

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BARRERAS
DINÁMICAS EN LA QUEBRADA CAROSIO - CHOSICA”**

Presentado por:

BACH. JOSÉ ANTONIO CRISPÍN HUAMANÍ

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Lima – Perú
2017**

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo incondicional

RESUMEN

El proyecto desarrollado a continuación, se implementó en el distrito de Lurigancho Chosica, en la quebrada Carosio, que fue una de las 9 quebradas que se intervinieron en el año 2016, con el fin de realizar obras de prevención para evitar pérdidas humanas y proteger las principales vías de tránsito. El propósito de implementar barreras dinámicas en la quebrada Carosio, fue de mitigar los efectos destructivos de los huaicos, permitiendo que los pobladores instalados en la parte baja, puedan tener más tiempo para la evacuación. Se construyeron en total 4 barreras dinámicas, las cuales fueron instaladas de manera consecutiva, con el objetivo de poder tener mayor capacidad de retención de lodos y suavizar la pendiente de la quebrada. Los resultados, fueron reflejados a inicios del año 2017, donde se tuvo un evento extraordinario, que trajo una gran cantidad de volúmenes de lodo y piedras, pero gracias a una intervención oportuna con la construcción de las barreras dinámicas se lograron retener más de 3000 m³ de lodos y piedras. El proyecto se realizó en tiempo record (2 meses), ya que fue una obra por emergencia, donde se priorizó la seguridad de las personas que habitaban en la zona.

Palabras claves: Barrera dinámica, Flujo de detritos, Quebrada Carosio, Anclajes, huaico

ÍNDICE

	Página
I. Introducción	1
II. Objetivos.....	3
1. Objetivo General	3
1.1. Objetivo específico.....	3
III. Revisión bibliográfica	4
1. Barreras flexibles de redes de anillos de acero	4
2. Parámetros hidromorfológicos de la cuenca.....	7
2.1. Parámetros básicos	7
2.2. Parámetros de forma.....	8
2.3. Parámetros de relieve	9
3. Prueba de bondad de ajuste: prueba de Smirnov - Kolmogorov (S-K)	11
IV. Desarrollo del tema	14
1. Metodología de trabajo.....	14
1.1. Descripción del estado actual.....	14
1.1.1. Ubicación y accesibilidad	14
1.1.2. Clima y relieve	16
1.1.3. Topografía.....	16
1.1.4. Geomorfología.....	16
1.1.5. Estratigrafía.....	16
1.1.6. Geodinámica	17
1.1.7. Riesgos geológicos	17
1.1.8. Hidrología	17
1.2. Planteamiento hidrológico	19
1.2.1. Análisis de la información de precipitación.....	19
1.2.2. Cálculo de la precipitación máxima	19
1.2.3. Cálculo de la intensidad.....	20
1.3. Metodología empleada.....	22
1.3.1. Aplicación del modelo HEC-HMS	22
1.3.2. Geotecnia	25
1.3.3. Riesgos	26
1.3.4. Condicionantes técnicos	27
1.3.5. Operación del Sistema de barreras dinámicas.....	31
1.4. Justificación de la solución adoptada.....	32
1.4.1. Tipos de barreras.....	34
1.4.2. Comportamiento de las barreras ante huacos.....	36
1.4.3. Ubicación y tipos de barreras	39
1.4.4. Quebrada Carosio	42
1.4.5. Tipo de material en cada barrera	44
1.5. Análisis de anclajes	46
1.5.1. Dimensiones de los anclajes de los taludes y de retención.....	47
1.6. Trabajos preliminares en la barrera dinámica N°10 de Carosio	49
1.7. Proceso de instalación de barreras dinámicas.....	52
1.8. Descripción del sistema.....	58
V. Desarrollo del tema	63
VI. Conclusiones.....	68
VII. Recomendaciones	69

VIII.	Referencias bibliográficas	70
IX.	Anexos.....	71

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Categorización de la pendiente	10
Tabla 2: Categorización de la pendiente.	10
Tabla 3: Prueba de Smirnov-Kolmogorov	12
Tabla 4: Acceso a la zona del proyecto.....	14
Tabla 5: Evaluación de riesgos.....	17
Tabla 6: Parámetros de la subcuenca de Carosio.....	17
Tabla 7: Precipitación mensual en Chosica-Chaclacayo.	18
Tabla 8: Estaciones utilizados en el cálculo de la precipitación.	19
Tabla 9: Precipitaciones máximas por estación meteorológicas.....	20
Tabla 10: Tipos de Hietograma, según el SCS.	21
Tabla 11: Valores del hietograma para la quebrada Carosio.....	24
Tabla 12: Caudales obtenidos en Carosio por el modelo HEC-HMS.....	24
Tabla 13: Tipos de materiales en las barreras	25
Tabla 14: Longitud de anclajes de los pernos pasivos.....	26
Tabla 15: Características y coordenadas de las barreras en Carosio.....	30
Tabla 16: Volúmenes de sedimentos.....	33
Tabla 17: Cantidad de barreras y capacidad de almacenaje en la quebrada Carosio.....	34
Tabla 18: Ubicación de las barreras en la quebrada Carosio (sistema WGS84)	40
Tabla 19: Barreras dinámicas en Carosio.....	42
Tabla 20: Cálculo de los tipos de barreras	43
Tabla 21: Tipos de materiales en las barreras de Carosio	44
Tabla 22: Típica roca Granodiorita en Carosio.....	45
Tabla 23: Resistencia típica de interface de los bulbos de anclaje en función al tipo de material	47
Tabla 24: Cálculo de la longitud inicial de anclaje.....	48
Tabla 25: Cálculo de la longitud total de los anclajes	49
Tabla 26: Propuesta de ensayos de arrancamiento	49
Tabla 27: Tabla resumen de volúmenes retenidos en la quebrada Carosio	63

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Barrera Dinámica contra flujo de detritos	4
Figura 2: Barreras flexibles contra flujos de detritos.	5
Figura 3: Esquema de acceso hacia el distrito de Chosica desde Lima.....	15
Figura 4: Distribución de la precipitación mensual.	18
Figura 5: Precipitación máxima en 24 horas en Chosica-Chaclacayo.	18
Figura 6: Hietrograma de la precipitación máxima en Chosica-Chaclacayo.	21
Figura 7: Modelo cuenca Carosio del modelo hidrológico HEC-HMS.	23
Figura 8: Altura de la precipitación y comportamiento del flujo en Carosio.....	25
Figura 9: Geología de la quebrada Carosio donde se observa las zonas de mayor concentración de sedimentos	27
Figura 10: Ubicación de barreras en la quebrada Carosio	28
Figura 11: Tipos de Barreras Dinámicas y descripción de sus elementos.	31
Figura 12: Barrera UX120- H6.....	35
Figura 13: Barrera UX120- H6.....	35
Figura 14: Barrera UX180- H6.....	36
Figura 15: Estado 1 del comportamiento de una barrera ante huaicos	37
Figura 16: Estado 2 del comportamiento de una barrera ante huaicos	37
Figura 17: Estado 3 del comportamiento de una barrera ante huaicos	38
Figura 18: Estado 4 o rebosado del comportamiento de una barrera ante huaicos	39
Figura 19: Foto de la ubicación de la Barrera N°10- Quebrada Carosio.....	50
Figura 20: Foto de la ubicación de la Barrera N°11. - Quebrada Carosio.....	50
Figura 21: Foto de la ubicación de la Barrera N°12. - Quebrada Carosio.....	51
Figura 22: Foto de la ubicación de la Barrera N°22- Quebrada Carosio.....	51
Figura 23: Inicio de replanteo de ubicación de la barraras dinámicas con wincha y estacas.	52
Figura 24: Marcación de puntos de los postes con wincha y pintura	52
Figura 25: Marcado de puntos para perforación.	53
Figura 26: Inicio de perforación	53
Figura 27: Inicio de perforación	54
Figura 28: Materiales para perforación de puntos definidos en la quebrada.....	54
Figura 29: Implementación de pernos	55

Figura 30:	Instalación de cables horizontales y perimetrales.	56
Figura 31:	Postes instalados.....	56
Figura 32:	Colocación de malla de protección.....	57
Figura 33:	Barrera UX100- H4.....	58
Figura 34:	Redes de anillos.....	58
Figura 35:	Cables de soporte.....	59
Figura 36:	Protección contra abrasión.....	59
Figura 37:	Anclaje de cable espiral.....	60
Figura 38:	Poste.....	60
Figura 39:	Placa de apoyo de postes.....	61
Figura 40:	Anillos de frenado.....	61
Figura 41:	Grilletes.....	62
Figura 42:	Sujetacables.....	62
Figura 43:	Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°10.....	64
Figura 44:	Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°11.....	64
Figura 45:	Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°12.....	65
Figura 46:	Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°22.....	66
Figura 47:	Barrera Dinámica N°10 - Quebrada Carosio.....	66
Figura 48:	Barrera Dinámica N°10 colmatada al 83% de su capacidad.....	67
Figura 49:	Transporte de materiales en helicóptero.....	67

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Plano de ubicación general	71
Anexo 2 Plano barrera dinámica N° 10, 11, 12 y 22	72
Anexo 3 Verificación de diseño – Programa DebFlow	73

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de huaicos puede ser periódicos, los que se producen generalmente entre los meses de enero y Marzo (lluvias) y ocasionales los que están relacionados a precipitaciones excepcionales durante la ocurrencia del Fenómeno de El Niño, se tiene información sobre eventos importantes, ocurridos en 1925 y 1987, siendo este último el que ocasionó mayores daños cobrándose la vida de más de 100 personas, 1052 viviendas dañadas y dejando a más de 3000 personas afectadas.

De acuerdo al Informe N° 581 - 08/05/2015 / COEN - INDECI, sólo en el año 2015, en el citado distrito se han producido 09 personas fallecidas, 25 personas heridas, 341 familias afectadas y 161 familias damnificadas a causa de los huaicos. Así mismo se han reportado 107 viviendas colapsadas, 341 viviendas afectadas, 48 Centros educativos dañados, 70% del servicio de agua potable y 80% de las redes de desagüe afectados, el 10% del sistema de energía y varios kilómetros de carreteras destruidas.

En las quebradas del distrito de Lurigancho Chosica, las variables que determinan la ocurrencia de huaicos son: las altas precipitaciones pluviales, materiales sueltos en las quebradas, escasa cobertura vegetal y, las fuertes pendientes. Ante tal advertencia, se identificó y priorizó con intervención de la Municipalidad Distrital y la Autoridad Nacional del Agua – ANA, los sitios probables de emplazamiento para la instalación de barreras dinámicas, con el objeto de retener el material de arrastre sólido de la quebrada ante fuertes precipitaciones y reducir las pérdidas humanas al dotarles mayor tiempo para su evacuación a lugares seguros identificados por el INDECI.

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 1:1 en ensayos en campo por el WSL (Instituto Federal Suizo de Investigación para el Medio Ambiente y Riesgos Naturales).

Este tipo de barreras flexibles con base en redes de anillos, son también recomendadas por la guía “INTEGRAL RISK MANAGEMENT OF EXTREMELY RAPID MASS MOVEMENTS / Best Practice of Integral Risk Management of Debris Flows” que nació del programa internacional Europeo de investigación IRASMOS (SLF et al., 2009, <http://irasmos.slf.ch>).

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

II. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diseño e implementación y construcción de las barreras dinámicas en la quebrada Carosio.

1.1. OBJETIVO ESPECÍFICO

Elaborar una secuencia de diseño de las Barreras Dinámicas.

Descripción del proceso de instalación de las Barreras Dinámicas

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. BARRERAS FLEXIBLES DE REDES DE ANILLOS DE ACERO

Son de muy reciente utilización, están constituidos 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)

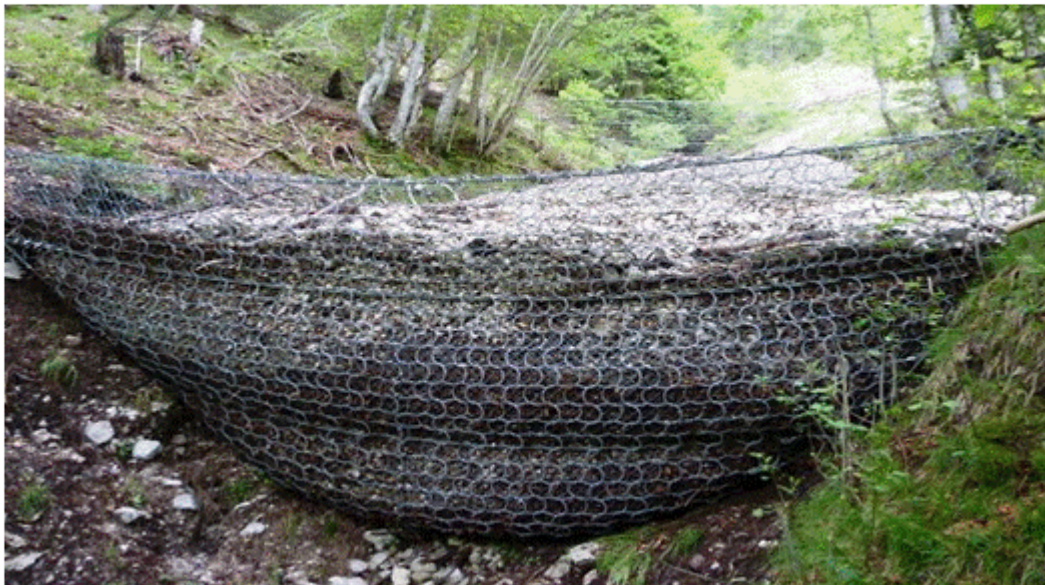


Figura 1: **Barrera Dinámica contra flujo de detritos**

FUENTE: Trumer

Las medidas estructurales convencionales contra flujos de detritos (“Debris Flow”) consisten usualmente en estructuras de hormigón o mampostería, muchas veces combinadas con elementos masivos de acero. La desventaja de este tipo de estructuras es su característica rígida frente a las sollicitaciones de esfuerzos por un impacto dinámico, la cual no permite absorber la fuerza de impacto. (Geobrugg 2001)

El desempeño a largo plazo de barreras flexibles contra flujos de detritos como sustitución de diques rígidos transversales fue investigado en el alcance de un proyecto de investigación (Wendeler, 2008). Estas barreras se posicionan en el cauce de quebrada, con la misma función de un dique rígido transversal, con la ventaja de una instalación sencilla y rápida (Romang et al., 2009). Capaz de absorber impactos de flujos y no generar presiones de agua a largo plazo.(Geobrugg 2001)



Concepto con 1 barrera (izquierdo; Geobrugg, 2010) B) concepto con 3 barreras escalonadas (multi-nivel) (derecho; Wendeler, 2008).

Figura 2: **Barreras flexibles contra flujos de detritos.**

Fuente: Geobrugg

Históricamente, en 1996, se realizaron ensayos con redes de anillos frente a impactos de carga distribuida de masa (flujo) en un campo experimental por el

U.S. Geological Survey, EEUU. En Japón durante el año 1998, una barrera flexible de redes de anillos, temporalmente instalada del tipo RX-150 retuvo un flujo de detritos de aprox. 750 m³. (Geobrugg 2001)

Otros eventos ocurridos y desastres en particular con daños sustanciales y fallecidos, motivaron el inicio de estudios de factibilidad y viabilidad técnica sobre el uso de estructuras flexibles contra flujos de detritos.

Luego de esos acontecimientos, siguieron ensayos previos con barreras flexibles de redes de anillos tipo ROCCO® (acero de alta resistencia mínimo 1770 N/mm²) a escala real en 2002 en Suiza (Test-Site Illgraben) y también en Japón (Test-Site Kamikami-Horisawawa), apoyado por Geobrugg Protection Systems. Lo que resultó la publicación del primer informe interno relacionado a la aplicación de barreras flexibles contra flujos de detritos y su diseño estructural con el programa de elementos finitos FARO (Geobrugg 2001).

Adicionalmente fueron realizados ensayos a escala real pero con distintos fenómenos y casos de carga tales como arrastre de madera en ríos (Test-Site Lobental, Alemania en 2001) y carga de nieve (Test-Site AlpS, Austria en 2002). Finalmente se siguió investigando a nivel mundial hasta el presente, al realizar un proyecto oficial federal de investigación e innovación asignado por el gobierno suizo para el periodo de 2005 – 2008 al Instituto Federal de Investigación, el WSL (“Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft”), Birmensdorf, Suiza, para supervisión y experticia, y a un socio calificado industrial (Geobrugg AG – Geohazard Solutions, Romanshorn, Suiza) con experiencia previa y capacidad de desarrollo (Geobrugg 2001)

En este estudio científico se realizaron pruebas de laboratorio, simulaciones numéricas y pruebas de campo a escala real en la quebrada Illgraben en Suiza, enteramente instrumentada y monitoreada, con flujos naturales para obtener una adecuada comprensión de la interacción entre el flujo de detritos.

2. PARÁMETROS HIDROMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

2.1. PARÁMETROS BÁSICOS

Esta información constituye la información mínima para tener una idea de la naturaleza y comportamiento de la quebrada (Vente Chow 1998)

- a) **Área (A).** Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Si el área está entre 0 y 250 Km², se considera una cuenca pequeña

Si el área está entre 250 y 2500 Km², se considera una cuenca mediana

Si el área es mayor a 2500 Km², se considera una cuenca grande

- b) **Perímetro (P).** El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca

- c) **Longitud de cauce mayor (L).** Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud

- d) **Ancho Promedio (Ap).** Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente.

$$AP = A / L \text{ Ec.1}$$

Ec. 1

Donde:

Ap: Ancho promedio de la cuenca (km).

A : Área de la cuenca (km²).

L : Longitud del cauce principal (km).

- e) Desnivel **altitudinal (DA)**. Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura.

$$DA = HM - Hm \quad \text{Ec. 2}$$

2.2. PARÁMETROS DE FORMA

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico (cuencas con la misma área pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas–hidrogramas diferentes por tanto- ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: Coeficiente de Gravelius-compacidad y Rectángulo equivalente y factor de forma. (Vente Chow 1998)

- a) **Coeficiente de compacidad o Gravelius**. Este está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área de la cuenca hidrográfica. Haciendo uso de la relación

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ec. 3}$$

De la expresión, Kc puede ser mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca.

Una cuenca de forma circular posee el coeficiente mínimo igual a 1 y tiene mayor tendencia a las crecientes en la medida que el valor de Kc se aproxima a la unidad; cuando se aleja de la unidad, presenta una forma más irregular con relación al círculo.

Cuando:

$K_c = 1$: tiempo de concentración menor, cuenca circular, mayor tendencia a crecientes;

$K_c = 2$: tiempo de concentración mayor, cuenca de forma alargada, menor tendencia a crecientes.

- b) **Factor de forma.** Se define como el cociente entre el ancho promedio del área de la cuenca y la longitud.

$$F_f = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Ec. 4

Donde:

A = Área de la cuenca (km^2).

L = Longitud de cauce principal de la cuenca (km).

Explica que si la cuenca es de forma alargada, se espera una respuesta moderada a las inundaciones debido a las precipitaciones.

La forma de la cuenca tiene influencia en el tiempo de concentración de las aguas al punto de salida de la cuenca, ya que modifica el hidrograma y las tasas de flujo máximo, por lo que para una misma superficie y una misma tormenta, los factores mencionados se comportan de forma diferente entre una cuenca de forma redondeada y una alargada

2.3. PARÁMETROS DE RELIEVE

El relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en tiempos menores. Los parámetros de relieve principales son: pendiente media del cauce (I_c), pendiente media de la cuenca (j), curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas y altura media (H). (Vente Chow 1998)

- a) Pendiente **media del cauce (Ic)**. Relaciona la altitud máxima (HM), la altitud mínima (Hm) y la longitud del río, a través de la siguiente relación.

$$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 \times L}$$

Ec. 5

- b) **Pendiente media de la cuenca (J)**. Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca. Según Van Zuidam (1989), propone una categorización de la pendiente de la cuenca .

Tabla 1: **Categorización de la pendiente**

Clase de pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable.
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión.
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión.
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.
16-35	30-70	Pendiente fuerte, proceso denudacionales intensos (deslizamiento), peligro extremo de erosión de suelos.
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramiento rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestacion posible.
>55	> 140	Extremadamente fuerte, afloramiento rocosos, procesos denudacionales severos(caida de rocas), cobertura vegetal limitada.

FUENTE: Van Zuidam.

Tabla 2: **Categorización de la pendiente.**

Pendiente en %	Tipo de terreno
2	llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuerte Accidentado
50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

FUENTE: HE RAS

3. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: PRUEBA DE SMIRNOV - KOLMOGOROV (S-K)

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste. En esta prueba también se está interesado en el grado de concordancia entre la distribución de frecuencia muestral y la distribución de frecuencia teórica, bajo la hipótesis nula de que la distribución de la muestra es $f_0(x, \theta)$ e interesa probar que no existe diferencia significativa. La prueba trabaja con la función de distribución (distribución de frecuencia acumulativa). Esta prueba pertenece al campo de la Estadística No Paramétrica. (Manual de Hidrología y Drenaje- ANA)

Sea $F_0(x)$ la función de distribución teórica para la variable aleatoria X , y representa la probabilidad de que la variable aleatoria X tome un valor menor o igual a x (también se interpreta como la proporción esperada de observaciones que tengan un valor menor o igual a x). Es decir:

$$F_0(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_0(x, \theta) dx, \quad \text{Ec. 6}$$

Sea $S_n(x)$ la función de distribución empírica, calculada con base en los valores observados de la muestra n observaciones. $S_n(x)$ representa la proporción de valores observados que son menores o iguales a x , y está definida como:

$$S_n(x) = P(X \leq x / \text{dados los resultados muestrales}) = m/n$$

Donde m es el número de valores observados que son menores o iguales a x .

En la prueba de Smirnov-Kolmogorov se está interesado en la mayor desviación entre la función de distribución teórica y la empírica, es decir entre $F_0(x)$ y $S_n(x)$, para todo el rango de valores de x . Bajo la hipótesis nula se espera que estas desviaciones sean pequeñas y estén dentro de los límites de errores aleatorios. Por lo tanto, en la prueba S-K se calcula la mayor desviación existente entre $F_0(x)$ y $S_n(x)$, denotada por $D_{\max}(x)$ y está dada por:

$$D_{\max}(x) = \text{Max} | F_X(x) - S_n(x) | \quad \text{Ec. 3}$$

La distribución de $D_{\max}(x)$ es conocida y depende del número de observaciones n . Se acepta la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa entre las

distribuciones teóricas y empíricas si el valor de $D_{\max}(x)$ es menor o igual que el valor crítico $D_{\max}(\alpha, n)$. (Ver tabla adjunta para valores críticos).

Esta prueba se puede realizar para valores agrupados en intervalos de clase y también para valores sin agrupar.

Tabla 3: **Prueba de Smirnov-Kolmogorov**

Prueba de Smirnov-Kolmogorov. Valores críticos $D_{\max}(\alpha, n)$					
Tamaño de la muestra	Nivel de significancia α				
	.20	.15	0.10	0.05	0.01
1	.900	.925	.950	.875	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.210	.220	.240	.270	.320
30	.190	.200	.220	.240	.290
35	.18	.190	.201	.230	.270
≥ 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

FUENTE Tabla tomada parcialmente del libro "Simulation and Analysis of Industrial Systems", de Schmidt y Taylor.

El procedimiento general para realizar esta prueba para valores agrupados en intervalos de clase es el siguiente:

- 1) Especificar la distribución nula es $f_0(x, \theta)$, y estimar sus parámetros si es necesario.
- 2) Organizar la muestra en una distribución de frecuencia, en intervalos de clase.
- 3) Con base en la distribución observada de la frecuencia, se calcula la distribución acumulativa $S_n(X_i) = m_i/n$, siendo X_i el límite superior del intervalo de clase, y m_i el

número de valores de la muestra menores o iguales que X_i . $S_n(X_i)$ corresponde simplemente a la frecuencia relativa acumulada hasta el intervalo i .

- 4) Se calcula la función de distribución teórica $F_0(X_i)$.
- 5) Para cada intervalo de clase se calcula la diferencia entre $F_0(X_i)$ y $S_n(X_i)$, y se busca la máxima $D_{\max} = \text{Max} |F_X(X_i) - S_n(X_i)|, i = 1, 2, \dots, k$.
- 6) Se busca en la tabla el valor crítico $D_{\max}(\alpha, n)$ con el nivel de significancia α . Si el valor observado D_{\max} es menor o igual que el valor crítico, entonces se acepta la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre la distribución teórica y la distribución dada por los resultados muestrales, es decir, que los valores generados siguen la distribución que se había supuesto.

IV. DESARROLLO DEL TEMA

1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

- Descripción de estado actual
- Justificación de la solución adoptada
- Análisis de anclajes
- Trabajos preliminares en la Barrer a Dinámica Carosio N° 10

1.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL

1.1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El distrito de Lurigancho-Chosica pertenece a la provincia de Lima, situado en la parte oriental de la misma, en la cuenca media del río Rímac. Limita al norte y este con la provincia de Huarochirí, al sur con los distritos de Chaclacayo y Ate, y al oeste con el distrito de San Juan de Lurigancho.

Ubicado a orillas del río Rímac, comparte el Valle del Río Rímac, con los distritos de Ate y Chaclacayo y se ubica a una altitud de 850 m.s.n.m.

El acceso a la zona del proyecto cuenta con un acceso principal por la vía terrestre, utilizando la vía asfaltada hasta el Distrito de Chosica.

Tabla 4: **Acceso a la zona del proyecto**

<i>De</i>	<i>Hacia</i>	<i>(km)</i>	<i>Vía</i>	<i>Tiempo</i>
Lima	Chosica	42.6	Asfaltada	50 min.

FUENTE: Elaboración propia

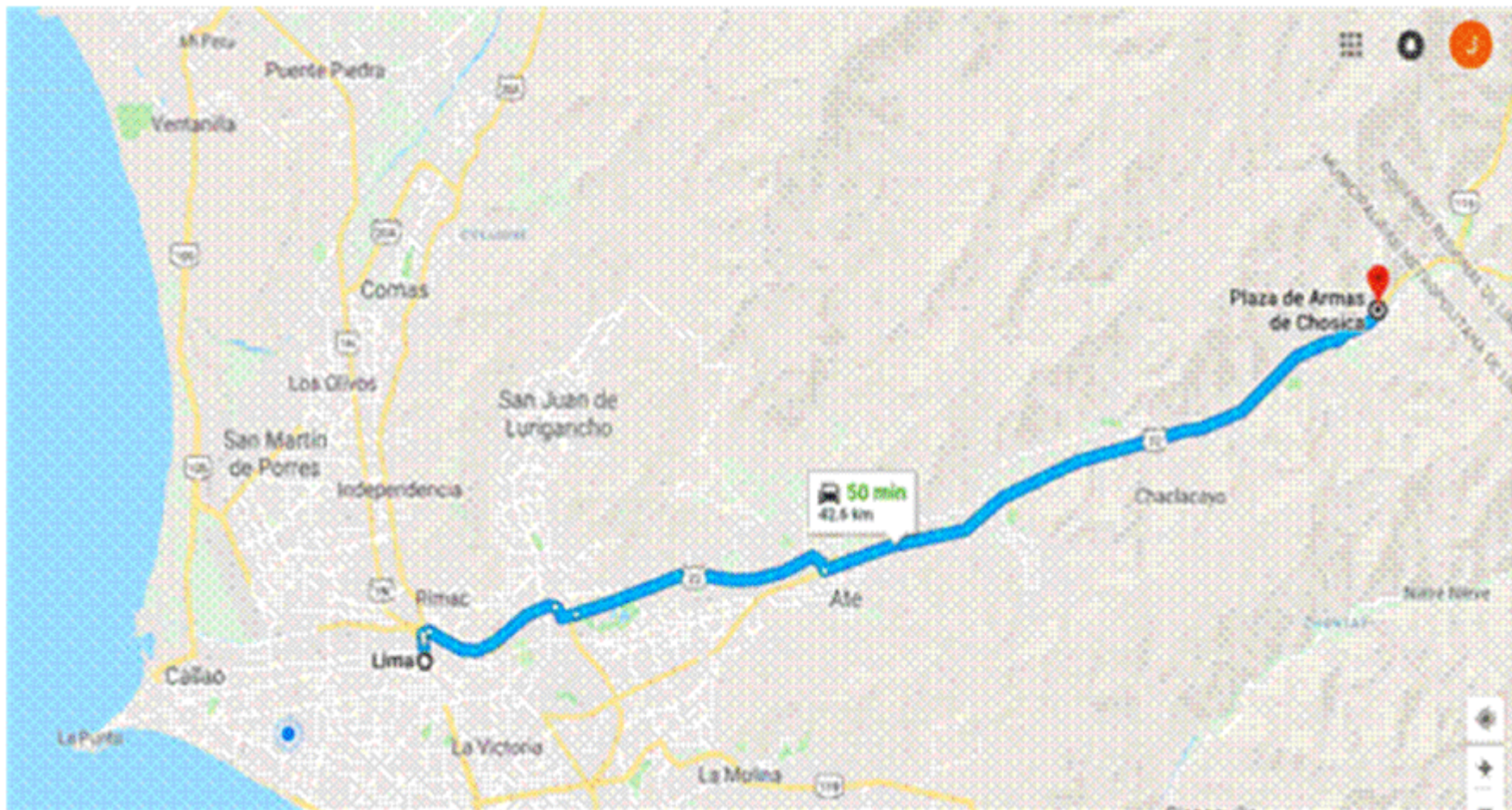


Figura 3: **Esquema de acceso hacia el distrito de Chosica desde Lima.**

FUENTE: Elaboración propia

1.1.2. CLIMA Y RELIEVE

El área que comprende la zona evaluada se ubica en la margen derecha del río Rímac, perteneciente al distrito de Chosica. La zona de estudio posee un clima soleado la mayor parte del año, con temperaturas de 24 C° en los meses de Diciembre-Abril y 16 C° en el mes de Julio; su cercanía a la sierra hace que reciba entre los meses de diciembre a marzo lluvias esporádicas, que generan movimientos de lodo y piedras (huaicos) hacia las zonas bajas donde se encuentran los sectores de población.

La quebrada estudiada se encuentra en la margen derecha del valle del río Rimac. Los niveles de referencia de todas las quebradas se encuentran comprendidas entre los 700 y 900 msnm paralelo al piso de valle del río Rímac, hasta alcanzar los 916 msnm a 1680 msnm.

1.1.3. TOPOGRAFÍA

La topografía de la quebrada Carosio, se realizó con sobrevuelos de drone, permitiendo tomar fotos a una altitud de 200 m, los cuales conjuntamente con el GPS diferencial y puntos de referencia topográfica permiten obtener las coordenadas topográficas de la quebrada en el sistema WGS 84; los trabajos de gabinete consistieron en procesar toda la información recopilada en campo, logrando procesar las ortofotos. Mediante el civil 3D se digitalizó las curvas de nivel de la quebrada. El plano topográfico resultante, presenta curvas de nivel cada 1.0 m, bajo el sistema de coordenadas WGS84, la extensión levantada es de aproximadamente 12 hectáreas.

