto – Yurimaguas en el km 19+950 – Km 19+990, es para mitigar los efectos destructivos de las rocas que actualmente presentan daños considerables al tramo en estudio y permitir que los pobladores hagan uso de esta vía sin temor a encontrarse en peligro al transitarla.

Las pantallas dinámicas son estructuras metálicas flexibles cuyo objetivo es detener rocas o material desprendido de un talud, evitando que llegue a una zona concreta a proteger, como pueden ser poblaciones, vías férreas o carreteras. Estas estructuras son muy demandadas por su bajo coste y facilidad de instalación, y son capaces de proteger de impactos de muy amplio espectro en cuanto a energía se refiere. En este trabajo el objetivo es la optimización de material en cada componente por lo que la energía absorbida por unidad de masa es la variable principal a tener en cuenta.

Para el desarrollo de la investigación fue necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de las rocas para determinar el ángulo de fricción, lo cual nos ayudó a determinar el valor límite de resistencia al deslizamiento.

Se investigó un total de 40 metros lineales con el objetivo de diseñar barreras dinámicas, las mismas que fueron diseñadas para lograr la capacidad óptima de retención de las rocas.

Se ha concluido que las barreras dinámicas cumplen con su eficacia al disminuir el impacto del flujo de rocas que afecta a la población, esta evaluación es de fácil y concreto desarrollo para cualquier evaluador. Asimismo, recomienda que el estudio pueda afinarse en el futuro con la validación de más proyectos de investigación que facilitan la instalación y mejoran el funcionamiento donde necesitan ser colocados las barreras dinámicas.

**Palabras claves: Barreras dinámicas, rocas, vías.**

## **ABSTRACT**

This research was developed on the Tarapoto - Yurimaguas highway, Km 19 + 950 - Km 19 + 990 of the province and department of San Martín, with the purpose of carrying out a design of Dynamic Barriers and their relationship for the protection against the fall of rocks, prevent accidents and loss of human life as well as protect the road that is one of the most affected by the constant falls of rocks registered in the rainy season (October-April), it is also the only means of land transport for the connection between the city of Tarapoto and the district of Yurimaguas.

The purpose of implementing dynamic barriers on the Tarapoto - Yurimaguas highway at km 19 + 950 - Km 19 + 990, is to mitigate the destructive effects of the rocks that currently present considerable damage to the section under study and allow the residents to make use of this road without fear of being in danger when traveling.

Dynamic screens are flexible metal structures whose objective is to stop rocks or material detached from a slope, preventing it from reaching a specific area to be protected, such as towns, railways or roads. These structures are in high demand due to their low cost and ease of installation, and they are capable of protecting from impacts of a very broad spectrum in terms of energy. In this work, the objective is the optimization of material in each component, so that the energy absorbed per unit of mass is the main variable to take into account.

For the development of the research, it was necessary to know the physical and mechanical properties of the rocks to determine the friction angle, which helped us to determine the limit value of slip resistance.

A total of 40 linear meters were investigated with the aim of designing dynamic barriers, which were designed to achieve the optimal retention capacity of the rocks.

It has been concluded that dynamic barriers meet their effectiveness by reducing the impact of the rock flow that affects the population, this evaluation is easy and

concrete to develop for any evaluator. It also recommends that the study can be refined in the future with the validation of more research projects that facilitate installation and improve performance where dynamic barriers need to be placed.

**Keywords: Dynamic barriers, rocks, roads.**



## INTRODUCCIÓN

El desprendimiento de rocas de los taludes hacia las vías de transporte terrestre en nuestro país es un problema muy frecuente. Sigilosamente causa grandes pérdidas materiales y humanas. La Red Vial Departamental 5N, específicamente en la carretera Tarapoto - Yurimaguas se encuentra afectado por este grave problema. Las entidades encargadas de la operación y mantenimiento de estas vías no han mostrado interés de invertir en construcciones preventivas e innovadoras que generen seguridad a los transportistas y transeúntes. De esta manera, los autores de esta investigación han considerado pertinente el diseño de barreras dinámicas a lo largo de ciento veinte metros (km 19+950 – km 19+990), considerados como la parte más crítica.

El efecto del cambio climático cada día se hace sentir más en nuestra vida cotidiana. Las estadísticas de los últimos años señalan que estamos ante una reducción en los períodos de retorno o incremento en la probabilidad de ocurrencia de fenómenos catastróficos, que en general arrastran importantes secuelas, luego la demanda de medidas de seguridad se hace cada vez mayor.

En la investigación desarrollada, se realizaron la obtención de muestras del suelo y roca existente en el lugar (tres calicatas). Posteriormente se realizaron los ensayos de compresión simple y carga puntual para rocas, y límites de Atterberg, granulometría y contenido de humedad para el suelo, de esta manera se pudo conocer sus propiedades físicas y mecánicas de las mismas. Los resultados obtenidos fueron que el estrato superficial el limo de baja densidad y la roca clasificada como roca blanda. Además, se obtuvo el ángulo de fricción de la roca que es igual a  $31^\circ$  dato fundamental para el diseño de las estructuras de las barreras dinámicas. La separación entre postes será de 10 metros de longitud, haciendo por lo tanto un total de doce barreras dinámicas a diseñar, las cuales son típicas debido a la similitud de las características del suelo del lugar.

Las barreras dinámicas están formadas por una estructura de geometría variable diseñadas para detener bloques de gran tamaño que se desprenden de un talud.

Estos sistemas se fundamentan en la absorción de impactos mediante la progresiva disipación de su energía cinética, convirtiéndola en trabajo de frenado. Para ello se dispone una malla de cables de acero montada sobre postes metálicos articulados en su base, a los que van unidos cables de disipación de energía, que son los que efectúan la detención. Las pantallas dinámicas para la retención de rocas en laderas inestables están formadas por una red de intercepción, postes anclados al terreno, cables de conexión y elementos disipadores de energía. Estos elementos, gracias a su capacidad de deformación, permiten que el sistema soporte una gran energía de impacto. Durante el impacto el sistema asegura que la energía de la caída de las rocas sea disipada, impidiendo movimientos adicionales.

Los sistemas flexibles tienen un mejor funcionamiento y capacidad de retención, por tal motivo la recomendación final fue la aplicación de un sistema flexible de contención o retención, es decir la implementación de barreras dinámicas de alto rendimiento, reconocidas y probadas.

Este concepto de protección en combinación con limpieza (mantenimiento) de los sistemas después de impactos considerables presenta una solución óptima considerando los requerimientos altos a la seguridad operativa en el proyecto y se basa también en buena experiencia hecha a nivel internacional para casos parecidos o similares, incluso las siguientes razones adicionales:

- Trabajos fáciles para la instalación y el mantenimiento, generando rapidez de estos trabajos.
- Minimizar inversiones necesarias para el propósito de protección o mitigación.
- Medida técnicamente madura e internacionalmente reconocida, aprobada, eficaz y eficiente.

Limpieza fácil y rápida de las barreras después de impactos considerables al igual se muestran tablas y hojas de cálculos realizados por los autores en donde se realiza el procedimiento para llegar al resultado final del diseño de las barreras dinámicas.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Para el desarrollo del presente proyecto se tomó como antecedentes:

#### 1.1.1. Antecedentes internacionales

- Valerio Chimal, Leopoldo (2012) en su tesis **“Barreras Dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caídas de rocas”** se planteó los siguientes objetivos:
  - a) Desarrollar una metodología racional aplicable en las directrices de diseño, planes generalizados, especificaciones de construcción y optimización de recursos en las barreras dinámicas para controlar la caída de rocas en taludes.
  - b) Determinar los materiales en específico para cada uno de los componentes del sistema de protección.

Y sus conclusiones fueron las siguientes:

- c) Fue posible analizar y determinar los materiales existentes en el mercado nacional, los cuales tienen la capacidad de ser empleados en la construcción de la barrera dinámica.
- d) Con la propuesta de diseño y construcción de la barrera, se logró plantear una posible solución para mitigar la caída de rocas en la C.H. Zimapán.

Se podría pensar que el colocar una vasta cantidad de elemento de frenado proporcionaría una elevada capacidad de absorción de energía al sistema, desafortunadamente es una afirmación errónea debido a que los elementos de frenado necesitan la respectiva distancia para que puedan ser influenciados por la energía actuante, por lo que es más probable que la malla alcance su límite de ruptura y los anillos de frenado ni siquiera inicien su deformación.

- La Tesis “**Barreras dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caídas de rocas**” desarrollada por Leopoldo Valerio Chimal, para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2012. Los objetivos de la investigación son: determinar los materiales en específico para cada uno de los componentes del sistema de protección; elegir un software auxiliar para determinar la trayectoria de las rocas y de esta manera prever la ubicación de la red dinámica; y mostrar las ventajas y/o desventajas en cuanto a costos.

El autor concluye que en cuanto al diseño de la barrera, resulta favorable aumentar la separación entre los postes ya que se incrementa la deformabilidad del sistema y así aumenta la capacidad de absorción de energía de la pantalla; la articulación en la base de los postes, además de impedir la generación de momentos flexionantes, contribuye a que no haya falla en los elementos antes de que los anillos de frenado realicen su función; y se debe proteger a la cimentación de posibles fracturas que en un futuro puedan generar fallas del talud. Asimismo, recomienda la ejecución de más pruebas en laboratorio y en campo que proporcionen información más precisa de la mecánica de rocas; propuesta y desarrollo de sistemas de frenado alternos; y que, tras el perfeccionamiento del sistema, se pueda llevar a cabo su construcción y no sea sólo una propuesta de gabinete

### **1.1.2. Antecedentes nacionales**

- La Tesis “**Diseño, Implementación y Construcción de Barreras Dinámicas en la Quebrada Carossio – Chosica**” desarrollada por José Antonio Crispín Huamaní, para optar el grado de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria “La Molina”, Perú, 2017. Los objetivos de la investigación son: elaborar una secuencia de diseño de las Barreras Dinámicas, y describir el proceso de instalación de las Barreras Dinámicas.

El autor concluye que con el uso de la nueva tecnología utilizada, se ha logrado desarrollar la implementación e instalación de las barreras dinámicas en la quebrada Carosio, con el fin de que sea referencia y guía para otros proyectos similares; se definió un procedimiento constructivo, secuencia de instalación adecuada, para la instalación de las barreras dinámicas que contuvieron satisfactoriamente los volúmenes pronosticados; los pernos utilizados para los taludes de la quebrada, con longitud de 9.0 m, y diámetro de perforación de 76 mm; en suelo coluvial, y longitud de 5.0 m, con perforación de 64 mm; en roca, trabajaron de manera eficiente sin ningún problema; el sistema multinivel que se implementó en la quebrada Carosio con la instalación de 4 barreras dinámicas de manera consecutiva, funcionó de manera correcta, debido a que contuvieron todo el flujo de lodos y escombros; y que la parte crítica del proyecto, fue el traslado de materiales, debido a lo accidentada de la topografía. Asimismo, recomienda que la utilización de forma más seguida de los sistemas flexibles como las Barreras Dinámicas, que tiene buenos resultados, siguiendo los procedimientos adecuados para su implementación; considerar un sistema antisocavante en los taludes donde se realizaron las perforaciones, con el fin de protegerlos contra la erosión; realizar una visita a campo completa, al inicio del proyecto para determinar la ubicación de las estructuras; y realizar una topografía As Built, para determinar la geomorfología cambiante de la quebrada con las estructuras instaladas.

- La Tesis **“Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando Mallas Galvanizadas Ancladas, Ciudad Nueva Fuerabamba Apurímac”** desarrollada por Alan Alex Sáenz Serpa, para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, 2017. Los objetivos de la investigación son: evaluar y analizar los cálculos del diseño de un talud en roca mediante los métodos de equilibrio límite; determinar cómo influye la variabilidad de diferentes estratos de roca en el análisis del diseño para la estabilidad de taludes;

y determinar la influencia del uso de mallas galvanizadas ancladas para la estabilidad de taludes.

El autor concluye que la estabilidad de taludes en roca, con el diseño del uso de las mallas galvanizadas ancladas se influye considerablemente para garantizar la estabilidad de taludes, ya que con este tipo de sostenimiento se garantiza el Factor de Seguridad del talud; y que la aplicación, uso e implementación del sistema de reforzamiento como pernos de anclaje y las mallas galvanizadas ancladas se llegara a garantizar la estabilidad y sostenimiento a largo plazo de todo talud rocoso inestable. Asimismo, recomienda que todas las áreas de la construcción, minería y obras civiles el uso de mallas galvanizadas ancladas como medida de sostenimiento anti caída de rocas, ya que garantiza la estabilidad a largo plazo todo corte de talud rocoso; se recomienda disponer el sostenimiento a base de malla de acero galvanizado de doble torsión MT-2 y MT-3 anclada con pernos de arriba abajo; y hacer un plan de seguimiento y monitoreo anual post constructivo del talud estabilizado, ya sea después de la estación lluviosa y así poder verificar el cumplimiento de la estabilidad a largo plazo del talud rocoso.

- La Tesis “**Análisis de Vulnerabilidad ante la probable ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Carossio, distrito de Lurigancho-Chosica, Lima-Lima**” desarrollada por Lizbet Isabel Sánchez Meza, para optar el grado de Ingeniero Geógrafo, Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú, 2018. Los objetivos de la investigación son: evaluar los aspectos físicos de las viviendas expuestas a flujo de detritos; cuantificar el grado de fragilidad ante la probable ocurrencia de flujo de detritos; y estimar el grado de resiliencia ante la probable ocurrencia de flujo de detritos, con perspectiva social en la quebrada en estudio.

El autor concluye que en el ámbito de estudio son 92 lotes los afectados, el grado de fragilidad, concerniente al componente social y

económico son: 0.407 y 0.000 respectivamente; el factor de resiliencia, concerniente al componente social y económico obtenido son: 0.282 y 0.448 respectivamente. Asimismo, recomienda elaborar un plan de Acondicionamiento Territorial, así como también la actualización del Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho-Chosica; realizar programas y capacitaciones a los técnicos especialistas y encargados en temas de Gestión de Riesgo de Desastres de la Municipalidad distrital de Lurigancho; normar con Ordenanza Municipal para declarar las zonas de muy alta vulnerabilidad con franja de seguridad no apta para uso urbano; y Promover y generar instrumentos de Gestión del Riesgo de Desastres por parte de la Municipalidad distrital de Lurigancho.

### **1.1.3. Antecedentes Locales**

- En la región San Martín realizando la búsqueda a la fecha no se ha encontrado información (temas similares).

## **1.2. DEFINICIONES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES**

A continuación, se incorpora al presente trabajo de investigación las teorías básicas referentes a la investigación, y con los cuales se hará más entendible el desarrollo del presente trabajo; estas bases teóricas se detallan a continuación: 1.2.1.

### **1.2.1 Partes de una barrera dinámica**

Las pantallas dinámicas están formadas por una estructura de intercepción, una estructura de soporte y elementos de conexión (ETAG 027). Cada una de estas partes se subdivide en los diferentes elementos mostrados en la Figura 2. A continuación, se describe cada una de las partes detalladamente.

**Figura 1: Partes de barreras dinámicas**



### 1.2.2 Anclajes de barrera dinámica de acuerdo a especificaciones técnicas

#### a) Tipo de suelo para la instalación de anclajes

De acuerdo al estudio realizado, se identificaron los tipos de suelos en los cuales se instalarán los anclajes de las barreras dinámicas.

**Tabla 1: suministro e instalación y puesta en operación**

N° Barrera	Tipo de barrera	Talud Izquierdo	Cauce	Talud derecho
Barrera N°10	UX180 H6	Roca	Suelo	Roca
Barrera N°11	UX180 H6	Roca	Suelo	Roca
Barrera N°12	UX120 H6	Roca	Suelo	Roca
Barrera N°22	UX100 H6	Roca	Suelo	Roca

*Fuente: Ministerio de Transporte*

Suelo: Compuesto por depositas aluviales y de detritos, formados por remoción en masas, los depósitos aluviales están conformado por gravas arenosas o arenas gravosas con presencia de finos limosos y minerales, con bloques de piedra con tamaño hasta 10"; estos materiales se encuentran moderadamente consolidados y por consiguiente compactos.



Roca: En general todos los afloramientos de la carretera Tarapoto - Yurimaguas, son de tipo ígneo e intrusivo, de tipo granodiorita, La mayor cantidad de rocas se pueden clasificar como de regular a buena calidad, poco fracturadas, existiendo zonas con roca superficial fracturada de hasta 1 m, cuyas propiedades geo mecánicas mejoran con la profundidad.

### **1.2.3 Barreras Flexibles de redes de anillos de acero**

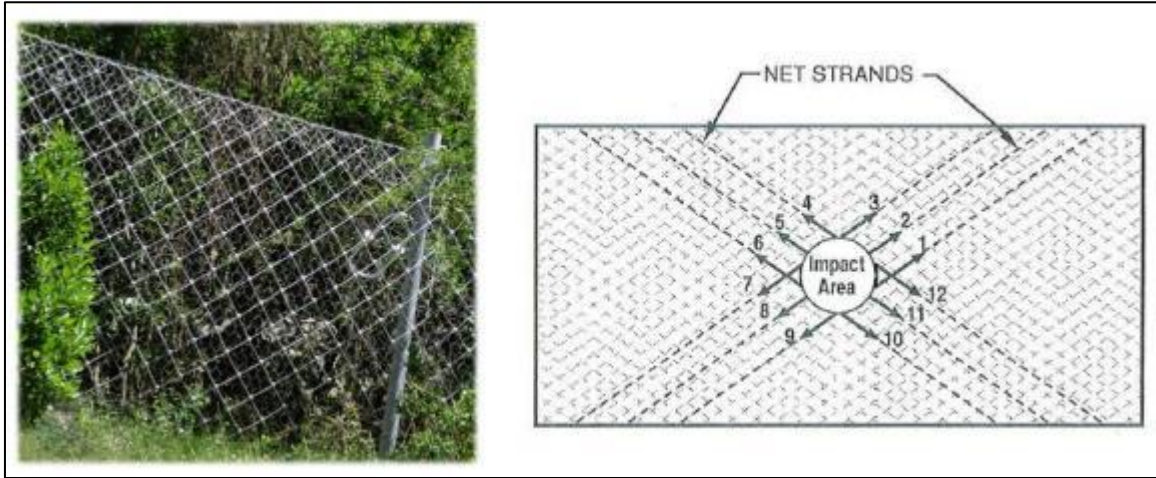
Son barreras constituidas por un entramado modular de redes comúnmente acero, anclados al fondo y a los taludes en la sección transversal del torrente Estas estructuras flexibles tienen una serie de ventajas en comparación con las rígidas; no requieren de obras complementarias, no provocan destrozos en el entorno de la sección transversal, son permeables y mediante el drenaje se garantiza la disminución de las presiones en el trasdós de la estructura. Al ser flexible son resistentes a los asentamientos diferenciales y además no necesita cimentación, con lo cual el fenómeno de socavación y erosión están controlados. (Roberto Luis Fonseca 2010).

### **1.2.4 Zonas de intersección**

La estructura de intercepción tiene como función soportar el impacto directo de la roca, deformándose elástica y/o plásticamente, y transmitiendo las tensiones al resto de elementos de la pantalla hasta la cimentación.

Generalmente consta de 2 capas superpuestas. La principal está formada por una red de cables metálicos entrelazados, malla de alambre o red de anillos, y es la que recibe y resiste las cargas y las transmite al resto de la pantalla. La secundaria, con una retícula más pequeña que la principal suele estar formada por mallas de alambre, cuyo objetivo principal es atrapar las masas más pequeñas evitando que caigan a la zona a proteger.

