



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de  
Ingeniero**

**Civil**

**Diseño de Obras de Protección y Estabilización de la Captación de  
la Quebrada Caicedo, Ubicada en el Sector de Cochapamba, Norte  
del Distrito Metropolitano de Quito.**

**Autor: Lema Guachamín Jorge Roberto**

**Director: Ing. Diego Carrión Msc.**

**Quito, febrero de 2014**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero **Diego Carrión Guerra**, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: **“DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LA QUEBRADA CAICEDO, UBICADA EN EL SECTOR DE COCHAPAMBA, NORTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”** del estudiante Jorge Roberto Lema Guachamín, alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, febrero de 2014

EL TUTOR

  
Ing. Diego Carrión Guerra. Msc  
C.I. 171176099-9

Yo, Jorge Roberto Lema Guachamín, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y, que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, febrero de 2014

EL AUTOR



---

Jorge Roberto Lema Guachamín  
C.I. 171463560-2

## **DEDICATORIA**

*Dedico ésta tesis con todo mi amor y cariño, para esas personas que lo hicieron todo por mí, por ese gran sacrificio, por motivar mis más profundos sueños y aspiraciones, por darme la mano cuando sentía que mi camino se hacía angosto.*

*A mis padres Jorge y Carmen.*

*A mi esposa e hijo Amparo y Alejandro*

*A mis hermanos David e Iván*

*A mis tíos Marcelo y Janneth*

*A mis abuelitos José y Bertha*

*Ésta tesis lleva mucho de ustedes....*

## **AGRADECIMIENTO**

*Le agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera, en la obtención de nuevos conocimientos y aprendizajes.*

*Le doy gracias a todos y cada uno de los integrantes de mi familia ya que son el fiel ejemplo de unión, amor y comprensión*

*Al ingeniero Diego Carrión Guerra, quien supo enfocar mi investigación, dirigirla y compartir su conocimiento con gran profesionalismo.*

*A los ingenieros Wilfrido León y Jorge Vásquez quienes con gran acierto colaboraron en la corrección de mi tesis.*

*A la ingeniera Amparo Benavides Peralta, mi dulce esposa, quien colaboró en éste proyecto de manera ilimitada con su conocimiento y amor*

*A los ingenieros Marco Betancourt Rivera, Luis Barros, Juan Carlos Ávila y Polo Yáñez, funcionarios de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento quienes colaboraron siempre para que ésta investigación sea una realidad.*

*A los señores Alfonso Núñez y Oswaldo Gavilanes personal operativo del área de Alcantarillado de la EPMAPS quienes con su experiencia y espíritu de colaboración me apoyaron en la investigación de campo.*

*He terminado con éxito ésta etapa de mi vida gracias a ustedes...*

*Jorge Roberto Lema Guachamín*

## INDICE

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Aprobación del tutor                  | I        |
| Declaración de originalidad           | II       |
| Dedicatoria                           | III      |
| Agradecimiento                        | IV       |
| Índice                                | V        |
| Resumen                               | XVI      |
| <br>                                  |          |
| Capitulo 1                            | <b>1</b> |
| <br>                                  |          |
| 1. EL PROBLEMA                        | 1        |
| 1.1 EL OBJETO DE INVESTIGACIÒN        | 1        |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA        | 1        |
| 1.3 FORMULACIÒN DEL PROBLEMA          | 2        |
| 1.4 SISTEMATIZACIÒN                   | 2        |
| 1.5 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÌFICOS  | 3        |
| 1.5.1 Objetivo General                | 3        |
| 1.5.2 Objetivos Específicos           | 3        |
| 1.6 JUSTIFICACIÒN                     | 4        |
| 1.6.1 Justificación Teórica           | 4        |
| 1.6.2 Justificación Práctica          | 4        |
| 1.6.3 Justificación Relevancia Social | 4        |
| 1.7 IDEA A DEFENDER                   | 5        |
| <br>                                  |          |
| Capitulo II                           | <b>6</b> |
| <br>                                  |          |
| 2. EL MARCO REFERENCIAL               | 6        |
| 2.1. MARCO TEÓRICO                    | 6        |
| 2.1.1 Antecedentes                    | 6        |