1.1.4. GEOMORFOLOGÍA

Toda la zona de Carosio corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina de topografía abrupta formada por plutones y stocks del Batolito Costanero, emplazado con rumbo NO-SE, el mismo que ha sido disectado por los ríos y quebradas que se abren camino hacia la costa, formando valles profundos con flancos de fuerte inclinación. La Quebrada tiene un relieve típico en V, con pendiente del cauce de 49%-66%.

1.1.5. ESTRATIGRAFÍA

En la quebrada de estudio tenemos afloramientos de rocas intrusivas del batolito de la costa (Palacios et al, 1192), y depósitos de tipo cuaternario, que detallamos a continuación:

- Súper Unidad Santa Rosa: Esta unidad del cretáceo superior, es la que aflora en los cerros, flancos y parte alta de la quebrada Carosio, la roca es de tipo granodiorita.

- Depósitos Cuaternarios: Bajo esta denominación se pueden incluir a los depósitos de terrazas del río Rímac, los depósitos detritos y aluvial compuesto por gravas arenosas limosas con bloques de hasta 10". El área ocupada por la mayoría de los asentamientos humanos, son depósitos de huaicos que se formaron por disgregación de la Súper Unidad Santa Rosa.

1.1.6. GEODINÁMICA

Proceso geodinámica de remoción en masas: Constituido principalmente por huaicos, los cuales se producen por efectos de las lluvias, los cuales ocasionan la saturación del suelo y pérdida de cohesión.

1.1.7. RIESGOS GEOLÓGICOS

En general el mayor riesgo geológico que se presentan en toda la quebrada es el originado por procesos de remoción en masas (huaicos), provocando esto muchos daños a las viviendas ubicadas en las partes bajas de la quebrada.

Tabla 5: **Evaluación de riesgos**

Evaluación y Gerencia de Riesgos						
Quebrada	Peligro Geológico	Probabilidad Ocurrencia	Consecuencia	Riesgo	Medidas	Acciones
Carossio	Remoción en masa	Cierta	Catastrófica	Extremo	Obras mitigación	Prevención
	Caída de Rocas	Probable	Alta	Extremo	Monitoreo visual	Prevención
	Inundación	Improbable	Baja	Bajo	Monitoreo visual	Prevención

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

1.1.8. HIDROLOGÍA

a. Parámetros hidromorfológicos de la cuenca.

a.1. Parámetros básicos

Constituye la información mínima para tener una idea de la naturaleza y comportamiento de la quebrada Carosio, tributario del río Rímac.

Tabla 6: **Parámetros de la subcuenca de Carosio.**

Nombre del cauce	Área (A)	Perímetro (P)	Longitud de cauce mayor (L)	Ancho promedio (Ap=A/L)	Pendiente del cauce (Ic)	Pendiente de la cuenca	Altitud máxima	Altitud mínima	Desnivel altitudinal	Coeficiente de compacidad (Kc)	Factor de forma (Ff)
	(Km ²)	(Km)	(Km)	(Km)	(%)	(%)	m.s.n.m.	m.s.n.m.	m.s.n.m.		
Qda. Carossio	0.5770	3.302	1.422	0.406	52.02	63	1630	890	740	1.2	0.29

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

a.2. Precipitación

La precipitación promedio anual es 50 mm. De enero a marzo son los meses de mayores precipitaciones.

Tabla 7: **Precipitación mensual en Chosica-Chaclacayo.**

Precipitación (mm)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Promedio	11.02	16.61	17.87	0.31	0.15	0.00	0.00	0.05	0.36	0.76	0.38	3.19

FUENTE: Elaboración propia

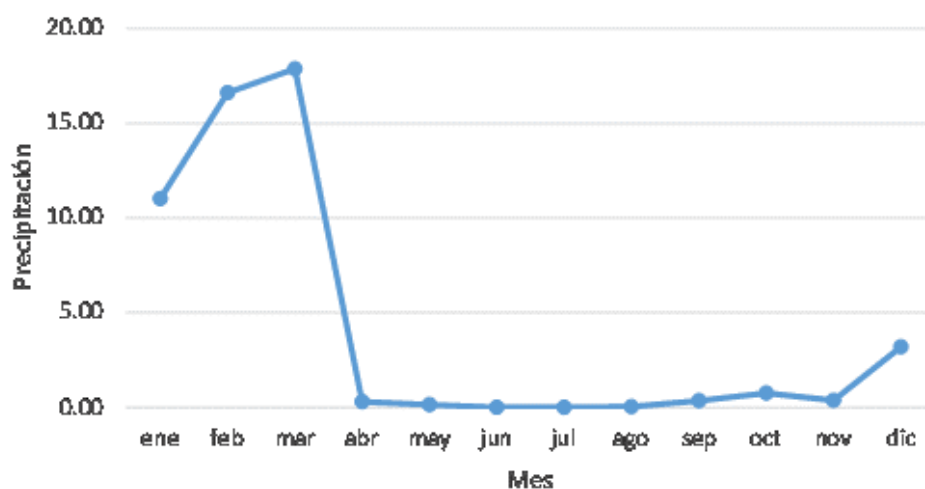


Figura 4: **Distribución de la precipitación mensual.**

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

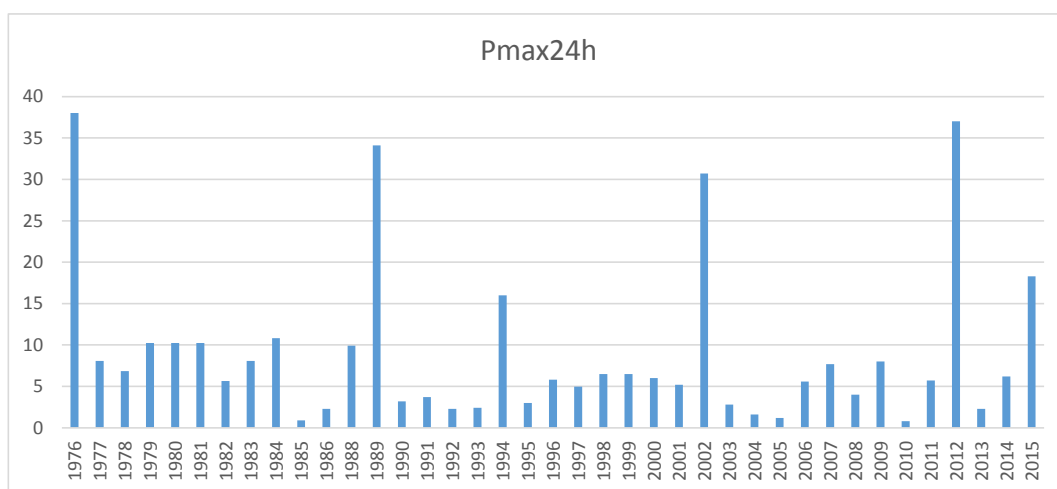


Figura 5: **Precipitación máxima en 24 horas en Chosica-Chaclacayo.**

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

1.2. PLANTEAMIENTO HIDROLÓGICO

1.2.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN

- Para el cálculo de la intensidad de la precipitación se analizaron 20 estaciones meteorológicas, operados por SENAMHI.
- Considerando la insuficiente información de caudales diarios, se empleará el método precipitación-escorrentía, mediante el modelo hidrológico HEC-HMS. En el cuadro 4-2, se muestra las estaciones empleados para el cálculo de la precipitación e intensidad

Tabla 8: Estaciones utilizados en el cálculo de la precipitación.

id	Estación	Latitud	Longitud
1	Autisha	-11.735167	-76.606528
2	Carampoma	-11.655028	-76.515278
3	Matucana	-11.839111	-76.378000
4	San José de Parac	-11.800528	-76.258111
5	Tingo	-11.616667	-76.483333
6	Aeropuerto Jorge Chavez	-12.000000	-77.116667
7	Arahuay	-11.616667	-76.700000
8	Canchacalla	-11.844806	-76.531361
9	Hipólito Unanue	-12.066667	-77.066667
10	Milloc	-11.571278	-76.350000
11	Mina Colqui	-11.583333	-76.483333
12	Huamantanga	-11.500000	-76.750000
13	Ñaña	-11.988528	-76.838833
14	Santa Eulalia	-11.918028	-76.666778
15	Von Humboldt	-12.083333	-76.950000
16	Pariacancha	-11.383611	-76.500278
17	Huaros	-11.400278	-76.566944
18	Canta	-11.466944	-76.616944
19	Lachaqui	-11.550278	-76.616944
20	Huamantanga	-11.500278	-76.750278

FUENTE: http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi

1.2.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA

Aplicando los modelos probabilísticos se calcularon las precipitaciones para 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno. La precipitación es una variable aleatoria continua, que permite evaluar su distribución estadística, ajustado a una ley teórica de probabilidad. Con el uso del programa HidroEsta, se evaluó las series históricas de las precipitaciones. Esta evaluación se realizó con 8 modelos probabilísticos, considerando un nivel de significancia de 5%, método de estimación de parámetros, Momentos Lineales y pruebas de bondad de ajuste por Kolmogorov.

En base a la prueba de bondad de ajuste considerada, que es la se Smirnov Kolmogorov, del análisis de frecuencias realizado se obtuvieron las funciones que mejor se ajustan a los datos de precipitación máxima en 24 horas, en el cuadro 4-3 se observa la función de probabilidad adoptada para cada una de las estaciones.

Tabla 9: **Precipitaciones máximas por estación meteorológicas.**

id	Estación	Latitud	Longitud	Mejor función probabilística	PP 100 (mm)	PP 50 (mm)	PP 25 (mm)
1	Autisha	-11.735167	-76.606528	Log Normal 2 parámetros	38.6	35.19	31.73
2	Carampoma	-11.655028	-76.515278	Log Normal 2 parámetros	38.6	35.77	32.83
3	Matucana	-11.839111	-76.378000	Gamman 3 parámetros	34.9	32.25	29.51
4	San José de Parac	-11.800528	-76.258111	Normal	35.6	33.96	32.19
5	Tingo	-11.616667	-76.483333	Log Normal 2 parámetros	42.5	39.36	36.11
6	Aeropuerto Jorge Chavez	-12.000000	-77.116667	Log Normal 2 parámetros	8.1	6.41	5
7	Arahuay	-11.616667	-76.700000	Gumbel	48.6	43.9	39.3
8	Canchacalla	-11.844806	-76.531361	Log Normal 2 parámetros	58.6	51.2	44
9	Hipólito Unanue	-12.066667	-77.066667	Log Pearson III	18.0	12.3	8.3
10	Milloc	-11.571278	-76.350000	Log Normal 2 parámetros	62.7	57.3	51.7
11	Mina Colqui	-11.583333	-76.483333	Log Normal 2 parámetros	39.1	35.2	31.3
12	Huamantanga	-11.500000	-76.750000	Log Normal 2 parámetros	49.3	43.44	37.75
13	Ñaña	-11.988528	-76.838833	Gumbel	15.6	12.1	9.1
14	Santa Eulalia	-11.918028	-76.666778	Log Normal 2 parámetros	43.3	35.4	28.3
15	Von Humboldt	-12.083333	-76.950000	Gamman 3 parámetros	4.8	4.3	3.8
16	Pariacancha	-11.383611	-76.500278	Gumbel	46.88	43.15	39.4
17	Huaros	-11.400278	-76.566944	Gumbel	41.31	37.82	34.31
18	Canta	-11.466944	-76.616944	Log Pearson III	47.83	42.79	37.94
19	Lachaqui	-11.550278	-76.616944	Log Normal 2 parámetros	55.99	50.95	45.89
20	Huamantanga	-11.500278	-76.750278	Log Normal 2 parámetros	49.31	43.44	37.8

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

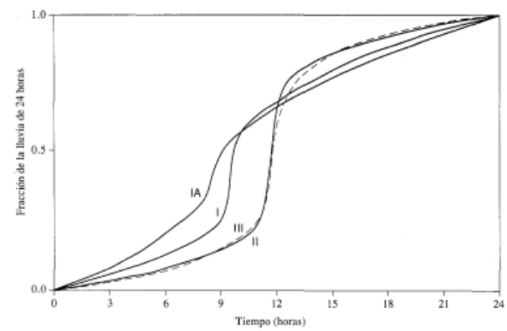
1.2.3. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD.

En algunas situaciones no es suficiente la precipitación máxima para un tiempo determinado y un tiempo de retorno dado, sino conocer la evolución de la tormenta durante ese tiempo. Un hietograma refleja la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo de un tiempo lluvioso que se puede producir en ese punto con un periodo de retorno dado. Representación de la precipitación en función del tiempo.

El SCS, desarrolló hietogramas sintéticos de tormentas, con duración de 6 y 24 horas. El SCS, plantea 4 tormentas de 24 horas de duración, llamadas Tipo I, IA, II y III.

Tabla 10: Tipos de Hietograma, según el SCS.

Tormenta de 24 horas					Tormenta de 6 horas			
P _t /P ₂₄					P _t /P ₆			
Hora t	t/24	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III	Hora t	t/6	P _t /P ₆
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020	0.60	0.10	0.04
4.0	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043	1.20	0.20	0.10
6.0	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072	1.50	0.25	0.14
7.0	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089	1.80	0.30	0.19
8.0	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115	2.10	0.35	0.31
8.5	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130	2.28	0.38	0.44
9.0	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148	2.40	0.40	0.53
9.5	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167	2.52	0.42	0.60
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178	2.64	0.44	0.63
10.0	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189	2.76	0.46	0.66
10.5	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216	3.00	0.50	0.70
11.0	0.459	0.624	0.624	0.235	0.250	3.30	0.55	0.75
11.5	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298	3.60	0.60	0.79
11.75	0.489	0.669	0.655	0.357	0.339	3.90	0.65	0.83
12.0	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500	4.20	0.70	0.86
12.5	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702	4.50	0.75	0.89
13.0	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751	4.80	0.80	0.91
13.5	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785	5.40	0.90	0.96
14.0	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811	6.00	1.0	1.00
16.0	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886			
20.0	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957			
24.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			



FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

Los Tipos I y IA corresponden al clima marítimo del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos. El Tipo III corresponden al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas muy grandes. El Tipo II corresponde al resto del país.

Tomando el modelo tipo II, se tiene una intensidad de 25, 30, 35 y 42, mm/hr, para 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno, este valor será de entrada en el modelo HC-HMS.

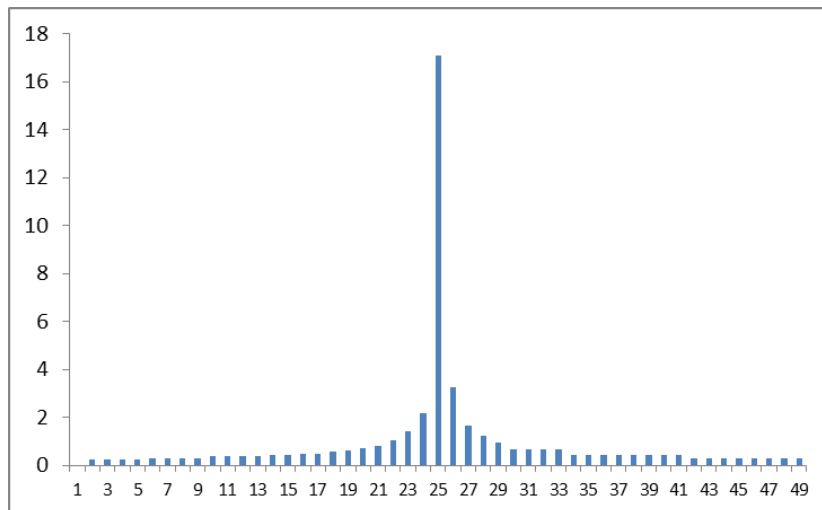


Figura 6: Hietograma de la precipitación máxima en Chosica-Chaclacayo.

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

1.3. METODOLOGÍA EMPLEADA

Considerando la información de precipitaciones máximas diarias y la información física de la cuenca, se emplearán los métodos: modelo precipitación-escorrentía con el HEC-HMS.

1.3.1. APLICACIÓN DEL MODELO HEC-HMS

Para calcular los caudales mediante este método, se necesita constituir 4 componentes: (1) modelo cuenca, (2) Time-series data, (3) modelo meteorológico y (4) Especificaciones de control.

a. Quebrada Carosio

a.1. Modelo cuenca.

En este componente se ingresará los datos físicos de la cuenca y los métodos de pérdida y transformación de lluvia a caudal.

- Datos físicos
- Área: 0.58 Km²
- Curva Número: 80-85
- Tiempo de retardo: $0.6 \cdot T_c$: 4-8 min
- Método de pérdidas: SCS Curva Número
- Método de Transformación: SCS hidrograma unitario

En la siguiente figura, se muestra el componente 1, correspondiente al modelo de cuenca.

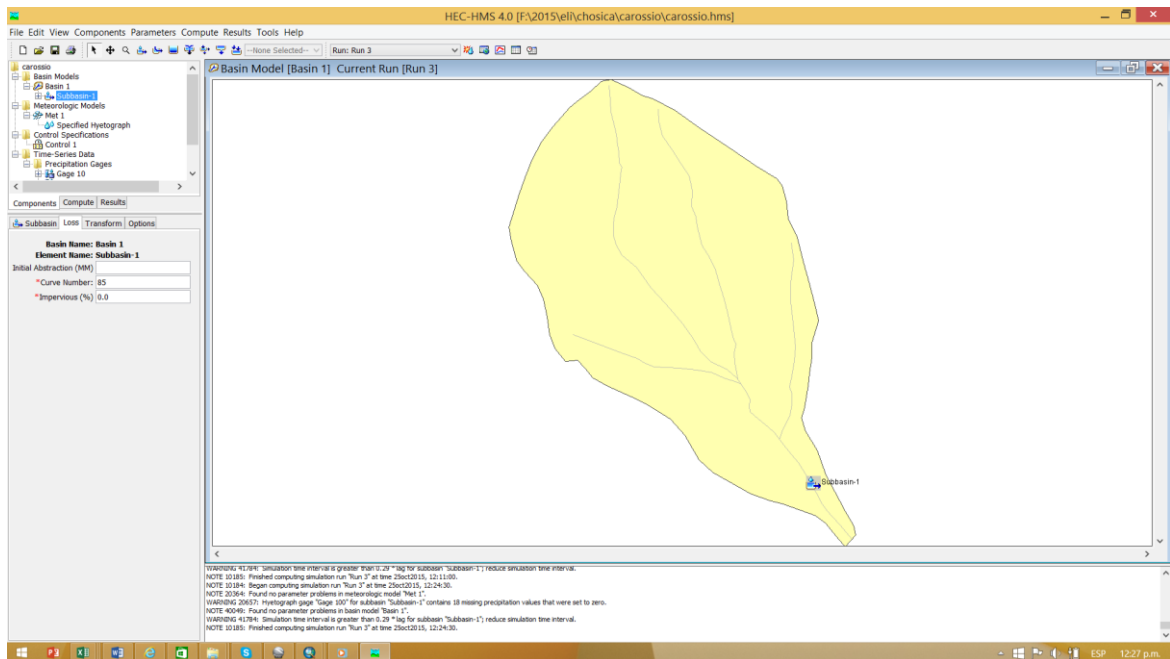


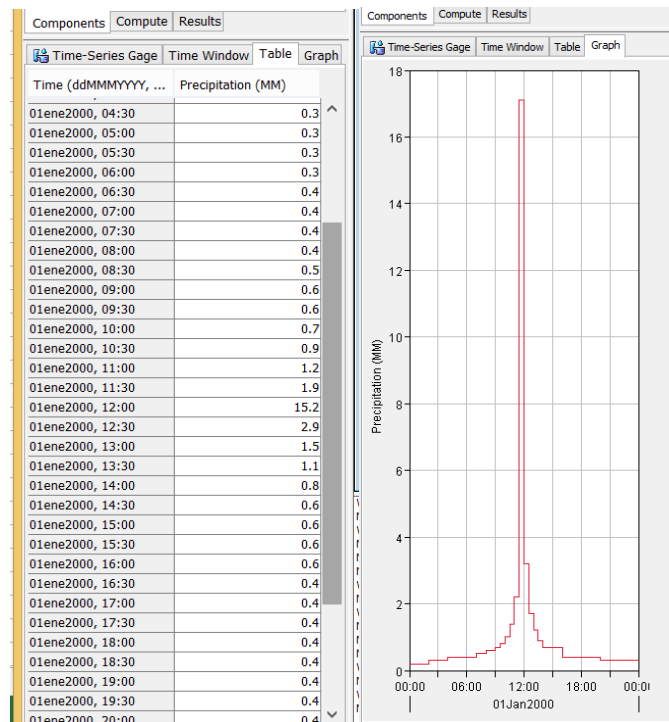
Figura 7: Modelo cuenca Carosio del modelo hidrológico HEC-HMS.

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

a.2. Time-Series-Data.

En este componente se ingresará la información de la precipitación máxima desagregado cada 30 minutos y por un periodo de 24 horas (hietograma). En el cuadro siguiente, se muestra los valores del hietograma con su gráfico.

Tabla 11: Valores del hietograma para la quebrada Carosio.



FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

a.3. Modelo Meteorológico.

En este componente se relaciona la cuenca con la información de la precipitación.

a.4. Especificaciones de control.

En este componente se dará las condiciones y el tiempo para la simulación del modelo. Se ha considerado un tiempo de simulación de 29 horas en intervalos de tiempo de 10 minutos. Realizado la simulación para las condiciones indicadas, los caudales se muestran en el cuadro son:

Tabla 12: Caudales obtenidos en Carosio por el modelo HEC-HMS.

Cauce	Periodo de retorno	Caudal (m3/s)
Qda. Carosio	10	0.6
	25	1.0
	50	1.5
	100	2.2

FUENTE: Autoridad Nacional Del Agua

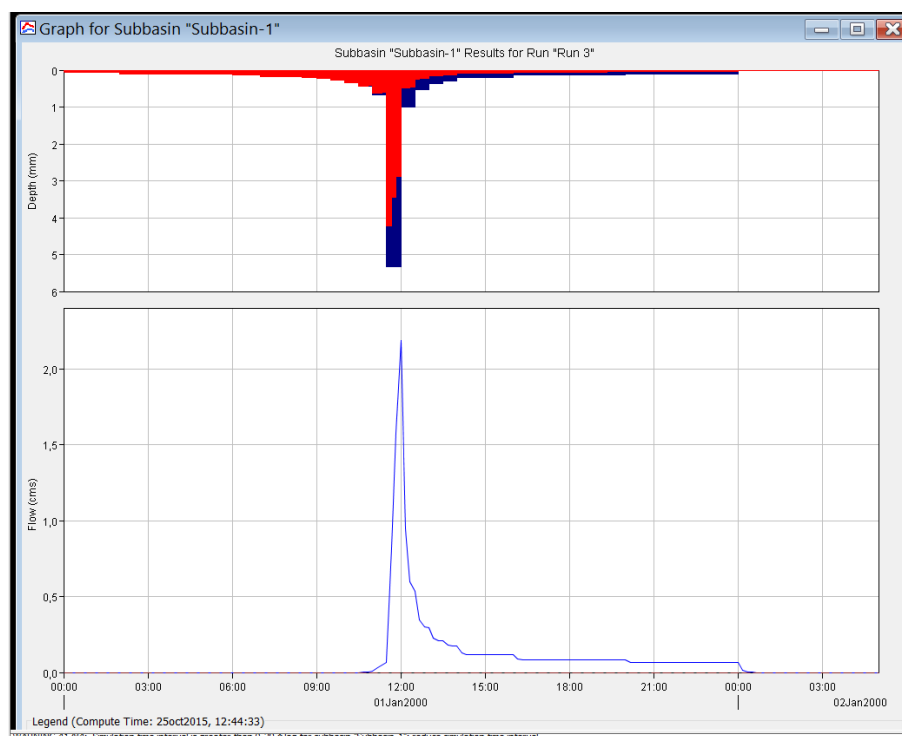


Figura 8: **Altura de la precipitación y comportamiento del flujo en Carosio.**

FUENTE: *Autoridad Nacional Del Agua*

1.3.2. GEOTECNIA

Para la barrera de la quebrada Carosio, se ha identificado los tipos de materiales donde se colocarán los anclajes, en el siguiente cuadro se muestra los tipos de materiales encontrados:

Tabla 13: **Tipos de materiales en las barreras**

Quebrada	N° Barrera	Tipo de barrera	Talud Izquierdo	Cauce	Talud Derecho
Carosio	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 H4	Roca	Suelo	Roca

FUENTE: *Elaboración propia*

- Suelo: Compuesto por depósitos aluviales y de detritos, formados por remoción en masas, los depósitos aluviales está 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 roca en la quebrada Carosio, son de tipo igneo e intrusivo, de tipo granodiorita, los cuales forman parte de la formación Santa Rosa. 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 geomecánicas mejoran con la profundidad.

Los pernos usados para suelo, serán barras auto perforantes R38-500 o equivalente (Grado 75°), de 38 mm de diámetro, con resistencia a la fluencia igual a 400 KN; mientras que para roca se usara barras GEWI de diámetro igual a 32 mm o equivalente (Gr 75°), con resistencia a la fluencia igual a 400 KN.

Para los anclajes de los taludes y quebrada de las barreras, en general deberán cumplir lo indicado para una carga a servicio de 350 KN, los pernos proyectados tanto para suelo como para roca tienen una resistencia a la fluencia de 400 KN; así mismo los pernos ubicados en los dados de anclajes deberán tener una resistencia de 200 KN a 350 KN. Las longitudes de los pernos se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 14: **Longitud de anclajes de los pernos pasivos**

<i>Tipo de anclaje</i>	<i>Zona</i>	<i>Longitud Total (m)</i>
Longitud de anclaje en roca	Taludes y Cauce	5.00
Longitud de anclaje en suelo coluvial	Taludes y Cauce	9.00
Perno vertical en suelo	Dado de concreto	3.50-5.50
Perno inclinado en suelo	Dado de concreto	3.50-5.50

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

Para verificación de las longitudes de los pernos, se ha propuesto realizar pruebas de tensión en los anclajes a 20 ton (50% de carga elástica) y 7 días de inyectados los pernos.

1.3.3. RIESGOS

En general los riesgos para huacos en la quebrada son altos a extremos, pudiendo provocar consecuencias altas a catastróficas; con la finalidad de mitigar los efectos de los huacos, se ha proyectado la colocación de 04 barreras dinámicas en la quebrada Carosio, las cuales permitirán la retención de sólidos, dando tiempo a las poblaciones ubicadas en la parte baja de la quebrada tomar las medidas de seguridad necesarias para salvaguardar la vida de personas.

1.3.4. CONDICIONANTES TÉCNICOS

a. Barreras dinámicas

Las características, ubicación y tipos de barreras han sido evaluadas teniendo en consideración las condiciones geomorfológicas de la quebrada, el volumen de almacenamiento, y volúmenes estimados de transporte de sedimentos (Evaluados en el estudio Geotécnico), así mismo se ha tenido en cuenta la capacidad de disipación de energía mediante tramos escalonados.

Los tipos de barreras han sido determinados de acuerdo a las condiciones geológicas y geotécnicas replanteadas y evaluadas en campo, el cual ha permitido tener una mayor eficacia en la retención de sólidos y por consiguiente mitigar los peligros generados por la generación de huaicos. A continuación, se describen los criterios para la determinación del tipo y ubicación de las barreras:

Se ha proyectado ubicar las barreras en la parte baja a media de la quebrada, donde se concentran la mayor cantidad de sedimentos propensos a moverse con la acción de precipitaciones.

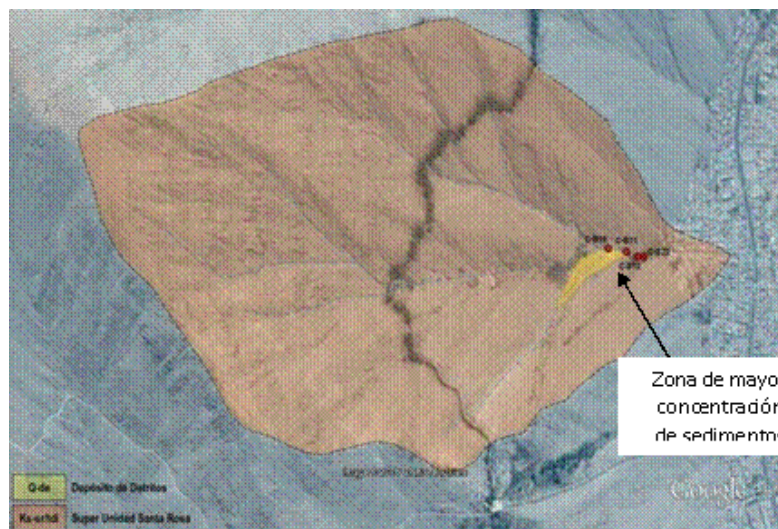


Figura 9: **Geología de la quebrada Carosio donde se observa las zonas de mayor concentración de sedimentos**

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

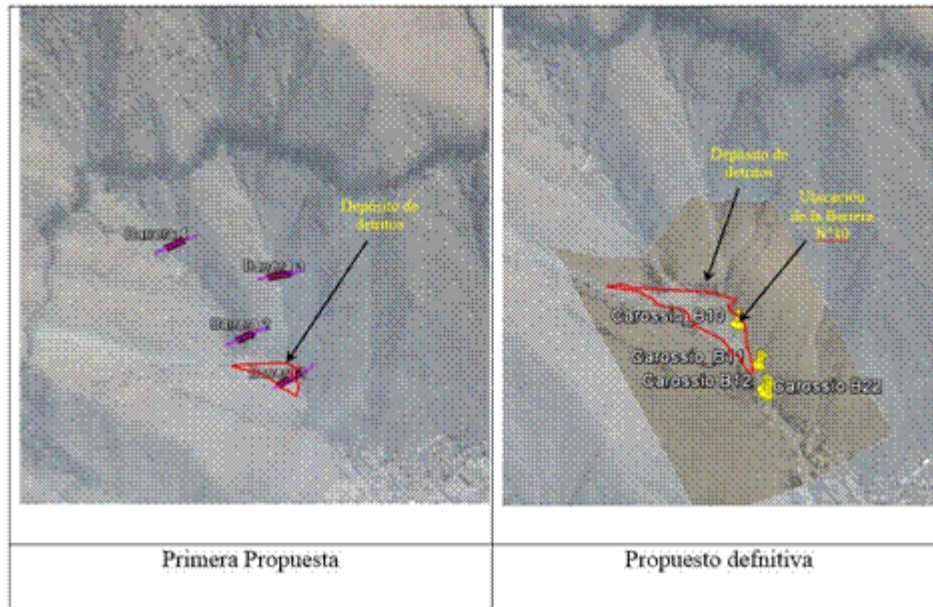


Figura 10: **Ubicación de barreras en la quebrada Carosio**

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

- La quebrada tiene poca longitud, por lo que las barreras mitigar mejor el efecto de los huaicos ubicándolas en la parte baja de la quebrada.
- La capacidad de almacenamiento está en función a las condiciones topográficas, las cuatro barreras permitirán retener sólidos compuestos por roca y suelo, de aproximadamente 7200 m³.
- Las barreras han sido ubicadas en forma escalonada en la parte baja, el cual permitirá almacenar materiales y disipar la fuerza de las avenidas, esta modalidad permitirá tener el tiempo necesario para que las poblaciones ubicadas en la parte baja evacuen o estén alertas de los peligros de la generación de huaicos.
- La cantidad de barreras permitirán contener bloques de roca de los huaicos que son los que generan el mayor peligro a las viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada.
- Respecto a las condiciones geológicas y geotécnicas, las barreras están ubicadas en los estribos por roca granodiorita de mediana calidad, poco fracturada; mientras que la zona del cauce está compuesto por material aluvial medianamente consolidado. Solo en la barrera 10 se ha identificado bloques de roca, en donde se está proponiendo trabajos complementarios de estabilización del talud para poder proceder con la instalación de la barrera.