**Figura 2: Red de cable de retícula cuadrada: a) geometría y b) distribución de las cargas desde la zona de impacto**



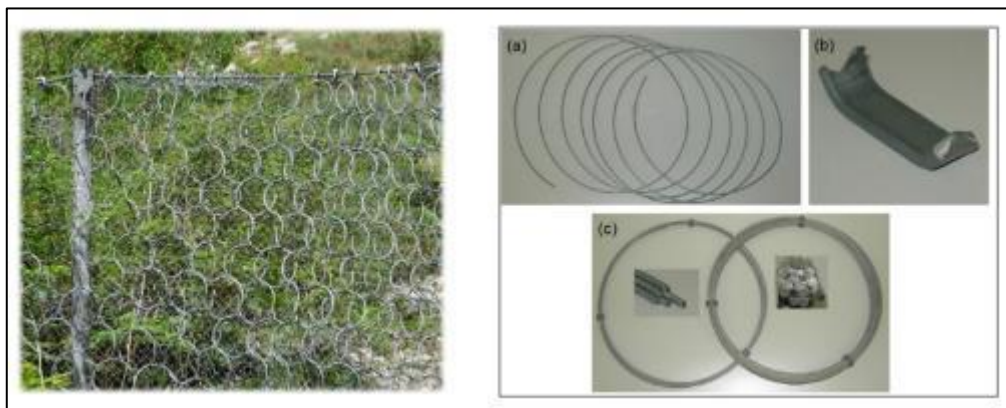
*Fuente: Smith and Duffy 1990*

La red de cable cuadrada está formada por cables tejidos entre sí formando cuadrículas de idéntico tamaño. En cada intersección entre los cables, que corresponden a los vértices de cada cuadrícula, se coloca una pieza metálica llamada grapa, que fija la posición de los dos cables entre sí y restringe el desplazamiento evitando el deslizamiento entre ellos. La distribución de cargas en este tipo de red se produce en forma de cruz desde la zona de impacto hacia los cables perimetrales, tal como se muestra en la figura 2.

La red de anillos surge a partir de las redes empleadas para los submarinos (Peila et al., 1998). Esta red consiste en una serie de anillos entrelazados entre sí. Cada anillo individual suele estar formado por varias vueltas de alambre de alta resistencia, que se aseguran utilizando tres clips metálicos (Figura 3). Los anillos pueden estar dispuestos en dos configuraciones diferentes. En el primer caso cada anillo se conecta con 4 anillos adyacentes, mientras que en el segundo caso cada anillo se conecta con 6 anillos (Figura 4) (Gentilini et al., 2012). La ventaja que presenta este tipo de red reside en su alta deformabilidad, que se traduce en una alta capacidad de absorción de energía. Sin embargo, esta característica puede representar a su vez un inconveniente en tanto en cuanto la flecha que se genera en un impacto puede llegar a tener un valor

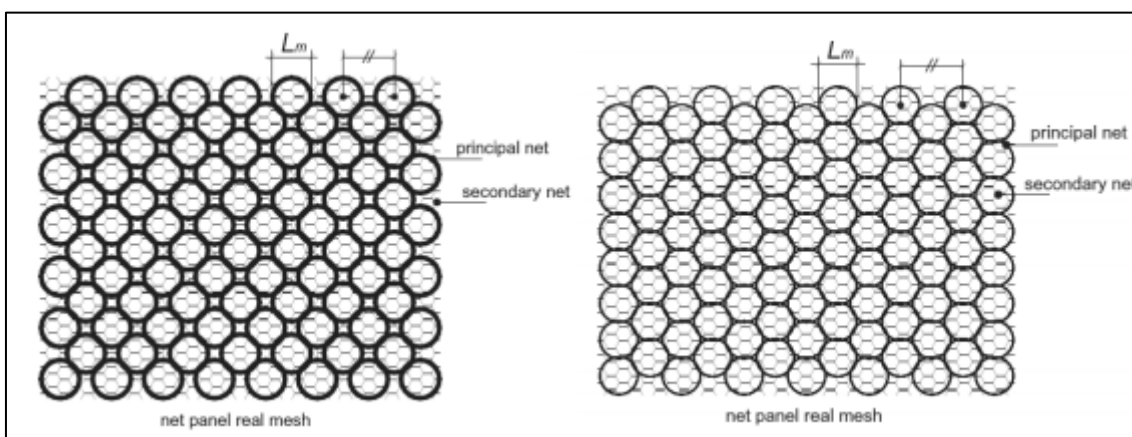
bastante alto, por lo que la pantalla deberá estar situada a una mayor distancia de la zona a proteger respecto al mismo caso con redes de cable.

**Figura 3: Red de anillos: a) geometría y b) componentes de un anillo**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

**Figura 4: Configuraciones de una red de anillos: a) conexión con 4 anillos adyacentes, y b) conexión con 6 anillos adyacentes**

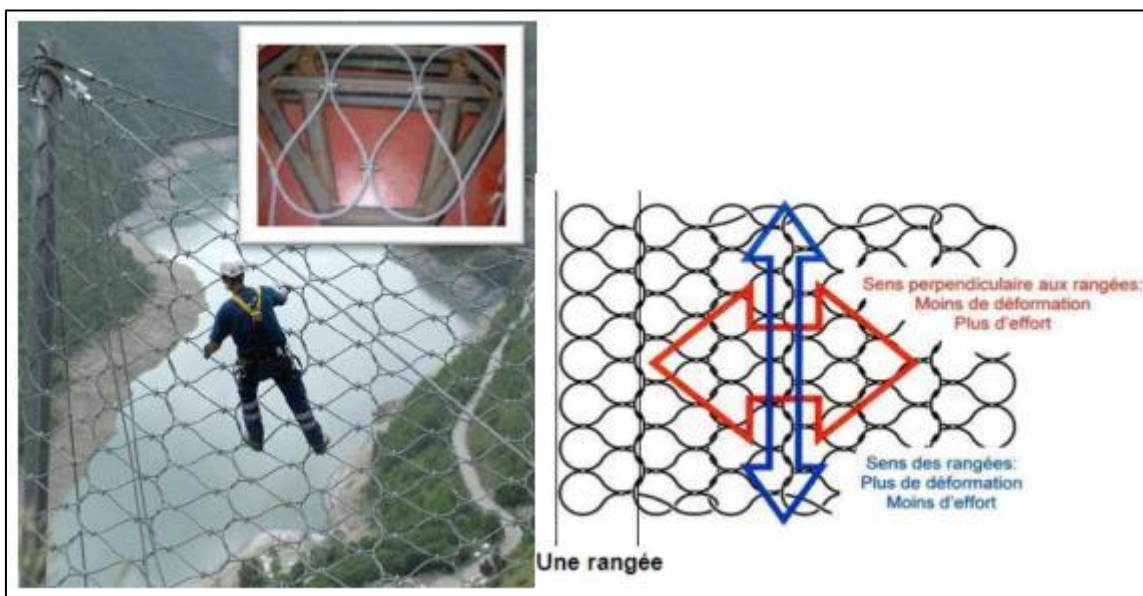


*Fuente: Gentilini et al., 2012*

La red de cable GTS está formada por un cable al que se le proporciona forma de gota de agua (Trumer 2007) fijándose mediante el uso de clips. Cada cable ondulado con sus respectivos clips se entrelaza con el siguiente cable en la misma disposición, y así sucesivamente hasta conseguir un tamaño de paño de la longitud deseada. Los clips son elementos fusibles que se rompen y/o permiten el deslizamiento entre cables unidos entre sí por esta pieza prevaleciendo la integridad del cable.

La geometría de esta red supone una deformación asimétrica de la misma, permitiendo una mayor deformación con menor esfuerzo en la dirección transversal (o vertical), y una menor deformación y mayores solicitaciones en la dirección longitudinal.

**Figura 5: Red de cable G.T.S.: a) geometría, b) patrón de creación de la red por filas y distribución de las cargas y deformabilidad**



Fuente: Gentilini et al., 2012

Por último, la red Omega está formada por varios cables en forma serpenteante que se entrelazan entre sí para formar un patrón (Figura 6). A diferencia de la red G.T.S, esta red no dispone de clips de fijación, siendo el entrelazado el único método de generación del paño. Esto supone un importante ahorro, aunque presenta el gran inconveniente de adoptar una gran distorsión del patrón cuando ocurre un impacto.

**Figura 6: Red de cable Omega**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

### **1.2.5 Estructura de Soporte**

Para que la estructura de intercepción se mantenga erguida se emplean postes de diferentes materiales, geometrías y longitudes.

**Figura 7: Postes actuando como estructura de soporte de la red de cables.**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

Entre los perfiles más empleados se encuentran los circulares y los perfiles en H, cuya diferencia fundamental reside en su resistencia a flexión y torsión. En el perfil circular la inercia se mantiene invariable cualquiera que sea la orientación de la carga. Perfiles abiertos, como los

tipos H, poseen gran resistencia a flexión (elevado momento de inercia) en uno de sus ejes; sin embargo, esta se ve sensiblemente reducida cuando se rota 90°.

Por otra parte, el número y disposición de cables perimetrales y de las posiciones de los vientos laterales y superiores determina la geometría de la parte superior del poste, en la que se suelen incorporar placas soldadas u otros dispositivos más complejos adheridos al perfil.

**Figura 8: Detalle de diferentes partes superiores de los postes**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

### **1.2.6 Componentes de conexión**

Forman parte de este grupo los cables de conexión, cables perimetrales, vientos laterales y superiores, disipadores de energía y sujetacables.

Todos estos elementos de la pantalla se encargan de transmitir las tensiones hacia las cimentaciones y/o mantener la estructura de intercepción en posición correcta.

#### **a) Cables o piezas de conexión**

En este grupo se incluyen los elementos que mantienen unidos la red de intercepción y los cables perimetrales. Este propósito se consigue bien mediante el uso de cables de cosido, que se colocan en forma de espiral teniendo como eje central el cable perimetral y pasando a través de cada retícula del contorno de la red a sujetar (Figura 9a), o bien empleando

grilletes, sobre todo para la sujeción de la red de anillos tal y como se muestra en la Figura 9b.

**Figura 9: Conexión de la red de interceptión a los cables perimetrales mediante a) cables de cosido, y b) grilletes.**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

### **b) Cables perimetrales**

Los cables perimetrales se colocan en el contorno superior e inferior de la red de interceptión. Se unen a los postes mediante piezas o dispositivos adheridos a ellos (Figura 8) con la finalidad de mantener la red erguida y con la máxima área expuesta, y transmitir los esfuerzos provenientes de la red hacia los postes.

Las pantallas dinámicas de alta energía existentes en el mercado suelen disponer de varios cables perimetrales de cada lado de la red, permitiendo de esta manera una repartición de las cargas provenientes de la red de interceptión sobre un mayor número de cables.

### **c) Cables de retención laterales y al monte (vientos laterales y superiores)**

Los vientos laterales son la extensión de los cables perimetrales, desde que se termina la red de intercepción hasta su anclaje en el terreno. Generalmente se sitúan en el mismo plano de la pantalla.

Desde el momento en el que se liberan las restricciones de movimiento en la base de los postes permitiendo el giro de estos, es necesaria la instalación adicional de cables que mantengan los postes en la posición correcta. Estos cables reciben el nombre de vientos superiores, y reciben y transmiten al terreno las reacciones verticales de la fuerza generada por la caída de la roca.

En pantallas de alto nivel de energía, estos cables se acompañan de elementos disipadores de energía, que se detallan en el siguiente apartado.

### **d) Disipadores de energía**

Los disipadores de energía, también llamados frenos, son mecanismos que se incluyen en las pantallas dinámicas para absorber parte de la energía provocada por el impacto de las rocas sobre las mismas, ayudando a reducir tensiones en la estructura (Castanon-Jano et al., 2017). Estos dispositivos transforman la energía cinética y potencial de los materiales que impactan en energía de deformación, fractura o calor generada por fricción.

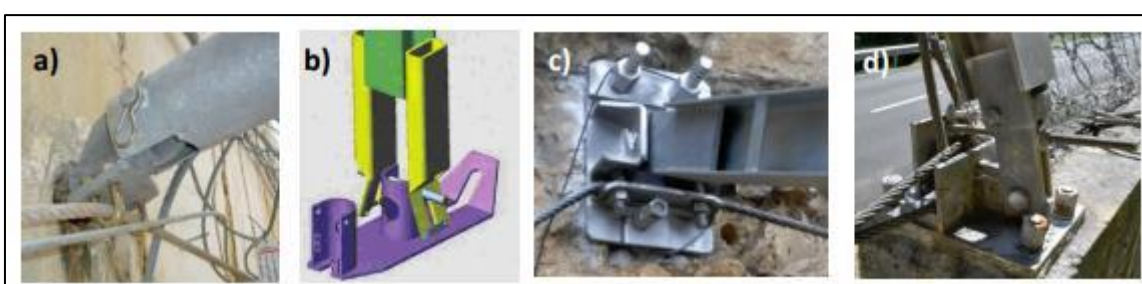
## **1.2.7 Placas base y piezas de conexión al terreno**

Estos componentes tienen como objetivo la conexión de los postes con el terreno. No presentan una tendencia a una determinada geometría. Existen distintas fórmulas, que difieren en la necesidad o no de las placas de anclaje, la ubicación de las guías para los cables perimetrales, la restricción de movimiento creada sobre el poste, etc. En la Figura 10 se presentan 4 ejemplos con diferente número de bulones de anclaje (de 1 a



4 bulones). Este número varía en función de la capacidad energética de la pantalla. Se observa, sobre todo en los 3 primeros ejemplos, que la pieza que ha de conectar el poste con el terreno es mayor cuantos más puntos de anclaje posean. En el primer caso incluso se prescinde de la placa de anclaje al uso y se sustituye por una pieza de conexión que dispone de todos los útiles para conectar el poste y ejercer de guía de los cables perimetrales.

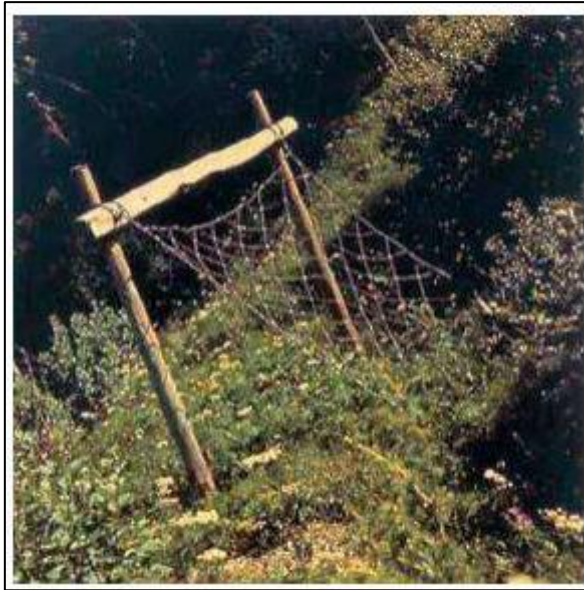
**Figura 10: Placas de anclajes o piezas de conexión de diferentes fabricantes a) Mallatalud, b) Geobrug y c) Mallatalud, y d) desconocido.**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

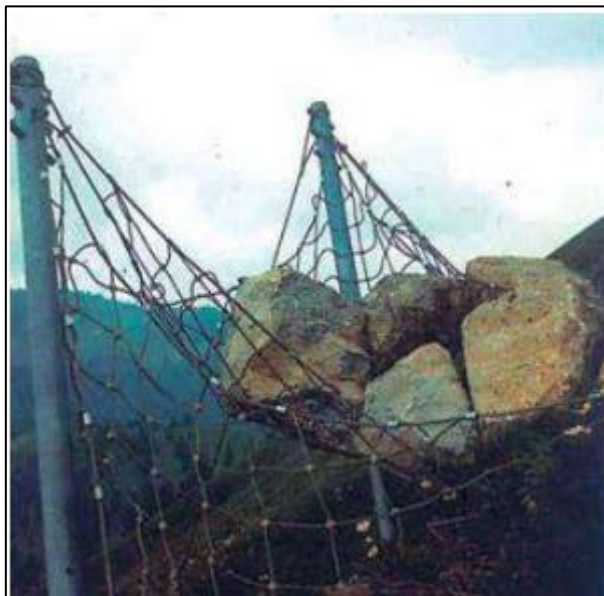
Se tiene un ejemplo impresionante de la eficacia de las estructuras de protección contra la caída de rocas se hizo evidente en 1961 con la estructura de prevención de avalanchas erigido en 1954 en el Stotzigberg, Vasön en el Canton de St. Gallen, Suiza, dónde rocas de un volumen de aproximadamente 3 m<sup>3</sup> fueron capturados y detenidos sin problemas.

**Figura 11: Primeras barreras individuales con marco de madera**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

**Figura 12: Barreras individuales**



*Fuente: Gentilini et al., 2012*

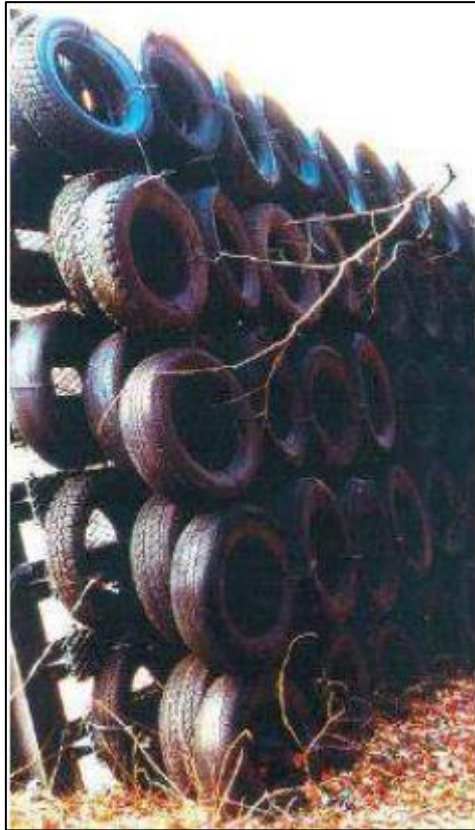
### **1.2.8 Primeras pruebas de campo**

Los métodos de dimensionamiento que se habían convertido en el estándar de protección contra avalanchas aún no estaban disponibles para la mitigación de caída de rocas. Aún no se conocía la energía que dichas construcciones podrían absorber. Esto llevó a las primeras pruebas

sistemáticas de caída de rocas en 1962. En Brunnen en el lago de Lucerna, rocas de 520 N (53 kg) cayeron sobre un silo de cereales desde una altura de 45 m con, por las normas vigentes, un mínimo de energía de 23 kJ en la red de cables de acero asegurada horizontalmente por cables de nylon en un marco de acero (figura 05). La red detuvo las rocas sin sufrir daños, la carretera Axen ubicada en el lugar en cuestión estaba protegido por una galería que aún permanece en el lugar actualmente. En 1968, a propuesta de la compañía de ferrocarriles del BLS, rocas de hasta 10 kN fueron arrojadas por una pendiente hacia una estructura de protección contra caída de rocas que constaba de tres secciones de redes de cable de acero diagonal. La capacidad de absorción de energía especificada para estas estructuras sigue siendo baja. Las personas implicadas llegaron a la conclusión, que el aumento de absorción de energía, expresada por el trabajo mecánico  $W$  efectuado por la caída de rocas en el sistema, a una limitada absorción de fuerza  $F$  del sistema sólo puede lograrse con un máximo posible de trayectoria de desplazamiento ( $s$ ) de acuerdo con la siguiente ecuación:  $W = F \times s$ .

Para estos fines no era suficiente la elongación de 2,5 a 3% de los cables de acero normales, posteriormente se logró desarrollar cables con una elongación de hasta 15%. Las resistencias mecánicas eran demasiado bajas, de manera que el efecto se mantuvo bajo también. El avance se produjo sólo con los elementos de frenado. Estos permitieron distancias de frenado que eran prácticamente sólo limitados por el efecto de captación de la estructura. Para alcanzar la magnitud a la cual los avances han llegado hasta ahora: en las pruebas efectuadas actualmente en el nuevo campo de prueba en Walenstadt, Suiza, un bloque de 96 kN en caída libre desde una altura de 32 m se detuvo por completo después de un trayecto de deformación de 7.2 m sin causar daños graves al sistema de protección.