- Las cuatro barreras han sido dimensionadas teniendo en cuenta la velocidad del huacos, condición topográfica, cuyos tamaños de barreras son estándares en función al ancho del cauce y a la altura de las laderas de la quebrada, las mismas que han sido simuladas en el programa DEBFLOW, permitiendo obtener el tipo y resistencia característica de la barrera.

A continuación, se presenta las características y de cada tipo de barrera planteada en la quebrada Carosio:

Tabla 15: Características y coordenadas de las barreras en Carosio

Quebrada	N° Barrera	Tipo de barrera	Base menor (m)	Base mayor (m)	Altura (m)	Cantidad de postes	Este	Norte	Volumen aproximado de retención (m³)
Carosio	N°10	UX180 H6	40	55	6	6	316108	8681404	4015
	N°11	UX180 H6	20	33	6	2	316145	8681360	1835
	N°12	UX120 H6	8	18	6	2	316155	8681338	900
	N°22	UX100 H4	6	24	4	1	316162	8681330	462

Nota.-

*Las dimensiones como la ubicación obtenidas de acuerdo a la topografía y a las mediciones realizadas en campo.

**La coordenada se encuentran en el sistema WGS 84

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

Barreras UX: para quebradas de anchos de 15 m, o superiores

Este tipo de barreras para detritos son situadas en quebradas de gran dimensión, donde se tienen postes y anclajes de retención intermedios. Este tipo de barrera es evaluada para la quebrada Carosio debido a que los anchos son iguales o mayores a 15 m, y una altura de barrera de hasta 6 m.

A continuación se muestra una figura del tipo de barrera planteada para la quebrada Carosio.

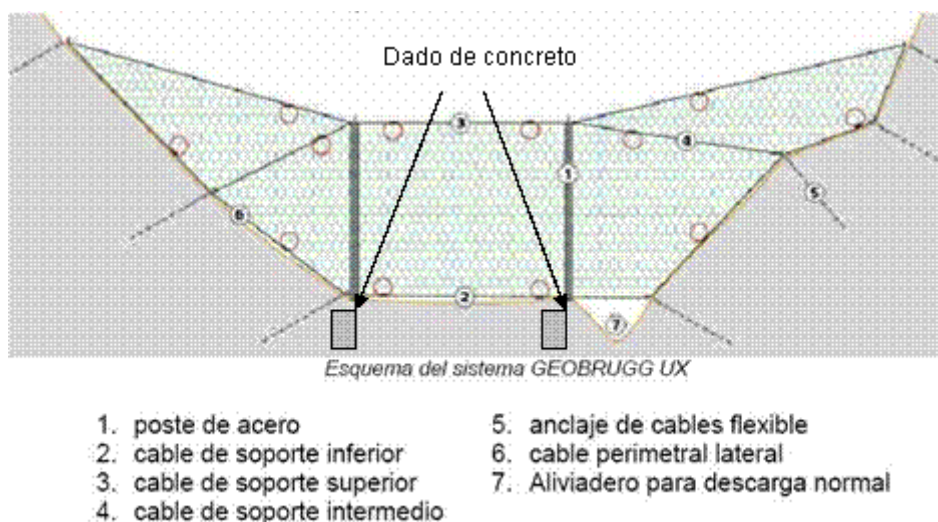


Figura 11: Tipos de Barreras Dinámicas y descripción de sus elementos.

FUENTE: Geobrugg

1.3.5. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BARRERAS DINÁMICAS

Ante la ocurrencia de una avenida se prevé la siguiente secuencia:

- Llegada del huaico e impacto en la primera barrera.
- Retención de material grueso hasta la capacidad máxima de la barrera.
- Desborde por encima de la barrera: En este caso por experiencias del fabricante realizados en ensayos a escala natural, la barrera seguirá estable, reteniendo el material acumulado previamente y soportando el flujo por encima de ella.
- Inicio del flujo de desborde.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

La cantidad de sedimentos y bloques de piedra transportados es una mezcla del volumen de agua y volumen de suelos deslizados a lo largo de toda la quebrada, para que una masa de suelo sea transportada tiene que presentarse gran cantidad de agua y que la pendiente de la quebrada sea pronunciada.

Todo suelo en la quebrada siempre estará propenso a erosionarse o deslizarse cuando pierda la totalidad de cohesión por efecto del agua de precipitación, el cual va a depender del tiempo de precipitación, por lo que es muy difícil definir volúmenes de sedimentos en forma exacta.

A continuación, se evalúa los criterios tomados en cuenta para la determinación de los sedimentos:

- Tipo de suelo, en este caso son gravas arenosas limosas o arenas limosas arenosas, con bloques de piedra de gran tamaño.
- Pendiente de la quebrada, a menor pendiente menor velocidad y mayor capacidad de almacenamiento de las barreras dinámicas.
- Intensidad y tiempo de precipitación, en este caso evaluamos la precipitación máxima en 30 minutos, para periodo de retorno de 100 años.
- En el caso de huaicos podemos considerar que para que exista fluencia del suelo, cuando al menos el 70% de volumen total es agua, para que de esa forma exista viscosidad y por consiguiente movimiento.
- Zonas inestables, como lo observado en la quebrada donde se presenta un depósito de detritos y depósito aluvial.
- Porcentaje estimado de suelo en toda la quebrada, evaluado en la parte geológica.
- Espesor de suelo erosionado por escorrentía superficial, para nuestros cálculos consideramos 1.0 m y que entre el 10% al 30% se transforma en huaicos.

Tabla 16: **Volúmenes de sedimentos**

Quebrada	Cuenca				Volumen de sedimentos (m³)				
	Perímetro	Área	% Roca	% Suelo	Suelo deslizado		Agua		Estimado de volúmenes deslizados (m³)
	(km)	(km²)			Espesor de suelo erosionado (m)	Volumen (m³)	Caudal (m³/s) Tr=100 años	Volumen (m³)	
Carosio	3.3	0.57	80	20	1.00	114000	2.4	4320	

FUENTE: *Autoridad Nacional del Agua*

Los criterios para definir la cantidad de barreras son los siguientes:

- Tamaño de la quebrada.
- Antecedentes de caídas de huaicos.
- Pendiente de la quebrada.
- Volúmenes estimados de retención que permita el tiempo suficiente para que las poblaciones ubicadas en la parte bajan de la quebrada estén alertas ante los peligros.

En el siguiente cuadro se evalúa la cantidad de barreras en función a la pendiente y volumen:

Tabla 17: **Cantidad de barreras y capacidad de almacenaje en la quebrada Carosio**

<i>Quebrada</i>	<i>% de sedimentos removidos</i>	<i>Volumen estimado de huaicos</i>	<i>Escala de pendiente</i>		<i>Requerimiento</i>	<i>Volumen de almacenaje de las barreras por quebrada (m³)</i>
Carosio	30	36500	52 %	Muy Pronunciada	4 barreras	7212
Nota.- Los porcentajes de volúmenes de huaicos son estimados						

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

1.4.1. TIPOS DE BARRERAS

Los tipos de barreras están en función a la dimensión de la quebrada y a la presión que se requiere para resistir las fuerzas cinemáticas de los huaicos.

Para este proyecto se ha considerado tres tipos de barreras dinámicas:

Barrera UX 100 H4: consiste en barreras capaz de resistir una presión cinemática de flujo de huaicos de hasta 100 KN/m², la altura máxima es de 4 m, mientras que la máxima dimensión de la barrera será de 25 m, con uno o dos postes intermedios especiados como máximo igual a 10 m.

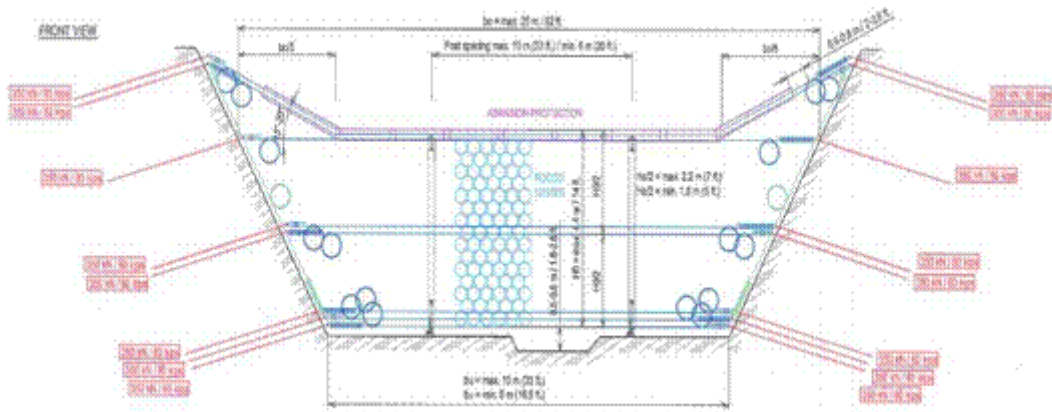


Figura 12: **Barrera UX120- H6.**

FUENTE: Geobrugg

- Barrera UX 120 H6: consiste en barreras capaz de resistir una presión cinemática de flujo de huaicos de hasta 120 KN/m², la altura máxima es de 6 m, mientras que la máxima dimensión de la barrera será de 24 m, con dos postes intermedios espaciados como máximo igual a 12 m.

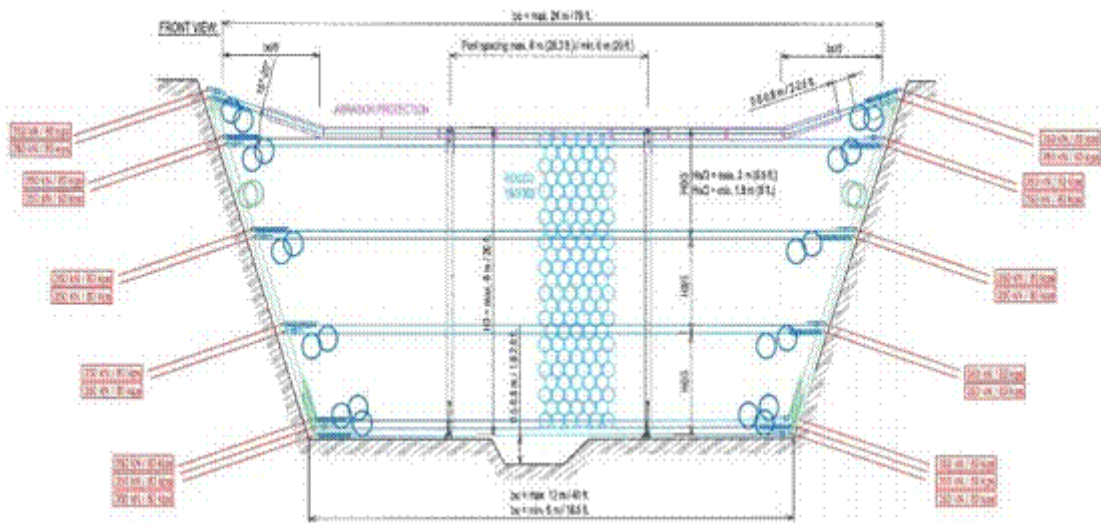


Figura 13: **Barrera UX120- H6.**

FUENTE: Geobrugg

- Barrera UX 180 H6: consiste en barreras capaz de resistir una presión cinemática de flujo de huaicos de hasta 180 KN/m², la altura máxima es de 6.00 metros mientras que la máxima dimensión de la barrera será de 24.00m, con dos postes intermedios espaciados como máximo 12.00 metros.

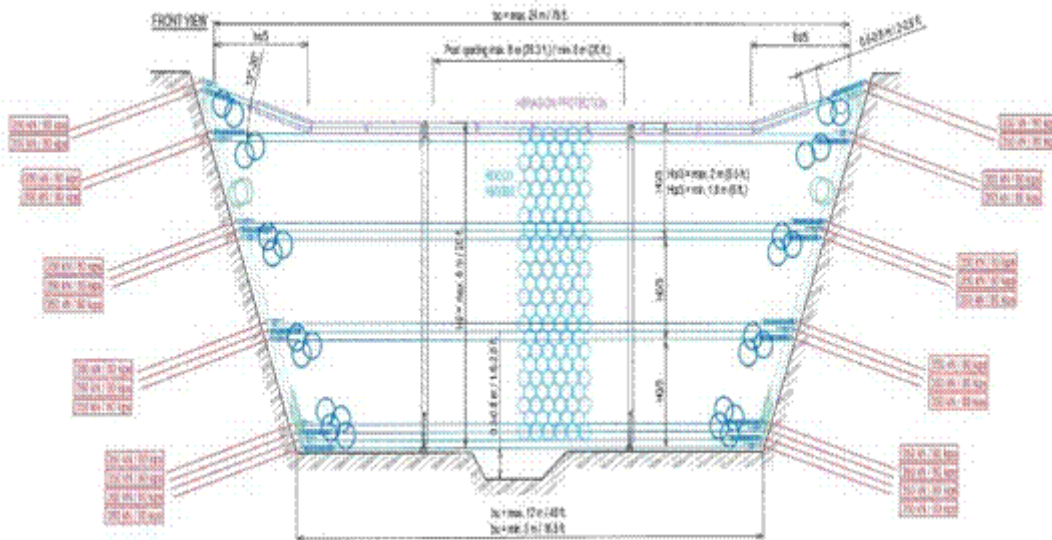


Figura 14: **Barrera UX180- H6.**

FUENTE: Geobrugg

1.4.2. COMPORTAMIENTO DE LAS BARRERAS ANTE HUAICOS

El comportamiento de las barreras, tiene los siguientes estados:

- **Estado 1:** El primer impacto de ola alcanza la red de malla con desagüe por la base. El frente del huaico alcanza la barrera de anillos instalada. Sobre el cable portante inferior actúan la presión hidrostática (P_{hyd}) y un componente dinámico que se reparte sobre la altura de la corriente (h_{fl}). El material a retener será de huaicos compuesto por una mezcla de lodo y bloques de piedra de gran diámetro, cuyo peso específico es de 2.1 ton/m³.

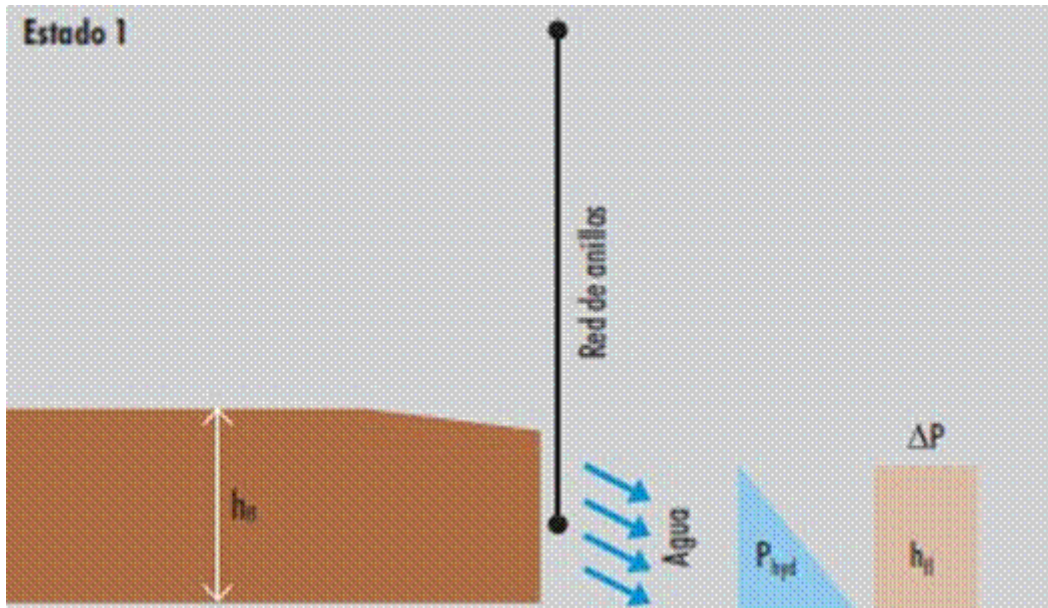


Figura 15: Estado 1 del comportamiento de una barrera ante huaicos

FUENTE: Geobruigg

- **Estado 2:** Sobre el primer impacto de la ola retenido empuja el siguiente con altura de corriente hH . La presión hidrostática (P_{hyd}) actúa sobre la altura de llenado $2h_{fl}$. El componente dinámico traslada el segundo impacto a su zona de influencia hacia arriba. La carga ejercida por el segundo impulso drena el material de la primera capa.

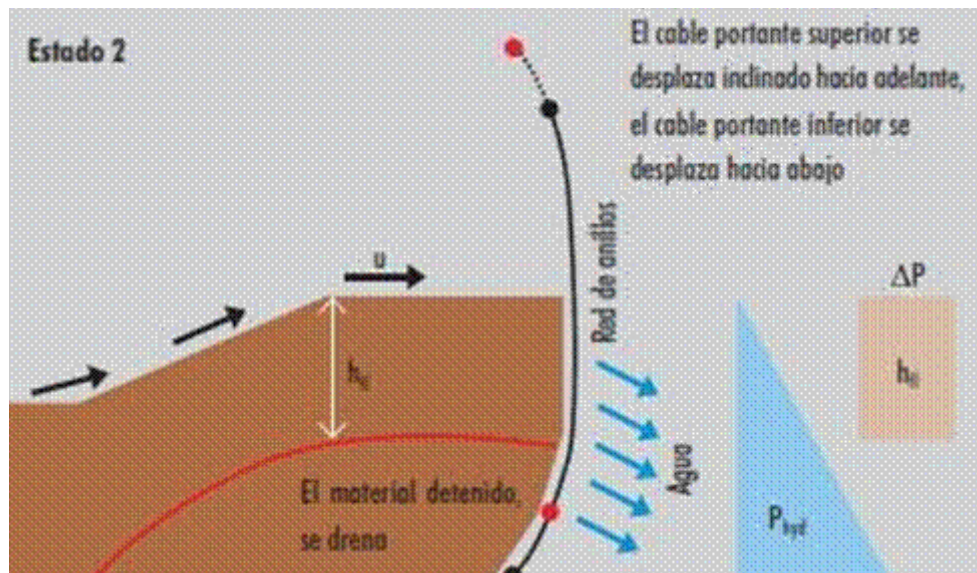


Figura 16: Estado 2 del comportamiento de una barrera ante huaicos

FUENTE: Geobruigg

- **Estado 3:** Otro impacto de ola llena la red. El número total de impactos de ola hasta que la red se llena del todo, depende de la altura de la corriente y también de la altura de la red de barrera. La secuencia es la misma que en los estados 1 y 2. La siguiente ola se empuja sobre el material ya detenido. La presión hidrostática (P_{hyd}) actúa sobre la altura de llenado y el impacto dinámico, sobre la altura de la corriente (h_{fl}) de la tercera ola. La presión hidrostática disminuye poco a poco según las características del material, el comportamiento del desagüe y el tiempo de llenado, aproximándose a la presión activa del material retenido.

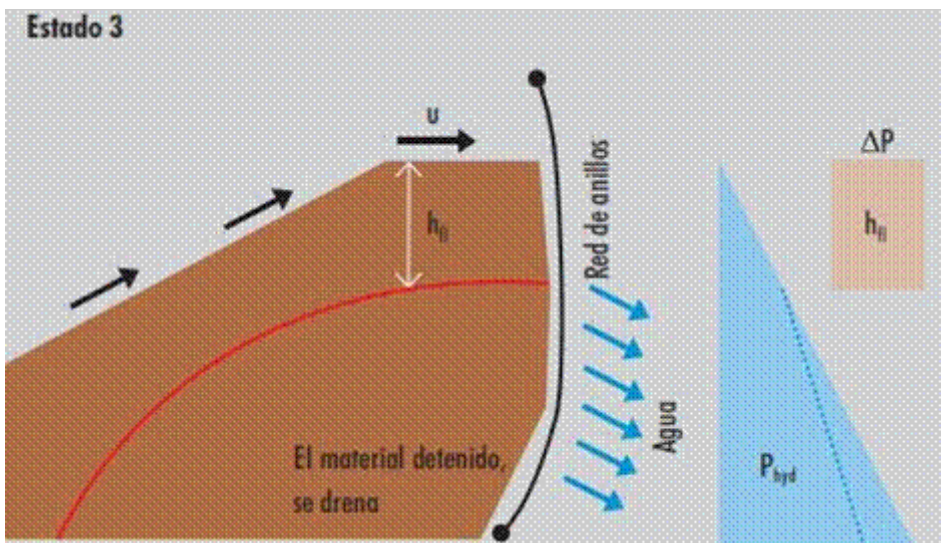


Figura 17: Estado 3 del comportamiento de una barrera ante huaicos

FUENTE: Geobrugg

- **Estado 4-rebosado:** El siguiente impulso sobrepasa la red ya colmatada. Este actúa sobre la red con la carga de los detritos y su carga de empuje. Con el rebose no actúa ningún golpe más sobre la red. El peso de los detritos que rebosan la red y la fuerza cortante afectan el material retenido delante de la barrera, provocando que la componente hidrostática actúe como una componente adicional procedente del esfuerzo cortante y de la carga de los escombros ($+P_{hyd}$). Según sea el comportamiento del drenaje del material y la duración del proceso de llenado, la presión hidrostática puede reducirse. □

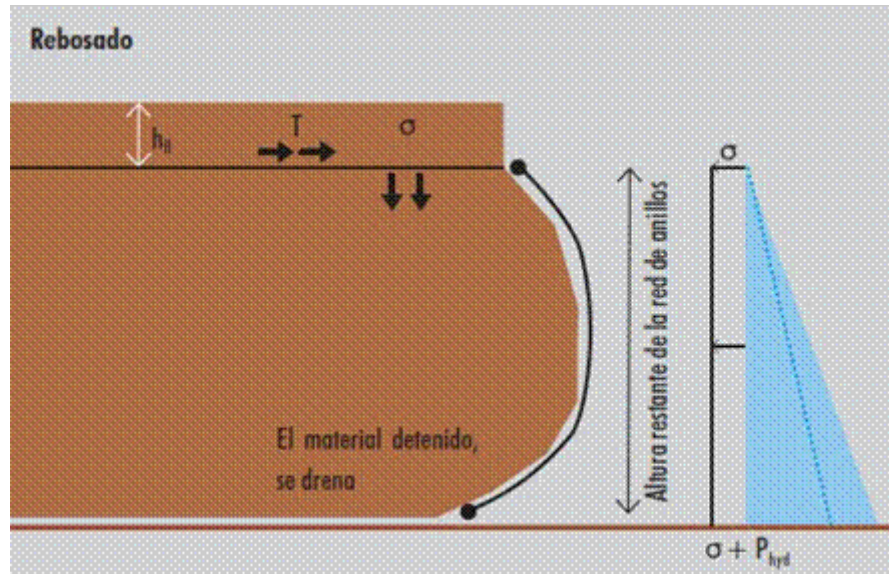


Figura 18: Estado 4 o rebosado del comportamiento de una barrera ante huaicos

FUENTE: Geobrugg

1.4.3. UBICACIÓN Y TIPOS DE BARRERAS

La cantidad de barreras estimadas para la quebrada, será distribuida de tal forma que permita el adecuado control y mitigación de los flujos de huaicos, para ello se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- La parte alta de la quebrada se presenta mayores afloramientos de roca y menos material cuaternario sobre la roca.
- En la parte baja a media se concentran la mayor cantidad de sedimentos propensos a moverse con la acción de precipitaciones.
- La quebrada tiene poca longitud, por lo que las barreras se concentraran en la parte baja.
- Capacidad de almacenamiento en función a las condiciones topográficas.
- Las barreras han sido ubicadas en forma escalonada en la parte baja, el cual permitirá almacenar materiales y disipar la fuerza de las avenidas, esta modalidad permitirá tener el tiempo suficiente para que la población ubicada en la parte baja evacuen y estas alertas de los peligros de los huaicos.

A continuación, se muestra la ubicación referencial de cada barrera:

Tabla 18: **Ubicación de las barreras en la quebrada Carosio (sistema WGS84)**

<i>Quebrada</i>	<i>Barrera</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
Carosio	10	316108	8681404
	11	316145	8681360
	12	316156	8681338
	22	316162	8681330

FUENTE: Elaboración propia

Para evaluar cada tipo de barrera se ha tomado en consideración los siguientes criterios técnicos:

- Condiciones geológicas y geotécnicas de las barreras en la quebrada.
- Condición geomorfológica de la quebrada.
- Volúmenes estimados de huaicos.
- Escala de riesgos de cada quebrada.
- Metodología de cálculos, para berreras escalonadas e individuales mediante el cálculo dimensiones DEBFLOW (según presiones de flujo), la cual ha sido elaborada en función a la experiencia tenida en todo el mundo y en función a ensayos a escala.

A continuación se muestran algunas formulaciones con las cuales se realizaran el cálculo de las barreras:

Caudal de descarga de suelo granular (huaycos):

$$Q_{pg} = 0.135V_{DF}^{0.78} \quad \text{Ec. 4}$$

Caudal de descarga de suelo fino:

$$Q_{pf} = 0.0188V_{DF}^{0.79} \quad \text{Ec. 5}$$

Velocidad de descarga (Riecknman):

$$v_r = 2.1Q_p^{0.33}S^{0.33} \quad \text{Ec. 6}$$

Velocidad de descarga (Manning):

$$v_m = \left(\frac{1}{n_d}\right)h^{0.67}S^{0.5} \quad \text{Ec. 4}$$

Altura del huaycos:

$$h = \frac{Q_p}{vb} \quad \text{Ec. 5}$$

Masa efectiva de huaycos:

$$M = \gamma Q_p T_{imp} \quad \text{Ec. 7}$$

Energía de huaycos:

$$E_{KIN} = \frac{1}{2}Mv^2 \quad \text{Ec. 8}$$

Fuerza pseudoestática aplicada sobre la barrera:

$$F_{QS} = \frac{Mv^2}{f} \quad \text{Ec. 9}$$

Fuerza de cada barrera:

$$F_B = PB_{media}H \quad \text{Ec. 10}$$

Factor de contingencia >1

$$FS = \frac{F_B}{F_{QS}} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

Q_{pg} : Caudal de descarga de suelo granular.

Q_{pf} : Caudal de descarga de suelo fino.

v_r : Velocidad de descarga Rickeman.

v_m : Velocidad de descarga maninng.

S : Es la pendiente de la quebrada.

h : La altura de huaycos.

n_d : Coeficiente de maninng 0.10-0.18.

γ : Peso específico del material, 2100 kg/m³.

b : Ancho medio de la barrera (m).

T_{imp} : Tiempo de impacto entre 1s y 4 s.

f : Deflexión de la barrera 2.0 m - 3.0 m

1.4.4. QUEBRADA CAROSIO

Tabla 19: **Barreras dinámicas en Carosio**

Barrera N°	Tipo de Barrera	Dimensiones proyectadas	Observación
10	UX180 H6	B1=40m, B2=55m, h=6m, 6 postes	Las dimensiones de las base de las barreras son estimadas, las cuales pueden variar en función a la limpieza de cada sector +/-10%.
11	UX180 H6	B1=20m, B2=33m, h=6m, 2 postes	
12	UX120 H6	B1=8m, B2=18m, h=6m, 2 postes	
22	UX100 H4	B1=6m, B2=24m, h=4m, 1 poste	

Nota: B1: Base menor, B2: Base mayor, h: altura

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

Tabla 20: Cálculo de los tipos de barreras

N° Barrera	Quebrada	Tipo de barrera	Base o	Base a	Altura (H)	Pendiente	Densidad (Kg/m3)	Coefficiente g	Tiempo de impacto	Tiempo de a	Deflexión de a	VDF (m³)	Caudal de descarga	Caudal de a g	Velocidad	Altura del a	Velocidad	Impacto	Impacto	Fuerza en barrera min (KN)	Fuerza en barrera max(KN)	Fuerza de cada barrera KN	FS
10	Carosio	UX180 H6	50	66	6	52	2100	0.1	1.0	4.0	3.0	26000	375.0	57.8	12.0	0.5	4.8	27581.6	35894.7	18387.7	23929.8	62640.0	2.6
11		UX180 H6	20	33	6	52	2100	0.1	1.0	4.0	3.0	7500	142.2	21.6	8.7	0.6	5.2	7154.5	15877.2	4769.7	10584.8	29160.0	2.8
12		UX120 H6	8	18	6	52	2100	0.1	1.0	4.0	3.0	1500	40.5	6.1	5.7	0.5	4.8	1179.6	3903.4	786.4	2602.3	9360.0	3.6
22		UX100 H4	6	24	4	52	2100	0.1	1.0	4.0	3.0	1500	40.5	6.1	5.7	0.5	4.4	1083.5	3222.3	722.4	2148.2	6000.0	2.8

En el anexo 3, se muestra las salidas del programa DEBFLOW para cada barrera evaluada en Carosio.

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

1.4.5. TIPO DE MATERIAL EN CADA BARRERA

Para cada barrera, se ha identificado los tipos de suelo o roca donde se colocarán los anclajes, en el siguiente cuadro se muestra los tipos de materiales encontrados para cada zona:

Tabla 21: **Tipos de materiales en las barreras de Carosio**

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 H4	Roca	Suelo	Roca

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

Para definir las características físicas de los materiales que conforman la quebrada Carosio, ha sido evaluado en función al estudio geológico realizado y a las inspecciones de campo realizadas en la quebrada donde se va a implementar las barreras dinámicas; definiendo los dos tipos de materiales compuesto por suelo y roca, a continuación se realiza una descripción de los tipos de materiales:

- Suelo: Compuesto por depósitos de detritos, formados por remoción en masas, conformado por bloques de piedra sueltos que tienen hasta 12” de diámetros; subyaciendo se presenta depósitos aluviales constituidos por gravas arenosas o arenas gravosas con presencia de finos limosos y minerales los cuales se encuentran moderadamente consolidados y por consiguiente medianamente compactos.
- Roca: En general todos los afloramientos de roca en la quebrada, son de tipo ígneo e intrusivo, es decir de granodiorita, los cuales forman parte de la formación Santa Rosa. Las rocas pueden clasificar como de regular a buena calidad, poco fracturadas, cuyas propiedades geomecánicas mejoran con la profundidad; en las siguientes vistas se observa las condiciones de la roca.