**Figura 13: Propuesta de las primeras pantallas para el control de caídas de rocas**

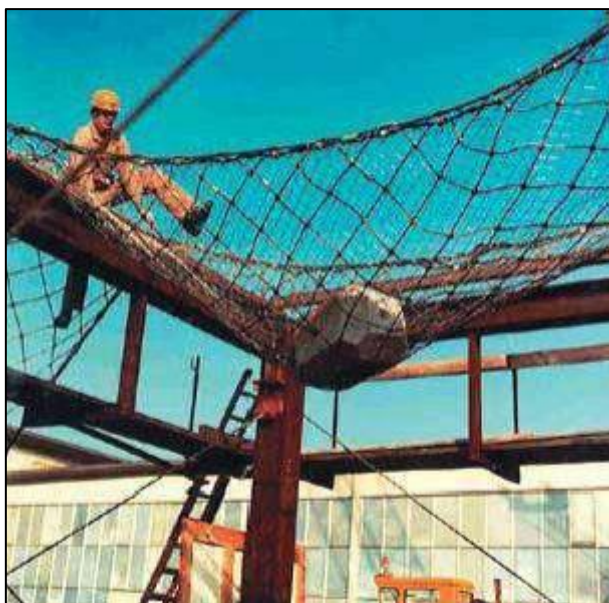


*Fuente: Propuestas de iniciativas*

Desde 1975 en el campo de pruebas de la empresa Kabelwerke Brugg AG en Birr en colaboración con la oficina de ingeniería de Heierli de Zürich, se llevaron a cabo ensayos sistemáticos contra caída de rocas destinadas a la elaboración de sistemas con una capacidad de trabajo superior. Debido a esto, bloques de concreto de hasta 10 kN fueron ejecutados en caída libre por una grúa desde una altura de 20 m en redes de cables de acero tensados horizontalmente. El marco de apoyo constaba de vigas de acero (figura 14). Los elementos de frenado finalmente fueron utilizados por primera vez en estas pruebas. Con el trabajo de gabinete sólo habría sido posible describir brevemente el funcionamiento de las redes de protección contra caídas. Un factor decisivo para el progreso de las empresas dedicadas al desarrollo de los sistemas de protección fue sin duda la experiencia que los mismos empleados obtuvieron con la combinación de adquisición, asesoramiento técnico, participación en la supervisión de instalaciones de producción y

actividad de desarrollo, complementada con la experiencia propia de líderes en la fabricación del cable y, primordialmente, por las pruebas sistemáticas llevadas a cabo.

**Figura 14: Primera prueba de barreras con uso de elementos de frenado**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

Las pruebas descritas en Brunnen, Confederación Helvética (CH) (1962), en Lötschberg, CH (1968) y en el campo de pruebas en Birr, CH (desde 1975) fueron seguidos por la empresa GEOBRUGG para colaborar con la Autoridad de Transporte de California CALTRANS. En 1989 se llevaron a cabo pruebas de rodamiento de roca en una colina de 35 m en Big Sur, luego en 1991 se efectuaron pruebas en la antigua cantera de Oberbuchsite, CH y desde ese momento iniciaron las pruebas en la cantera de Beckenried, CH. Desde 1997, se están llevando a cabo simultáneamente pruebas de campo en Shayupin, Taiwán, y en Itsukaichi, Japón. Las pruebas actuales de caída han ido desarrollándose desde abril de 2001 en el nuevo campo de pruebas de pruebas de Walenstadt, CH, posteriormente, de manera irónica, un grave peligro de derrumbe había retrasado la construcción del campo por más de medio año. Varias empresas europeas vieron la necesidad de realizar pruebas sistemáticas, incluida una empresa suiza, la cual, en 1985 en una cantera de grava

incluyó el primer contrato de suministro. Los ensayos se realizaron bajo el cuidado de la Oficina de Ingeniería Heierli de Zürich. Se realizaron pruebas de caída con una masa de 10 kN con una altura de 20 m (200 kJ).

El sistema de pruebas consistía en un elemento neto tensado en un marco de acero de 5 x 5 m, y equipado con 4 elementos de frenado, el marco se coloca sobre un pozo utilizando frenos de placas especialmente desarrollados y optimizados in situ, como actualmente lo son. En 1988, la empresa Fatzer AG realizó pruebas similares de caída sobre un pozo, utilizando el freno de tubo en forma de anillo.

De acuerdo con la información de Gerber (2001), un total de 343 pruebas se han realizado sólo en Suiza desde el año 1987 en 7 configuraciones de prueba diferentes (Beckenried, Oberbuchsitzen, Giswil, Trübbach, Lungern, Ruthi y Walenstadt). El mayor número de pruebas al año se logró en 1991 con 74 pruebas. Se realizaron pruebas de balance en Beckenried exclusivamente, mientras que las pruebas de caída se llevaron a cabo en Ruthi y Walenstadt, lugares donde actualmente se siguen realizando. Se han instalado teleféricos en los sitios de prueba para el resto de lanzamientos inclinados.

El desarrollo y perfección de los sistemas de protección, ha evolucionado en estos 43 años definitivamente. Esto se manifiesta por el hecho de que la absorción de energía se elevó de entre 50 a 70 kJ hasta 3,000 kJ en este período, en otras palabras, la capacidad de absorción de energía se ha incrementado por un factor de aproximadamente 60.

### **1.2.9 Elementos de frenado**

Los elementos de frenado permitieron los desplazamientos importantes deseados con la disipación de energía por el trabajo simultáneo de la fricción. Era la primera vez que se utilizan los elementos de frenado con las redes de cable de acero para la mitigación de caída de rocas. Bolliger

y Heierli fueron capaces de solicitar una patente para estos frenos de cable en 1975.

Se presentaron en el mercado diferentes elementos de frenado con varias formas de ejecución: 1979 hay informes que, en Francia, fueron utilizadas como elementos de frenado; 3 placas de acero dispuestos en la parte superior de cada uno (figura 015).

**Figura 15: Sistema de frenado a base del ensanchamiento de un tubo de acero**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

A una distancia de frenado de 6 m para casi una absorción de energía lineal de 160 kJ sobre la distancia de frenado.

Una compañía suiza ha estado utilizando, desde 1985, una placa como un elemento de frenado. Aquí, el cable de acero se coloca a través de orificios en la misma placa de acero. En las distancias de frenado entre 1 y 1,5 m la absorción de energía es de 50 y 75 kJ, respectivamente.

Un fabricante italiano desarrolló un elemento de frenado con el que un cono ensancha un tubo de acero. De acuerdo con el productor de este freno la deformación absorbe 50 kJ en una distancia desconocida.

En 1991, la empresa Fatzer AG obtuvo una patente en el anillo del freno llamado. Aquí el cable pasa a través de un tubo curvado de forma de anillo. Originalmente, los dos extremos del tubo se soldaban entre sí por medio de una placa de acero, pero que ahora están comprimidas por una

funda de aluminio (figura 09). Esta funda de aluminio con el que los dos extremos de los tubos están conectados evita la separación del anillo debido al par de fuerzas de planos desiguales de los cables, además de que se mejora considerablemente la capacidad de disipación de energía del anillo de frenado.

La absorción de energía de los anillos de frenado no ha cambiado sustancialmente desde los inicios. Dependiendo del diámetro del cable lo que equivale entre 70 y 140 kJ.

La ley de patentes sólo ha permitido patentar las partes del sistema, pero no el sistema completo. Por lo que ha habido algunos casos de disputas de patentes entre empresas.

**Figura 16: Sistema de frenado a base de anillos**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

#### **1.2.10 Redes de cables de acero**

Si bien las redes rectangulares fueron utilizadas inicialmente para las estructuras de prevención de avalanchas, pronto se reconocieron las ventajas de las redes en forma de triángulo; presentaron ventajas por facilidad de cálculo y ajuste adecuado en terrenos irregulares. De acuerdo a un folleto de una empresa austriaca, las redes triangulares para protección contra avalanchas y caídas de roca se promueven desde 1973. De la misma manera se han utilizado diseños trapezoidales.

Con el paso de los años se ha optado por el uso de materiales auxiliares, tales como cables de acero, la evolución en materiales ha sido con el fin



de mejorar la capacidad de estos sistemas de protección. Hasta la fecha, sin embargo, el diseño de estos sistemas se ha basado principalmente en métodos empíricos, el juicio de ingeniería y experiencia. Esto ha permitido orientar sobre la idoneidad del diseño del sitio, la caracterización de las cargas externas, la selección de la tela, los requisitos de anclaje, y los detalles del sistema. Las primeras redes de cable de alambre para la protección de caída de rocas y avalanchas eran del tipo trenzado en paralelo, mientras que las redes trenzadas en diagonal, se utilizaron más adelante.

Ambos tipos se hacían a mano. La malla de cable sin fin se entrelaza con un cable límite circunferencial. Las redes en diagonal ya se utilizaban en 1975 en las pruebas de caída en Birr, Suiza. Las redes a base de anillos (figura 10) poco a poco han desplazado a las redes en diagonal, sin embargo, ciertas empresas en Suiza aún las utilizan, obteniendo capacidades de absorción de energía hasta de 2,000 kJ.

Las primeras redes de anillo consisten en anillos empalmados y proceden de las poblaciones marinas de los años cuarenta, cuando se utiliza para proteger los puertos contra ataques submarinos. Su inconveniente era la dificultad para eliminar el agente anticorrosión Cosmoline el cual llevó a problemas de eliminación en caso de remoción por medio de solventes. Si no se eliminaba por completo, el agente causaba problemas en el manejo, provocando que las redes terminaran con textura pegajosa y con mal olor. Las primeras redes a base de anillos fueron producidas por la empresa Kabelwerke Brugg AG en 1982 - 1984 para proteger las presas de los torpedos, en el Oriente Medio.

**Figura 17: Redes a base de anillos de acero**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

La geometría de las redes no sólo era sujeta a cambios, sino también el material utilizado para ellas. En un principio eran utilizados para las redes de diagonales; cables de transición y cables en espiral para las redes de anillo. A partir de 1996 las redes de anillos se cambiaron de cables de alambre comprimido a un paquete de alambres paralelos.

De manera simultánea se llevaron a cabo interesantes desarrollos en Francia, donde las redes de cinta de nylon fueron utilizadas inicialmente para fines de prevención de avalanchas y más tarde también para la protección contra caída de rocas. Estas no resultan eficaces, y por esta razón han desaparecido del mercado.

#### **1.2.10.1 Grapas**

Con las redes rectangulares, la malla de cables era originalmente atados en los puntos de cruce. Más tarde, los nudos aplicables a los cables delgados sólo fueron reemplazados por grapas de alambre, sobre todo por medio de grapas cruzadas.

Las primeras pruebas de campo con piedras lanzadas en colinas en Big Sur, California, demostraron que las grapas cruzadas utilizadas por la empresa Kabelwerke Brugg AG no eran lo suficientemente estables. Por esta razón, a partir de 1989, fueron reemplazadas por grapas transversales ranuradas con conexión de fricción la cuales aún se usan

en la actualidad. Una empresa suiza utilizó desde 1985 redes con cables con cruces atornillados.

Hasta 1995 fueron utilizadas grapas atornilladas con placas, cuando se llevó a cabo el cambio a grapas de conexión - fricción.

Para asegurar las conexiones en los extremos de los cables, surgieron comercialmente clips de cable, eran y son pernos utilizados en U.

### **1.2.10.2 Sujeción de Red**

Como es habitual en la protección contra avalanchas, las primeras redes fueron sujetadas directamente a los postes (figura 18). Esta fijación selectiva reveló ser un punto débil, con lo que la introducción de los frenos de cable también requirió un tipo diferente de sujeción. Las redes se fijaron posteriormente por medio de cables con soporte horizontales entre los postes. La fijación fue inicialmente por medio de grapas de cable o con una costura de cable.

**Figura 18: Sujeción de redes en las barreras**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

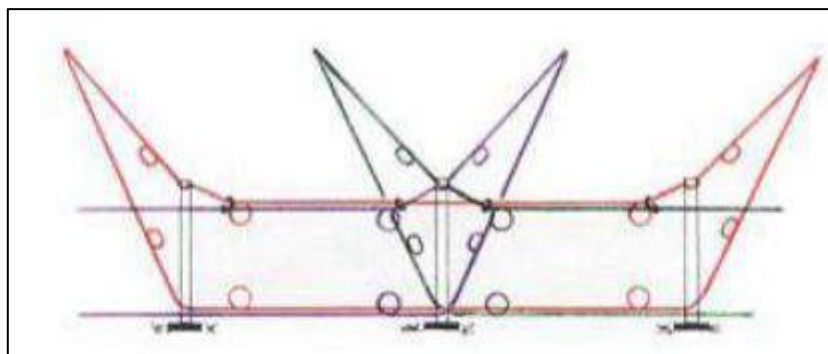
La orientación del cable de soporte era simple al principio. La cuerda de soporte superior corría de un anclaje lateral de la sección en cuestión

en la cabeza del primer poste con un cable guía insertado allí para ese fin, hacia el anclaje en el extremo opuesto, mientras que el cable de soporte inferior corría entre los postes exteriores. Los elementos de frenado se incorporaron en el cable de soporte. Esto, sin embargo, restringió la movilidad de los frenos y provocó daños en la red fija.

En 1978, al principio del proyecto Bannwald Altorf, dentro de las secciones, las redes se sujetaron la mitad en un cable y la otra mitad al otro cable. Aquí de nuevo los frenos de cable se colocaron en la parte libre en cada caso. Sin embargo, en vez de correr en paralelo, los cables se cruzaron. El punto de cruce fue asegurado mediante una grapa. Esta guía de doble cable tiene su origen en una idea de Petitpierre, antes de Kabelwerke Brugg AG, y fue utilizado por primera vez en 1978 en el escudo del bosque protegido de la ciudad de Altdorf, Suiza.

Una de las finalidades del desarrollo de esta guía adicional de doble cable paralelo fue dotar al sistema de la máxima elasticidad y al mismo tiempo, con un máximo altura efectiva restante después de haber sido golpeado. La división en dos mitades ha sido abandonada y las redes ahora están fijas en ambos cables de soporte que corren en paralelo, hacia arriba de los elementos de frenado colocados en los postes. A partir de esto se fijó el cable de soporte sin elementos de frenado y con la red fija al cable que corre delante de los postes, mientras que el cable con los elementos de frenado corre sobre el cable guía en el poste. Esto significa que un cable con los elementos de frenado se mantiene en el poste, mientras el otro no. El cable con los elementos de frenado se puede mover libremente, por lo tanto, reacciona sin restricción a los impactos en secciones cercanas. La figura 19 muestra un cable guía utilizado por la empresa Fatzer AG antes de 1992, incluyendo anclajes delante de los postes.

**Figura 19: Disposición de los cables en la estructura de la barrera**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

### **1.2.10.3 Postes**

Como se mencionó anteriormente los primeros postes utilizados en los sistemas de protección contra avalanchas; eran de madera, sin embargo, para las primeras aplicaciones con fines de protección contra desprendimientos de rocas, se utilizaron postes de acero. En la primera aplicación de 1958 en Brusio se recurrió a los postes tubulares. En una fase temprana se utilizaron postes a base de perfil de riel, después IPB y más tarde se recurrió a los perfiles HEB, mientras que la aplicación de los postes tubulares continuó en algunos tipos de estructuras. Más allá de esto, se llegaron a utilizar postes articulados con puntales en tensión o compresión para aplicaciones especiales.

Buscando minimizar el daño de los postes en caso de ser golpeados, los postes utilizados en Brusio estaban equipados con juntas cardan, una junta que permitía a los postes actuar en forma articulada (figura 20). En 1978 se utilizaron las llamadas uniones rígidas, con un punto predeterminado de rotura en forma de placa fijada al poste por medio de dos tornillos, la función de dicha placa era doblarse cuando fuese necesario, por ejemplo, en un evento en el que la cimentación del poste y el propio poste aún podían absorber energía sin sufrir daños. Tal unión rígida se utilizó por primera vez en Goppenstein, Suiza sobre la South Ramp de la línea ferroviaria Lötschberg.

En la actualidad, la gran mayoría de los postes cuentan con una articulación; una pieza intermedia hecha de dos piezas de chapa de acero que permite un efecto de resorte transversal al plano del poste. La falla en el momento adecuado de esta pieza intermedia sirve para evitar daños en el poste y su cimentación.

**Figura 20: Apoyo articulado en la base de los postes**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

#### **1.2.10.4 Cimentación de los postes**

Con el paso del tiempo las mallas dejaron de colocarse en los muros de soporte o estructuras de concreto armado, por lo que se recurrió a zapatas aisladas como cimentación para los postes, o por medio de taquetes de uso rudo, el poste se atornillaba a la zapata por medio de una placa base.

Aproximadamente desde 1989 se renunció a las zapatas aisladas como cimentación debido a su complejidad y alto costo, particularmente en sustratos inestables. La cimentación ahora consiste en una placa base que se fija por 2 clavos. Como regla; el clavo cuesta arriba está inclinado en un ángulo de 45° contra la vertical cuesta arriba, mientras que el clavo cuesta abajo está en vertical, utilizado como micropilote. Esto

significa que el clavo cuesta arriba se somete a mayor tensión, y el clavo cuesta abajo a un esfuerzo cortante y normal. Sin embargo, ambos están sujetos a considerables momentos de flexión en la cabeza, razón por la cual, la parte cercana a la superficie puede ser reforzada por una protección de tubo de acero.

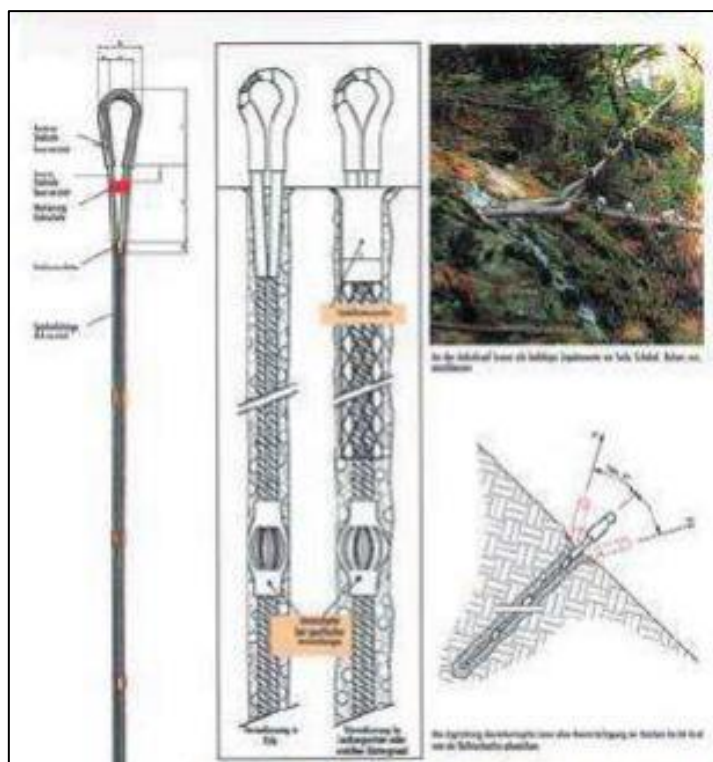
Dependiendo de la estabilidad del sustrato, los pilotes están hechos de aceros EWI o anclajes autoperforantes, por ejemplo, el sistema de Ischebeck. En Francia, algunos sistemas sin cimentación en los postes, lograron sobrevivir. Los postes tubulares permanecen cuesta abajo del plano de la red, se colocan en el suelo por medio de placas base clavadas de manera especial y asegurados a los anclajes cuesta arriba por medio de cables a nivel de suelo.