Tabla 22: Típica roca Granodiorita en Carosio

PARÁMETRO	DISTRIBUCIÓN DE PUNTUACIÓN						VALORACIÓN	
							Roca Granodiorita	
Resistencia a Compresión Uniaxial □ (MPa)*	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5-25	1-5	7	
	15	12	7	4	2	1		
RQD	> 90%	75 – 90%	50 – 75%	25 – 50%	< 25%		13-15	
	20	17	13	6	3			
discontinuidades	Espaciado	>200 cm	60 – 200 cm	20 – 60 cm	6 – 20 cm	< 6 cm		8-10
		20	15	10	8	5		
	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		2-4
		6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	<0.1m	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		1-5
		6	5	4	1	0		
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Moderado	Suave	Lisa		3-5
		6	5	3	1	0		

Continuación:

PARÁMETRO	DISTRIBUCIÓN DE PUNTUACIÓN					VALORACIÓN
						Roca Granodiorita
Relleno	Nada	<5m m (Duro)	>5mm (Duro)	<5mm (Blando)	>5mm (Blando)	4
	6	4	2	2	0	
Descomposición	Sana	Algo alterado	Meteorizada	Muy alterada	Descompuesta	5-6
	6	5	3	1	0	
Condiciones de Agua	Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteo	Fluye	0-4
	15	10	7	4	0	
Puntaje total						48-68
RMR_{básico}						Regular a buena Calidad

FUENTE: Roc Data (Rocscience)

1.5. ANÁLISIS DE ANCLAJES

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 la siguiente figura:

Los pernos de anclaje usados para los ensayos de arranque serán los siguientes:

Para suelo: Perno de anclaje autoperforante de diámetro 38 mm, R38-500 (o equivalente o similar), con resistencia máxima a 500 KN y resistencia a la fluencia de 400 KN.

Para roca: Perno de anclaje autoperforante de diámetro 32 mm, GEWI 32 (o equivalente o similar), con resistencia máxima a 450 KN y resistencia a la fluencia de 400 KN.

1.5.1. DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES DE LOS TALUDES Y DE RETENCIÓN

Para la comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo del anclaje para obtener la adherencia admisible, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$FS_2 \times P_{Nd} / (\pi \cdot D_N \cdot L_b) \leq \frac{a_{adm}}{FS_1} \quad \text{Ec. 16}$$

Siendo:

P_{Nd} : Carga de servicio requerido del anclaje.

D_N : Diámetro nominal del bulbo.

FS_1 : Factor de seguridad para reducción de la adherencia 1.45.

FS_2 : Factor de seguridad de amplificación del perno 1.2.

L_b : Longitud de cálculo del bulbo.

a_{adm} : Adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea el bulbo.

Tabla 23: **Resistencia típica de interface de los bulbos de anclaje en función al tipo de material**

Tipo de suelo	Resistencia de adherencia (a_{adm}) MPa
Gravas y arenas Gruesas	0.50-1.00
Arenas finas y medias, arenas limosas	0.30-0.50
Limos y arcillas	0.15
Roca Margas	0.60
Roca alterada	0.70
Granitos, basaltos, calizas	0.80-5.0
Areniscas, esquistos, pizarras	0.7-2.5
Nota: La resistencia de interface de los bulbos ha sido obtenida de la guía de diseño y ejecución de anclajes Español, así como valores recomendados por el propio fabricante de las barreras, en las siguientes figuras se muestra los datos.	

FUENTE: Dirección Técnica General de Carretera-España

Para los cálculos tomaremos como valores de adherencia de interface del bulbo como sigue:

- **Roca:** Resistencia de interface para roca de tipo granodiorita igual a 0.80 MPa.
- **Suelo:** Resistencia de interface para suelo aluvial de tipo arena gravosa - limosa con bloques de piedra igual a 0.35 MPa.

En general la zona de anclaje será de tipo roca granodiorita y suelo de tipo aluvial conformado por grava arenosa. En el siguiente cuadro se evaluará la longitud de anclaje:

Tabla 24: **Cálculo de la longitud inicial de anclaje.**

Tipo de anclaje	Resistencia a la tensión del perno		Diámetro efectivo del bulbo de anclaje (mm)	Longitud mínima de anclaje en roca (m)	Longitud mínima de anclaje en suelo aluvial/coluvial (m)
	Diámetro DN (mm)	Resistencia PNd (kN)		Resistencia de adherencia (800 KPa)	Resistencia de adherencia (350 KPa)
Suelo	38	350	90	-	7.00
Roca	32	350	64	4.00	-

Nota:

Para el caso de suelo el diámetro de perforación en suelo 76 mm: diámetro del bulbo por efectos de erosión o desmoronamiento oscila entre 76 mm (bloques de piedra) a 100 mm (Gravas y arenas), se toma un promedio que es 90 mm

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

De acuerdo a las consideraciones vistas en cada tipo de suelo o roca podemos considerar una longitud adicional por condiciones particulares como por ejemplo:

- Erosión eólica o por precipitación en los vientos de las barreras, en la zona de anclajes.
- Presencia de roca meteorizada o fracturada superficial.

Tabla 25: **Cálculo de la longitud total de los anclajes**

<i>Tipo de anclaje</i>	<i>Longitud calculada (mm)</i>	<i>Longitud adicional (m)</i>	<i>Longitud Total (m)</i>
Longitud mínima de anclaje en roca	4.00	1.00	5.00
Longitud mínima de anclaje en suelo aluvial/coluvial	7.00	2.00	9.00

FUENTE: *Autoridad Nacional del Agua*

De acuerdo a las evaluaciones de los tipos de materiales que conformaran cada barrera, se presenta en el siguiente tabla las cantidades de ensayos requeridos 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.

Tabla 26: **Propuesta de ensayos de arrancamiento**

<i>Relación de Barreras con ensayos de arrancamiento</i>						
<i>Quebrada</i>	<i>N° Barrera</i>	<i>Tipo de barrera</i>	<i>Talud Izquierdo</i>		<i>Talud derecho</i>	
			<i>Material</i>	<i>Ensayo</i>	<i>Material</i>	<i>Ensayo</i>
Carosio	Barrera N°10	UX180 H6	Roca	Si	Roca	Si
	Barrera N°11	UX180 H6	Roca	Si	Roca	Si
	Barrera N°12	UX120 H6	Roca	Si	Roca	Si
	Barrera N°22	UX100 H4	Roca	Si	Roca	Si

FUENTE: *Autoridad Nacional del Agua*

1.6. **TRABAJOS PRELIMINARES EN LA BARRERA DINAMICA N°10 DE CAROSIO**

La ubicación de la barrera Carosio N°10 tiene una zona compuesto por detritos, la cual se encuentra en equilibrio limite, cualquier excavación que se realice en esa zona, provocaría el deslizamiento de una masa de rocas de aproximadamente 60 m.

Para poder excavar las cimentaciones de 2 de los 6 postes que se tienen proyectados para esta barrera de gran dimensión, es necesario estabilizar el material compuesto por bloques de piedra, a fin de realizar trabajos sin que se produzca deslizamiento.



Figura 19: Foto de la ubicación de la Barrera N°10- Quebrada Carosio

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua



Figura 20: Foto de la ubicación de la Barrera N°11. - Quebrada Carosio

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua



Figura 21: Foto de la ubicación de la Barrera N°12. - Quebrada Carosio

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua



Figura 22: Foto de la ubicación de la Barrera N°22- Quebrada Carosio

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

1.7. PROCESO DE INSTALACIÓN DE BARRERAS DINÁMICAS

1.- 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 23: Inicio de replanteo de ubicación de la barreras dinámicas con wincha y estacas.

FUENTE: Elaboración propia



Figura 24: Marcación de puntos de los postes con wincha y pintura

FUENTE: Elaboración propia

2.- 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 25: **Marcado de puntos para perforación.**

FUENTE: Elaboración propia

3.- 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.



A) Marcado de anclajes para los postes, con estacas de acero 3/4" y B) Perforación de puntos de anclaje

Figura 26: **Inicio de perforación**

FUENTE: Elaboración propia



A) Perforación en taludes, altura de 2 metros B) Perforación en taludes, cota 0.

Figura 27: **Inicio de perforación**

FUENTE: Elaboración propia

4.- Finalizado las perforaciones se inicia la preparación de lechada, y empezar a colocar los pernos con la mezcla preparada. Perno autoperforante si es una suelo coluvial y perno helicoidal si es suelo rocoso.



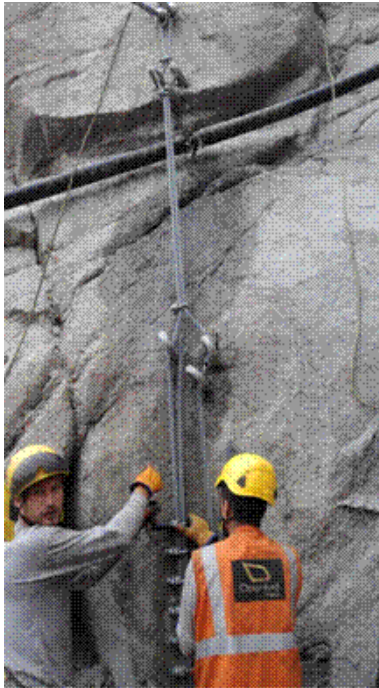
A) Preparacion de la mezcla; suelo /cemento y B) Pernos

Figura 28: **Materiales para perforación de puntos definidos en la quebrada**

FUENTE: Elaboración propia

5.- Dejamos fraguar la lechada y se coloca los accesorios en cada tipo de perno. Los accesorios son conocidos como los flexhead, que tienen la función de conectar los cables horizontales de la barrera con los pernos instalados.

6.- Construcción de la cimentación para soporte y protección de los postes.



A) Colocación de perno y accesorio.



B) Construcción de cimentación

Figura 29: **Implementación de pernos**

7.- Se inicia el armado de la barrera. Lo primero en instalar son los cables horizontales y los cables adheridos al contorno del cauce.



Figura 30: **Instalación de cables horizontales y perimetrales.**

FUENTE: Elaboración propia

8.- Los postes son izados con ayuda de los cables instalados horizontalmente. Se realiza la unión correcta entre la placa del poste y la cimentación que tiene embebido los pernos de anclaje.



Figura 31: **Postes instalados.**

FUENTE: Elaboración propia

9.- Finalmente se inicia con la colocación de la malla, por uno de los extremos desde ambos lados. Luego se termina en la parte media, realizando la unión con grilletes para completar toda el área de protección.



Figura 32: **Colocación de malla de protección.**

FUENTE: Elaboración propia

1.8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los materiales que utilizarán en la barrera dinámica serán los siguientes:

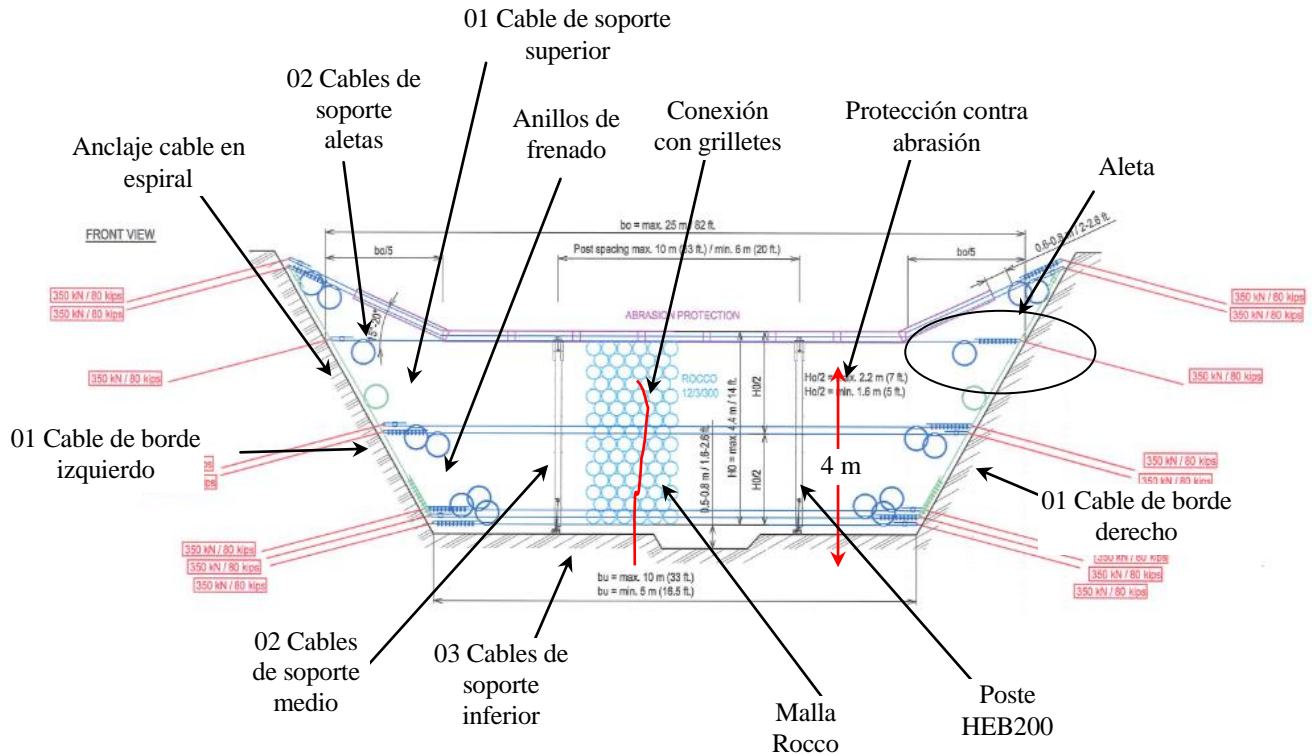


Figura 33: **Barrera UX100- H4**

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

Redes de anillos ROCCO: La red de anillos Rocco es el principal elemento del sistema y consiste en un alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tracción de 1770N/mm²) y un diámetro de 3mm, diámetro del anillo 300 mm. Las redes de anillos son de 12 vueltas, peso 8.8 kg/m².



Figura 34: **Redes de anillos**

Cables de soporte: Cables de soporte de 22 mm de diámetro (GEOBINEX), el cual tiene la función de transmitir las fuerzas que actúan sobre las redes, a los anclajes. La construcción de los cables cumplirá con lo establecido en la norma DIN 3060/3064.



Figura 35: **Cables de soporte**

FUENTE: Geobrugg

Protección contra abrasión: Esta protección asegura a los cables superiores de la abrasión si la barrera es completamente llenada y consigue ser sobrepasada. Consiste en ángulos de acero en L, de acero galvanizado en caliente, con grilletes soldados para fijarlos a los cables superiores de 220/190/8 x 1500. Mediante grilletes los perfiles se unen entre sí de manera flexible permitiendo deformación en los perfiles.



Figura 36: **Protección contra abrasión**

FUENTE: Geobrugg

Anclaje de cable espiral: Los cables de soporte son anclados al suelo o a la roca por medio de los anclajes de cable espiral Geobrugg, flexhead tipo IV para suelo y flexhead tipo III para suelo. Los anclajes de cable espiral están equipados con una cabeza flexible, la cual permite que puedan ser transmitidas las fuerzas que no actúan directamente en el sentido de la perforación. Dos tubos galvanizados sobre la cabeza del anclaje, adicionalmente al cable espiral galvanizado, proveen una doble protección contra la corrosión.



Figura 37: **Anclaje de cable espiral**

FUENTE : Geobrugg

Poste: Poste de acero galvanizado HEB 200, altura 4.0 m, peso aproximado 63 kg/m, cuyas dimensiones son las siguientes:

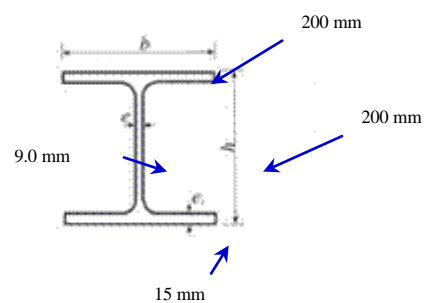


Figura 38: **Poste**

FUENTE: Geobrugg

Placa de apoyo de postes: Placa base de los postes de la Barrera, de acero galvanizado, los cuales van anclados a los dados de concreto, los mismos que estarán anclados a pernos pasivos. La placa tiene dimensiones de 555x343x15. Los pernos de anclaje al dado de concreto será GEWI $\phi=40$ mm o DYWIDAG $\phi=32$ mm.

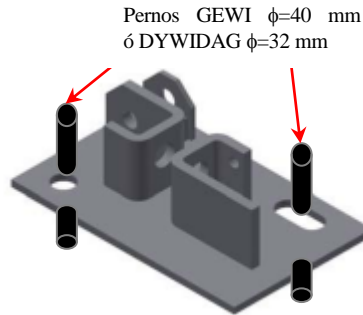


Figura 39: **Placa de apoyo de postes**

FUENTE: Geobrugg

Anillos de frenado: Anillos de alta resistencia, el objetivo de los anillos de frenado Geobrugg es disipar energía por medio de la deformación plástica y fricción, y proteger el cable de soporte de una sobrecarga. Los tubos de acero protegen el cable de la corrosión y daños de carácter físico mecánico.



Figura 40: **Anillos de frenado**

FUENTE: Geobrugg

Grilletes: La conexión entre la red de anillos y los cables se hace mediante grilletes. Estos garantizan que la red puede deslizarse sobre los cables sin sufrir algún daño. Los grilletes se usan también para conectar las redes. En general, el grillete está diseñado para proporcionar una conexión más fuerte que la de red. Los grilletes pueden ser sellados con adhesivo en caso que se quiera



Figura 41: **Grilletes**

FUENTE: Geobrugg

Sujetacables: Los cables son provistos de garzas prensadas donde sea posible. Después de tensar, el extremo libre del cable debe ser fijado con sujetacables, de acuerdo con EN 13411-5 (DIN1142). Es muy importante que se emplee el número correcto de sujetacables y se aplique el torque requerido en cada uno.



Figura 42: **Sujetacables**

FUENTE: Geobrugg

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Durante el periodo de lluvias 2017 (enero – abril), las Barreras Dinámicas instaladas en la quebrada Carosio, fueron colmatadas según lo diseñado, sin alcanzar su capacidad máxima. A continuación se muestran los volúmenes de retención:

Tabla 27: **Tabla resumen de volúmenes retenidos en la quebrada Carosio**

Quebrada	Característica de la Barrera Dinámica			Capacidad de retención		Colmatación		Δ Faltante	
	# Barrera Dinámica	Altura (m)	Pendiente (%)	Volumen (m3)	%	Volumen (m3)	%	Volumen (m3)	%
Carosio	10	6	88	2772.76	100	2301.39	83	471.37	17
	11	6	43	1068.56	100	876.22	82	192.34	18
	12	6	28	158.43	100	11.09	7	147.34	93
	22	4	62	217.55	100	43.01	20	174.04	80

Para cada tipo de barrera se tienen los siguientes cuadros comparativos:

Capacidad total	
Volumen retenido	
Capacidad disponible	

La Barrera N°10, con un largo de 60 metros, fue la de mayor dimensión en instalarse. Esta estructura fue la primera de un total de cuatro que contuvo el lodo y piedras del evento. Con una capacidad de 2772.76 m³ de retención, se colmató al 83%(2301.39 m³), teniendo una reserva para almacenamiento de 471.37m³. Los resultados respectivos se muestran en el siguiente cuadro:

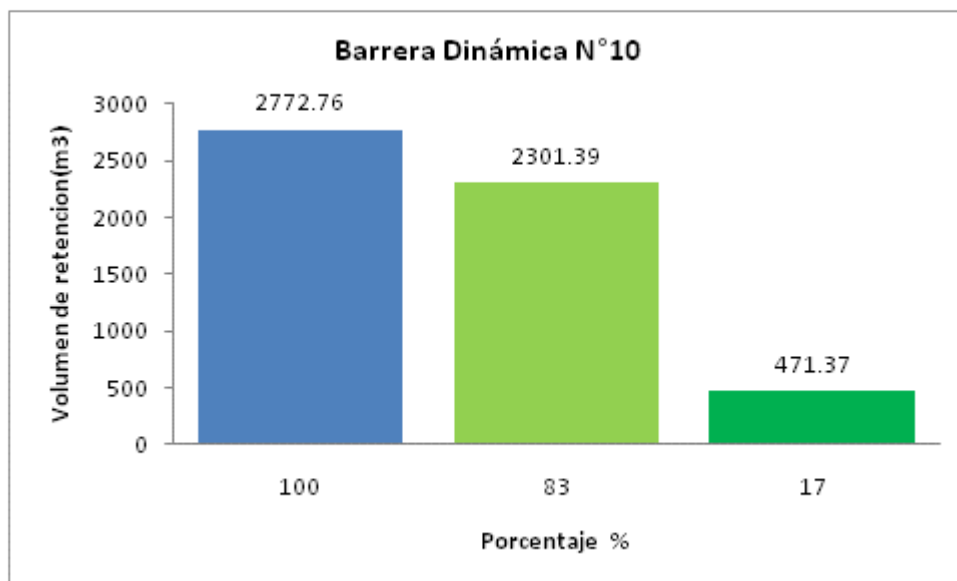


Figura 43: **Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°10**

Análogamente, el volumen mostrado corresponde al material sólido retenido, más no el volumen líquido que también se presentó en el periodo de lluvias. No se tenía previsto que la estructura trabaje a más del 80% de su capacidad por su gran dimensión (60ml)

-La Barrera N°11, fue la segunda en ser colmatada. Con una capacidad de 10, 68.56 m³ de retención, se completó el 82%(876.22 m³) de su capacidad, con una reserva para almacenamiento de 19,2.34 m³. Los resultados respectivos se muestran en el siguiente cuadro:

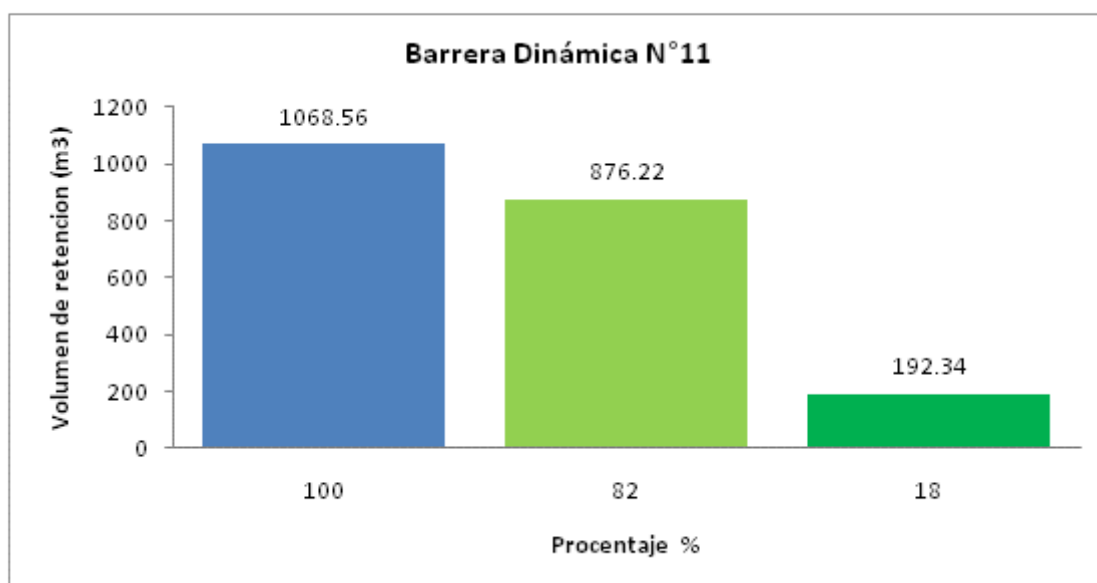


Figura 44: **Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°11**

Análogamente, el volumen mostrado corresponde al material sólido retenido, más no el volumen líquido que también se presentó en el periodo de lluvias.

-La Barrera N°12, con una capacidad de 158.43 m³ de retención, fue utilizada en un 7%(11.09 m³). La reserva de almacenamiento fue de 147.34 m³. Los resultados respectivos se muestran en el siguiente cuadro:

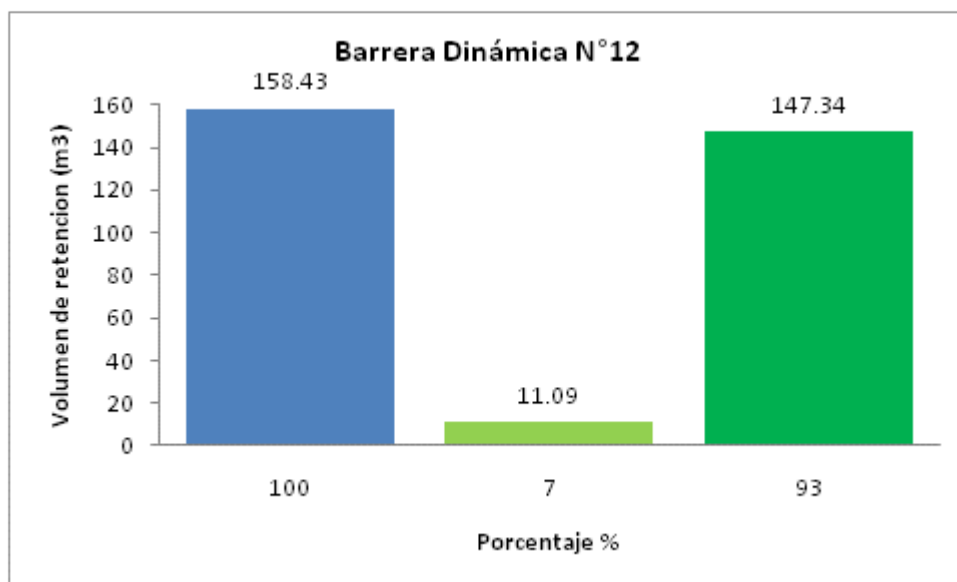


Figura 45: **Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°12**

Análogamente, debido a que las dos primeras barreras dinámicas acumularon la mayor parte de los sólidos, no se descarta que la N°12, debió haber sido de menor altura (H=4.00m) y no de 6.00 metros como se decidió en un inicio, por un tema de seguridad. También se considera que el volumen mostrado corresponde al material sólido retenido, más no el volumen líquido.

-La Barrea N°22, fue la última en recibir el flujo de lodos y detritos. Con una capacidad de 217.55 m³ de retención, se utilizó solo el 20%(43.01 m³), teniendo una reserva para almacenar de 174.04 m³. Los resultados respectivos se muestran en el siguiente cuadro:

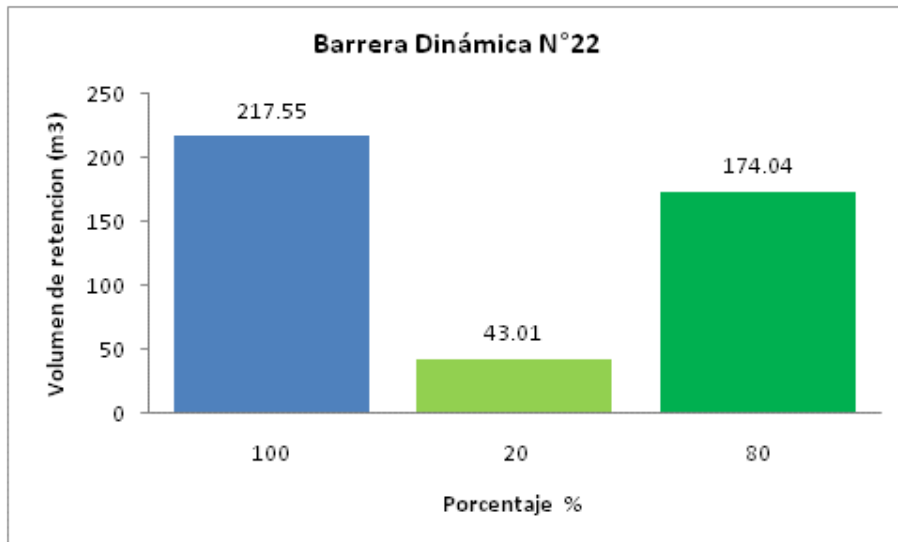


Figura 46: **Análisis de capacidad de la Barrera dinámica N°22**

Análogamente, el volumen de retención de sólidos de la barrera N°22, debió ser de menor cantidad, pero no ocurrió así, ya que la altura libre que se dejó en la parte inferior de cada estructura, debió ser reducida para evitar menores volúmenes de pérdida de sólidos del evento.

En resumen, se puede observar que las 2 primeras Barreras Dinámicas, fueron acumulando mayor volumen de lodo y piedras en comparación con las dos últimas estructuras colocadas en el cauce de la quebrada Carosio, según las figuras mostradas líneas arriba. Finalmente las barreras dinámicas N°12 y N°22, lograron retener volúmenes menores al 20 % de su capacidad total.



Figura 47: **Barrera Dinámica N°10 - Quebrada Carosio**



Figura 48: **Barrera Dinámica N°10 colmatada al 83% de su capacidad**

El transporte de materiales, como las barreras dinámicas y los insumos para la instalación, se realizó en helicóptero, debido a lo accidentado de la topografía. El costo fue justificado, debió a que la prioridad era la seguridad de las personas. La colocación de las 4 barreras demandó un tiempo de 2 meses

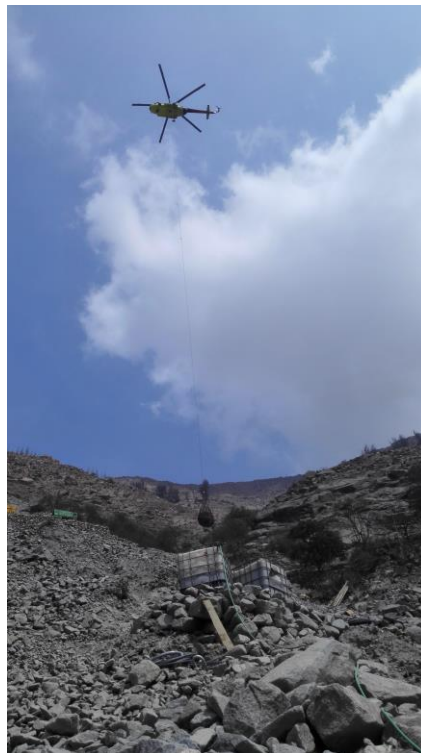


Figura 49: **Transporte de materiales en helicóptero.**

VI. CONCLUSIONES

- 1) Con el uso de la nueva tecnología utilizada, se logró 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.
- 2) Se definió un procedimiento constructivo, secuencia de instalación adecuada, para la instalación de las barreras dinámicas que contuvieron satisfactoriamente los volúmenes pronosticados:
- 3) Los tipos de barreras instaladas según su capacidad fueron:
 - UX100 de 100 KPa de resistencia pseudoestática y altura 4 m(1)
 - UX120 de 120 KPa de resistencia pseudoestática y altura 6 m, (2)
 - UX180 de 180 KPa de resistencia pseudoestática y altura 6 m. (1)
- 4) 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.
- 5) 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 cuando la primera barrera (N°10) fue colmatada, se produjo un *Over Flow* que fue contenido por la barrera siguiente y así sucesivamente hasta contener todo el flujo de lodos y escombros.
- 6) La parte crítica del proyecto, fue el traslado de materiales, debido a lo accidentada de la topografía, no solo se utilizó transporte terrestre y aéreo hasta ciertos puntos, sino también fue necesario el uso de animales de carga (burros) para completar el traslado de todos los materiales.