#### **1.2.10.5 Anclajes Traseros**

El desarrollo de técnicas y métodos es tal que los anclajes traseros de los postes también se han modificados. Inicialmente, los postes eran simplemente anclados en la parte trasera cuesta arriba en el plano de inclinación del talud. En 1988, algunos fabricantes cambiaron por más estabilidad a base de anclajes en la parte posterior, basados en 2 cables con proyección horizontal en forma de V la cual era capaz de disminuir la componente de fuerzas que actúa paralelamente al plano de la malla. Dependiendo del sistema, ahora se puede prescindir totalmente de anclajes posteriores para energías inferiores a 300 kJ, sujetos a un óptimo dimensionamiento de postes y las anclas.

Desde los inicios, la transferencia de fuerzas de los cables a los anclajes en el suelo se llevó a cabo a través de anclajes de barras holgadas equipados con pernos, normalmente anclajes GEWI fabricados como anclas SN. De la misma manera, desde 1962, se han utilizado con gran frecuencia anclas de cable, sin embargo, se tuvo el inconveniente de la falta de resistencia a la flexión que proporciona los momentos de fuerzas actuantes en dirección no axial.

**Figura 21: Anclas utilizadas en el sistema de barreras dinámicas**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

#### **1.2.10.6 Distancias entre postes**

En los primeros sistemas de protección las distancias entre postes eran relativamente pequeñas, en Brusio sólo 3m por ejemplo. A finales de los 80's, eran comunes las distancias entre postes de 4 a 6 m, a excepción del proyecto Bannwald Altorf mencionado anteriormente, donde la distancia entre postes era de 10 m. Durante pruebas de campo de Beckenried en 1988 - 1991, se llegó a la conclusión de que las distancias amplias entre postes no sólo reducen la probabilidad de indeseables impactos directos en los postes y cables de sujeción, sino que también permite mayor flexibilidad al sistema y consecuentemente absorbe energías más altas. De la misma manera se genera una reducción de esfuerzos y por lo tanto los costos de los postes y anclajes disminuyen. Desde 1992, se ha optado por estandarizar una distancia entre postes de 10 m.



### **1.2.10.7 Protección contra corrosión.**

Por disposición de la norma DIN 2078 (Instituto Alemán de Normalización), desde los inicios se han utilizado elementos galvanizados como: cables, postes y elementos de unión. Desde 1996, algunas empresas ofrecen sistemas con protección contra la corrosión de acuerdo con el proceso de Galfan (proceso Zn/Al). En este método el zinc es aleado con 5% de aluminio. De acuerdo con opiniones independientes, por ejemplo, de la EMPA (Laboratorios Federales Suizos de Pruebas e Investigación de Materiales), esta protección contra la corrosión alarga la vida útil en un factor de aproximadamente

3. Se recomienda en particular cuando las estructuras de protección están expuestas al rocío de niebla, a la sal utilizada contra el hielo de las carreteras o condiciones particularmente agresivas por otras razones, por ejemplo, en zonas costeras. Anteriormente, además de la galvanización, también se utilizaron redes revestidas adicionalmente con pintura verde anticorrosiva.

### **1.2.10.8 Instalación y Mantenimiento**

Al principio la construcción de una estructura de protección era un trabajo para especialistas, sin embargo, una constructora ordinaria es capaz de instalar un sistema por sí sola después de unas breves instrucciones, y a su vez, las mallas se han ido fabricando de sistemas modulares de fácil montaje desde 1991, lo que ha amplificado el número de personas capaces de realizar este tipo de trabajos.

La cuestión del mantenimiento y de los gastos relacionados, son mucho mayores particularmente donde se producen caídas de rocas con mayor frecuencia. Un progreso considerable hacia la minimización de costos de mantenimiento se logró con la filosofía de dimensionamiento desarrollado por Duffy & Haller; la cual se basa en el nivel de energía de caída de roca en complemento con la frecuencia con la que se producen en el lugar en cuestión.

### **1.2.10.9 Estandarización**

Al parecer la estandarización no ha podido desarrollarse al mismo paso con el que los sistemas de protección evolucionan. La estandarización, obviamente, sólo es posible cuando se reconoce en general el estado de la tecnología más avanzada que existe. Si bien existen normas en otras áreas de la tecnología; para conexiones de cable, componentes de acero de construcción, protección contra la corrosión por galvanización, etc., más este no es el caso para las estructuras de protección contra caída de rocas como sistemas.

Hasta la fecha no existen aprobaciones de construcción general ni de supervisión de los sistemas de protección contra caída de rocas. Pocos sistemas en el mercado son capaces de referirse a las pruebas supervisadas y evaluadas por instituciones independientes. Muchos proveedores son muy renuentes a publicar información sobre las pruebas. Lo que provoca que los clientes se enfrenten al problema de tener que decidir entre diferentes sistemas, por criterio del precio y no por criterio de estandarización.

Esta no es la única razón por la cual la Organización Europea de Aprobación Técnica (EOTA) fundada en el 2000 y el banco de pruebas establecido para las pruebas de certificación en Walensee en el contexto de la guía suiza de la SAEFL que entró en vigor en junio de 2001, representan un gran avance. Un adecuado certificado que confirme la compatibilidad con el medio ambiente también sería útil para los despliegues en la normativa de protección del medio ambiente cada vez más exigentes.

Actualmente los sistemas de protección contra caída de rocas se utilizan en todo el mundo. Cuando no es el caso, por lo general es debido a las circunstancias sociales, pero esto sin duda progresivamente va cambiando, también en los países más pobres, con el firme objetivo de optimizar los sistemas de protección contra caída de rocas.

Con el comportamiento del avance de tecnologías, se puede predecir que en los próximos años, se alcanzará una absorción de energía mucho mayor. Los intentos de un cálculo numérico de los sistemas, se han venido realizando desde hace algún tiempo y los proyectos de investigación previstos, arrojan que la prueba a escala 1:1 contribuirán a dicho calculo dentro de unos años.

En los últimos años, las mallas de cable de acero han mostrado una aplicación adecuada en otras áreas, aparte de la protección contra caída de rocas. Como, por ejemplo:

- a) Cubiertas para taludes y paredes rocosas.
- b) Las solicitudes para fines de prevención de caídas de rocas.
- c) Protección contra deslizamientos de tierra húmeda.
- d) Protección de caída de madera y hielo.
- e) Protección en explosiones y/o trabajos de voladura.
- f) Prevención contra terrorismo.

### **1.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

#### **1.3.1 Barreras Dinámicas**

Según Luis Fonseca (2013), manifiesta que las barreras dinámicas es un sistema de protección contra la caída de rocas, constituido por un obstáculo que se interpone a las posibles trayectorias de los desprendimientos, deteniendo los bloques y transformando la energía cinética que llevan dichos bloques en descenso, en un trabajo de deformación, sin que se produzcan importantes deterioros en la misma y acumulando los materiales componentes del desprendimiento. Las obras de protección de este tipo, se diseñan para soportar impactos de rocas de diferentes pesos, volúmenes, formas y velocidades. En general estas estructuras han de ser diseñadas para soportar fuertes impactos, en intervalos de tiempo muy pequeños. Las rocas pequeñas que caen a gran

velocidad, pueden causar efectos de similar magnitud, a los que ocasionan grandes bloques a pequeña velocidad.

(IQUOS 2014). Presenta que los elementos que componen a la pantalla son los siguientes:

- **Estructuras de Apoyo:** Constituida por una serie de perfiles de acero dispuestos a una distancia constante con el propósito de mantener la estructura de cierre en la posición apta para interceptar las trayectorias de las piedras.
- **Estructura de Unión:** Constituida por cables de acero, adecuadamente dispuestos para que mantengan la estructura de cierre y de apoyo en la correcta posición, además de transmitir las solicitaciones a los anclajes. En los cables de “monte” y laterales se colocan los disipadores de energía, cuya función es también la de reducir las cargas, permitiendo un alargamiento de los cables, y por lo tanto, una deformación de la estructura durante el impacto, evitando así las concentraciones de tensiones.
- **Estructura de fundación:** constituida por una serie de anclajes de “montes” y “laterales”, a distancia constante respecto del plano de la pantalla. También se utilizan barras de acero o micropilotes. Los anclajes de monte tienen una profundidad variable en función a las características mecánicas del terreno de fundación. La función de esta estructura es la de transmitir cargas al terreno.

La estructura completa ocupa un espacio de 4 m de ancho y necesita un plano de colocación bastante regular. En algunos modelos de barreras, es necesario instalar tirantes de cable al “valle” para darles a los postes de inclinación adecuada (habitualmente  $15^\circ$ ), aunque en ocasiones se consigue a través de la regulación de la placa base (bisagra mono direccional).

(Luis-Fonseca, Sanz Raïmat 2013). Desde junio de 2001 la Oficina Federal de Medio Ambiente de Suiza, elaboró una normativa para la homologación de los kits de barreras dinámicas para la protección contra desprendimientos rocosos la Guideline for the approval of rock protection kits. Este documento normativo establece de forma rigurosa la metodología para ensayar los sistemas, con el objeto de garantizar su perfecto funcionamiento. Esta normativa ha sido muy bien acogida por países donde los problemas de desprendimientos tienen un peso muy importante, es de uso obligatorio en Suiza, en algunas regiones de los Estados Unidos, en Australia y Japón entre otros países, y muy recomendada en Andorra para la protección de viviendas y carreteras con elevada intensidad de tráfico.

El requisito más importante exigido por esta Normativa es el ensayo a caída libre vertical a escala natural como paso previo a la certificación y comercialización. Este punto es básico para garantizar la energía de diseño, así como elongación máxima, necesario para poder aplicar estos sistemas como sistema para la protección contra caída de rocas con el concepto de “zona de sombra”.

- **Caída de Rocas:**

(Gaziev, Erast G., 1977). El fenómeno del desprendimiento de rocas sobre obras de ingeniería, a pesar de ser un problema tan antiguo como las mismas obras, aún no se encuentra totalmente solucionado, debido entre otros factores, a la variedad de situaciones que se pueden presentar, requiriendo cada una de ellas un tratamiento y solución específicos.

En el momento en el que se plantea el análisis de estabilidad de taludes rocosos, surge la duda si es correcto utilizar las leyes clásicas de mecánica de la deformación y de la falla de los medios continuos, aplicando la ley de Coulomb para describir la resistencia al esfuerzo cortante. Son herramientas y principios necesarios para el estudio de los

suelos, sin embargo, son inaplicables a los macizos rocosos debido a la discrepancia de volumen de partículas consideradas.

En inicios se pensaba erróneamente que la mecánica de rocas no existía como ciencia independiente, y que sólo era una rama de la mecánica de suelos o de la geología ingenieril

(Jiménez Salas J.A., Justo Alpañes J.L., 1975). Los suelos, aunque microscópicamente pueden tratarse como sólidos, tienen propiedades muy peculiares, pues en realidad son conjuntos de partículas. Por el contrario, las rocas son aglomerados de cristales estrechamente unidos que a la escala que le interesa al ingeniero, tienen un comportamiento que se aparta del que se puede esperar de un sólido. Esto se debe a que la masa rocosa está surcada en general de varias familias de litoclasas, que no son más que superficies de debilidad que la dividen en bloques. Cada bloque está compuesto por una roca matriz, que puede ser mucho más resistente e indeformable que la masa rocosa.

- **Fragmentación natural**

(Valerio Chimal L., 2012). Todo macizo rocoso natural se encuentra dividido en bloques irregulares, resultantes de litoclasas originadas por esfuerzos tectónicos o por planos de estratificación. El comportamiento de un macizo puede estar influido de manera importante por la orientación de los planos de fisura; estos, en ocasiones tienen direcciones preferentes o pueden presentarse completamente al azar. El fisuramiento es una de las características de la fragmentación natural que deberá conocerse en detalle para estimar el tamaño de los bloques y prever el funcionamiento del macizo en cualquier obra de ingeniería.

- **Deformabilidad**

La deformabilidad, al igual que la resistencia a cortante de un macizo rocoso, son las propiedades mecánicas que dependen de la resistencia, compresibilidad y grado de fragmentación del material pétreo que constituye los bloques del macizo.

Pruebas de laboratorio. Investigaciones realizadas prueban que los materiales policristalinos pasan a través de diferentes etapas durante su deformación, las cuales determinan su comportamiento bajo la acción de la carga.

La primera de ellas se refiere al paso del material a través de su primer límite de estructura compacta a estructura micro destruida y de está a la ruptura. Los principales problemas de trabajo bajo la carga estática y dinámica de los materiales policristalinos, como son los materiales rocosos y el concreto, generalmente están unidos con el proceso de su destrucción microscópica.

- **Permeabilidad**

La permeabilidad de un macizo rocoso es función de la fragmentación, abertura de las fisuras, presión de agua y del estado de esfuerzos en la roca. La mayoría de las rocas naturales contienen agua y, si existe un gradiente hidráulico, el agua está en movimiento a través de las fallas, grietas y poros de la roca. Con la profundidad aumenta la presión, la cual en ocasiones determina definitivamente el comportamiento del macizo rocoso.

Las presiones hidráulicas son de una magnitud comparable con los esfuerzos de gravedad y generan fuerzas importantes sobre las superficies de las discontinuidades dentro de la masa rocosa. Adicionalmente, estas fuerzas hidráulicas producen reducciones en los esfuerzos efectivos, los cuales disminuyen la resistencia al cortante al reducirse la fricción en la discontinuidad.

Estas fuerzas hidráulicas fluctúan de acuerdo a los cambios climáticos y generan procesos de carga y descarga de los esfuerzos internos del macizo, produciendo mecanismos de deterioro de irreversible.

Se supone que el flujo del agua por las fisuras de la roca obedece a la ley de Darcy, donde la velocidad del flujo es proporcional al gradiente hidráulico. Para determinar qué tipo de estabilización es la más

conveniente y da mejores resultados se debe hacer un análisis el componente que se comporte mejor en el suelo y sea económico.

(Londe P., Sabarly F., 1966). Estudios realizados en Francia mostraron que la permeabilidad de un material rocoso depende del estado de esfuerzos al cual está sometido.

### **1.3.2 Estabilidad de Taludes y Mecanismo de rotura**

(Hoek, Evert, Practical Rock Engineering, 2006, pp. 143-144). En cualquier terreno que no sea horizontal, por las leyes de la estática, existe una serie de fuerzas que tiende a nivelarlo. Los desprendimientos generalmente son iniciados por algún acontecimiento climático o biológico que causa alteración en las fuerzas actuantes sobre una roca. Estos acontecimientos pueden incluir aumentos de presión de poro debido a la infiltración de precipitación, erosión de material circundante durante fuertes lluvias, los procesos de deshielo en climas fríos, la degradación química o el desgaste de la roca, crecimiento de raíz o apalancamiento por raíces que se mueven a causa de vientos. En el entorno activo de una construcción, el potencial para la iniciación mecánica de un desprendimiento probablemente será de uno o dos órdenes de magnitud mayor que los acontecimientos de iniciación climáticos y biológicos descritos anteriormente.

El mecanismo de rotura es la descripción del proceso físico que se produce en el macizo rocoso con el aumento de la carga o con la disminución de la resistencia y cuando el movimiento empieza y se propaga a lo largo de todo él.

### **1.3.3 Medidas para reducir caídas de rocas**

La estabilización de un macizo rocoso tiene por objeto reducir la posibilidad del movimiento de los bloques o masa de roca. Así mismo se disminuyen los procesos de deterioro por erosión y se evitan el afloramiento y la rotura progresiva subsiguiente del macizo rocoso. Dicha estabilización puede lograrse mediante refuerzo del macizo utilizando



elementos estructurales, conformación de la superficie del talud o construyendo obras de drenaje y/o subdrenaje. Debido a la complejidad del comportamiento de los macizos rocosos es difícil evaluar cuantitativamente la efectividad de los métodos de estabilización.

#### **1.3.4 Protección contra desprendimiento de rocas**

Existen taludes muy altos y escarpados, que son prácticamente acantilados o cañones; es aquí donde resulta imposible estabilizar, empleando alguno de los métodos vistos anteriormente. Entonces no queda opción más que permitir que ocurran los desprendimientos, por supuesto, buscando las soluciones posibles para su contención y/o aminoramiento, pues los fragmentos que caen pueden llegar a alcanzar altas velocidades y energía cinética, lo cual hace el fenómeno sumamente peligroso y complejo de afrontar.

Un punto importante de estas estructuras es su capacidad de absorción de energía, por lo que la selección y el diseño de un sistema apropiado de control de caídos requieren un estudio minucioso del fenómeno.

#### **1.3.5 Análisis de Anclaje**

De acuerdo a cada tipo de barreras dinámica, se ha evaluados las condiciones geomecánicas y geotécnica de los anclajes de las barreras de la quebrada, los cuales han servido evaluar las longitudes de anclajes de cada perno, de acuerdo al requerimiento solicitado por la Barrera, el cual es de 350 KN.

De acuerdo a las evaluaciones de los tipos de materiales que conformaran cada barrera, para los anclajes ubicados en los taludes de cada barrera, para el caso de roca se plantea realizar ensayos en las zonas con condiciones geomecánicas más desfavorables o de acuerdo como se evalúe en campo.

### 1.3.6 Procedimiento de Instalación de barreras dinámicas

- a) El trabajo se inicia con el replanteo de la ubicación de las barreras dinámicas. La ubicación puede ser modificada aproximadamente 5.00 metros aguas arriba o 5.00 metro aguas abajo del punto de ubicación inicial, que se realizó por primera vez en campo, debido a que la topografía de la quebrada puede ser cambiante luego del primer recorrido en campo.

**Figura 22: Inicio de replanteo de ubicación de la barraras dinámicas con wincha y estacas**



*Fuente: Fotografías de procedimiento de campo*

**Figura 23: Marcación de puntos de los postes con wincha y pintura**



*Fuente: Fotografías de procedimiento de campo*

- b) Luego se inicia el replanteo de los puntos de perforación de los anclajes en ambas márgenes, izquierda y derecha. Los puntos tienen que ser marcados de la mejor manera, utilizando una estaca de acero 3/4", para que los especialistas puedan realizar la perforación siguiendo una orientación de 45° con el talud de la quebrada y 15° en la dirección de flujo

**Figura 24: Marcado de puntos para perforación**



*Fuente: Fotografías de procedimiento de campo*

- c) Se inicia la perforación en los puntos marcados con las estacas de acero, en primer lugar, se trabaja con las perforaciones de los taludes en ambas márgenes, luego el avance continúa con las perforaciones en los puntos marcados en el lecho de la quebrada.

**Figura 25: Inicio de perforación**



*Fuente: Fotografías de procedimiento de campo*

## CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las carreteras son el medio de transporte a través de la cual circula la economía de un país, siendo importantes para la distribución de mercancías y transporte de pasajeros que desean movilizarse hacia las diferentes partes dentro o fuera de una determinada región, para establecer comunicación entre municipios y departamentos lo que fortalece las relaciones y el desarrollo social, por esta razón las carreteras se deben construir bajo especificaciones técnicas que garanticen la durabilidad y funcionalidad durante un periodo de vida.

Las carreteras se ven sometidos desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil, a diversos procesos de deterioro y fallas. Sin embargo, a pesar de su gran importancia, el diseño y la construcción de barreras u otros tipos de estructuras de protección requiere de grandes inversiones, las cuales son obras que deben ser analizadas cuidadosamente a fin de lograr estructuras que sean técnicamente realizables, funcionales y económicamente factibles.

En los últimos años los deslizamientos vienen ocurriendo con un ritmo constante en la zona, los deslizamientos, derrumbes, reptación de suelos, sismos, etc, interrumpen el tránsito en las carreteras, generando que cientos de vehículos queden varados, como es el caso de la Carretera Yurimaguas a Tarapoto, afectado por los deslizamientos que causan las constantes lluvias e interrumpe el tránsito vehicular.

Los deslizamientos ocurren en cualquier talud y ladera natural inestables, por lo que se proyecta o plantea en la presente tesis colocar las barreras dinámicas para evitar causar daño la carretera y a la vez disminuya el impacto que se genera cada vez que hay las lluvias y mas aun en las temporadas de lluvias.