VII. RECOMENDACIONES

[Haga clic aquí e inserte texto]

- 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 *As Built*, para determinar la geomorfología cambiante de la quebrada con las estructuras instaladas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rafael Heras. (1972). *Manual de Hidrología*. Madrid, ESCUELA DE HIDROLOGIA.

Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras y Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo , AETESS (2001). *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras*. Ministerio de Transportes España.

Evaluación geodinámica de los flujos de detritos del 23/03/2015 entre las quebradas Rayos de Sol y Quirio (Chosica) y Casahuacra (Santa Eulalia) (INGEMMET).

FOEN/ WSL (2007) *Defenses Structures in Avalanches Starting Zone*. Guia Tecnica. Bern, Suiza

Geobruigg,(2001). *Guía de instalación de sistemas flexibles*. Suiza

Raimat, C y Luis Fonseca, R (2008). *Protecciones activas de contención mediante barreras antialudes flexibles en la cabecera del torrente de Estiviellas*. Municipalidad de Canfrac, España

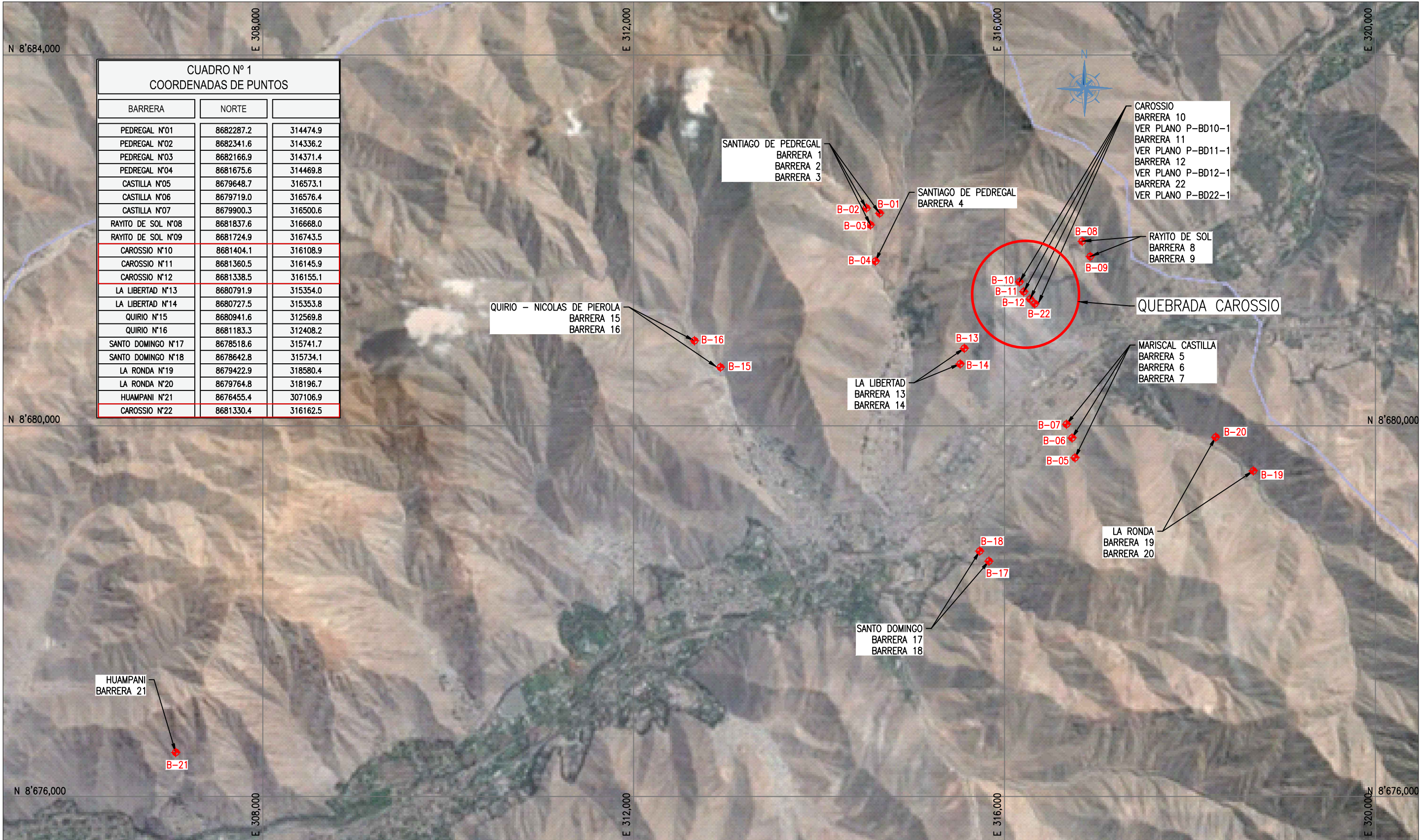
Vente Chow (1998). *Hidrología Aplicada*. Santa Fe, Colombia. Editorial MC GrawHill Interamericana S.A

WSL (1988-2007). *Estudios de Campo*. Instituto Federal de Investigaciones de Bosques, Nieves y Paisajes, Suiza

Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

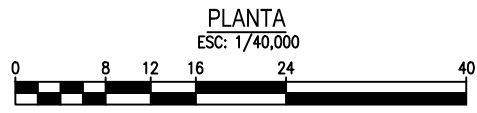
IX. ANEXOS

ANEXO 1 PLANO DE UBICACIÓN GENERAL



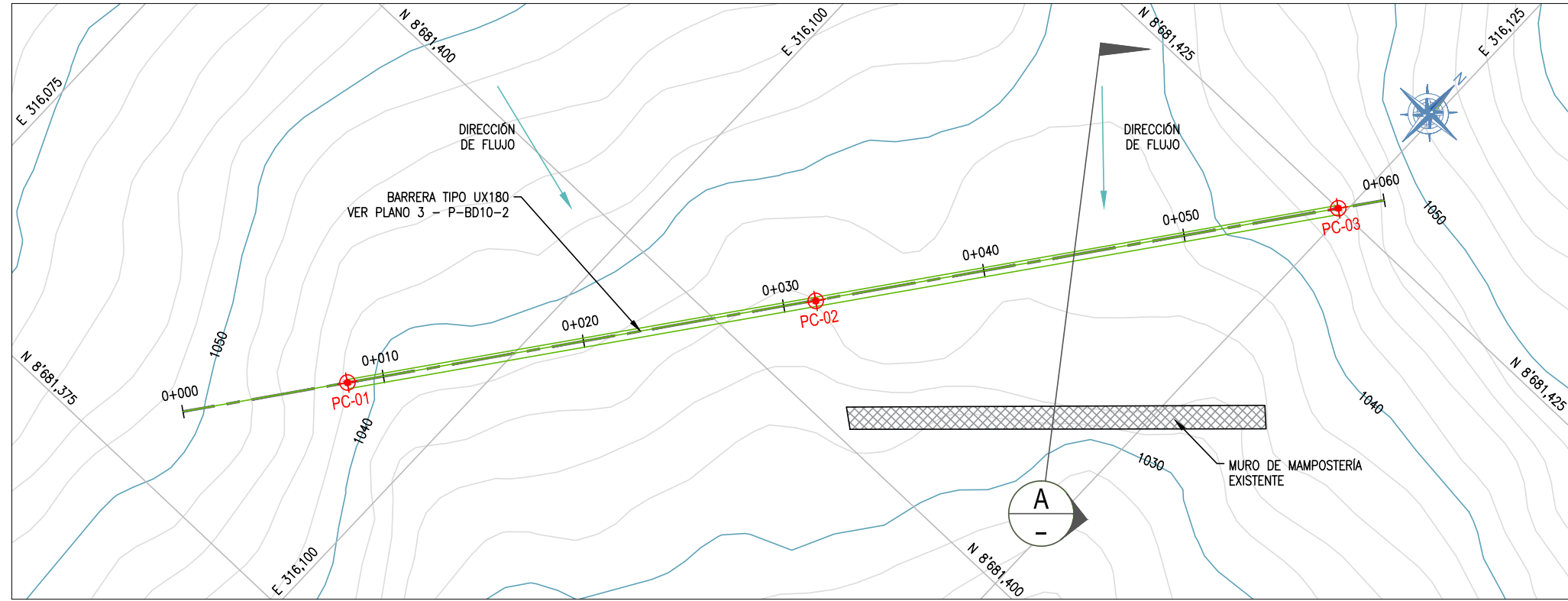
**CUADRO N° 1
COORDENADAS DE PUNTOS**

BARRERA	NORTE	EAST
PEDREGAL N°01	8682287.2	314474.9
PEDREGAL N°02	8682341.6	314336.2
PEDREGAL N°03	8682166.9	314371.4
PEDREGAL N°04	8681675.6	314469.8
CASTILLA N°05	8679648.7	316573.1
CASTILLA N°06	8679719.0	316576.4
CASTILLA N°07	8679900.3	316500.6
RAYITO DE SOL N°08	8681837.6	316668.0
RAYITO DE SOL N°09	8681724.9	316743.5
CAROSSIO N°10	8681404.1	316108.9
CAROSSIO N°11	8681360.5	316145.9
CAROSSIO N°12	8681338.5	316155.1
LA LIBERTAD N°13	8680791.9	315354.0
LA LIBERTAD N°14	8680727.5	315353.8
QUIRIO N°15	8680941.6	312569.8
QUIRIO N°16	8681183.3	312408.2
SANTO DOMINGO N°17	8678518.6	315741.7
SANTO DOMINGO N°18	8678642.8	315734.1
LA RONDA N°19	8679422.9	318580.4
LA RONDA N°20	8679764.8	318196.7
HUAMPANI N°21	8676455.4	307106.9
CAROSSIO N°22	8681330.4	316162.5



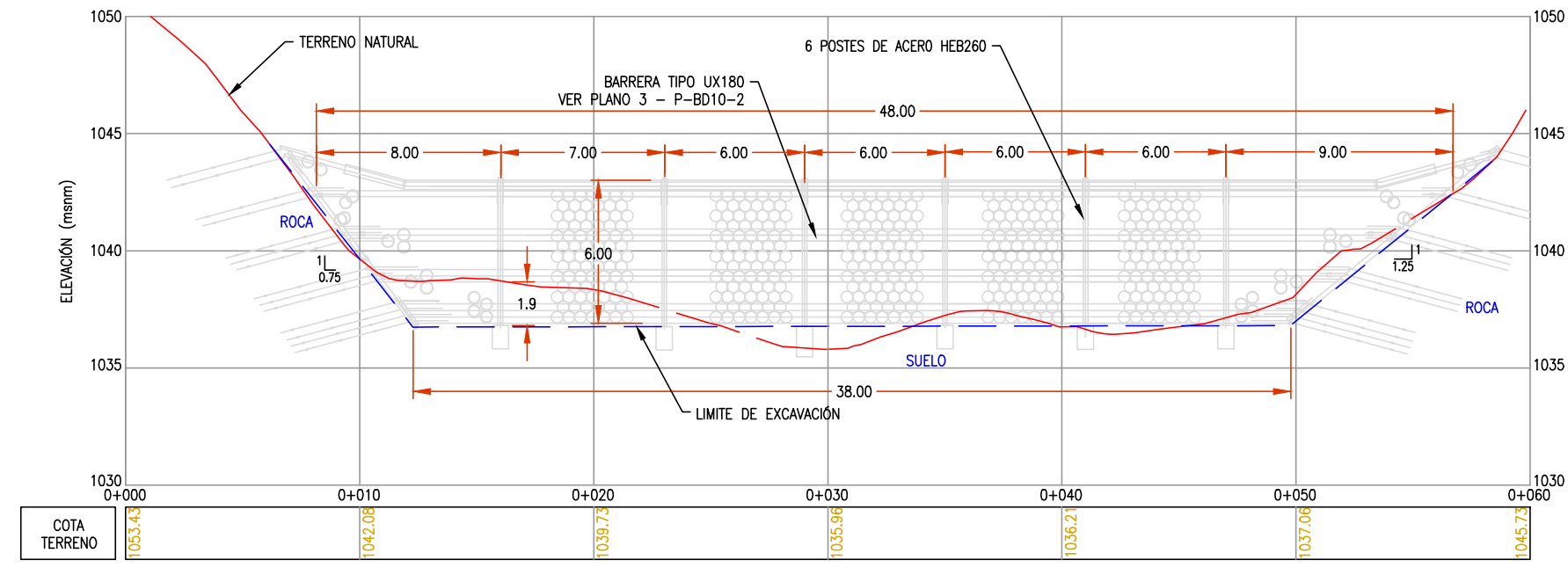
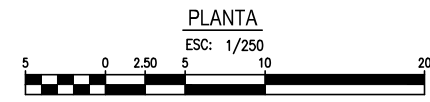
CUENTE:	 Autoridad Nacional del Agua		
PROYECTO:	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) – BARRERA DINÁMICAS CONTRA HUAYCOS		
TÍTULO:	BARRERAS DINÁMICA LAMINA GENERAL PLANTA		
ESCALA:	INDICADA	N° PLANO: 01	CÓDIGO DEL PLANO: U-01

ANEXO 2
PLANO BARRERA DINÁMICA N° 10, 11, 12 Y 22

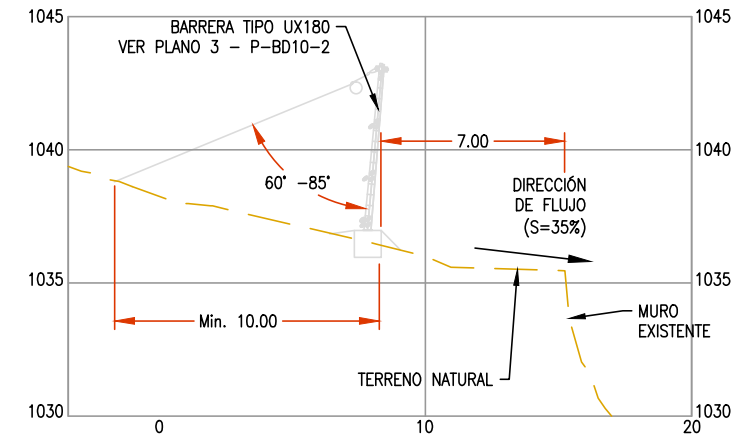


LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	PROGRESIVAS
	PUNTO DE CONTROL
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	TERRENO NATURAL

CUADRO N° 1 COORDENADAS DE PUNTOS		
PUNTOS DE CONTROL	NORTE	ESTE
PC-01	8681385.4	316094.9
PC-02	8681404.1	316108.9
PC-03	8681425.0	316124.6



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA: 1/250



SECCIÓN A
ESCALA: 1/250

CLIENTE:			
PROYECTO:	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICA CONTRA HUAYCOS		
TÍTULO:	BARRERA DINÁMICA N°10 - UX180 H6 QUEBRADA CAROSSIO PLANTA - PERFIL		
ESCALA:	INDICADA	N° PLANO:	2
		ORDEN DEL PLANO:	P-BD10-1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO CIMENTO DE POSTE
 ACI - 318
 - RESISTENCIA A COMPRESIÓN : 280 Kg/cm²
 - TIPO DE CEMENTO : 1
 - MAX. RELACIÓN AGUA/CEMENTO : 0.6
 - T.M DEL AGREGADO GRUESO : 12 mm
 - ENSAYO SLUMP : Min 25 mm, máx. 75 mm.
 - RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO : 75 mm
 - ACERO DE REFUERZO fy : 4200 Kg/cm²

PERNOS DE ANCLAJE PASIVO
 ASTM A615 - Gr. 75 Ó EQUIVALENTE
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = min. 500 N/mm²
 - DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL AUTOPERFORANTE : Ø=38 mm.
 (SUELO)
 - DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL GEWI (ROCA) : Ø=32 mm.
 - DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN SUELO : Ø=76 mm.
 - DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN ROCA : Ø=64 mm.

TUERCAS Y ACCESORIOS DE ANCLAJES
 ASTM A-394, ASTM A-563 Gr. 50 Ó EQUIVALENTE
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = min. 350 N/mm²

PLACA EN ANCLAJES DE PERNO
 ASTM A-572 - Gr. 50 Ó EQUIVALENTE (O COMO INDIQUE EL PROVEEDOR DEL ANCLAJE)
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = min. 350 N/mm²
 - DIMENSIONES : 100 mm x 100 mm x 4.5 mm.

INYECCIONES MATERIALES
 - RELACIÓN AGUA/CEMENTO : 0.4-0.6

PERNOS PASIVOS
 - INYECCIÓN GLOBAL : A gravedad.

PERNOS DE ANCLAJE PASIVO
 GEWI (O EQUIVALENTE),
 Ø=32 mm
 Lmin=5.0m, PERFORACIÓN Ø=64mm
 INYECCIÓN A GRAVEDAD EN TODA LA LONGITUD
 VER DETALLE C

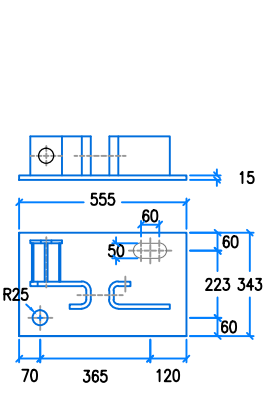
PERFIL DE LA BARRERA DINÁMICA UX180, H=6m
 ESCALA: 1:250

SECCIÓN DE LA BARRERA DINÁMICA UX180, H=6m
 ESCALA: 1:250

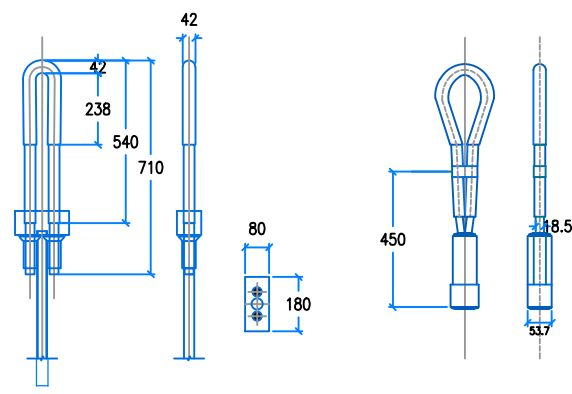
PLANTA DE LA BARRERA DINÁMICA UX180, H=6m
 ESCALA: 1:250

DETALLE DE CIMENTO- ELEVACIÓN
 ESCALA: 1:25

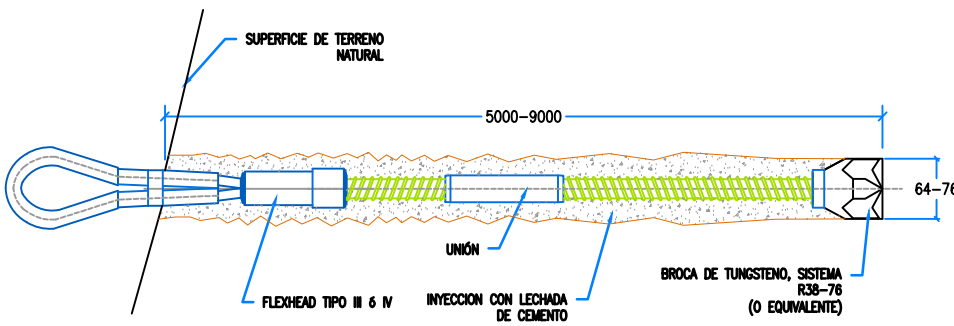
DETALLE DE CIMENTO - PLANTA
 ESCALA: 1:25



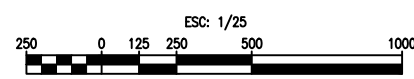
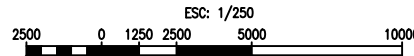
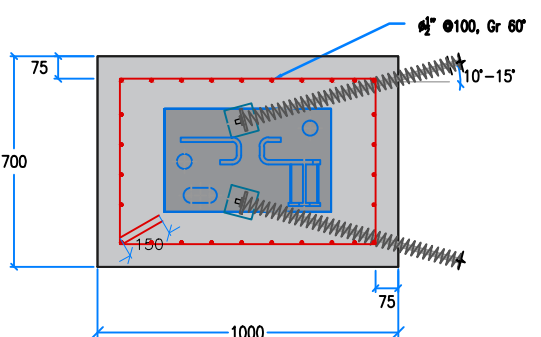
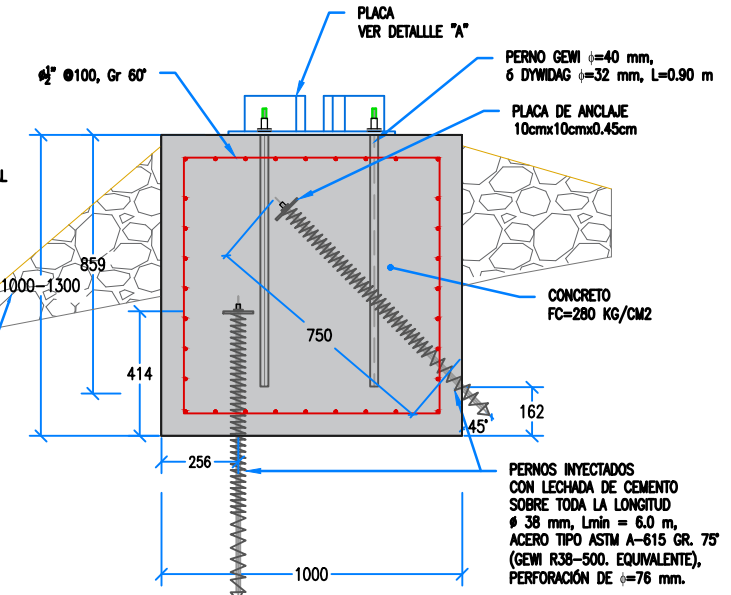
A DETALLE DE PLACA
 ESCALA: 1:25



B DETALLE FLEXHEAD
 ESCALA: S/C



C DETALLE PERNO DE ANCLAJE
 ESCALA: S/C

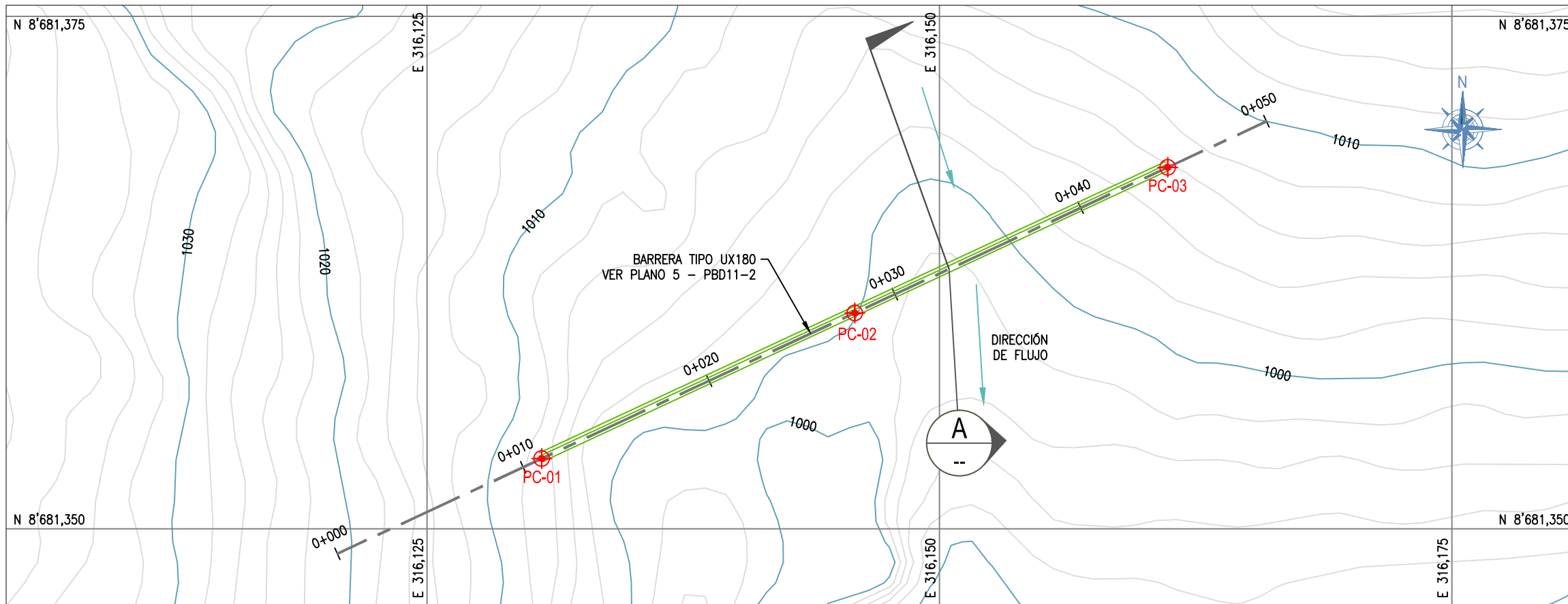


CLIENTE: ANA
 Autoridad Nacional del Agua

PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICA CONTRA HUAYCOS

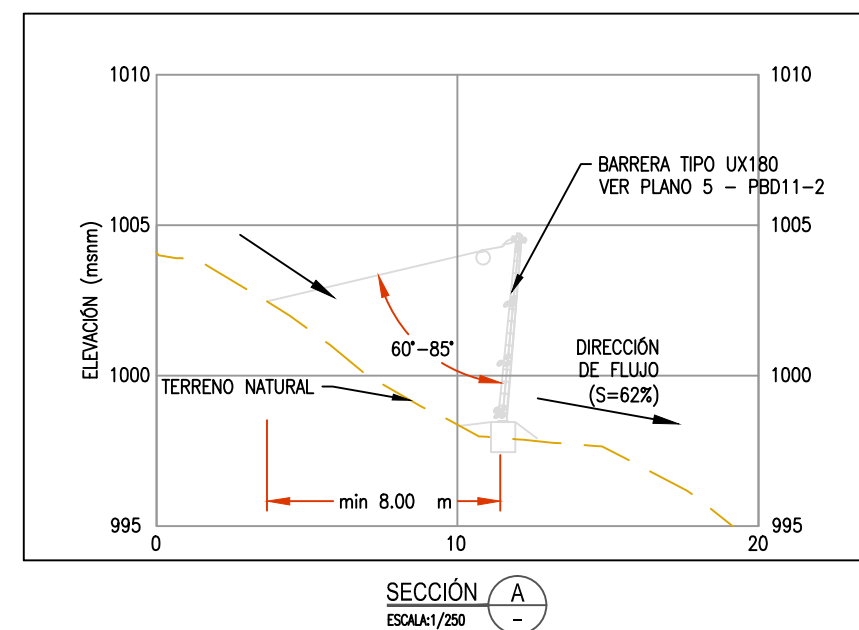
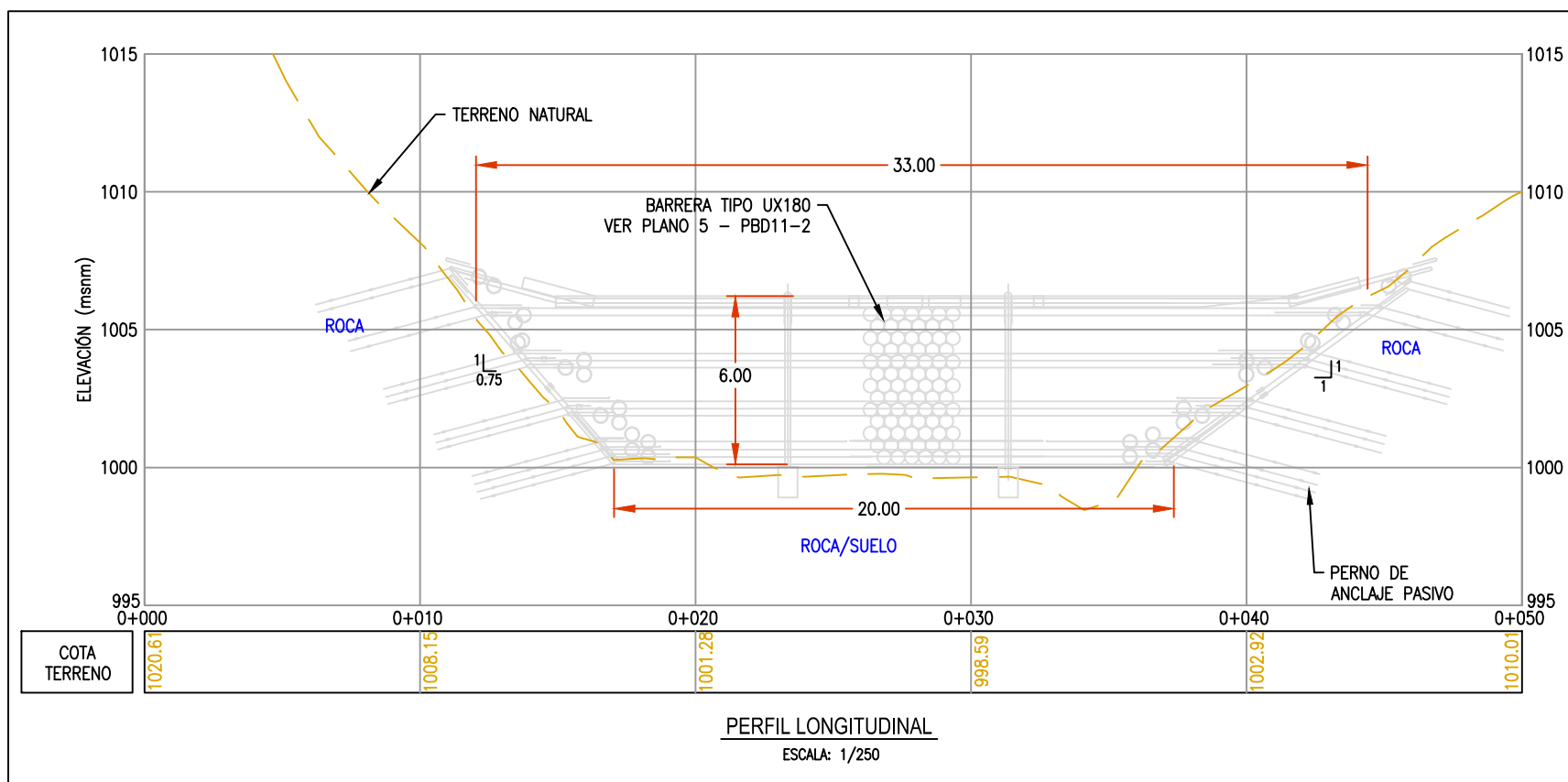
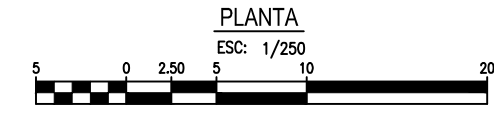
TÍTULO: BARRERA DINÁMICA N°10 - UX180 H6 QUEBRADA CAROSSIO
 DETALLES