Es por ello que se hace necesario realizar los efectos de las mallas dinámicas en las pérdidas o daños en los eventos de aluvión y/o flujo de detritos en la carretera y determinar si logró su cometido y en qué nivel ha influido si es que hubo algún cambio con respecto a las pérdidas o daños previos a la instalación de las mallas dinámicas, así mismo de esta manera verificar la sostenibilidad del proyecto realizado.

Es relevante recalcar que se debe conocer muy bien las propiedades físicas y mecánicas del suelo en donde se piensa construir o colocar las barreras dinámicas. Además, realizar los estudios básicos adecuados para llegar a resultados óptimos es la clave en este tipo de investigación. La tecnología debe ser nuestro principal aliado durante este tipo de investigaciones.

La ingeniería necesita investigaciones nuevas, realizando metodologías entendibles, para solucionar problemas urgentes. El desarrollo económico y social del país se verá influenciado con la puesta en marcha de nuevos métodos para solucionar problemas que afecta a la población.

Esta problemática, se presenta en la carretera Tarapoto – Yurimaguas y hemos escogido este tramo, porque se ha notado la constante caída de rocas, sobre todo en épocas de lluvias, lo que sin duda constituye un peligro latente para los usuarios de la vía.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.2.1 Problema General:**

¿Cómo se relaciona el diseño de las barreras dinámicas con la protección ante las caídas de rocas en el Tramo Carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990?

### **2.2.2 Problemas Específicos:**

¿Cómo influyen las precipitaciones pluviales registradas en la zona, en el desprendimiento de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990?

¿Cómo se determinará las propiedades físicas y mecánicas de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas Km 19+950 al Km 19+990?

¿Cómo se Identificará el tipo de formación de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas Km 19+950 al Km 19+990?

## **2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación se justifica, debido a que propone una alternativa de solución, respecto a caída de rocas en la carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990, y de esta manera mejorar la transitabilidad en el tramo y evitar posibles muertes por caída de rocas en la vía.

Esta situación de caída de rocas, se ha visto desde hace mucho tiempo en diversos tramos de la carretera, por lo que plantear una solución, abrirá la posibilidad de ejecutar una propuesta efectiva ya que funciona en varios lugares donde se ha construido y de esta manera solucionar un problema latente en las zonas críticas de caídas de rocas

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 Objetivo General**

Diseñar las barreras dinámicas y determinar su influencia en la protección ante las caídas de rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la influencia de las precipitaciones pluviales registradas en la zona, que actúan en el desprendimiento de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas Km 19+950 al Km 19+990.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990.

- Identificar el tipo de formación de las rocas en la Carretera Tarapoto – Yurimaguas, Km 19+950 al Km 19+990.

## **2.5 HIPÓTESIS**

### **2.5.1 Hipótesis General**

El diseño de barreras dinámicas genera resultados favorables en la protección ante las caídas de rocas en el tramo carretera Tarapoto – Yurimaguas Km 19+850 al Km 19+990.

## **2.6 VARIABLES**

### **2.6.1 Identificación de las variables**

#### **Variable Independiente**

Diseño de barreras dinámicas.

#### **Variable Dependiente**

Protección ante caídas de rocas



## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1 Tipo de Investigación

La investigación realizada fue de tipo descriptiva - comparativa.

#### 3.1.2 Diseño de Investigación

**Descriptiva**, porque se realizará una recopilación de datos de campo y luego se procesará en gabinete.

### 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.2.1 Población:

Los tramos con caídas de rocas en la carretera Tarapoto – Yurimaguas.

#### 3.2.2 Muestra:

Tramo de la carretera Tarapoto – Yurimaguas Km 19+950 al Km 19+990.

### 3.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.3.1 Técnicas

Utilizamos como técnica la inspección visual que consistió en el recorrido personal y vehicular observando y evaluando el tramo en investigación.

#### 3.3.2 Instrumentos

Elaboración de una Ficha de Inspección Visual General de la zona de investigación.

Se sacará muestras de suelos para el análisis del mismo.

#### 3.3.3

Nos basamos en el procesamiento de la información obtenida en campo y realizando los diseños en gabinete.

### 3.4 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

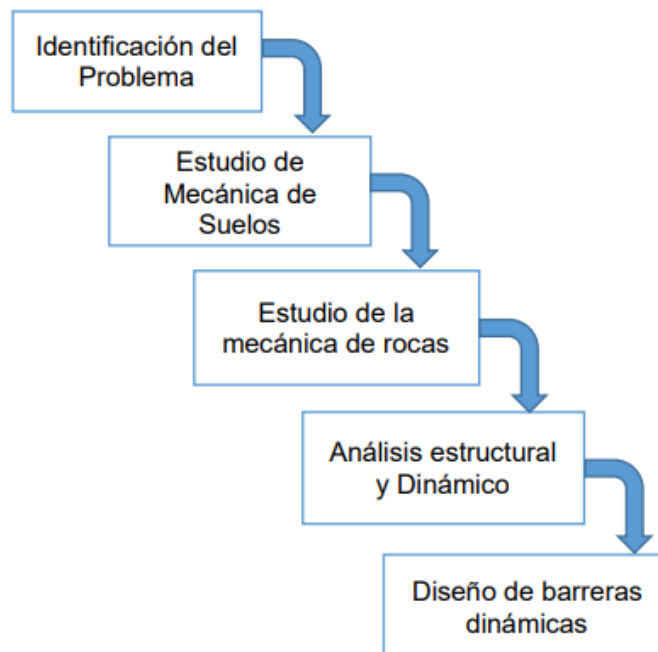
Se hará un procesamiento computarizado de la información.

Los resultados se plasmarán en propuestas de solución a la problemática

### 3.5 MÉTODO DE ESTUDIO DEL CASO

Las barreras dinámicas se clasifican según su comportamiento como: barreras dinámicas de deformación plástica y barreras dinámicas de deformación elástica. Para ejecutar el presente trabajo de investigación solo estudiaremos exclusivamente las barreras dinámicas de deformación elástica ya que presentan elementos deformables temporalmente, la absorción de energía cinética está en función de la resistencia de los materiales por las que está compuesta el sistema. Mientras que las barreras dinámicas de deformación plástica, pueden absorber cantidades considerables de energía cinética tras deformarse.

La metodología que se empleó en la investigación es la siguiente:



Tal y como ya se avanzó en la introducción de esta tesis, los trabajos que se dedican a plantear una metodología de diseño para pantallas dinámicas son prácticamente inexistentes.

Uno de los pocos autores que trabajó sobre este tema es Roberto Luis Fonseca (Tesis Fonseca), actual director de la empresa Geobrug Ibérica, dedicado a la creación de sistemas de protección de taludes. En su tesis diseñó una de las primeras pantallas dinámicas que aparecieron en España, cuyo procedimiento (diseño mediante deformación a rotura) fue el siguiente:

- a)** Obtención de resultados de laboratorio de carga a rotura a punzonamiento de la malla y de la deformación máxima a tracción en mm/m.
- b)** El freno que se utilizó en su trabajo se compone de bandas de elastómeros que comprimen para incrementar la longitud de los cables. En este paso se decide el número de elastómeros y se obtiene la extensión que produce en el cable. Esta extensión se suma a la elongación propia de los cables al traccionarse por lo que se obtiene la elongación total de los cables perimetrales.
- c)** Se fija un ángulo de rotación límite para los postes.
- d)** Se realiza un esquema de análisis de la pantalla en su posición límite, que permite el cálculo de fuerzas de acción y reacción, deformaciones, desplazamientos y rotación de los elementos de la pantalla.
- e)** Obtenida la reacción en todos los elementos se vuelve al punto II y se ajustan los desplazamientos. Se modifica en caso de ser necesario el N° de elastómeros.
- f)** Se recalculan las reacciones y se dimensionan los elementos en función de dichas fuerzas.
- g)** El valor máximo de energía se calcula como la mitad de la carga de punzonamiento por el desplazamiento máximo de la pantalla.

Este procedimiento es puramente estático e iterativo, tomando inicialmente dimensiones de cables y de frenos que son comprobados a posteriori y corregidos en caso de superar los valores límite de fuerza.

Otro autor, Luis López Quijada, utilizó el siguiente procedimiento para el diseño de su pantalla dinámica:

- I. **Análisis de los parámetros de impacto.** Se trata de obtener el impulso que produce el impacto de un bloque sobre la pantalla. Para ello asume el desplazamiento de la red en el impacto, la velocidad de este y la energía que se obtiene para obtener la duración del impacto. Estos datos permiten obtener la carga máxima en el punto del impacto.

## II. **Diseño mediante la deformación de rotura**

A diferencia del anterior autor, este no tiene en cuenta el incremento de longitud en los cables que puede provocar la extensión de los frenos.

Utiliza el diseño mediante deformación a rotura, obteniendo resultados de carga en los cables muy altos.

Utiliza la misma metodología partiendo desde el último punto hacia el principio; es decir, calcular la energía del impacto, luego la fuerza de choque y hacer que ésta recorra la pantalla mientras se van diseñando las partes. De esta forma se obtienen valores de cargas en los cables más coherentes.

- III. **Diseño pseudo dinámico por trayectorias de cargas.** Se utiliza para determinar las fuerzas sobre cada componente individual. Es una metodología muy parecida a la de deformación de rotura, y la principal diferencia respecto al modelo anterior es que se tiene en cuenta el número de cuerdas efectivas de la red sobre las que impacta el bloque.
- IV. **Diseño estático mediante elementos finitos.** Se crea un modelo muy básico sin frenos en ninguno de los vientos. Además, la red y los cables perimetrales se unieron rígidamente entre sí, por lo que es inviable incentivar el deslizamiento de la red sobre los cables perimetrales, tal y

como ocurre en la realidad. Tampoco se permite que los cables perimetrales deslicen respecto de los extremos de los postes. Los resultados obtenidos, por tanto, pueden considerarse muy conservadores.

- V. **Diseño dinámico mediante elementos finitos:** Al igual que en el caso anterior no se consideró la presencia de frenos ni fricciones y/o deslizamientos entre cables y postes.

### 2.1.1 Análisis de Precipitaciones pluviales

Los autores consideran a las precipitaciones pluviales como un agente importante para el desprendimiento de rocas.

Figura 26: Pronóstico probabilístico a nivel nacional

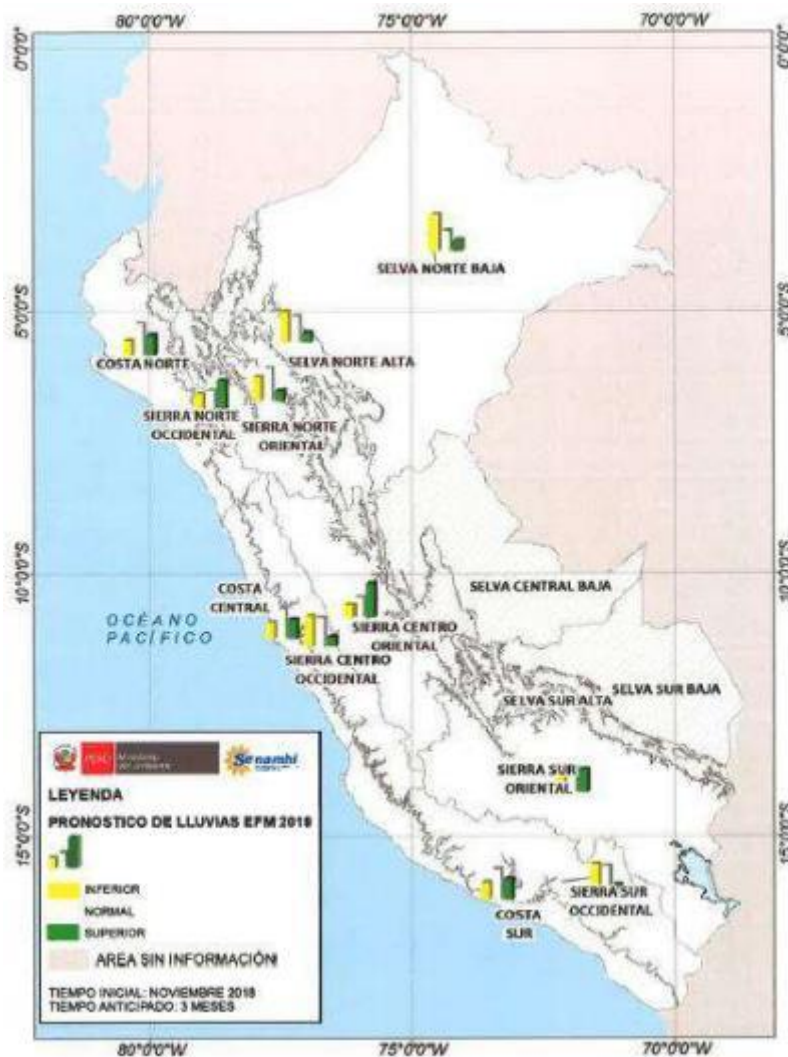
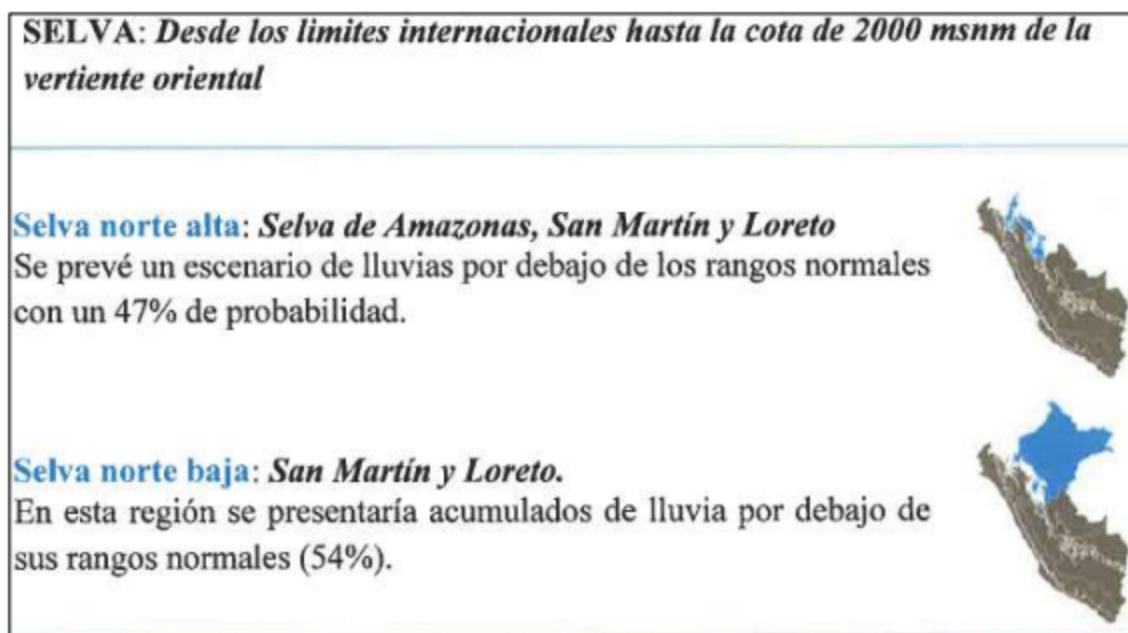


Figura 27: Pronóstico probabilístico de lluvia en el 2021



Fuente: SENAMHI

Figura 28: Valores de probabilidad por regiones según categoría (Inferior, Normal y Superior).

REGIÓN	Nro. De estaciones	PROBABILIDADES			ESCENARIO PROBABLE
		Inferior (%)	Normal (%)	Superior (%)	
COSTA NORTE	31	22	48	30	NORMAL
COSTA CENTRO	11	25	45	30	NORMAL
COSTA SUR	11	25	45	30	NORMAL
SIERRA NORTE OCCIDENTAL	23	25	30	45	SUPERIOR
SIERRA CENTRO OCCIDENTAL	49	45	42	13	INFERIOR
SIERRA SUR OCCIDENTAL	49	45	41	14	INFERIOR
SIERRA NORTE ORIENTAL	19	36	49	15	NORMAL
SIERRA CENTRO ORIENTAL	15	20	30	50	SUPERIOR
SIERRA SUR ORIENTAL	38	30	36	34	NORMAL
SELVA NORTE ALTA	9	47	39	15	INFERIOR
SELVA NORTE BAJA	19	54	30	16	INFERIOR
SELVA CENTRAL	-	-	-	-	SIN INFORMACIÓN
SELVA SUR	-	-	-	-	SIN INFORMACIÓN

Fuente: SENAMHI

La zona en estudio se ubica en la Carretera Tarapoto - Yurimaguas Km 19+950 – Km 19+990 Para hacer un análisis del comportamiento de las precipitaciones pluviales a lo largo del tiempo se han tomado los datos de Precipitaciones máximas mensuales de la Estación Tarapoto. Esto debido a que en la zona no existe una estación de recolección de datos pluviométricos y los autores han decidido tomar de esta estación por ser la más cercana al lugar de investigación.

**Tabla 2: Precipitación máxima mensual**

PRECIPITACION MAXIMA MENSUAL EN mm													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
2013	26.30	19.80	28.50	31.70	17.90	22.20	29.60	42.60	19.80	9.80	38.60	15.60	42.60
2014	23.80	35.80	15.80	46.80	18.80	10.80	55.80	54.40	42.60	27.80	18.80	26.50	55.80
2015	22.80	27.80	12.80	34.00	14.60	22.90	16.60	13.50	21.10	54.90	30.90	24.90	54.90
2016	7.60	24.40	47.40	14.40	29.10	12.30	11.70	26.40	38.70	66.00	9.00	26.70	66.00
2017	32.90	13.60	19.60	21.10	15.30	9.80	17.80	24.80	26.20	7.80	56.90	66.30	66.30
2018	46.30	64.80	28.80	83.40	21.70	23.50	14.20	34.70	30.60	29.70	21.90	30.50	83.40
2019	27.40	57.70	37.20	28.50	27.90								57.70

Fuente: SENAMHI

Con los datos mostrados en la tabla anterior se puede ver que las precipitaciones en la zona en estudio son muy elevadas y que éstas se producen entre los meses de octubre a marzo.

Es importante resaltar entonces que las precipitaciones pluviales son un factor importante para el desprendimiento de rocas y deslizamiento de taludes, facilitando la saturación del suelo y de las rocas en formación existentes en los taludes del tramo en estudio.

Para el desarrollo de la investigación se desarrollaron los siguientes ensayos:

### 2.1.2 Compresión Simple

El ensayo de compresión simple se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación y utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma

de cilindro, generalmente con una relación alto/diámetro igual a 2. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo, en comparación con las pruebas triaxiales, si se desea ir al fondo de los mecanismos de falla que tienen lugar; por el contrario, los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina, por lo menos en apariencia.

También se determinará la resistencia por medio de carga triaxial con control de deformación.

### **2.1.2.1 Muestreo**

Obtener por medio de una prueba de compresión simple, la resistencia del material en estado natural extraído del terreno, la muestra inalterada, es de un tamaño de aproximadamente 20 x 20.

### **2.1.2.2 Objetivos**

- Determinar la resistencia a la compresión simple.
- Definir adecuadamente el parámetro de resistencia "c".
- Interpretar debidamente el tipo de falla que sufrió el material conforme a sus características.
- Reconocer y utilizar correctamente los materiales y el equipo necesario para realizar el ensayo de compresión no confinada, aprendiendo las características de cada uno, y los cuidados que se deben tomar para realizar la experiencia.
- Obtener datos a partir de los ensayos y anotarlos en un registro ordenado de acuerdo a un método establecido.
- Comprender con exactitud la metodología y procedimientos usados en el ensayo, incluido el tiempo e intervalos con los que será ensayada la muestra.
- Construir el gráfico esfuerzo-deformación a partir de los datos obtenidos de la experiencia y de las fórmulas teóricas necesarias.



### **2.1.2.3 Equipo**

- Prensa con buena aproximación o una prensa triaxial.
- Calibrador con vernier.
- Balanza con aproximación a 0.1 gr.
- Cronómetro.
- Molde cilíndrico.
- Pisón.
- Muestra de suelo

### **2.1.2.4 Procedimiento**

- a) Si se trata de muestra inalterada, se labran los cilindros; también se pueden remoldear tratando de reproducir el peso volumétrico que se requiera, buscando que el diámetro de estos, sea de 3.3 cm y la altura sea de 2 a 2.5 veces el diámetro.
- b) La muestra es medida y pesada y se anota en el registro correspondiente.
- c) Si las muestras son labradas se medirán los diámetros: superior (Ds), central (Dc) e inferior (Di).
- d) De los diámetros anteriores se saca el promedio, el cual es multiplicado por 2.5, esto para obtener la altura que tendrá el espécimen.
- e) Se corta el espécimen a la altura media calculada, después de haberlo cortado, se toma la altura real del espécimen y es la que se anota como altura media (Hm).
- f) Se coloca la muestra en la prensa, se le coloca la placa de aplicación de carga.
- g) Se procede a aplicar la carga a la muestra, tomando lecturas de carga y deformación correspondiente a cada 15 segundos, hasta

que el espécimen falle, esto es, que se registren 2 cargas iguales o que de una carga menor que la inmediata anterior.

h) Se realizan los cálculos del registro y se obtiene el valor de la Cohesión del suelo con la siguiente fórmula:

$$\text{Cohesión (c)} = \frac{q}{2}$$
$$q = \text{Esfuerzo máximo (kg/cm}^2\text{)}$$

#### **2.1.2.5 Procedimiento de prueba con aplicación directa de la carga. (Esfuerzo controlado)**

- a) Montar muestra en la base con base y cabezal ya instalado bien centrado bajo el marco de carga. Se verifica que el peso de marco de carga este completamente balanceado por el contrapeso y se coloca una pesa en la ménsula. se coloca el extensómetro o un micrómetro en el soporte pegado al marco de carga ajustado en cero.
- b) Al mismo tiempo que aplicamos la primera carga, activamos el cronómetro y antes de incrementar de nuevo la carga se registra la lectura del micrómetro 5 segundos antes de aplicar el siguiente incremento.
- c) Mientras más se acerque la muestra a la falla, debemos observarla para detectar los posibles planos de falla, grietas y otros puntos de interés.
- d) Si la muestra falla bruscamente registrase el tiempo transcurrido tras la aplicación del último incremento de carga; después quítense las pesas de la ménsula. Si no hay falla brusca, la prueba se dará por terminada al sufrir la muestra una deformación unitaria del orden de 20%.

- e) Córtese la muestra del aparato y hágase un esquema de su falla y agrietamientos a una escala correcta.
- f) Córtese una laja delgada, de unos 3 mm de espesor, paralela al plano de falla, para determinación del contenido de agua. El resto de la muestra se pondrá a secar para el mismo fin.
- g) Calculase las deformaciones correspondientes a los diferentes esfuerzos, según los datos observados, calculado con áreas corregidas y dibújese un diagrama esfuerzo deformación.

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas, en la tabla 3 se incluyen los valores típicos de este parámetro para diferentes tipos de roca. Se obtiene mediante el ensayo de resistencia uniaxial o de compresión simple.

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La cohesión,  $c$ , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna,  $\phi$ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre  $25^\circ$  y  $45^\circ$ .

La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores  $c$  y  $\phi$ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. También, incluso en rocas aparentemente isótropas y homogéneas, los valores de  $c$  y  $\phi$

pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

### **2.1.3 Ensayo de Carga Puntual**

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual ( $I_s$ ), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS, según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

Las ventajas de este ensayo son que se pueden usar muestras de roca irregulares sin preparación previa alguna y que la máquina es portátil.

#### **2.1.3.1 Cálculo**

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{De^2} \text{ MPa}$$

Donde:

$P$  = Carga de falla, N, (Debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es:  $P = \text{valor medido en la máquina} * 14.426 \text{ cm}^2$ )

$De$  = diámetro del núcleo equivalente =  $D$  para muestras diametrales  
m, y es dada por:  $De^2 = D^2$  para muestra diametrales,  $mm^2$ , ó

$De^2 = 4A/\pi$  para muestras irregulares, axiales o bloques,  $mm^2$

Donde:

$A = WD$  = área de la sección transversal mínima

### 2.1.3.2 Corrección

$I_s$  varía en función de  $D$  en muestras diametrales, y en función de  $De$  en muestras axiales, irregulares y bloques.

El índice de resistencia a la carga puntual corregido [ $I_{s50}$ ] es definido como el valor de  $I_s$  medido en muestras diametrales con  $D = 50mm$ .

Cuando se tienen muestras de variados diámetros distintos a 50mm, se debe plotear  $P$  vs  $De^2$  en un gráfico log-log, y con una regresión lineal se puede determinar el valor de  $I_{s50}$ .

El valor promedio de  $I_{s50}$  se calcula eliminando los 2 valores más altos y los 2 valores más bajos de 10 o más ensayos válidos. Si pocos especímenes son testeados, solamente el valor más alto y más bajo se descarta y se promedian el resto.

El valor de la resistencia a la compresión uniaxial a partir del  $I_{s50}$  es el siguiente:

$$UCS = 23 * I_{s50}$$

**Tabla 3: Valor generalizado de C. UCS=C\*Is**

core, size, mm	Value of "C" (Generalized)
20	17.5
30	19
40	21
50	23
54	24
60	24.5

#### **2.1.4 Granulometría**

En el presente informe se presentará el procedimiento y cálculos para análisis granulométrico que se le llevo a cabo a una muestra de suelo en el laboratorio.

#### **Objetivo**

Conocer y adquirir conocimientos del método de análisis granulométrico mecánico para poder determinar de manera adecuada la distribución de las partículas de un suelo.

#### **Equipo utilizado**

- Juego de tamices ASTM
- Balanza
- Cepillo
- Horno
- Agitador mecánico
- Taras
- Cuarteador

#### **Marco Teórico**

El suelo está constituido por infinidad de partículas y la variedad en el tamaño de estas es ilimitada. Cuando se comenzaron las investigaciones sobre las propiedades de los suelos se creyó que sus propiedades mecánicas dependían directamente de esta distribución en tamaños. Sin embargo, hoy sabemos que es muy difícil deducir con certeza las

propiedades mecánicas de los suelos a partir de su distribución granulométrica.

El análisis Granulométrico Es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo, y aunque no es de utilidad por sí solo, se emplea junto con otras propiedades del suelo para clasificarlo, a la vez que nos auxilia para la realización de otros ensayos. En los suelos granulares nos da una idea de su permeabilidad y en general de su comportamiento ingenieril, no así en suelos cohesivos donde este comportamiento depende más de la historia geológica del suelo.

### **Procedimiento**

A partir del material traído del campo se obtiene una muestra representativa de la masa del suelo y se seca en el horno. Se reducen los terrones de la muestra a tamaños de partículas elementales.

El material así reducido se emplea para realizar la granulometría gruesa vertiendo el suelo a través de los tamices: 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", 3/8", No. 4 dispuestos sucesivamente de mayor a menor, colocando al final receptáculo denominado fondo. Luego se pasa a tamizar el material colocándolo en los agitadores mecánicos, cinco minutos en el de movimiento vertical y cinco minutos en el de movimiento horizontal.

Si no se cuenta con agitadores mecánicos se tamiza manualmente durante diez minutos. Se recupera el material retenido en cada tamiz asegurándonos manualmente de que las partículas hayan sido retenidas en el tamiz correspondiente. Se procede a pesar el material retenido en cada tamiz, pudiendo hacerse en forma individual o en forma acumulada.

El suelo que se encuentra en el fondo se pesa siempre individualmente. Una vez pesado, el material que se encuentra en el fondo se cuartea para obtener una muestra que pese entre 150 y 300 gramos con la cual se hace

la granulometría fina. La muestra obtenida del cuarteo se pesa y se lava sobre el tamiz No. 200 para eliminar el material menor que ese tamaño.

Se coloca la muestra en el horno y se seca durante 24 horas a 110 oC, después de lo cual se vierte sobre los tamices: No. 10, No. 30, No. 40, No. 100, No. 200 y fondos dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura y se procede igual que para la granulometría gruesa.

### **2.1.5 Determinación del contenido de humedad**

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, o sea:

$$w = (W_w / W_s) * 100 (\%)$$

Donde:

$w$  = Contenido de humedad expresado en %.

$W_w$  = peso del agua existente en la masa de suelo

$W_s$  = peso de las partículas sólidas.



### **2.1.6 Límites de Atterberg**

Generalidades Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

Fueron originalmente ideados por un sueco de nombre Atterberg especialista en agronomía y posteriormente redefinidos por Casagrande para fines de mecánica de suelos de la manera que hoy se conocen. Para obtener estos límites se requiere remoldear (manipular) la muestra de suelo destruyendo su estructura original y por ello es que una descripción del suelo en sus condiciones naturales es absolutamente necesaria y complementaria. Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla N°40 (0.42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla N°200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

Las obras de protección de este tipo, se diseñan para soportar impactos de rocas con diferentes pesos, volúmenes, formas, y velocidades, interceptándolas antes de que alcancen la infraestructura por proteger. Por tanto, estas estructuras han de ser diseñadas para soportar fuertes choques, que podrán ser absorbidos de diferente forma por la estructura de contención, dependiendo fundamentalmente de su rigidez.

Rocas pequeñas a elevadas velocidades, pueden causar efectos de similar magnitud e incluso superiores, a los causados por el impacto de grandes bloques a bajas velocidades. Por esta causa, el efecto que se producen sobre estas estructuras de contención, puede ser expresado en términos de la energía del impacto producido.

En el presente capítulo, lo que se buscará es, mediante el respectivo análisis estructural, determinar las dimensiones y materiales necesarios para conformar la malla dinámica. Así mismo se plantean dos técnicas de frenado; a base de anillos y mediante grapas. Comparando los pros y contras de ambos sistemas se determinará el óptimo como recomendación de uso.

- **Análisis estructural**

Con independencia de la rigidez de la pantalla, la detención de las rocas se produce cuando se alcanza la condición de igualdad entre la energía cinética que tiene la piedra en el momento del impacto y el trabajo de las fuerzas de reacción durante la deformación y desplazamiento de la estructura:

$$E_c = W_r$$

El trabajo de las fuerzas de reacción que la pantalla opone al movimiento, puede calcularse por la siguiente expresión:

$$W_r = \int_0^{\Delta_{m\acute{a}x}} R_p d\Delta$$

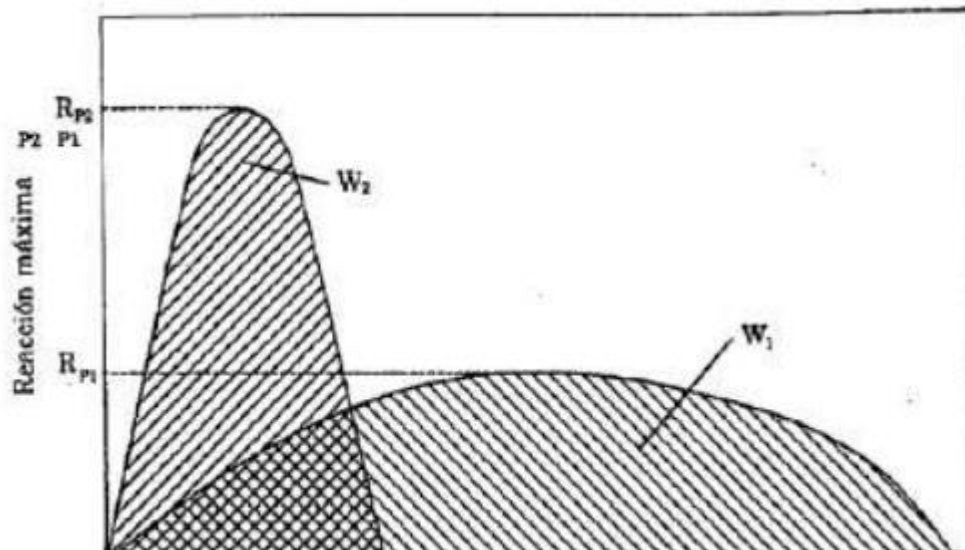
Donde:

$R_p$  : Fuerza de reacción que opone la pantalla en la misma dirección y sentido contrario al movimiento de la roca.

$\Delta$ : Desplazamiento del punto de contacto de la roca hasta que la misma se detiene.

El análisis de esta expresión conduce a que, para el caso de obras rígidas, debido al pequeño desplazamiento que ofrecen, las fuerzas de reacción son muy elevadas (figura 29). En cambio, en las pantallas de tipo flexible, a las que se ha denominado dinámicas, se logra neutralizar el efecto de la fuerza del impacto, debido al desplazamiento que posibilita la estructura, absorbiendo la misma energía con fuerzas de reacción de menor magnitud.

**Figura 29: Diagrama fuerza de reacción – desplazamiento**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

Para los efectos prácticos, se puede realizar la simplificación de considerar el área bajo la curva como la suma del área de dos triángulos, para obtener el trabajo total realizado, o sea la integral de la función. Por tanto, la expresión para el cálculo de las fuerzas de reacción será:

$$W_r = \frac{1}{2} R_{pm\acute{a}x} \Delta_{m\acute{a}x}$$

Una forma alternativa del análisis dinámico de la pantalla, es el planteamiento del equilibrio entre la cantidad de movimiento que tiene la roca en el momento del impacto, con respecto al impulso en sentido contrario al movimiento que es ejercido por las fuerzas de reacción y que provocan el frenado de la roca.

$$\begin{aligned} \textit{Impulso} &= \textit{Cantidad de movimiento} \\ R_m * t &= M * v \end{aligned}$$

Donde:

$R_m$ : Fuerza de reacción media que actúa durante el tiempo  $t$ .

$t$ : Tiempo transcurrido desde el contacto con la malla hasta que la roca se detiene.

$M$ : Masa de la roca.

$v$ : Velocidad traslacional en el momento del impacto

- **Análisis dinámico**

Para llevar a cabo un estudio del comportamiento de los accesorios en la red dinámica, es necesario analizar las diferentes fuerzas actuantes en el proceso y en consecuencia la energía que desarrollan.

Teniendo la magnitud de la energía cinética final, se procede a determinar la resistencia de la red, esto con ayuda del redimensionamiento.

La carga efectiva de trabajo de un cable de acero 6X26 (AA), grado 176 ASTM de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro, es de 190 kN. Al aplicarse la fuerza de tensión en los cables de acero, estos tienden a deformarse. La elongación del cable de alma metálica, se determina a partir de la carga unitaria y el módulo de elasticidad aparente. Según manual del fabricante (Nueva Montaña Quijano, S.A. de C.V., Manual de Cables de Acero), este tipo de cables se alarga entre 2.5 -

5% de la longitud del cable. La longitud total del cable, de anclaje a anclaje es de 10 m.

$$\Delta_{cable} = 0.0025 * 10 = 0.25m$$

Con lo cual el cable al centro de la red, obtiene un desplazamiento total hacia el valle de 1.15 m.

De datos de ensayos realizados en laboratorio, se conoce que para 1 m<sup>2</sup> de malla, el desplazamiento máximo por la carga de rotura es de 250 mm. Lo que arroja la siguiente deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{0.56-0.50}{0.50} = 0.12$$

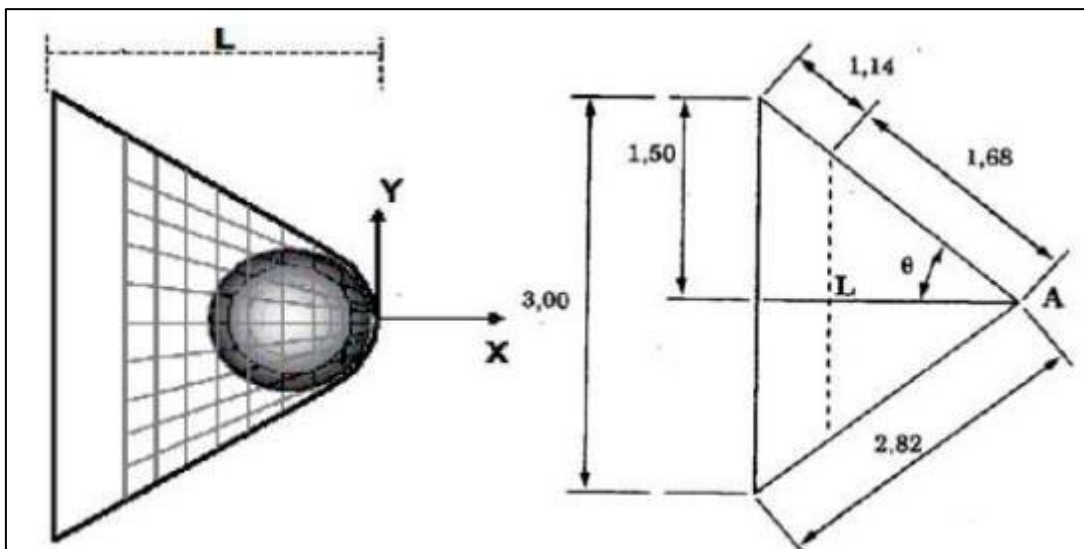
Usando dicha deformación unitaria en la red de 3 x 10m:

$$\Delta H = H * \varepsilon = 3 * 0.12 = 0.36$$

Por lo tanto

$$1.5 + \frac{0.36}{2} = 1.68m$$

**Figura 30: Esquema y diagrama de cuerpo libre de la deformación en la red metálica**



Fuente: José Luis Riera (2009)

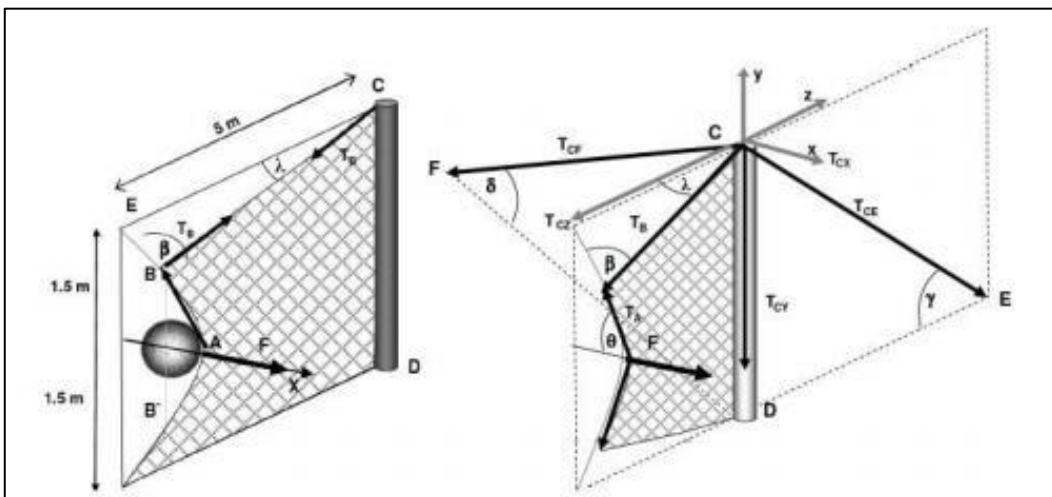
$$\text{Sen}\theta = \frac{1.5}{2.82} \quad \theta = 32.13^\circ \quad L = 2.82 \cos \theta = 2.39\text{m}$$

Hasta este momento los postes que soportan a la malla no presentan inclinación alguna, sino hasta después de la activación de los anillos de frenado. Utilizando la ecuación es posible determinar la energía que resiste la red.

$$E_{Red} = \frac{1}{2} F_{m\acute{a}x} * \Delta_{Total}$$

Determinación de la tensión de los principales nudos:

**Figura 31: Diagramas de fuerzas actuantes en los principales nudos de la pantalla**



Fuente: José Luis Riera (2009)

$$\text{Nudo A} \quad 2T_A \cos\theta = F \quad T_A = \frac{409.32}{2 \cos 32.13} = 241.67 \text{ kN}$$

$$\text{Nudo B} \quad 2T_B \cos\beta = F \quad T_B = \frac{241.67}{2 \cos 77.05} = 549.25 \text{ kN}$$