ESCALA: INDICADA Nº PLANO: 3 PLANO: P-BD10-2



LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	PROGRESIVAS
	PUNTO DE CONTROL
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	TERRENO NATURAL

CUADRO N° 1 COORDENADAS DE PUNTOS		
PUNTOS DE CONTROL	NORTE	ESTE
PC-01	8681353.4	316130.6
PC-02	8681360.5	316145.9
PC-03	8681367.6	316161.1



CLIENTE: ANA
Autoridad Nacional del Agua

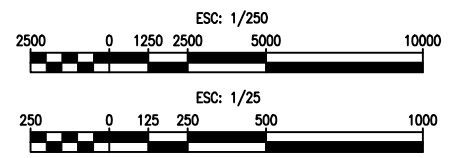
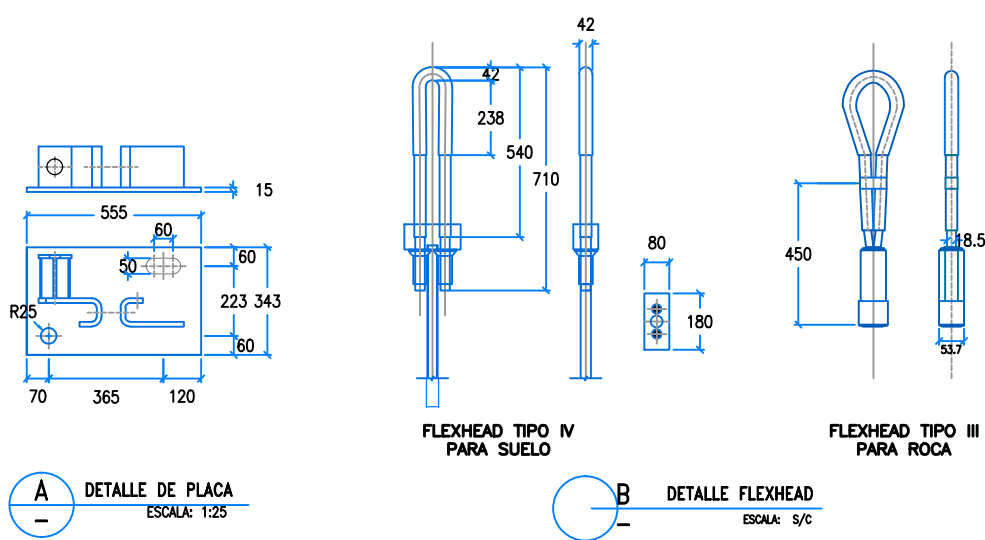
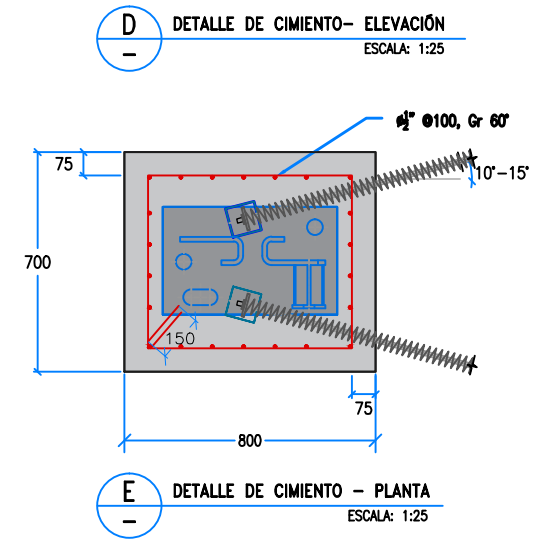
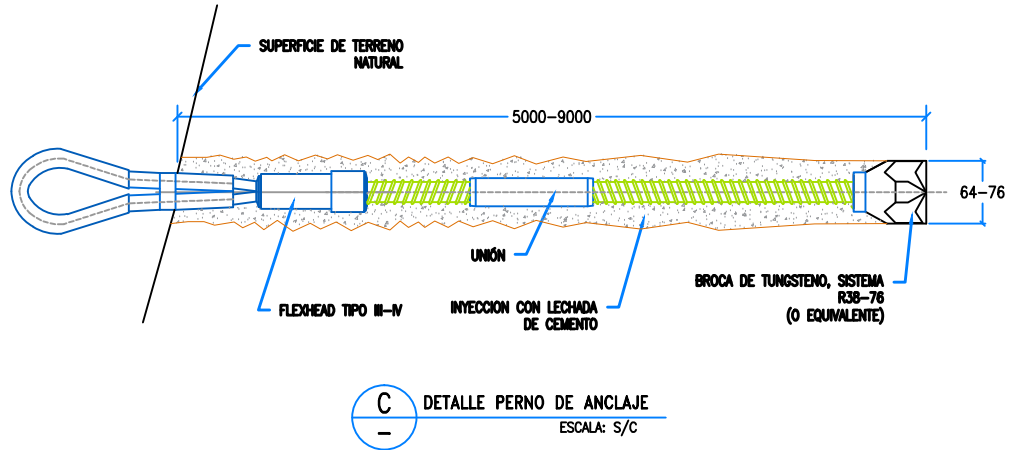
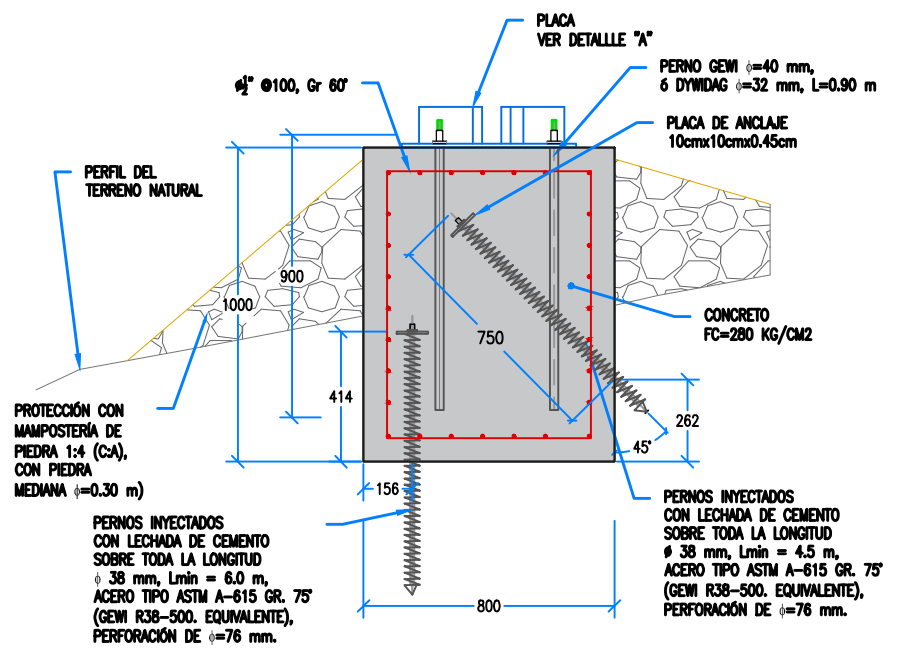
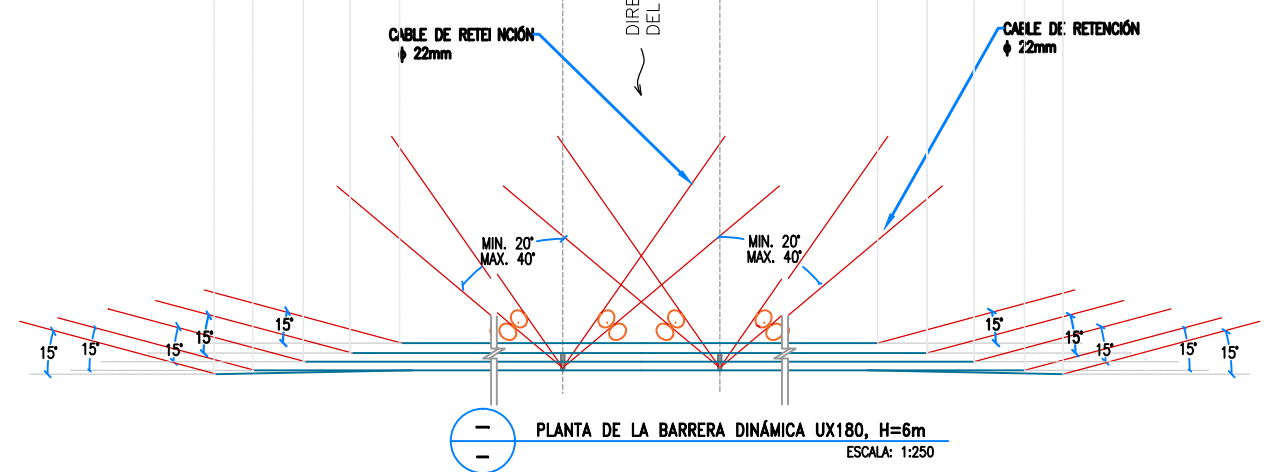
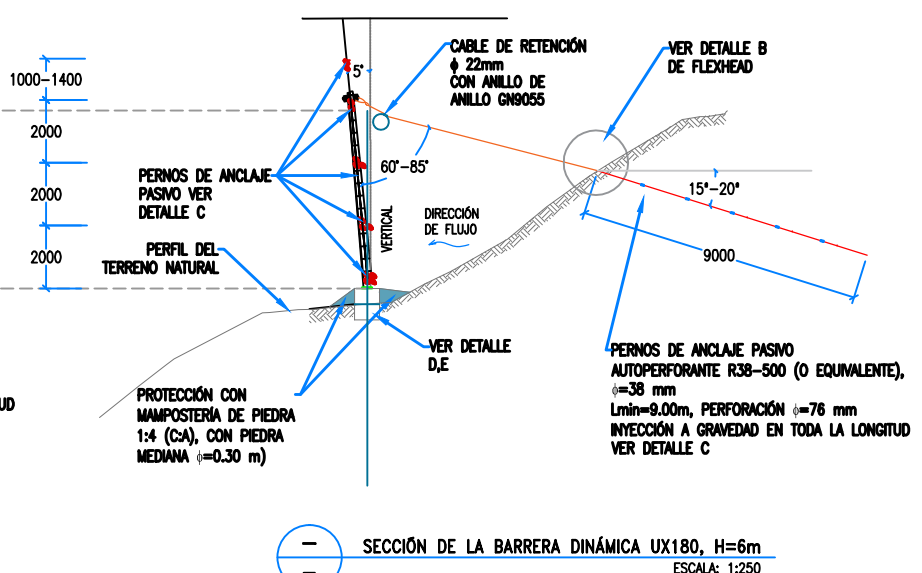
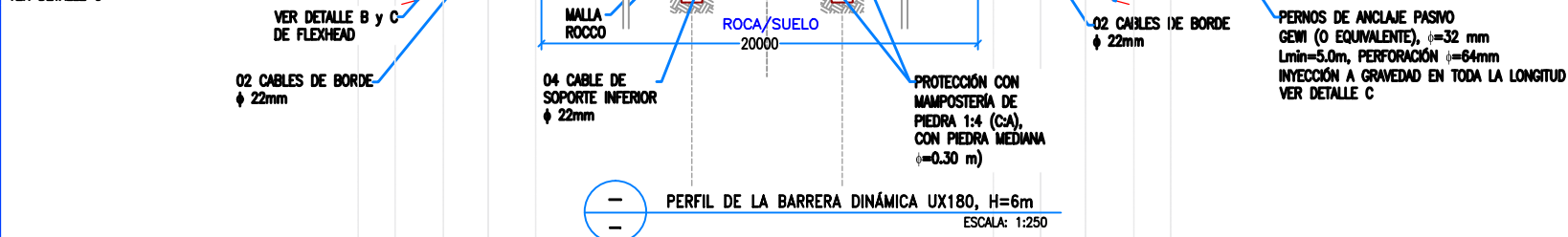
PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICA CONTRA HUAYCOS

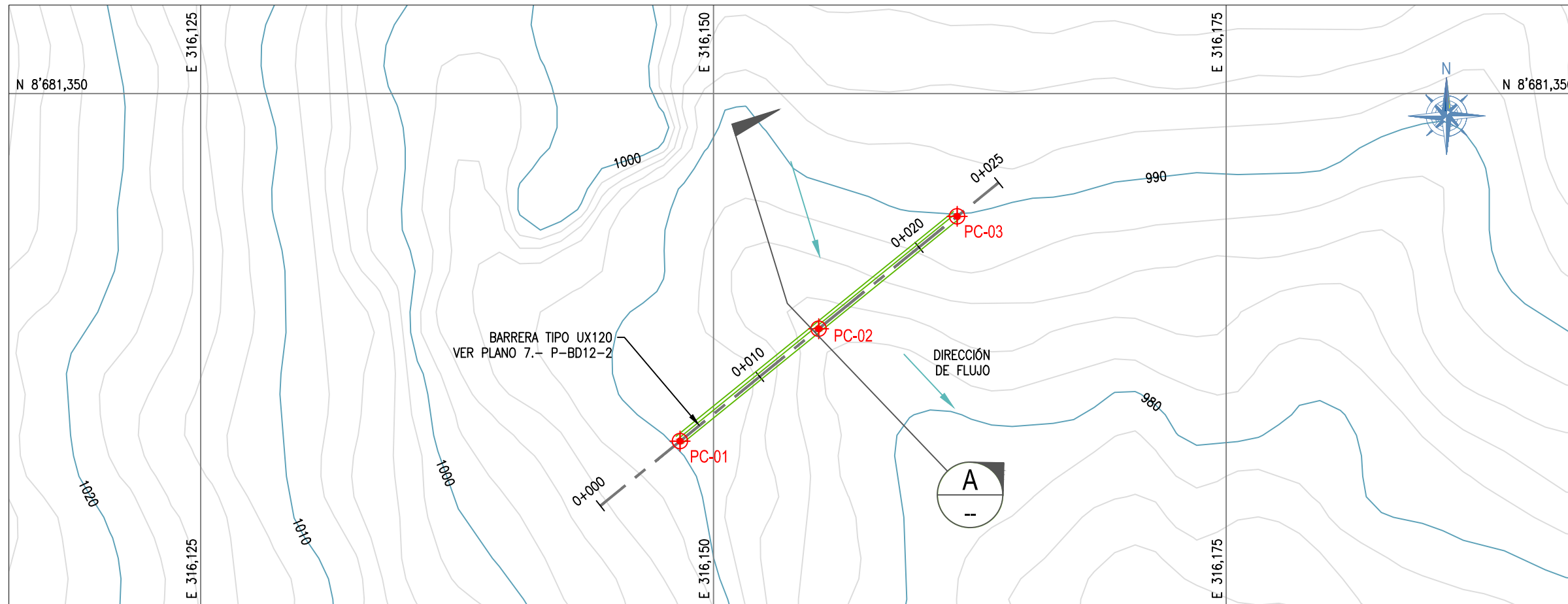
TÍTULO: BARRERA DINÁMICA N°11 - UX180 H6
QUEBRADA CAROSSIO
PLANTA - SECCIÓN - PERFIL

ESCALA: INDICADA N° PLANO: 4 PLANO: P-BD11-1

CONCRETO CIMENTO DE POSTE	
ACI - 318	
- RESISTENCIA A COMPRESIÓN	: 280 Kg/cm ²
- TIPO DE CEMENTO	: I
- MAX. RELACIÓN AGUA/CEMENTO	: 0.6
- T.M. DEL AGREGADO GRUESO	: 12 mm
- ENSAYO SLUMP	: Min 25 mm, máx. 75 mm.
- RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO	: 75 mm
- ACERO DE REFUERZO f _y	: 4200 Kg/cm ²
PERNOS DE ANCLAJE PASIVO	
ASTM A615 - Gr. 75 Ó EQUIVALENTE	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: f _y = min. 500 N/mm ²
- DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL AUTOPERFORANTE	: Ø=38 mm.
(SUELO)	
- DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL GEWI (ROCA)	: Ø=32 mm.
- DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN SUELO	: Ø=76 mm.
- DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN ROCA	: Ø=64 mm.
TUERCAS Y ACCESORIOS DE ANCLAJES	
ASTM A-394, ASTM A-563 Gr. 50 Ó EQUIVALENTE.	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: f _y = min. 350 N/mm ²
PLACA EN ANCLAJES DE PERNO	
ASTM A-572 - Gr. 50 Ó EQUIVALENTE (O COMO INDIQUE EL PROVEEDOR DEL ANCLAJE)	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: f _y = min. 350 N/mm ²
- DIMENSIONES	: 100 mm x 100 mm x 4.5 mm.
INYECCIONES	
MATERIALES	
- RELACIÓN AGUA/CEMENTO	: 0.4-0.6
PERNOS PASIVOS	
- INYECCIÓN GLOBAL	: A gravedad.

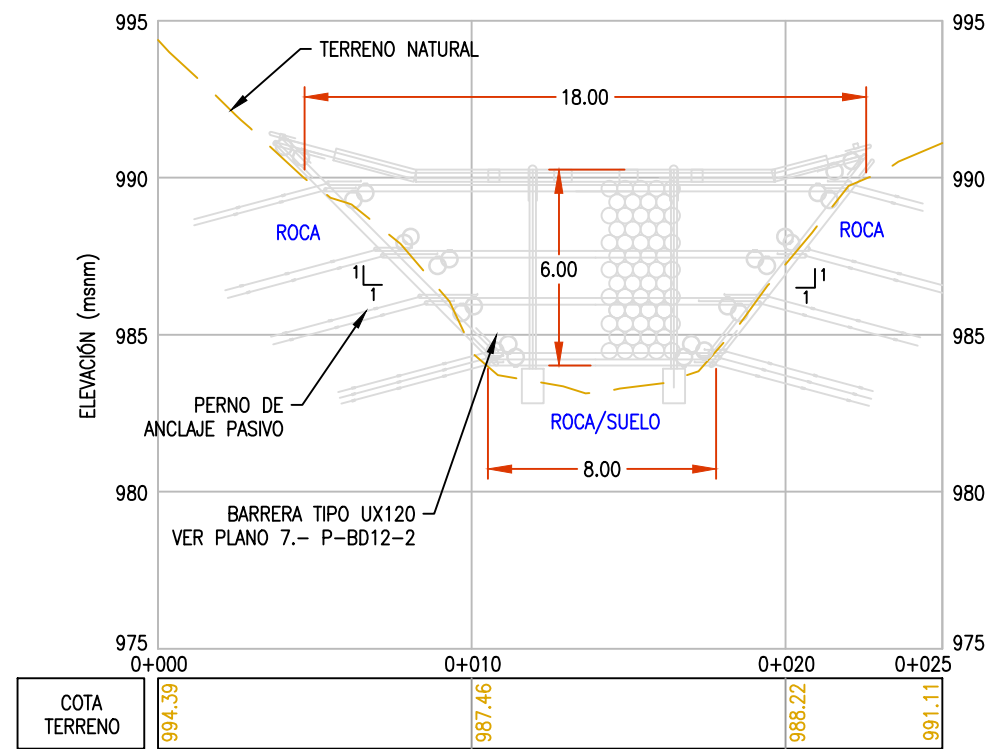
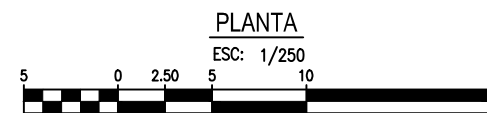
PERNOS DE ANCLAJE PASIVO
GEWI (O EQUIVALENTE), Ø=32 mm
L_{min}=5.0m, PERFORACIÓN Ø=64mm
INYECCIÓN A GRAVEDAD EN TODA LA LONGITUD
VER DETALLE C



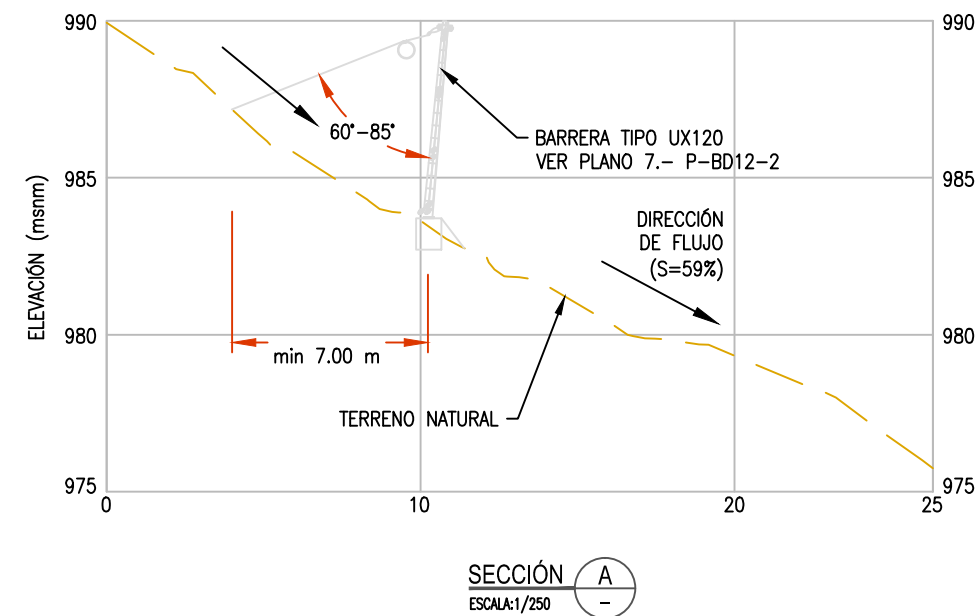


LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	PROGRESIVAS
	PUNTO DE CONTROL
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	TERRENO NATURAL

CUADRO N° 1 COORDENADAS DE PUNTOS		
PUNTOS DE CONTROL	NORTE	ESTE
PC-01	8681333.1	316148.4
PC-02	8681338.5	316155.1
PC-03	8681344.0	316161.9



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA: 1/250



CLIENTE:		
PROYECTO:	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICAS CONTRA HUAYCOS	
TÍTULO:	BARRERA DINÁMICA N°12 - UX120 H6 QUEBRADA CAROSSIO PLANTA - SECCIÓN - PERFIL	
ESCALA:	N° PLANO: 6	PLANO: P-BD12-1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO CIMENTO DE POSTE
 ACI - 318
 - RESISTENCIA A COMPRESIÓN : 280 Kg/cm²
 - TIPO DE CEMENTO : I
 - MAX. RELACIÓN AGUA/CEMENTO : 0.6
 - T.M DEL AGREGADO GRUESO : 12 mm
 - ENSAYO SLUMP : Mín 25 mm, máx. 75 mm.
 - RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO : 75 mm
 - ACERO DE REFUERZO fy : 4200 Kg/cm²