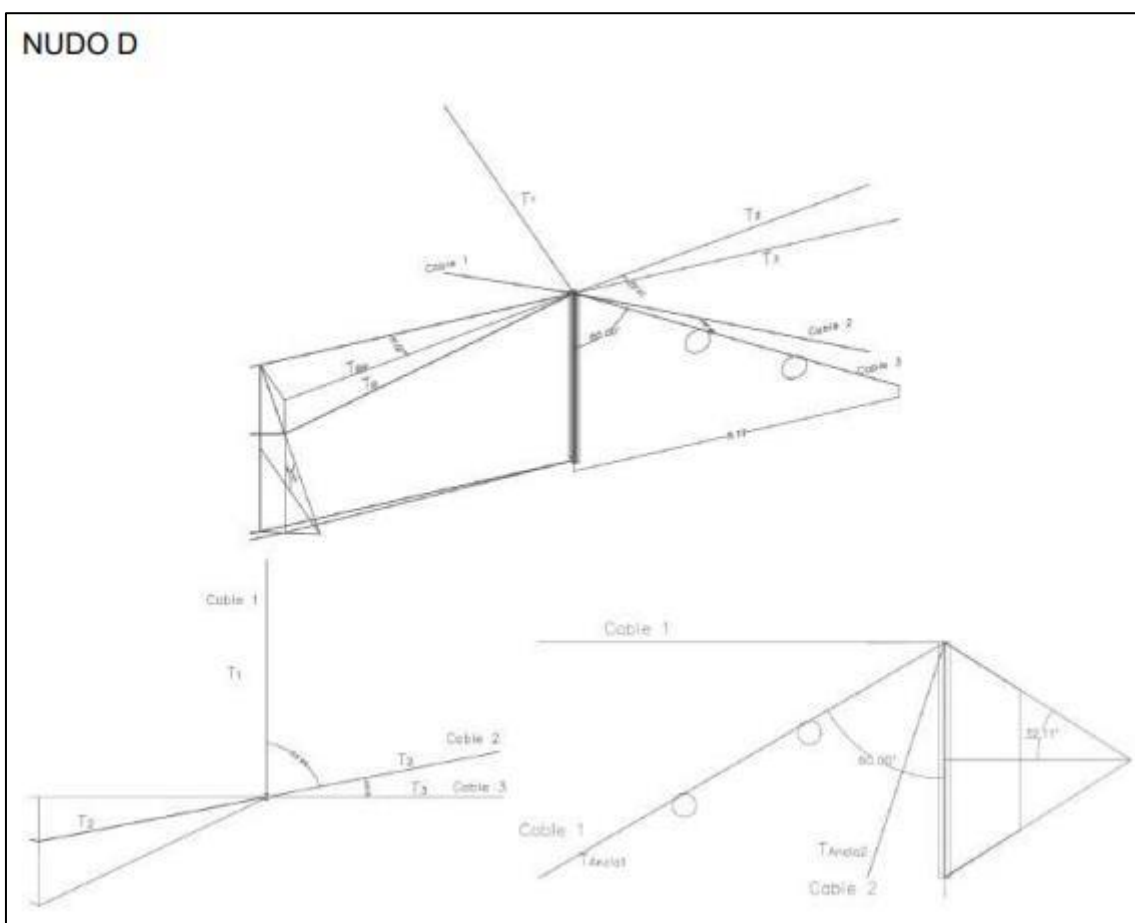
$$\text{Nudo C} \quad T_{CX} = T_B \cos 77.05^\circ * \cos 32.13^\circ = 102.33 \text{ kN}$$

$$T_{CY} = T_B \cos 77.05^\circ * \text{sen} 32.13^\circ = 64.27 \text{ kN}$$

$$T_{CZ} = T_B \cos 12.95^\circ = 535.28 \text{ kN}$$

El poste se encuentra articulado en la base, permitiendo la rotación en el plano perpendicular a la pantalla. La reacción que mantiene a la pantalla en su posición en el momento del impacto en lugar de generarse en la base del poste, se transmite por un cable directamente a un anclaje a la ladera. En este viento, se encuentra insertando dos disipadores de energía, que garantizan el movimiento del poste hacia el valle, además de absorber parte de la energía del impacto.

**Figura 32: Diagramas de fuerzas actuantes en los principales nodos de la pantalla**



*Fuente: José Luis Riera (2009)*

Debido a que existe la articulación en la base, no existirá momento flexionante. Considerando que cada poste está auxiliado por el sistema de cables mostrado en la figura 32, En cada cable existirá al menos dos anillos de frenado, y se tiene un poste en cada extremo. Por la geometría del casquillo utilizado se tiene un área de 91.14 cm<sup>2</sup>, que en conjunto con la presión de

140 N/mm<sup>2</sup>; a la que fueron prensados, se tiene una fuerza normal de 1,275.96 kN.

En el mejor de los casos si esta fuerza no es superada, la roca será detenida por completo y dicha fuerza será transmitida a través de los cables de acero hasta las anclas localizadas en el estrato rocoso cuesta arriba. En el caso en el que dicha fuerza sea superada, el anillo comienza a funcionar. En base al desplazamiento que tenga el tubo respecto al casquillo; cierta cantidad de energía se comenzará a disipar por fricción.

Eligiendo un desplazamiento arbitrario de 1 m por cada anillo, se tendrá la absorción de energía siguiente:

$$F_r = \mu * N$$

Donde:

$F_r$  : Fuerza de fricción.

$\mu$  : Coeficiente de fricción cinética.

N : Fuerza normal a la que está prensado la grapa o casquillo.

Utilizando el coeficiente de fricción se determina la fuerza de resistencia por fricción.

Si  $\mu = 0.07$

$$F_r = 0.07 * 1275960 \text{ N} = 89317.20 \text{ N}$$

$$E_{Anillo} = \frac{1}{2} F_r * \Delta_{Anillo}$$

Con referencia al diagrama de cuerpo libre de la figura 3.4 se puede realizar el análisis de fuerzas:

$$T_{BR} = T_B \cos 6.78^\circ = 545.41 \text{ kN}$$

$$T_1 = T_2 \cos 79^\circ = 47.75 \text{ kN}$$

$$T_{BR} = T_2 + T_2 \cos 79^\circ + T_2 \cos 11^\circ = 2.17 T_2 \quad T_2 = \frac{545.41}{2.17} = 251.34 \text{ kN}$$

$$T_3 = T_2 \cos 11^\circ = 246.31 \text{ kN}$$

Estas son las respectivas componentes de las tensiones en los cables, las cuales se encuentran en dirección perpendicular al poste.



Utilizando el límite de fuerza absorbida por los anillos colocados en el cable 2, se puede determinar la componente perpendicular al poste de la fuerza que absorbe el anillo, consecuentemente se determinará la contribución de los anillos colocados en los cables 1 y 3.

$$F_{2H} = 2 * F_r * \cos 30^\circ = 2 * 89.34 * \cos 30^\circ = 154.70 \text{ kN}$$

La contribución de los anillos en los cables 1 y 3 es:

$$F_{1H} = F_{2H} * \cos 79^\circ = 129.52 \text{ kN}$$

$$F_{3H} = F_{2H} * \cos 11^\circ = 148.67 \text{ kN}$$

Al restar la contribución de los anillos en la tensión de los cables resulta:

$$T_{1A} = T_1 - F_{1H} = 251.34 - 154.70 = 96.65 \text{ kN}$$

$$T_{2A} = T_2 - F_{2H} = 47.75 - 29.52 = 18.23 \text{ kN}$$

$$T_{3A} = T_3 - F_{3H} = 246.31 - 148.67 = 97.64 \text{ kN}$$

Por lo que la tensión final en cada ancla es:

$$T_{Ancla 1} = \frac{T_{1A}}{\cos 30} = 111.09 \text{ kN}$$

$$T_{Ancla 2} = \frac{T_{2A}}{\cos 30} = 20.95 \text{ kN}$$

$$T_{Ancla 3} = \frac{T_{3A}}{\cos 30} = 112.23 \text{ kN}$$

Ahora para el análisis de la energía se utiliza el límite de energía absorbida por los anillos colocados en el cable 2, posteriormente se determina la componente perpendicular al poste y consecuentemente la contribución de los anillos en los cables 1 y 3.

$$E_{Cable\ 2} = 2 * \left(\frac{1}{2} 89317.20 * 1\right) = 89317.20\ J$$

$$E_{Cable\ 3H} = 2 * \left(\frac{1}{2} 89317.20 * 1\right) = 89317.20\ J$$

$$E_{Cable\ 2H} = E_{Cable\ 2} * \cos 30^\circ = 89.32 * \cos 30^\circ = 77.70\ kJ$$

La contribución de los anillos en los cables 1 y 3 es:

$$E_{Cable\ 1H} = E_{Cable\ 2H} \cos 79^\circ = 14.76\ kJ$$

$$E_{Cable\ 3H} = E_{Cable\ 2H} \cos 11^\circ = 76.15\ kJ$$

$$E_T = E_{Cable\ 1H} + E_{Cable\ 2H} + E_{Cable\ 3H} = 168.61\ kJ$$

Esta energía es la que disipa cada poste, y teniendo en cuenta que se cuenta con un poste en cada extremo, por lo tanto, la energía se duplica. Ahora, para determinar la capacidad de absorción de energía cinética total, se toma en cuenta la capacidad de absorción de energía de la red.

$$E_{Pantalla} = 2 * E_R + E_{Red}$$

$$E_{Pantalla} = 2 * 168.61\ kJ + 382.40\ kJ = 719.62\ kJ$$

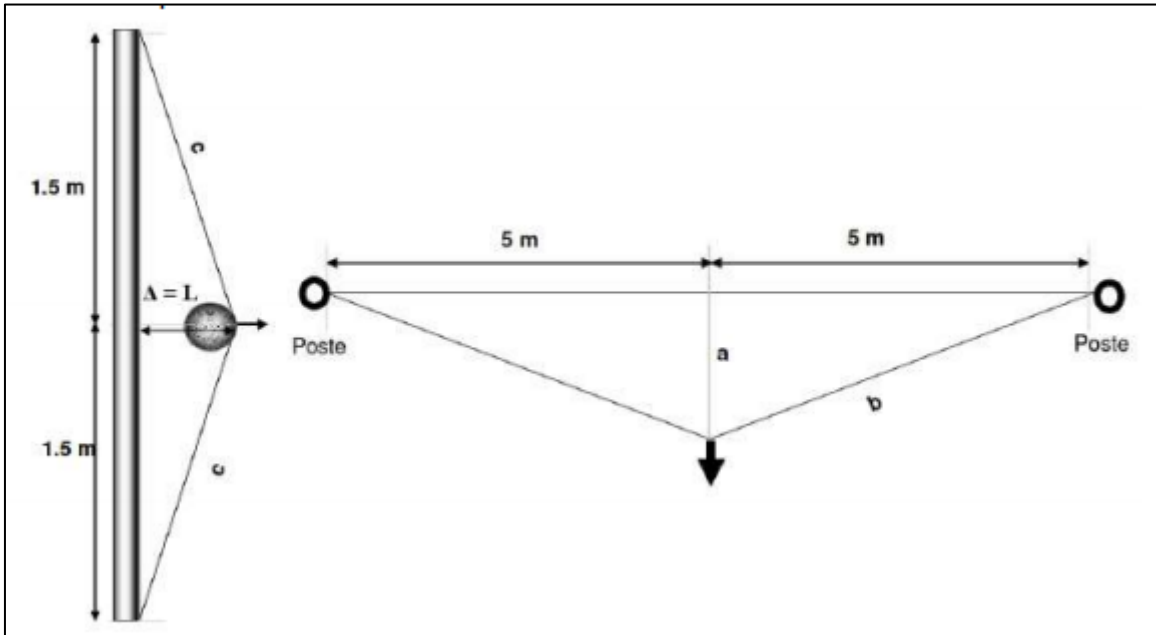
Con los datos obtenidos se iniciará el cálculo para determinar las características de las rocas que la malla puede soportar.

Utilizando el principio de trabajo y energía se evalúa la energía cinética traslacional y rotatoria inicial de la roca, más el trabajo realizado por todas las fuerzas y momentos de par externos que actúan sobre el cuerpo cuando éste se mueve desde su posición inicial hasta su posición final, lo que da como resultado la energía cinética traslacional y rotatoria final de la roca.

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2$$

Con la ayuda de un diagrama de cuerpo libre se pueden representar las fuerzas y el sentido en que actúan:

Figura 33: Diagramas en elevación y planta de la deformación de la red



Fuente: José Luis Riera (2009)

Primeramente, se tiene que la roca permanece en reposo, por lo que su energía cinética inicial es nula.

$$T_1 = 0$$

Posteriormente, la energía cinética final puede ser calculada con referencia al centro de masa de la roca, siendo éste un punto arbitrario idealizado debido a la irregularidad de las rocas.

$$T_2 = \frac{1}{2} m * v^2 + \frac{1}{2} I_G * \omega^2$$

Donde:

$m$ : Masa.

$v$ : Velocidad de la roca.

$I_G$ : Momento de inercia de la roca, respecto al centro de masa de la misma.

$\omega$ : Velocidad angular de la roca.

Por estadística se consideran como datos de la roca; una masa de 5 toneladas y un material basáltico, siendo el basalto uno de los materiales de mayor peso específico, posteriormente se procede a determinar un diámetro promedio de las rocas.

$$m = 5000 \text{ kg}$$

Densidad de roca arenisca:

$$\rho_{arenisca} = 1650$$

$$V_{Roca} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$V_{Roca} = \frac{m}{\rho_{arenisca}}$$

$$V_{Roca} = \frac{5000 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3} = 1.89 \text{ m}^3$$

Utilizando la ecuación 11 se tiene:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 V_{Roca}}{4\pi}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 * 1.89 \text{ m}^3}{4\pi}} = 0.77 \text{ m}$$

Para poder determinar el momento de inercia de la roca se desarrolla lo siguiente:

$$I_G = \frac{2}{5} mr^2$$

$$I_G = 1185.80 \text{ kg} * \text{m}^2$$

De la ecuación 3.10 se tiene:

$$T_2 = E_{Pantalla} \quad \text{Por lo tanto se tiene: } E_{Pantalla} = \frac{1}{2} m * v^2 + \frac{1}{2} I_G * \omega^2$$

Se sabe que:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$E_{Pantalla} = \frac{1}{2} m * v^2 + \frac{1}{2} I_G * \left(\frac{v}{r}\right)^2$$

Despejando se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{E_{Pantalla}}{\frac{1}{2} m + \frac{I_G}{2 r^2}}}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{719.62 \text{ kJ}}{\frac{1}{2} 5000 \text{ kg} + \frac{1185.80 \text{ kg} * \text{m}^2}{2 (0.77 \text{ m})^2}}}$$

$$v = 14.34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se tiene que la malla tiene la capacidad aproximada para detener la trayectoria de una roca tipo arenisca de 5 toneladas, de un diámetro de 1.52 m a una velocidad de 14.34 m/s.

- **Diseño estructural**

- **Postes**

Como se ha mencionado, el poste se encuentra articulado en la base, permitiendo la rotación en el plano perpendicular a la pantalla.

Utilizando el principio de superposición:

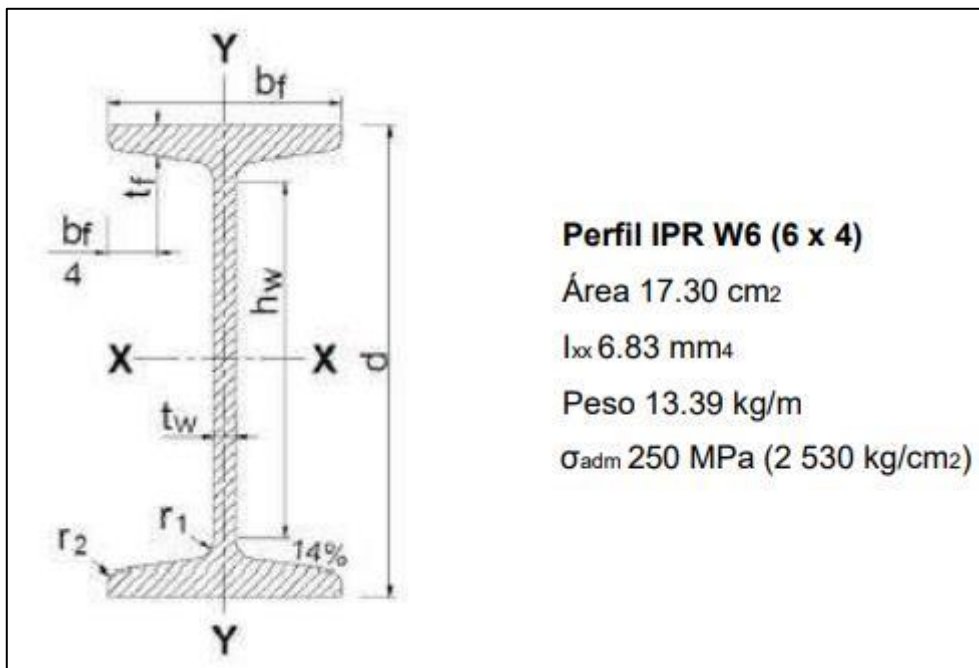
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A} + \frac{M * y_{m\acute{a}x}}{I_y}$$

Debido a la existencia de articulación en la base del poste, la flexión será nula y sólo se toma en cuenta la carga axial.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ R_D - T_{CY} + T_{BR} * \text{sen } 30^\circ \\ R_D &= 64.27 + 545.41 * \text{sen } 30^\circ = 336.98 \text{ kN} \\ A &= \frac{P_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{máx}}} \\ A &= \frac{336.98 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} = 13.50 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Seleccionamos un perfil IPR W6 (6 x 4), considerando que cumple con el área requerida.

**Figura 34: Perfil a utilizar en los postes**



Fuente: José Luis Riera (2009)

#### - Placa Base de los Postes

Debido a que la viga que funge como poste sólo está sometida a carga axial; la placa base se determinará de la siguiente manera:

$$F_p = 0.35 f'_c$$

$$F_p = 0.35 * 200 \frac{kg}{cm^2} = 70 \frac{kg}{cm^2} = 6867 kPa$$

$$A_{min} = \frac{336980 kN}{6867 kPa} = 491 cm^2$$

$$b = \sqrt{491 cm^2} = 22.16 cm^2$$

Es un área respectivamente pequeña por lo que se toma una sección de 25 x 25 cm y un espesor de 3/8".

#### - Cables

Debido a que este elemento prácticamente garantiza la estabilidad global de toda la pantalla ante un impacto, se debe sobredimensionar.

Se tiene la sollicitación en dos diferentes puntos de la pantalla, el primero es en el marco que conforma el cuerpo de la malla, la unión de poste a poste. Y el segundo que son los cables que soportan los postes y van anclados al talud.

En el primer punto se tiene una tensión máxima de 539.20 kN y el segundo punto tiene una tensión de 112.23 kN. Tomando como referencia el valor más alto y teniendo en cuenta el diámetro requerido para el casquillo de fricción; se seleccionó un cable de acero grado 190 ASTM de diámetro  $\phi = \frac{3}{4}$ ", el cual tiene una resistencia última de 18,967 kg/cm<sup>2</sup>, lo que proporciona una carga de rotura efectiva de 584.25 kN.

Con este diámetro de cable se obtiene una reserva de resistencia del cable de un 9.23%, con un factor de seguridad de 1.1. Este valor es suficiente para garantizar que la malla trabaje hasta el límite sin que se produzca el fallo de un cable.

## - Anclajes

Se procederá con la determinación de la resistencia última del anclaje en función de la resistencia a tensión de la roca del talud donde se instala:

$$P_u = \sigma_t \pi d L$$

Donde:  $P_u$  Resistencia última a la extracción.