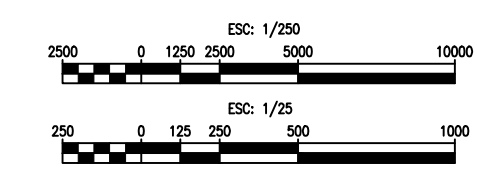
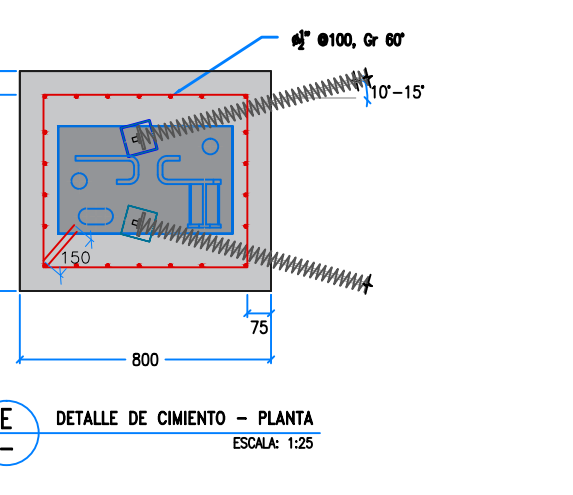
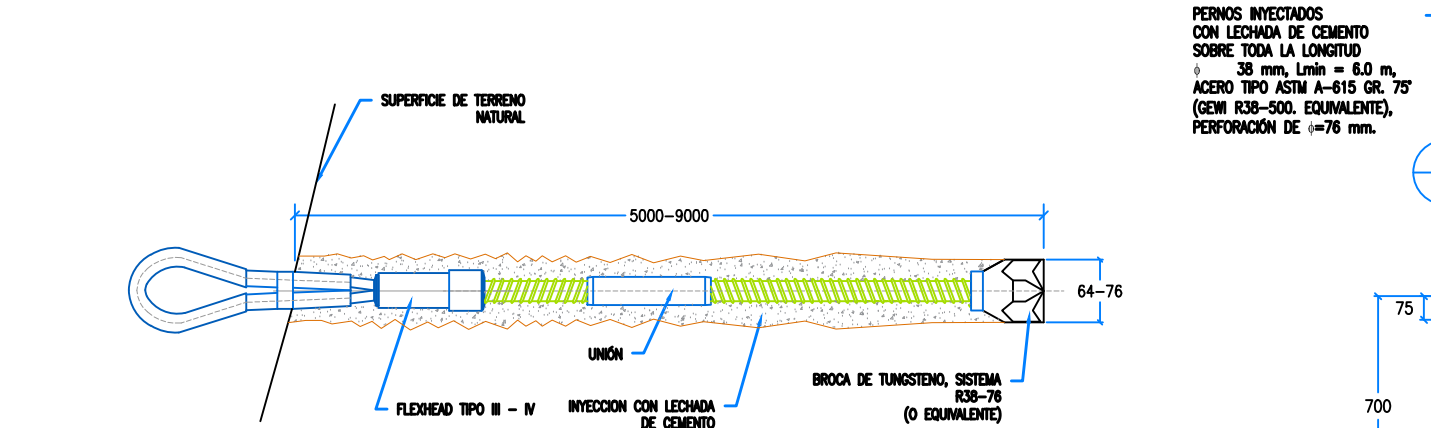
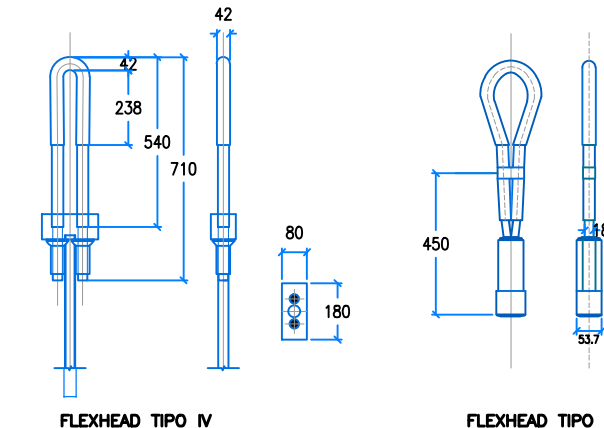
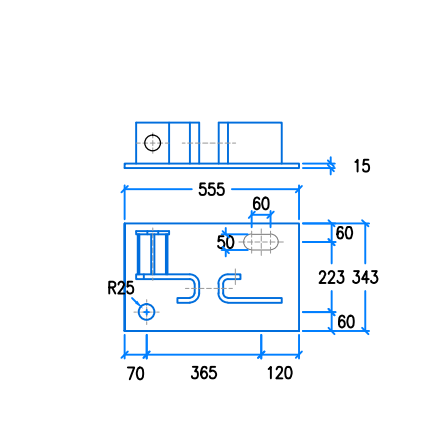
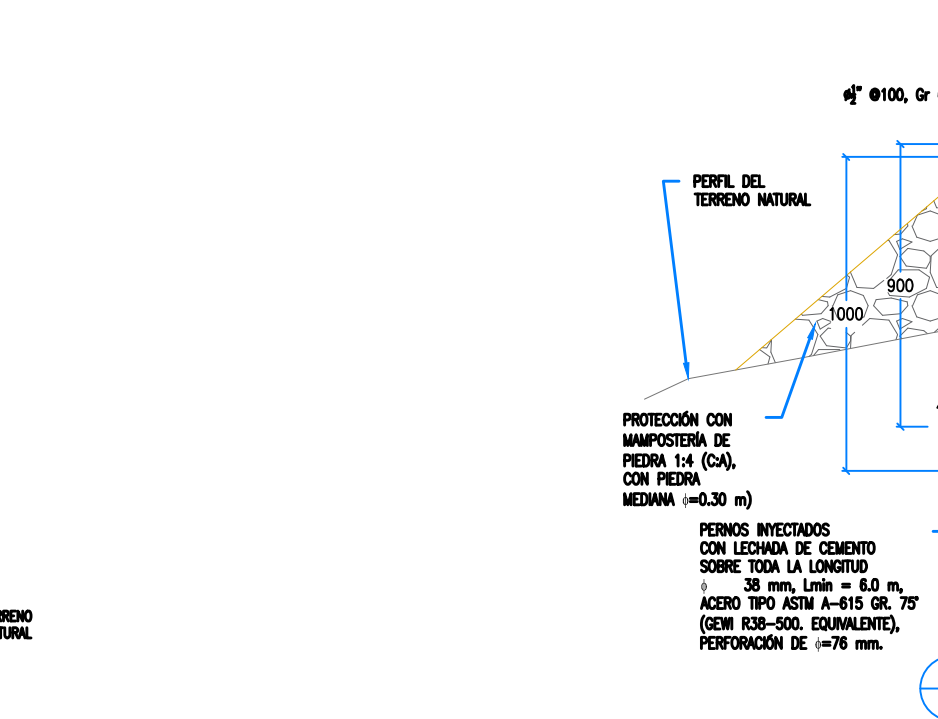
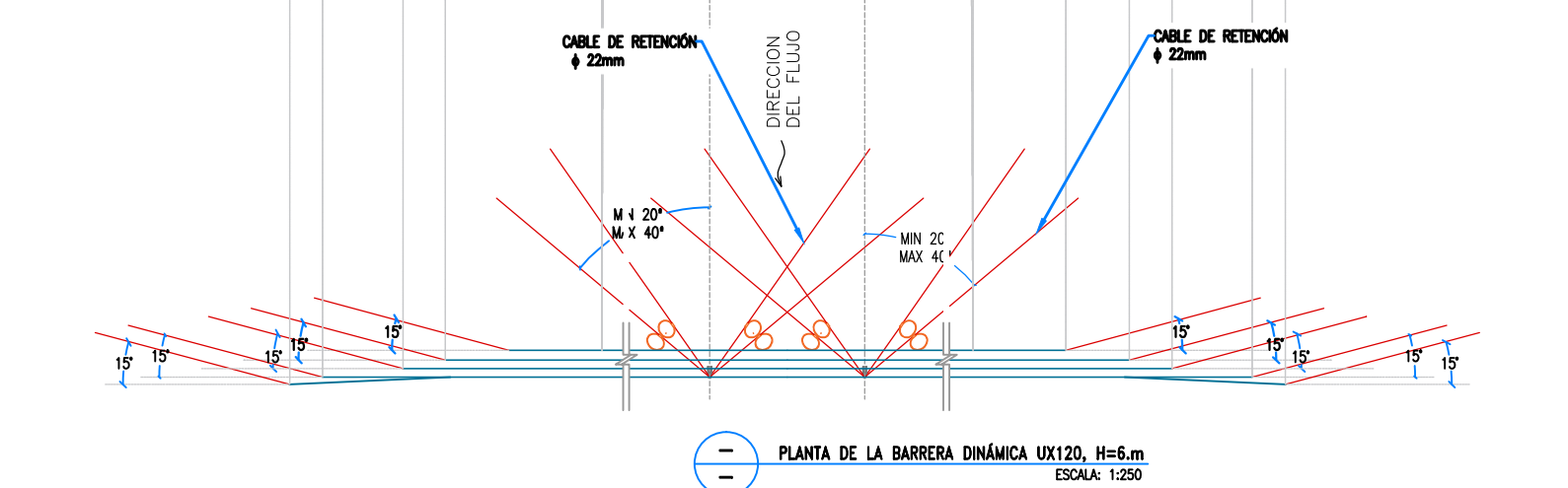
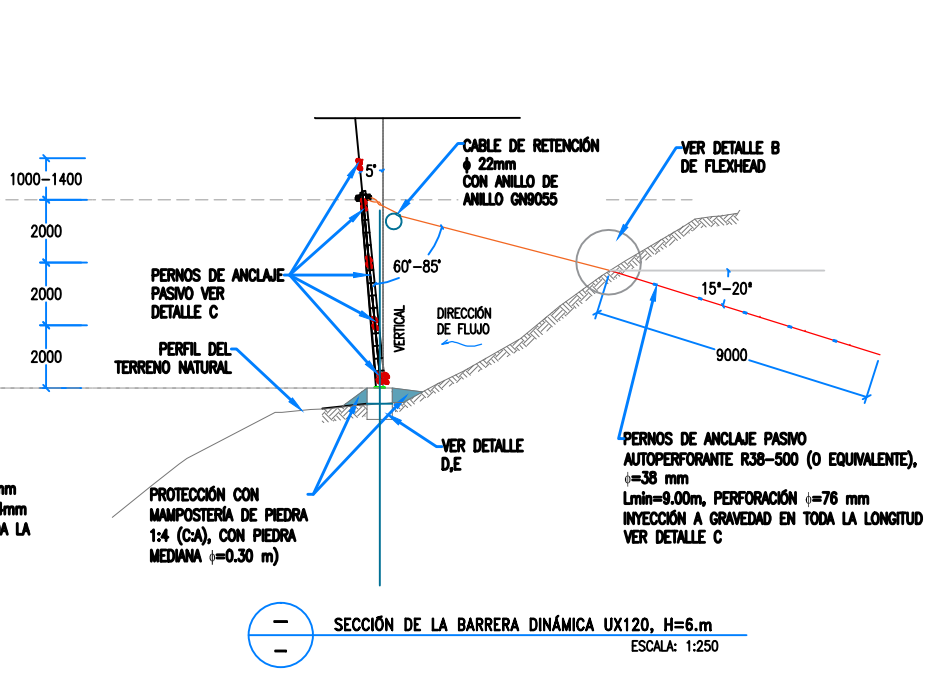
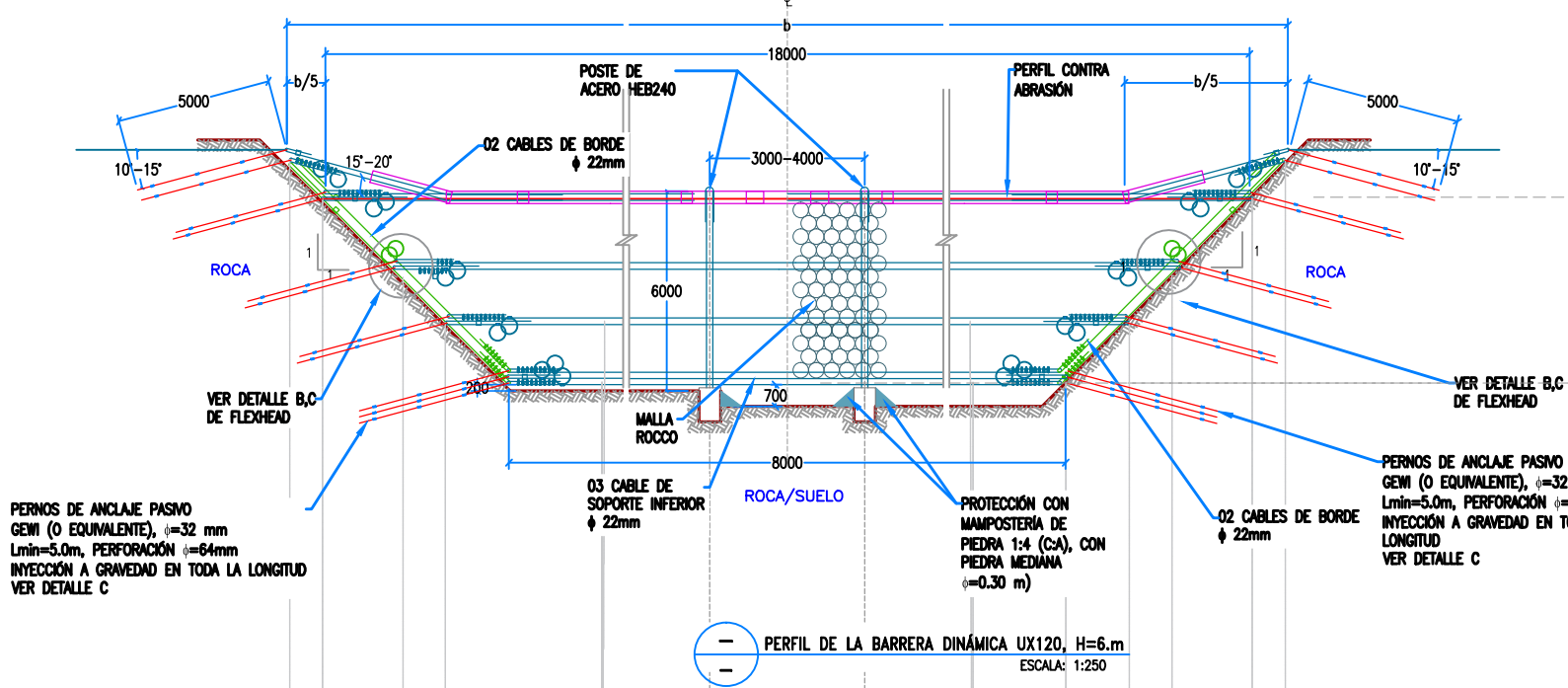
PERNOS DE ANCLAJE PASIVO
 ASTM A615 - Gr. 75 Ó EQUIVALENTE
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = mín. 500 N/mm²
 - DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL AUTOPERFORANTE : Ø=38 mm.
 (SUELO)
 - DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL GEWI (ROCA) : Ø=32 mm.
 - DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN SUELO : Ø=76 mm.
 - DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN ROCA : Ø=64 mm.

TUERCAS Y ACCESORIOS DE ANCLAJES
 ASTM A-394, ASTM A-563 Gr. 50 Ó EQUIVALENTE.
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = mín. 350 N/mm²

PLACA EN ANCLAJES DE PERNO
 ASTM A-572 - Gr. 50 Ó EQUIVALENTE (O COMO INDIQUE EL PROVEEDOR DEL ANCLAJE)
 - ESFUERZO A CEDENCIA : Fy = mín. 350 N/mm²
 - DIMENSIONES : 100 mm x 100 mm x 4.5 mm.

INYECCIONES MATERIALES
 - RELACIÓN AGUA/CEMENTO : 0.4-0.6

PERNOS PASIVOS
 - INYECCIÓN GLOBAL : A gravedad.

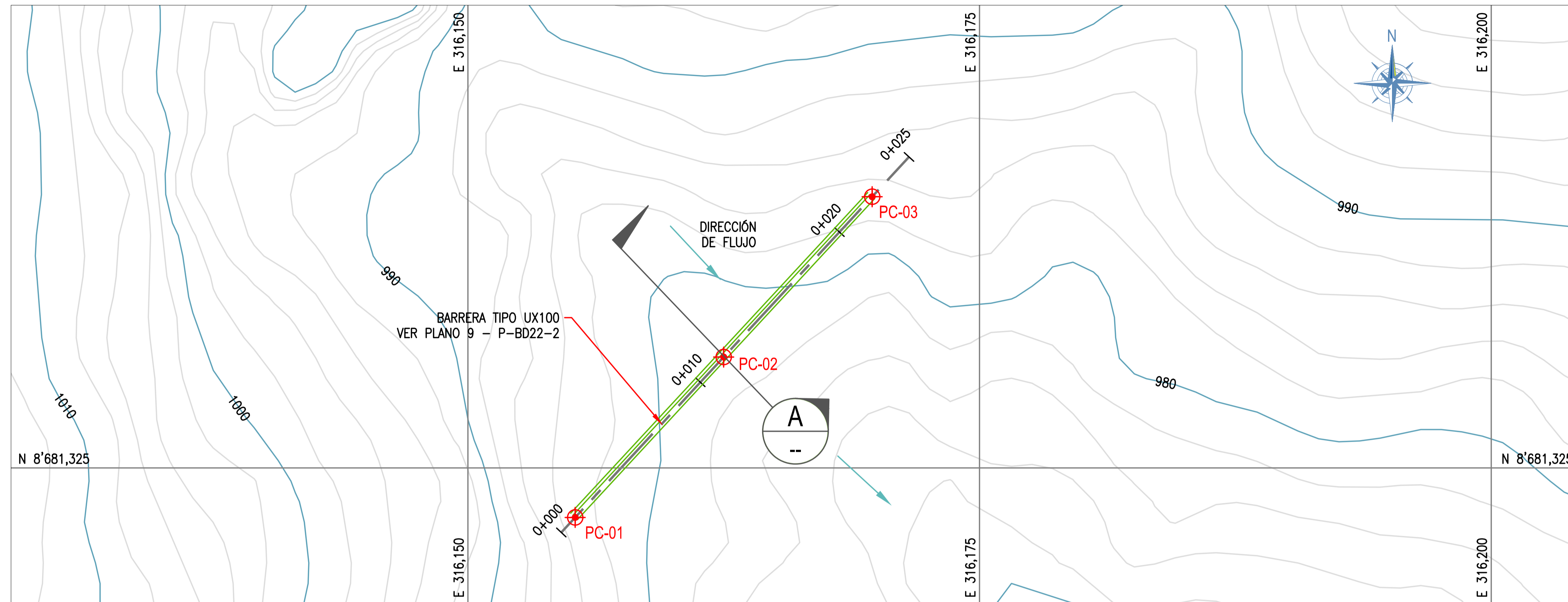


CLIENTE: ANA
 Autoridad Nacional del Agua

PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICAS CONTRA HUAYCOS

TÍTULO: BARRERA DINÁMICA N°12 - UX120 H6 QUEBRADA CAROSSIO DETALLES

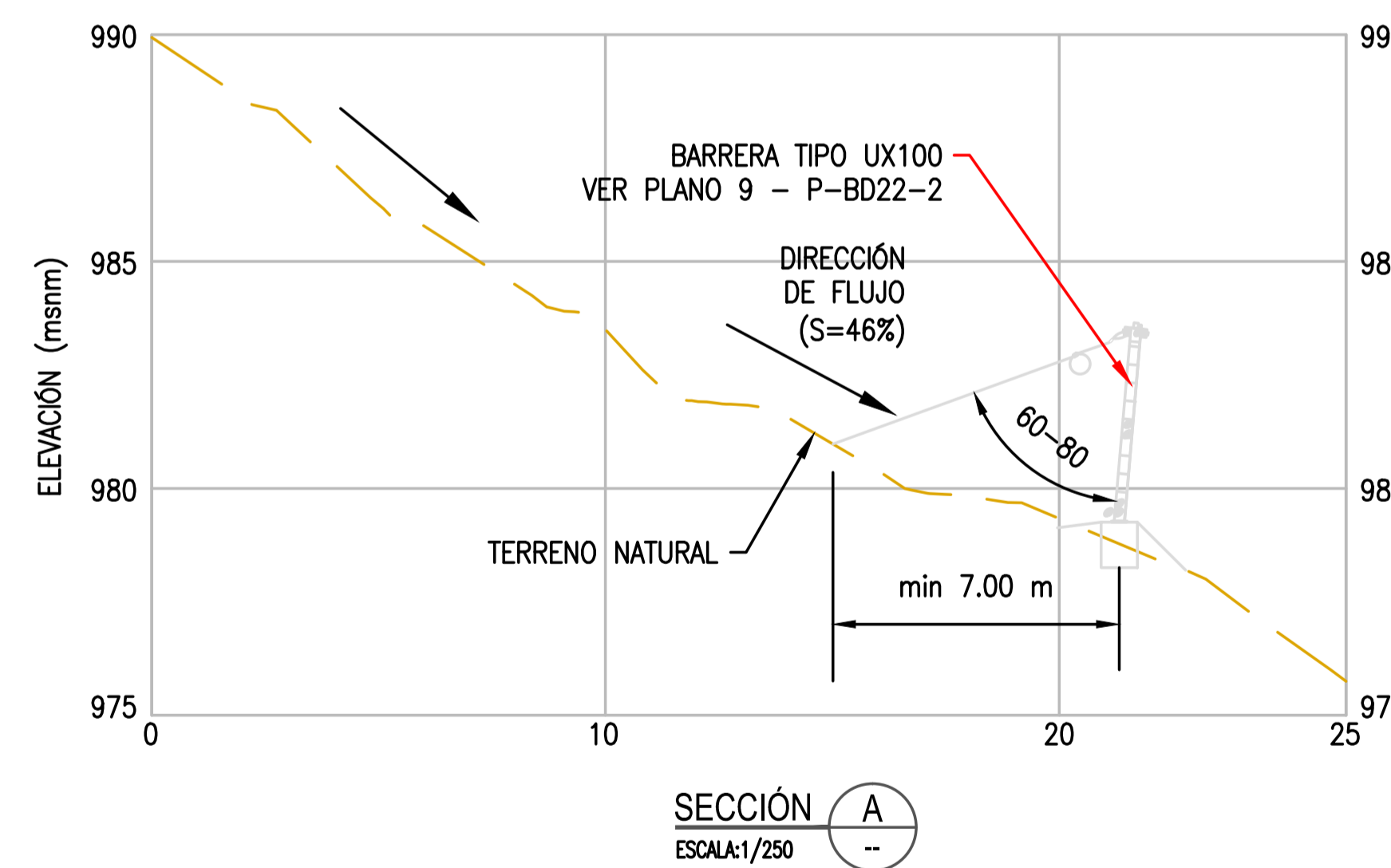
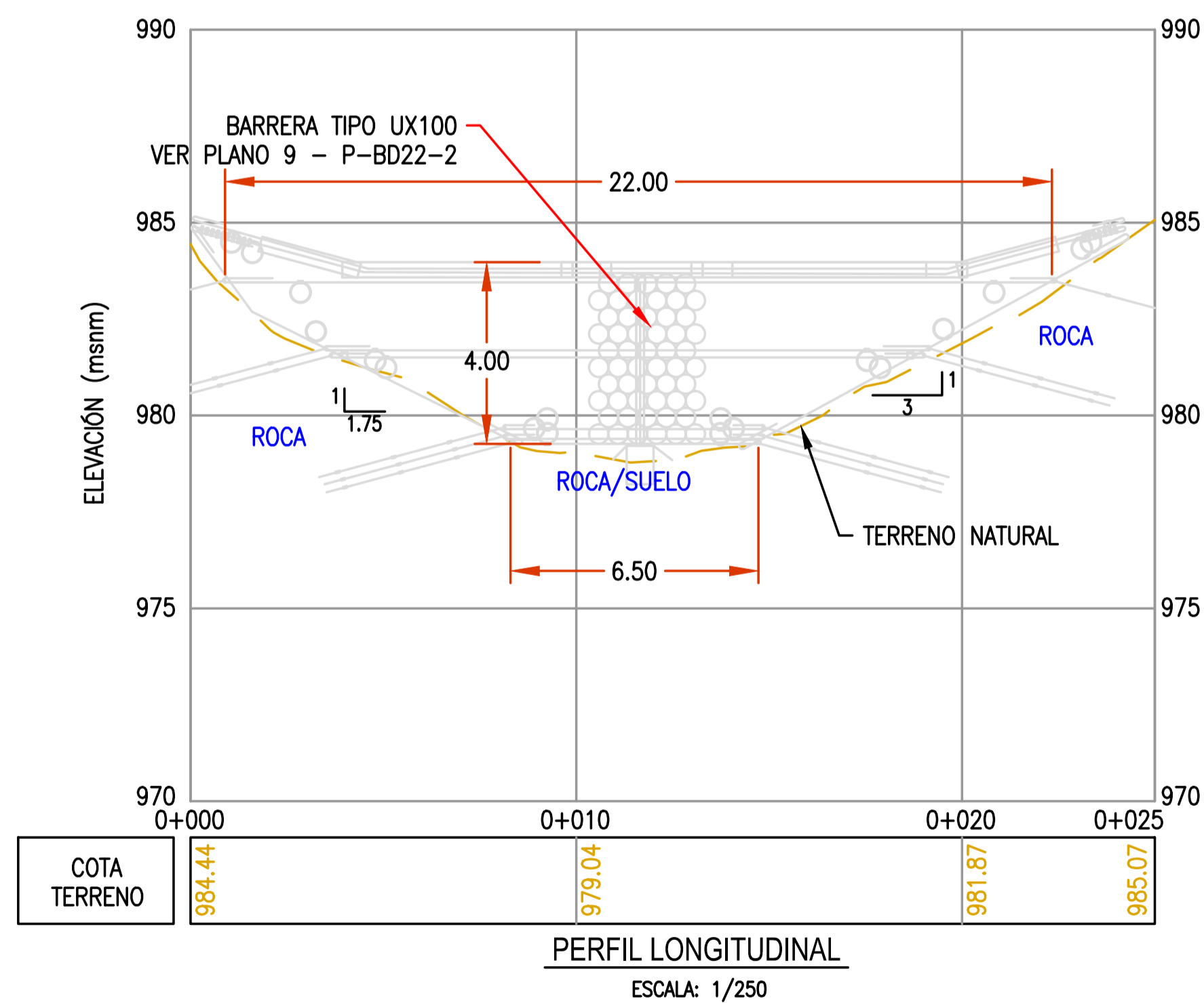
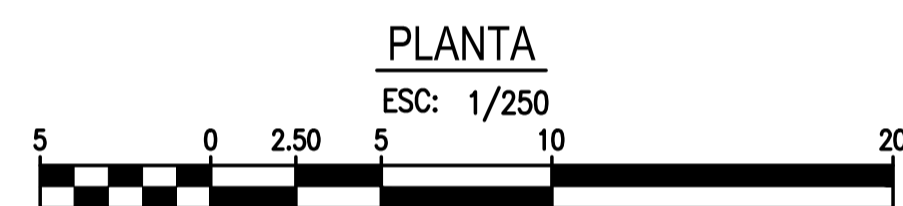
ESCALA: INDICADA Nº PLANO 7 PLANO: P-BD12-2



LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO NATURAL
	PROGRESIVAS
	PUNTO DE CONTROL
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	TERRENO NATURAL

CUADRO N° 1
COORDENADAS DE PUNTOS

PUNTOS DE CONTROL	NORTE	ESTE
PC-01	8681322.6	316155.2
PC-02	8681330.4	316162.5
PC-03	8681338.2	316169.8



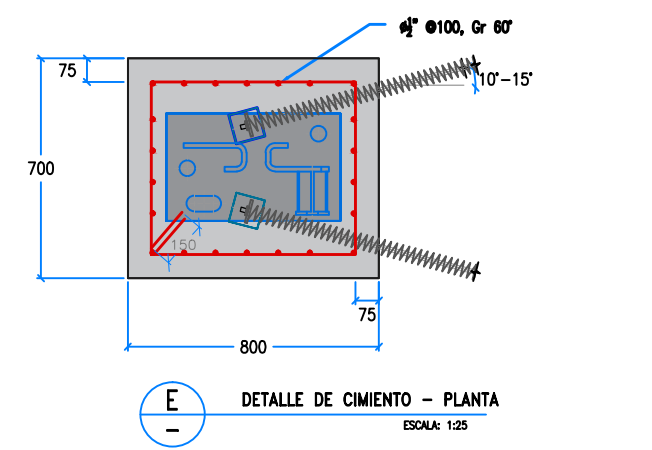
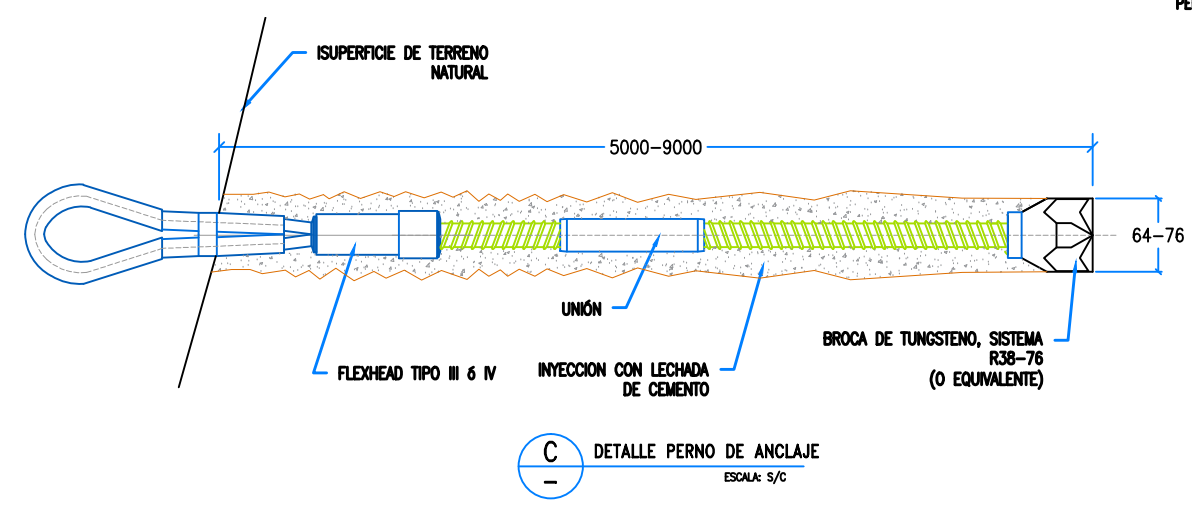
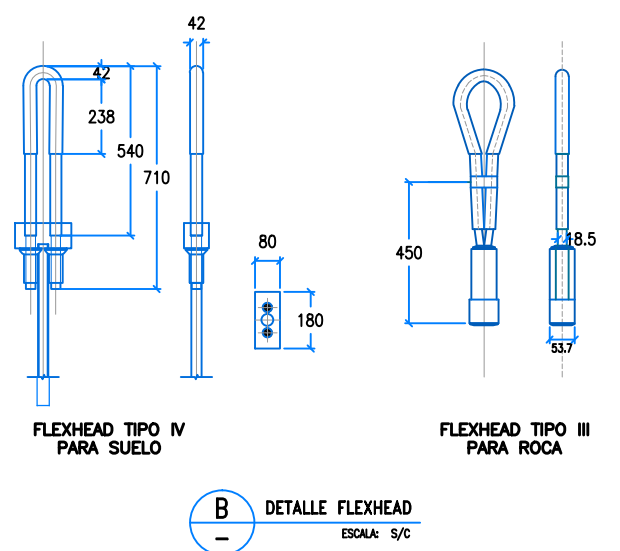
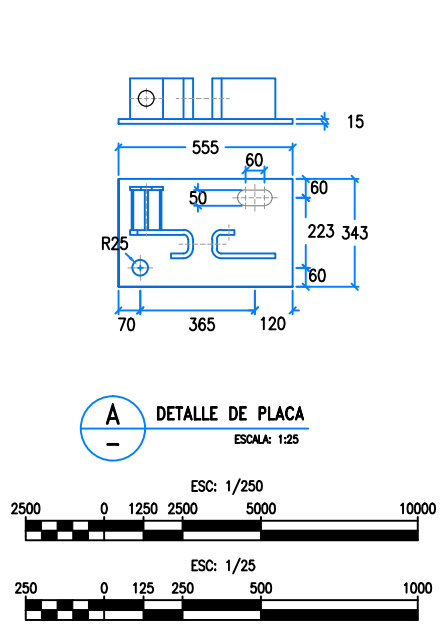
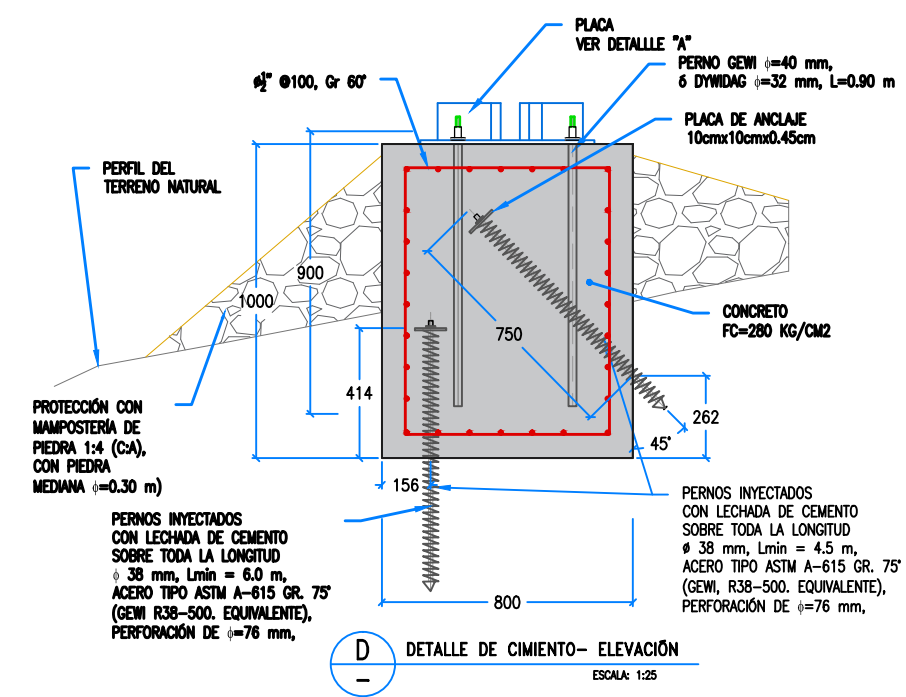
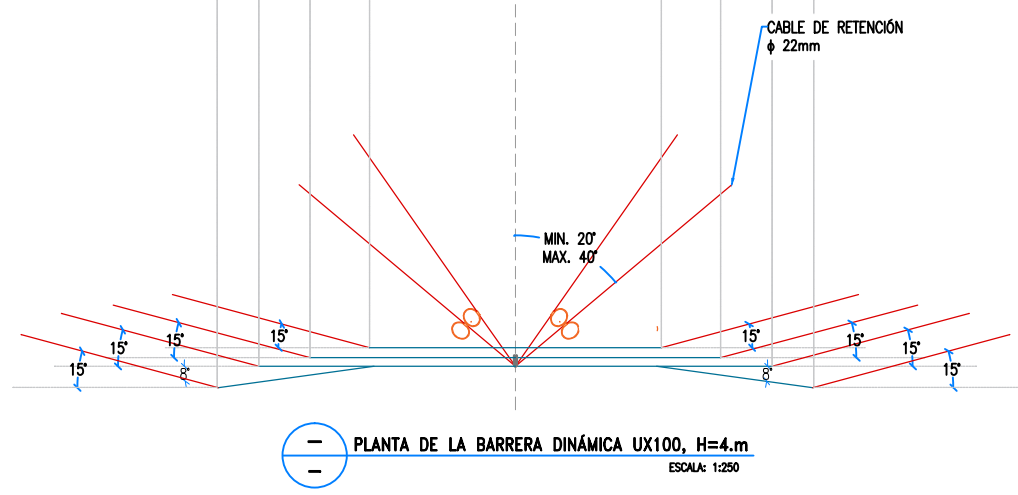
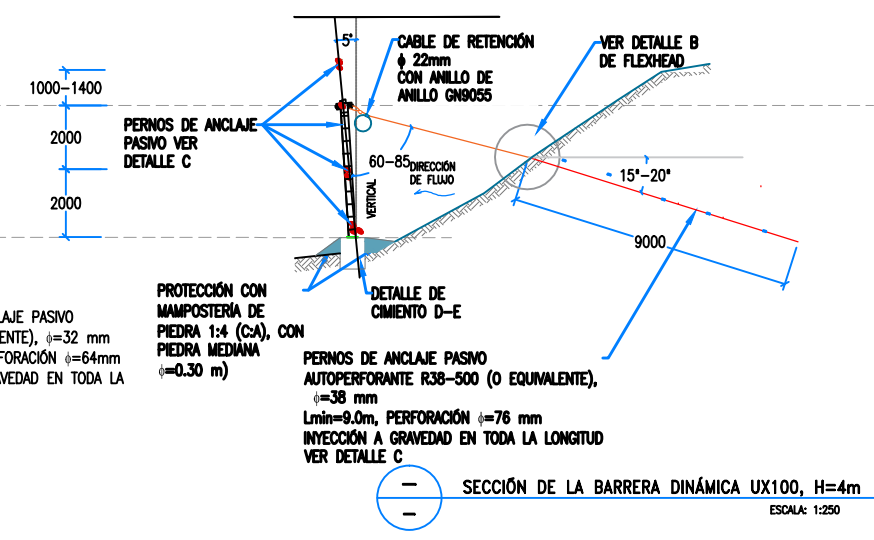
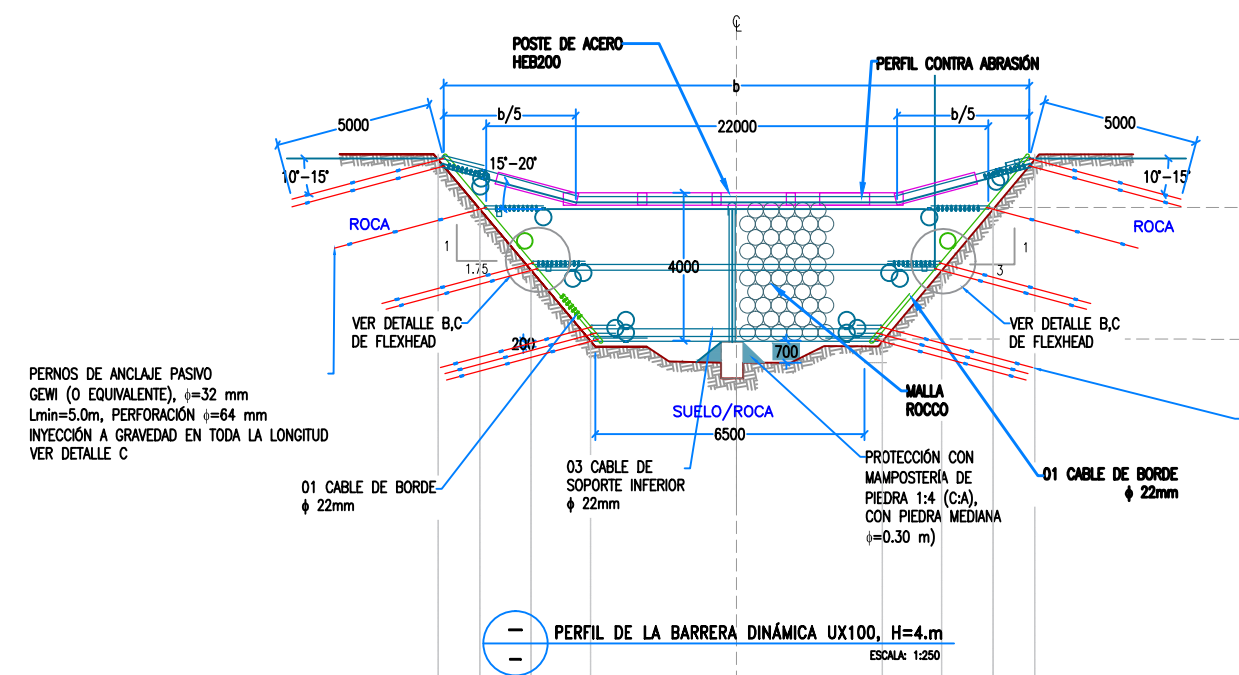
CLIENTE: ANA
Autoridad Nacional del Agua

PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICAS CONTRA HUAYCOS

TÍTULO: BARRERA DINÁMICA N°22 - UX100 H4
QUEBRADA CAROSSIO
PLANTA - SECCIÓN - PERFIL

ESCALA: INDICADA N° PLANO: 8 PLANO: P-BD22-1

CONCRETO CIMENTO DE POSTE	
ACI - 318	
- RESISTENCIA A COMPRESIÓN	: 280 Kg/cm ²
- TIPO DE CEMENTO	: I
- MAX. RELACIÓN AGUA/CEMENTO	: 0.6
- T.M. DEL AGREGADO GRUESO	: 12 mm
- ENSAYO SLUMP	: Min 25 mm, máx. 75 mm.
- RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO	: 75 mm
- ACERO DE REFUERZO f_y	: 4200 Kg/cm ²
PERNOS DE ANCLAJE PASIVO	
ASTM A615 - Gr. 75 Ó EQUIVALENTE	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: $F_y = \text{min. } 500 \text{ N/mm}^2$
- DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL AUTOPERFORANTE	: $\phi=38 \text{ mm.}$
- DIÁMETRO DE LA BARRA HELICOIDAL GEWI (ROCA)	: $\phi=32 \text{ mm.}$
- DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN SUELO	: $\phi=76 \text{ mm.}$
- DIÁMETRO DE PERFORACIÓN MÍNIMA EN ROCA	: $\phi=64 \text{ mm.}$
TUERCAS Y ACCESORIOS DE ANCLAJES	
ASTM A-394, ASTM A-563 Gr. 50 Ó EQUIVALENTE.	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: $F_y = \text{min. } 350 \text{ N/mm}^2$
PLACA EN ANCLAJES DE PERNO	
ASTM A-572 - Gr. 50 Ó EQUIVALENTE (O COMO INDIQUE EL PROVEEDOR DEL ANCLAJE)	
- ESFUERZO A CEDENCIA	: $F_y = \text{min. } 350 \text{ N/mm}^2$
- DIMENSIONES	: 100 mm x 100 mm x 4.5 mm.
INYECCIONES MATERIALES	
- RELACIÓN AGUA/CEMENTO	: 0.4-0.6
PERNOS PASIVOS	
- INYECCIÓN GLOBAL	: A gravedad.



CLIENTE:	ANA Autoridad Nacional del Agua	
PROYECTO:	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (PMGRH) - BARRERA DINÁMICA CONTRA HUAYCOS	
TÍTULO:	BARRERA DINÁMICA N° 22 - UX100 H4 QUEBRADA CAROSSIO DETALLES	
ESCALA:	N° PLANO	PLANO
INDICADA	9	P-BD22-2

ANEXO 3
VERIFICACIÓN DE DISEÑO – PROGRAMA DEBFLOW

Design of flexible debris flow barriers with debflow method (multi-wave / multi-level)

based on 1:1 field tests done in Illgraben and Merdenson River in Switzerland

Projekt: ANA III
15.02.2015

Version 2.0 D
Stand: 05.05.11 bra

Design Parameter

Type and density of debris flow

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
Type of debris flow	Art	schlammig	granular	granular	
Density of debris flow	$\rho =$	2'100	2'100	2'100	kg/m ³
Specific weight of debris flow material	$\gamma =$	20.6	20.6	20.6	kN/m ³
Water content	w =	0.33	0.33	0.33	[-]

Debris flow volume and number of waves

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
Total debris volume (incl. water)	$V_{tot} =$	400	400	400	m ³
number of waves	N =	15	15	15	[-]
Volume per wave	$V_N =$	27	27	27	m ³
Volume first wave	$V_{N1,rec} =$	40	40	40	m ³
Volume chosen	$V_{N1} =$	40	40	40	m ³

peak discharge

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
max. peak discharge (acc. Rickenmann)	$Q_{p,rec} =$	2.4	2.4	2.4	m ³ /s
max. peak discharge (chosen)	$Q_p =$	3	3	3	m ³ /s

Safety factor

global safety factor	$SF_d =$	1.0	[-]
----------------------	----------	-----	-----

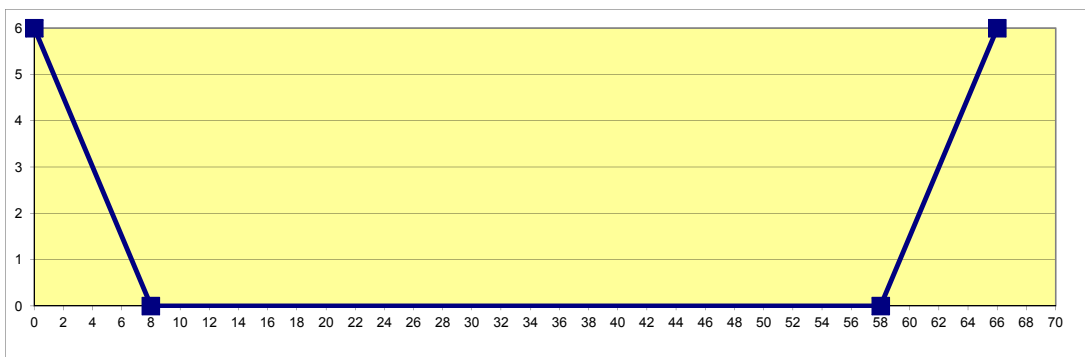
System and design concept

based on test results of a three year research project in collaboration with the WSL (Federal Institute for forest, snow and landscape), every component is tested in 1:1 field tests. These barriers are also possible to get overflowed.

N°10

Geometry barrier 1

System height	$H_{0,1} =$	6.0	m
width of torrent on the level of the bottom support ropes	$b_{u,1} =$	50.0	m maxi 12 m
width of torrent on the level of the top support ropes	$b_{o,1} =$	66.0	m maxi 25 m
distance to next barrier upstream	$L_{01} =$	100	m

**inclination and geometrical parts**

System height of the filled barrier	$H_{1,1} =$	4.5	m
Middle river bed inclination upstream	$i_{s,1} =$	52	%
Inclination of retained material behind barrier	$i'_{s,1,rec} =$	34.7	%
Chosen inclination angle of retained material behind barrier	$i'_{s,1} =$	40.0	%
Inclination between barrier and slope	$\xi =$	67.5	°
Length of retained material in river direction	$L_1 =$	43.6	m 43.6 unsichtbar!
Retention volume	$V_{r,1} =$	5'255	m ³

Flow velocity and flow height

		Load case 1	Load case 2	Load case 3
Flow velocity (acc. Rickenmann)	$v_{1,base} =$	2.7	2.7	2.7
Flow velocity (acc. Strickler)	$v_{str} =$	1.1	1.1	1.1
Impact velocity chosen (chosen v-value)	$v_1 =$	2.7	2.7	2.7
Flow height	$h_{f,1} =$	0.0	0.0	0.0
Max. basal opening (gem. Wendeler)	$h_{d,1} \leq$	0.0		

Flexible, permeable debris flow protection system

System type	Typ	GEOBRUGG UX180-H6
Max. system height	$H_{0,max} =$	6 m
Max. system width top ropes	$b_{o,max} =$	30 m
Max. system width bottom	$b_{u,max} =$	25 m
Proof of system height and width		fulfilled !

Proof of max. dynamic loading

		Load case 1	Load case 2	Load case 3
Width factor (based on standard width)	$BF_1 =$	3.22	-]	
Dynamic load pressure (debris flow pressure and impuls acc. Wendeler)	$MD_{dyn,1} =$	0	1	1 kN/m ² ·h _f
Load capacity of barrier	$RD_{dyn,1} =$	1	1	1 kN/m ² ·h _f
Safety factor	$SF_{dyn,1} =$	3.60	1.81	1.81 [-]
Proof of dynamic impact		fulfilled !	fulfilled !	fulfilled !

Proof of max. static loading

		Load case 1	Load case 2	Load case 3
Reduction factor hydrostatic pressure (Permeability)	$HF =$	1	-]	
Static debris flow pressure (hydrostatic debris pressure acc. Wendeler)	$MD_{stat,1} =$	83	83	83 kN/m ²
Resistance against static loading	$RD_{stat,1} =$	112	112	112 kN/m ²
Safety factor	$SF_{stat,1} =$	1.35	1.35	1.35 [-]
Proof of static loading		fulfilled !	fulfilled !	fulfilled !

Proof of barrier

fulfilled !

Design of flexible debris flow barriers with debflow method (multi-wave / multi-level)

based on 1:1 field tests done in Illgraben and Merdenson River in Switzerland

Projekt: ANA III
15.02.2015

Version 2.0 D
Stand: 05.05.11 bra

Design Parameter

Type and density of debris flow

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
Type of debris flow	Art	schlammig	granular	granular	
Density of debris flow	$\rho =$	2'100	2'100	2'100	kg/m ³
Specific weight of debris flow material	$\gamma =$	20.6	20.6	20.6	kN/m ³
Water content	w =	0.33	0.33	0.33	[-]

Debris flow volume and number of waves

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
Total debris volume (incl. water)	$V_{tot} =$	400	400	400	m ³
number of waves	N =	15	15	15	[-]
Volume per wave	$V_N =$	27	27	27	m ³
Volume first wave	$V_{N1,rec} =$	40	40	40	m ³
Volume chosen	$V_{N1} =$	40	40	40	m ³

peak discharge

		Load case 1	Load case 2	Load case 3	
max. peak discharge (acc. Rickenmann)	$Q_{p,rec} =$	2.4	2.4	2.4	m ³ /s
max. peak discharge (chosen)	$Q_p =$	3	3	3	m ³ /s

Safety factor

global safety factor	$SF_d =$	1.0	[-]
----------------------	----------	-----	-----

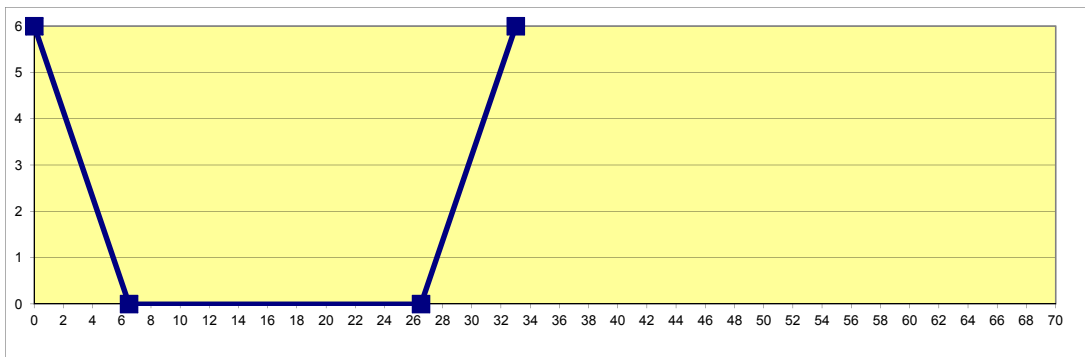
System and design concept

based on test results of a three year research project in collaboration with the WSL (Federal Institute for forest, snow and landscape), every component is tested in 1:1 field tests. These barriers are also possible to get overflowed.

N°11

Geometry barrier 1

System height	$H_{0,1} =$	6.0	m
width of torrent on the level of the bottom support ropes	$b_{u,1} =$	20.0	m maxi 12 m
width of torrent on the level of the top support ropes	$b_{o,1} =$	33.0	m maxi 25 m
distance to next barrier upstream	$L_{01} =$	100	m

**inclination and geometrical parts**

System height of the filled barrier	$H_{1,1} =$	4.5	m
Middle river bed inclination upstream	$I_{s,1} =$	52	%
Inclination of retained material behind barrier	$I'_{s,1,rec} =$	34.7	%
Chosen inclination angle of retained material behind barrier	$I'_{s,1} =$	40.0	%
Inclination between barrier and slope	$\xi =$	67.5	°
Length of retained material in river direction	$L_1 =$	43.6	m 43.6 unsichtbar!
Retention volume	$V_{r,1} =$	2'401	m ³

Flow velocity and flow height

	Load case 1	Load case 2	Load case 3		
Flow velocity (acc. Rickenmann)	$v_{1,base} =$	2.7	2.7	2.7	m/s
Flow velocity (acc. Strickler)	$v_{str} =$	1.6	1.6	1.6	m/s
Impact velocity chosen (chosen v-value)	$v_1 =$	2.7	2.7	2.7	m/s
Flow height	$h_{f,1} =$	0.1	0.1	0.1	m
Max. basal opening (gem. Wendeler)	$h_{d,1} \leq$	0.0			m

Flexible, permeable debris flow protection system

System type	Typ	GEOBRUGG UX180-H6	
Max. system height	$H_{0,max} =$	6	m
Max. system width top ropes	$b_{o,max} =$	30	m
Max. system width bottom	$b_{u,max} =$	25	m
Proof of system height and width		fulfilled !	

Proof of max. dynamic loading

	Load case 1	Load case 2	Load case 3		
Width factor (based on standard width)	$BF_1 =$	1.47	[-]		
Dynamic load pressure (debris flow pressure and impuls acc. Wendeler)	$MD_{dyn,1} =$	1	2	2	kN/m ² ·h _f
Load capacity of barrier	$RD_{dyn,1} =$	7	7	7	kN/m ² ·h _f
Safety factor	$SF_{dyn,1} =$	7.70	3.92	3.92	[-]
Proof of dynamic impact		fulfilled !	fulfilled !	fulfilled !	

Proof of max. static loading

	Load case 1	Load case 2	Load case 3		
Reduction factor hydrostatic pressure (Permeability)	$HF =$	1	[-]		
Static debris flow pressure (hydrostatic debris pressure acc. Wendeler)	$MD_{stat,1} =$	84	84	84	kN/m ²
Resistance against static loading	$RD_{stat,1} =$	245	245	245	kN/m ²
Safety factor	$SF_{stat,1} =$	2.93	2.93	2.93	[-]
Proof of static loading		fulfilled !	fulfilled !	fulfilled !	

Proof of barrier

fulfilled !

Dimensionamiento de sistema flexible de protección GEOBRUGG VX/UX -DEBFLOW

Parámetros de entrada

Tipo y densidad de la corriente de derrubios

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Tipo de corriente de derrubios (granular o de lodos)	Typ	granular	no hay combinación de cargas	no hay combinación de cargas
Densidad del materials de la corriente de derrubios	$\rho =$	2100		[kg/m ³]
Peso específico del material de la corriente de derrubios	$\gamma =$	20.6		[kN/m ³]
Contenido de agua	$\omega =$	0.33		-

Volumen de la corriente de derrubios y número de oleadas

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Volumen total de la corriente de derrubios (incl. agua)	$V_{tot} =$	900		[m ³]
Número de oleadas	$N =$	3		-
Volumen por oleada (promedio)	$V_N =$	300		[m ³]
Volumen de la primera oleada (recomendado)	$V_{N1,rec} =$	450		[m ³]
Volumen de la primera oleada (seleccionado)	$V_{N1} =$	450		[m ³]

Caudal

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Caudal (según Rickenmann)	$Q_{p,rec} =$	15.8		[m ³ /s]
Caudal (seleccionado)	$Q_p =$	16		[m ³ /s]

Factor de Seguridad

Factor de Seguridad Global	SF =	1.5		
----------------------------	------	-----	--	--

Resumen de resultados

Resumen de resultados

Sistemas de protección multinivel	No.	Factor seguridad	Comprobación	Volumen retención
GEOBRUGG UX120-H6	No. 1	1.73	cumple!	783 [m ³]
Barrera No.	No. 2	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 3	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 4	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 5	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 6	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 7	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 8	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 9	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 10	-	-	0 [m ³]
Fator de seguridad mínimo de todo el sistema	SF _{min} =	1.73	cumple!	

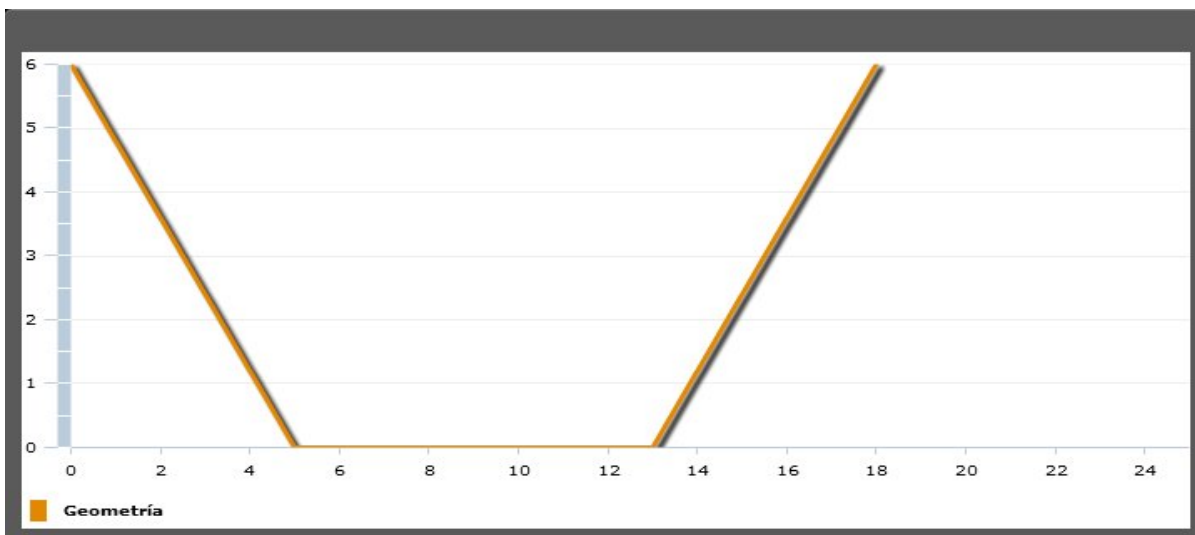
Volumen retención

Volumen de retención total	V _{r,tot} =	783	[m ³]
Volumen de retención requerido	V _{tot,max} =	780	[m ³]
Reserva	V _{r,reserve} =	3	[m ³]
Comprobación del volumen de retención		cumple!	
Comprobación de todo el sistema		cumple!	

Ubicación de la barrera No. 1

Geometría de ubicación de la barrera

Altura del sistema	$H_{0,1} =$	6	[m]
Ancho del torrente a la altura del cable de soporte inferior	$b_{u,1} =$	8	[m]
Ancho del torrente a la altura del cable de soporte superior	$b_{o,1} =$	18	[m]
Distancia a la siguiente barrera aguas arriba	$L_{0,1} =$	100	[m]



Pendiente media del torrente y volumen de retención

Altura del sistema con la barrera llena	$H_{1,1} =$	4.5	[m]
Pendiente media del torrente aguas arriba	$i_{s,1} =$	53	[%] 28°
Ángulo de inclinación del material de relleno sobre la barrera (según Rickenmann)	$i'_{s,1,rec} =$	35.3	[%] 19°
Ángulo de inclinación del material de relleno sobre la barrera (seleccionado)	$i'_{s,1} =$	35	[%]
Ángulo entre la red de anillos y el lecho del canal	$\xi =$	67.1	[o]
Longitud de material detrás de la barrera	$L_1 =$	29.0	[m]
Volumen retención			

Velocidad del frente y altura del flujo

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Velocidad del frente (según Rickenmann)	$V_{1,base} =$	4.7		[m/s]
Velocidad del frente según Strikler ($v_1 > v_{str}$)	$v_{str} =$	4.6		[m/s]
Velocidad de impacto sobre la barrera (seleccionada, máx. valor V)	$V_1 =$	4.7		[m/s]
Altura del flujo	$h_{fl,1} =$	0.4		[m]
Máxima apertura recomendada del canal (según Wendeler)	$h_{d,1} \leq$	0.3[m]		

Sistema de protección contra fujos de derrubios flexible y permeable

Tipo de Sistema	Typ	GEOBRUGG UX120-H6
Máxima altura del sistema	$H_{o,max} =$	6 ['.m.']
Máximo ancho del sistema encima	$b_{o,max} =$	25 ['.m.']
Máximo ancho del sistema debajo	$b_{u,max} =$	12 ['.m.']
Comprobación de altura y ancho del sistema		cumple!

Comprobación de la carga dinámica (durante el desbordamiento)

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Factor de ancho (entre la barrera colocada y la estándar)	$BF_1 =$	0.72		
Carga dinámica (presión e impulso según Wendeler)	$MD_{dyn,1} =$	41		[kN/(m ³ h _{ff})]
Resistencia contra la carga dinámica	$RD_{dyn,1} =$	71		[kN/(m ³ h _{ff})]
Factor de Seguridad	$SF_{dyn,1} =$	1.73		-
Comprobación de la carga dinámica max.		cumple!		

Comprobación de la máxima carga estática (rebotante)

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Factor de reducción presión hidrostática (permeabilidad)	$HF =$	1.0		
Carga estática (presión hidrostática según Wendeler)	$MD_{stat,1} =$	93		[kN/m ²]
Resistencia frente a la carga estática	$RD_{stat,1} =$	166		[kN/m ²]
Factor de Seguridad	$SF_{stat,1} =$	1.78		-
Comprobación de la carga estática máxima		cumple!		
Comprobación de la barrera		cumple!		

Dimensionamiento de sistema flexible de protección GEOBRUGG VX/UX -DEBFLOW

Parámetros de entrada

Tipo y densidad de la corriente de derrubios

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Tipo de corriente de derrubios (granular o de lodos)	Typ	granular	no hay combinación de cargas	no hay combinación de cargas
Densidad del materials de la corriente de derrubios	$\rho =$	2100		[kg/m ³]
Peso específico del material de la corriente de derrubios	$\gamma =$	20.6		[kN/m ³]
Contenido de agua	$\omega =$	0.33		-

Volumen de la corriente de derrubios y número de oleadas

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Volumen total de la corriente de derrubios (incl. agua)	$V_{tot} =$	500		[m ³]
Número de oleadas	$N =$	3		-
Volumen por oleada (promedio)	$V_N =$	167		[m ³]
Volumen de la primera oleada (recomendado)	$V_{N1,rec} =$	250		[m ³]
Volumen de la primera oleada (seleccionado)	$V_{N1} =$	250		[m ³]

Caudal

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Caudal (según Rickenmann)	$Q_{p,rec} =$	10.0		[m ³ /s]
Caudal (seleccionado)	$Q_p =$	3		[m ³ /s]

Factor de Seguridad

Factor de Seguridad Global	SF =	1.5		
----------------------------	------	-----	--	--

Resumen de resultados

Resumen de resultados

Sistemas de protección multinivel	No.	Factor seguridad	Comprobación	Volumen retención
GEOBRUGG UX100-H4	No. 1	1.72	cumple!	422 [m ³]
Barrera No.	No. 2	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 3	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 4	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 5	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 6	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 7	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 8	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 9	-	-	0 [m ³]
Barrera No.	No. 10	-	-	0 [m ³]
Fator de seguridad mínimo de todo el sistema	SF _{min} =	1.72	cumple!	

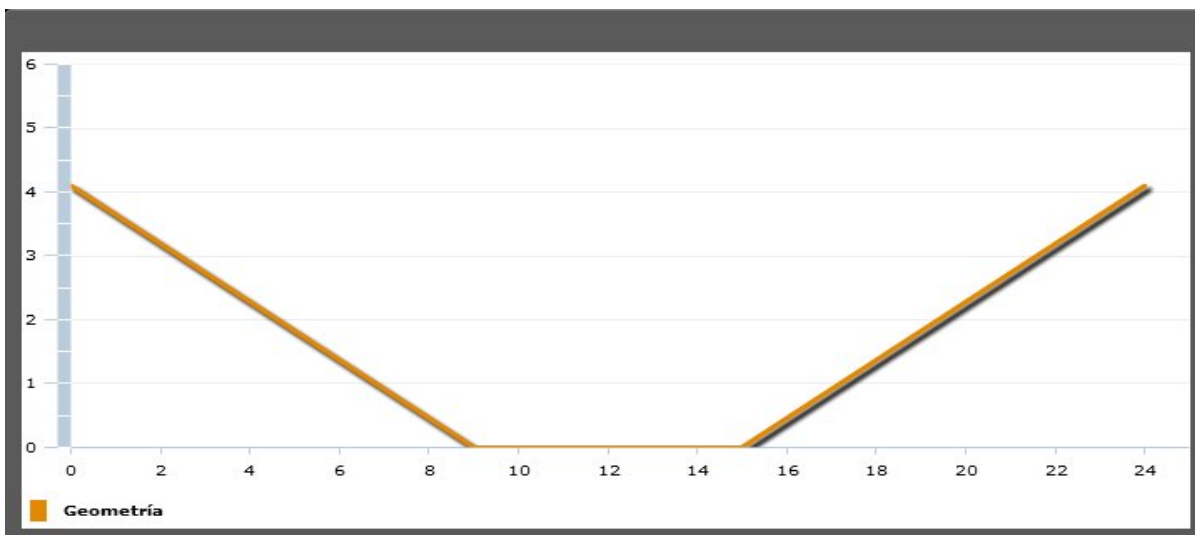
Volumen retención

Volumen de retención total	V _{r,tot} =	422	[m ³]
Volumen de retención requerido	V _{tot,max} =	420	[m ³]
Reserva	V _{r,reserve} =	2	[m ³]
Comprobación del volumen de retención		cumple!	
Comprobación de todo el sistema		cumple!	

Ubicación de la barrera No. 1

Geometría de ubicación de la barrera

Altura del sistema	$H_{0,1} =$	4.1	[m]
Ancho del torrente a la altura del cable de soporte inferior	$b_{u,1} =$	6	[m]
Ancho del torrente a la altura del cable de soporte superior	$b_{o,1} =$	24	[m]
Distancia a la siguiente barrera aguas arriba	$L_{0,1} =$	30	[m]



Pendiente media del torrente y volumen de retención

Altura del sistema con la barrera llena	$H_{1,1} =$	3.1	[m]
Pendiente media del torrente aguas arriba	$i_{s,1} =$	54	[%] 28°
Ángulo de inclinación del material de relleno sobre la barrera (según Rickenmann)	$i'_{s,1,rec} =$	36.0	[%] 20°
Ángulo de inclinación del material de relleno sobre la barrera (seleccionado)	$i'_{s,1} =$	36	[%]
Ángulo entre la red de anillos y el lecho del canal	$\xi =$	66.6	[o]
Longitud de material detrás de la barrera	$L_1 =$	20.0	[m]
Volumen retención			

Velocidad del frente y altura del flujo

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Velocidad del frente (según Rickenmann)	$V_{1,base} =$	2.7		[m/s]
Velocidad del frente según Strikler ($v_1 > v_{str}$)	$v_{str} =$	2.6		[m/s]
Velocidad de impacto sobre la barrera (seleccionada, máx. valor V)	$V_1 =$	2.7		[m/s]
Altura del flujo	$h_{fl,1} =$	0.2		[m]
Máxima apertura recomendada del canal (según Wendeler)	$h_{d,1} <=$	0.1[m]		

Sistema de protección contra fujos de derrubios flexible y permeable

Tipo de Sistema	Typ	GEOBRUGG UX100-H4
Máxima altura del sistema	$H_{o,max} =$	4.4 ['.m.']
Máximo ancho del sistema encima	$b_{o,max} =$	25 ['.m.']
Máximo ancho del sistema debajo	$b_{u,max} =$	10 ['.m.']
Comprobación de altura y ancho del sistema		cumple!

Comprobación de la carga dinámica (durante el desbordamiento)

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Factor de ancho (entre la barrera colocada y la estándar)	$BF_1 =$	1.00		
Carga dinámica (presión e impulso según Wendeler)	$MD_{dyn,1} =$	6		[kN/(m ² *h _{ff})]
Resistencia contra la carga dinámica	$RD_{dyn,1} =$	19		[kN/(m ² *h _{ff})]
Factor de Seguridad	$SF_{dyn,1} =$	3.17		-
Comprobación de la carga dinámica max.		cumple!		

Comprobación de la máxima carga estática (rebotante)

		Caso carga 1	Caso carga 2	Caso carga 3
Factor de reducción presión hidrostática (permeabilidad)	$HF =$	1.0		
Carga estática (presión hidrostática según Wendeler)	$MD_{stat,1} =$	58		[kN/m ²]
Resistencia frente a la carga estática	$RD_{stat,1} =$	100		[kN/m ²]
Factor de Seguridad	$SF_{stat,1} =$	1.72		-
Comprobación de la carga estática máxima		cumple!		
Comprobación de la barrera		cumple!		