$\sigma_t$  Esfuerzo de resistencia al arrancamiento.

$d$  Diámetro de la perforación.

$L$  Longitud del ancla.

Tabla 4: Esfuerzo último de resistencia en el perímetro del ancla

Tipo de Roca	$\sigma_t$ [kPa]
Caliza	300 - 400
Filita	100 - 300
Creta	500 - 600
Dolomita Blanda	400 - 600
Dolomita Dura	600 - 1 000
Arenizca Meteorizada	200 - 300
Lutita Meteorizada	100 - 150
Esquisto Meteorizado	100 - 170
Basalto	500 - 600

Fuente: (Byrne y otros, 1998)



Del análisis de fuerzas tiene la tensión solicitada para cada ancla:

$$T_{Ancla1} = 111.09 \text{ kN}$$

$$T_{Ancla2} = 20.95 \text{ kN}$$

$$T_{Ancla3} = 112.23 \text{ kN}$$

Eligiendo un diámetro de perforación de 3.81 cm, a manera que entre un ancla roscada comercial de 1" de diámetro.

Por lo tanto:

$$L_1 = \frac{P_U}{\sigma_c * \pi * d} \quad L_1 = \frac{111.09}{600 * 3.14159 * 0.038} = 1.55 \text{ m}$$
$$L_2 = \frac{P_U}{\sigma_c * \pi * d} = L_2 = \frac{20.95}{600 * 3.14159 * 0.038} = 0.29 \text{ m}$$
$$L_3 = \frac{P_U}{\sigma_c * \pi * d} = L_3 = \frac{112.23}{600 * 3.14159 * 0.038} = 1.56 \text{ m}$$

Se utilizarán anclas a base de varillas roscadas de 1" de diámetro de acero A572

(ASTM), con una longitud de anclaje de 1.55, 0.29 y 1.56 metros. Es válido utilizar anclajes a base de bulones que cumplan con las dimensiones mencionadas; la resistencia a tensión será mayor debido a los sistemas de anclaje que cada fabricante utiliza. Aunque se debe tener en cuenta que uno de los objetivos es minimizar el costo de la construcción de la pantalla.

El dimensionamiento y calidades, de los materiales de los restantes componentes de la pantalla, tales como anclajes de la base de los postes, taquetes mecánicos, grapas en los cables, uniones anclaje-cable y demás accesorios menores, están regidos por la existencia en el mercado y los catálogos respectivos de los fabricantes.

#### - Anillos de frenado

Para conocer el diámetro del anillo se tomará el desplazamiento de cada anillo como el perímetro, por lo tanto:

$$P_{anillo} = \Delta_{anillo}$$

$$P_{anillo} = \pi * D_{anillo}$$

$$D_{anillo} = \frac{1 m}{\pi} = 0.32 m$$

- **Componentes de la barrera**

- **Redes**

La red tendrá la función de entrar en contacto directo con la roca, a su vez debe tener la resistencia adecuada para que los anillos de fricción comiencen su funcionamiento. Cuando el anillo de fricción completa su desplazamiento total ya se habrá disipado una importante cantidad de energía, la restante será absorbida por la capacidad de deformación de la red. Se ha optado por utilizar mallas de simple torsión por sus características tenso - deformacionales, que hacen que se consideren las más adecuadas de las que se encuentran al alcance, para su empleo en las pantallas contra el impacto de piedras. Una malla 50/19 llega a alcanzar los 80 kN de carga antes de la rotura, y se desplaza 250 mm, en 1 m<sup>2</sup>, según ensayos realizados por los fabricantes. En la búsqueda de un incremento de la capacidad de absorción de energía, se ha utilizado como cierre cuatro capas de malla de simple torsión apoyadas sobre cables. Esta solución evidentemente tiene una mayor capacidad de absorción de energía gracias a la resistencia individual de los cables. La deformabilidad de este tipo de malla ayuda a que no se produzcan perforaciones en el momento del golpe.

- **Cimentación**

Las pantallas pueden estar ubicadas en condiciones diferentes de cimentación:

- Sobre muros de concreto usualmente al pie del talud.

- En las laderas, apoyadas directamente sobre una superficie rocosa o en una capa de nivelación a base de concreto, mortero o grout.

En el caso de cimentación sobre el talud, la pantalla se puede ubicar perpendicular a la superficie del terreno.

#### - **Postes**

Los postes de perfiles o tubos metálicos, aseguran la posición de los paneles de red y según el sistema, se encuentran anclados firmemente en la base, articulados, o simplemente apoyados siendo necesaria la utilización de tirantes a ambos lados de la pantalla. En todos los casos sus elementos son desmontables, lo que permite su sustitución en caso de rotura.

Los postes, a pesar de ser los elementos más robustos de las pantallas rígidas, siendo generalmente perfiles de acero empotrados en los muros, en bases de concreto o directamente sobre el terreno, presentan un comportamiento muy pobre.

Los postes metálicos empotrados tienen el inconveniente de fallar a cortante en la base al recibir impactos directos de las rocas y el límite de capacidad de absorción de energía depende como se ha señalado, de la resistencia de la malla que se emplee.

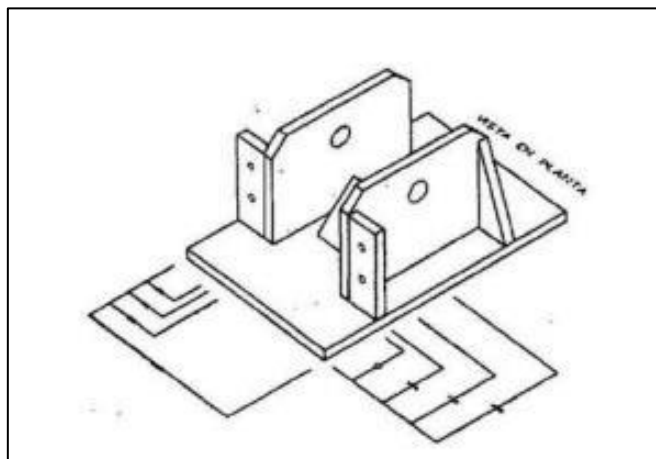
De las consideraciones anteriores se puede concluir que la solución de empotramiento entre el poste y la base no es recomendable, siendo necesario para mejorar el comportamiento de los postes, utilizar una solución flexible, es decir articulaciones.

#### - **Placa de base metálica**

Consiste en una placa de acero, que se encuentra anclada al cimiento mediante cuatro barras de acero terminadas en un tramo roscado de 25 mm de diámetro, la cual posee un tope frontal para permitir que el poste

bascule del monte hacia el valle. La placa base deberá estar adaptada para recibir el perfil que funge como poste.

**Figura 35: Vista en 3-D de la base del poste**



*Fuente: (Byrne y otros, 1998)*

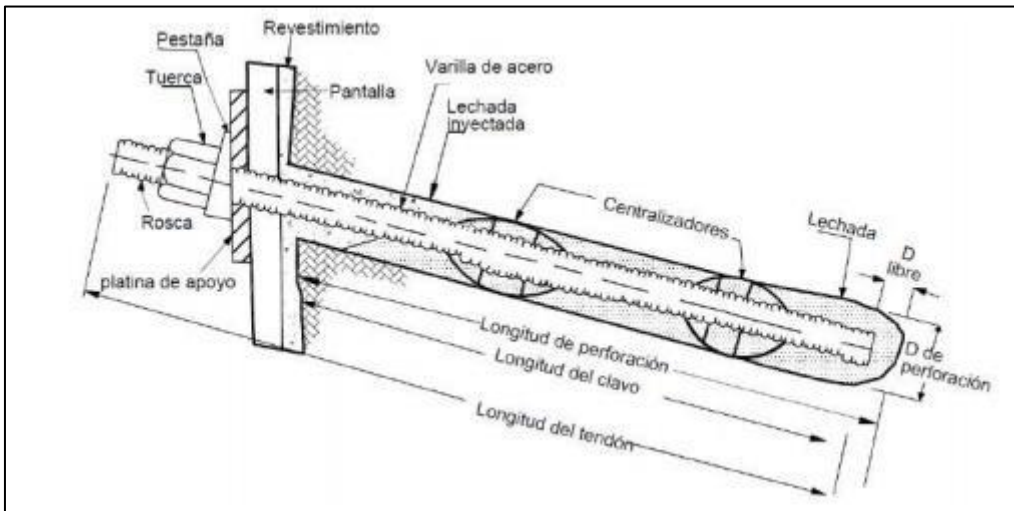
- **Cables**

Se utilizan para transmitir las fuerzas de la cabeza del poste al anclaje y para sujetar la red a los postes. El cable de acero juega un papel muy importante dentro del fenómeno dinámico, ya que deberá tener la suficiente resistencia para soportar las cargas solicitadas y de igual manera soportar la energía calorífica generada por la fricción con el tubo guía en los anillos de frenado.

- **Anclajes**

Son los elementos que transmiten las fuerzas de los cables y las fuerzas del poste al suelo, o en su caso al talud rocoso.

**Figura 36: Esquema de anclaje**



*Fuente: (SUAREZ, Deslizamientos: Técnicas de remediación 2017)*

Estos anclajes, por colocarse delante de las pantallas en el lado de la montaña, en medio de la zona de los desprendimientos y no tener protección alguna, necesitan contar con ciertas características especiales:

- El ojo del ancla que sale fuera del terreno, se adapta a la dirección del impacto, de esta forma no hay esfuerzo a flexión en la perforación, y desaparece la sollicitación a cortante que se genera en los anclajes de barras de acero.
  - El ojo del ancla debe tener una dimensión relativamente pequeña para evitar daños causados por rocas que impactan directamente al ancla.
  - La gaza del ojo deberá estar protegida por un guardacabo para garantizar el óptimo funcionamiento mecánico y evitar cizallamiento.
  - El ambiente húmedo cerca del suelo, favorece la corrosión y exige medidas anticorrosivas adicionales.
- Dispositivo de disipación de energía**

Es el dispositivo colocado en el cable de acero que une al poste con el ancla. Su objetivo es absorber la mayor cantidad de energía antes de que la red llegue a su deformación límite.

Los disipadores de energía se pueden clasificar en dos grupos:

- **Por fricción**
  - ✓ Placa metálica que aprisiona los dos extremos del cable.
  - ✓ Bucle de cable cerrado con sujetacables.
  - ✓ Bucle cerrado con una placa metálica.
  - ✓ Bucle protegido por un anillo de acero prensado.
  - ✓ Anillos de frenado a base de tubular dentro del cual se deslizan en sentido inverso dos cables en cuyos extremos hay topes.
  
- **Por Cortante**
  - ✓ Anillos a base de tubular dentro del cual se deslizan en sentido inverso dos cables que arrastran una cuña o cizalla que lo va desgarrando.
  - ✓ Fusibles a base de grapas

En el presente trabajo se opta por los anillos de frenado como prioridad y los fusibles a base de grapas como una opción alterna.

**Tabla 5: Cuadro de Resumen de los Resultados**

<b>COMPONENTES DE LA BARRERA DINÁMICA</b>	<b>H (metros)</b>	<b>Perfil</b>	<b>Diámetro (Pulg)</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Espesor (Pulg)</b>	<b>Longitud (metros)</b>
Barrera	3.00					
Postes	3.00	IPR W6 (6 X 4)				
Cables			3/4"			
Placa Base				25 x 25	3/8"	
Anclas			1/2"			0.50
Anclajes			1"			1.55; 0.29; 1.56
Anillos de frenado			3/4"			1.20
Casquillos en los anillos					3/4"	0.07

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Se ha obtenido el diseño de las barreras dinámicas, resultado que ha sido motivo principal de esta investigación. El distanciamiento entre postes se ha tomado conveniente que sean a cada diez metros, y la altura de la barrera igual a tres metros. El distanciamiento entre postes se encuentra estandarizado y no ha sufrido cambios en esta investigación.

Esta investigación cobra relevancia en la región San Martín, porque se convierte en las primeras investigaciones sobre la colocación de barreras dinámicas en taludes para proteger a todo aquel que hace uso de la vía. Los resultados obtenidos tienen concordancia con las bases teóricas planteadas, validando los conceptos y opiniones de los autores y fuentes tomadas.

Es relevante recalcar que se debe conocer muy bien las propiedades físicas y mecánicas del suelo en donde se piensa construir o colocar las barreras dinámicas. Además, realizar los estudios básicos adecuados para llegar a resultados óptimos es la clave en este tipo de investigación. La tecnología debe ser nuestro principal aliado durante este tipo de investigaciones.

El uso de softwares y de equipos que faciliten el estudio, es otro tema de gran importancia. Estos nos llevan a obtener datos con más precisión y en corto tiempo. La ingeniería necesita investigaciones nuevas, realizando metodologías entendibles, para solucionar problemas urgentes. El desarrollo económico y social del país se verá influenciado con la puesta en marcha de nuevos métodos para solucionar problemas que afecta a la población.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

La metodología que se ha desarrollado durante esta investigación nos ha llevado a conseguir los objetivos planteados, validando el método que es capaz de realizar diseños de estructuras que finalmente son parte de medidas de protección contra las caídas de rocas.

Se han analizado las muestras del primer estrato encontrado del tramo de investigación, probando que el suelo superficial existente en la zona es Limo orgánico, de color beige, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, clasificada como (ML) A-4 (6).

Se han analizado las muestras del segundo estrato encontrado en el tramo de investigación, resultando que está conformado por roca cuarzosa – arenisca GF. Estos importantes datos nos han permitido cumplir con el diseño de las barreras dinámicas a lo largo de 120 metros de longitud considerados como tramo más crítico:

- La barrera tendrá una altura de 3 metros con separación entre postes de 10m.
- Los postes a base de perfil IPR W6 (6 x 4), tendrán una altura de 3 m, erigidos en una placa base de 25 x 25 cm de 3/8" de espesor la cual estará anclada a un dado como cimentación o directamente en el terreno con 4 anclas de por lo menos 1/2" de diámetro y 50 cm de longitud anclada.
- Los postes se encuentran tensados por 3 cables de acero de 3/4" de diámetro, uno se encuentra en dirección perpendicular al valle, es decir sobre el eje longitudinal de la pantalla, el cable central está posicionado a 12.95° del primer cable y el tercer cable está posicionado en dirección paralela al valle. Cada cable estará tensado a un ángulo de 60° del eje longitudinal del poste.



- Los anclajes a base de varillas roscadas de 1" de diámetro, tendrán una longitud de anclaje de 1.55, 0.29 y 1.56 m. La perforación en la roca tendrá un diámetro de 3.81 cm y una longitud igual a la de la varilla roscada más 5 cm.
- Los anillos de frenado están hechos de tubo de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro y longitud de 1.2 m y se colocarán 2 en cada cable a una distancia de  $\frac{1}{3}$  de la longitud del cable, uno de otro, con el fin de que realicen su desplazamiento libremente.
- Los casquillos en los anillos de frenado tendrán una sección adecuada para cable de  $\frac{3}{4}$ " y una longitud de 7 cm.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de forma más seguida de los sistemas flexibles como las Barreras Dinámicas, que tiene buenos resultados, siguiendo los procedimientos adecuados para su implementación.
- Se recomienda considerar un sistema antisocavante en los taludes donde se realizaron las perforaciones, con el fin de protegerlos contra la erosión.
- Es recomendable realizar una visita a campo completa, al inicio del proyecto para determinar la ubicación de las estructuras.
- Es recomendable realizar una topografía, para determinar la geomorfología cambiante de la quebrada con las estructuras instaladas.

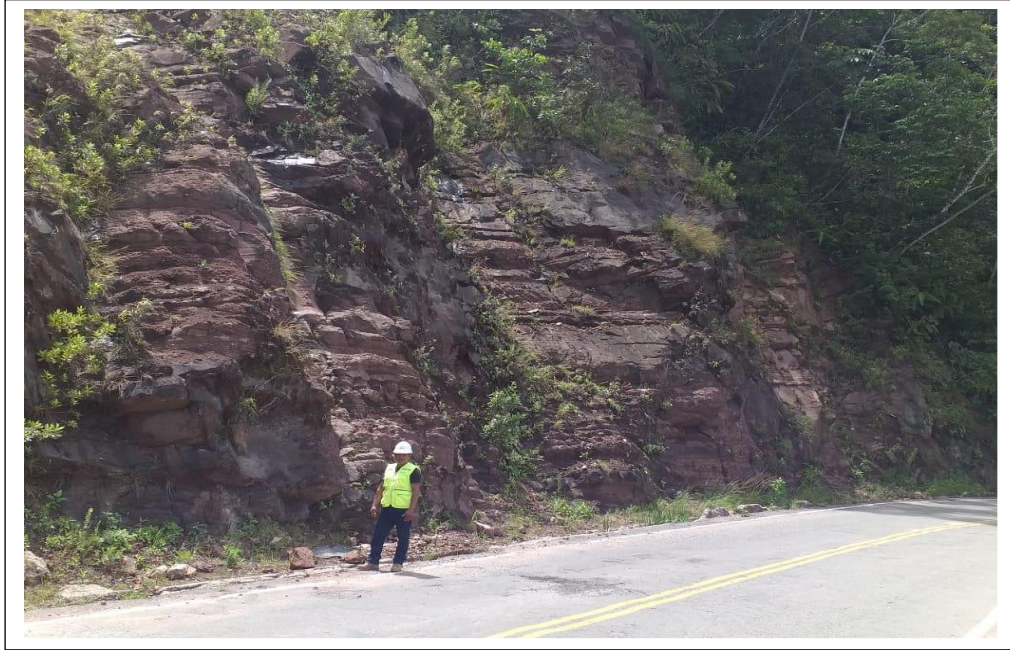
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Bianchini Ingenieros S.A. (23/10/2018 de octubre de 2018). Soluciones en geotecnia y medio ambiente. Obtenido de <https://www.abianchini.es/es/catalogos>.
- Almandalawi, M., You, D., Dowling, K., & Sabry, M. (01 de 01 de 2015). Slope stability and rockfall Hazard analysis in open pit zinc mine.
- Álvarez, L., & Moral, A. (23/10/2018 de octubre de 2018). Desprendimiento de rocas. Obtenido de <https://edoc.site/trabajo-desprendimiento-de-rocas-pdf-free.html>
- Crispín, J. 1989. Diseño, implementación y construcción de barreras dinámicas en la quebrada Carosio - Chosica, Lima, Perú. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- D.S. N°048-2011 PCM, para crear el Reglamento de Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres SINAGERD. Boletín Oficial El Peruano, del 26 de mayo del 2011, pp. 443206 a 443218.
- Geobruigg. 2018. Barreras Flexibles De Anillos Para Retención De Flujo De Detritos: La Solución Económica.
- Ley N°29664, para crear el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres SINAGERD. Boletín Oficial El Peruano, del 19 de febrero del 2011, pp. 436456 a 436463.
- Sáenz, A. 2017. Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando Mallas Galvanizadas Ancladas, Ciudad Nueva Fuerabamba Apurímac. Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cardona, I. (2016). Validación de modelos de predicción de deslizamientos mediante el uso de inventarios en escalas sub - regionales. Medellín, Colombia.

- Castro, R. (2014). Evaluación del riesgo de desastres por peligros naturales y antrópicos del área urbana del distrito de Punta Hermosa. Lima, Perú.
- Escamilla, F. (2014). Caída de fragmentos de roca y metodología para una adecuada modelación. Maestro en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería - Geotecnia.
- García, F. (2005). Análisis y Diseño de estabilidad sísmica de taludes en suelos y rocas - caso curvas La Leona. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Civil.

## ANEXOS

### PANEL FOTOGRAFICO



***La imagen muestra la pendiente y el estrato rocoso de la zona en estudio imagen inferior; y la imagen superior muestra al tesista Rider Ruiz en la zona en estudio..***





***La imagen muestra el desprendimiento de rocas que han sido ubicadas al margen de la vía, tramo en estudio.***



***Se muestra al tesista Moisés Infante en la zona de estudio donde ocurren desprendimiento de rocas.***