|       |                                                                                          |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2 | Clima general y ubicación del proyecto                                                   | 9  |
| 2.1.3 | Características naturales y físicas de la zona en la que está ubicado EL proyecto        | 15 |
| 2.1.4 | Impacto sobre la Quebrada Caicedo                                                        | 20 |
| 2.1.5 | Estructuras Hidráulicas                                                                  | 27 |
| 2.1.6 | Muros                                                                                    | 30 |
| 2.1.7 | Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)                                                 | 31 |
| 2.2   | MARCO CONCEPTUAL                                                                         | 33 |
| 2.2.1 | Escorrentía superficial                                                                  | 33 |
| 2.2.2 | Infiltración                                                                             | 33 |
| 2.2.3 | Arrastre de sedimento                                                                    | 34 |
| 2.2.4 | Tiempo de concentración                                                                  | 34 |
| 2.2.5 | Geología y suelos                                                                        | 34 |
| 2.2.6 | Cobertura                                                                                | 35 |
| 2.2.7 | Topografía                                                                               | 35 |
| 2.2.8 | Perfil topográfico                                                                       | 35 |
| 2.2.9 | Caudal                                                                                   | 35 |
| 2.3   | FUNDAMENTACIÓN LEGAL                                                                     | 35 |
| 2.3.1 | Creación de la EPMAPS                                                                    | 36 |
| 2.3.2 | Gestión Ambiental                                                                        | 38 |
|       | Capítulo III                                                                             | 40 |
| 3.    | METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL ANÁLISIS SECTOR O ZONA DEL IMPACTO DEL PROYECTO A EJECUTARSE | 40 |
| 3.1   | TIPOS DE INVESTIGACIÓN                                                                   | 40 |
| 3.1.1 | Exploratoria                                                                             | 40 |
| 3.1.2 | Correlacional                                                                            | 40 |
| 3.1.3 | Analítica - Descriptiva                                                                  | 40 |

|                                                                                    |               |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>3.2 POBLACIÒN Y MUESTRA</b>                                                     | <b>41</b>     |
| <b>3.3 TÈCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÒN DE LA INFORMACIÒN UTILIZADA</b> | <b>41</b>     |
| <b>3.3.1 Reconocimiento de Campo</b>                                               | <b>41</b>     |
| <b>3.3.2 Trabajos Topogràficos</b>                                                 | <b>52</b>     |
| <b>3.3.3 Estudio de mecànica de suelos</b>                                         | <b>53</b>     |
| <b>3.4 TÈCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÀLISIS DE LOS RESULTADOS.</b>   | <b>59</b>     |
| <b>3.4.1 Estudio Hidròlogico del àrea de influencia del proyecto</b>               | <b>60</b>     |
| <b>3.4.2 Anàlisis en Hec Ras</b>                                                   | <b>65</b>     |
| <b>3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÒN</b>                      | <b>69</b>     |
| <b>3.5.1 Conclusiones de la investigaciòn</b>                                      | <b>69</b>     |
| <b>3.6.1 Resultados mecànica de suelos</b>                                         | <b>72</b>     |
| <b>3.6.2 Recomendaciones Constructivas</b>                                         | <b>71</b>     |
| <br><b>Capitulo IV</b>                                                             | <br><b>71</b> |
| <b>4. PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÒN</b>                                            | <b>71</b>     |
| <b>4.1 DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÒN</b>                                       | <b>72</b>     |
| <b>4.1.1 Cunetas perimetrales en hormigòn armado f'c =210 Kg/cm2</b>               | <b>72</b>     |
| <b>4.1.2 Alternativas constructivas para protecciòn del pozo colector</b>          | <b>80</b>     |
| 4.1.2.1 Muro Gravitacional de Viguetas Prefabricadas                               | 80            |
| 4.1.2.2 Muro con Enrejado Metàlico                                                 | 82            |
| 4.1.2.3 Muro gravitacional protegico con trozas de madera                          | 80            |
| 4.1.2.4 Muro tipo espigòn                                                          | 82            |
| 4.1.2.5 Cajas rompe velocidades de hormigòn armado                                 | 93            |

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.2.6 Losas para estabilización en hormigón armado                 | 93         |
| 4.1.2.7 Cerramiento de malla y cimiento de hormigón ciclopeo         | 95         |
| 4.1.2.8 Descarga fuera de plataforma y recepción de productos        | 96         |
| 4.1.2.9 Postes de iluminación                                        | 101        |
| 4.1.2.10 Garita                                                      | 102        |
| 4.1.2.11 Puertas de cerramiento de malla                             | 103        |
| 4.1.2.12 Estructura metálica                                         | 103        |
| 4.1.2.13 Cubierta galvalumen prepintado                              | 103        |
| <b>4.1.3 Modelo hidráulico con muros de protección</b>               | <b>103</b> |
| <b>4.2 DATOS INFORMATIVOS DE LA EMPRESA</b>                          | <b>101</b> |
| <b>4.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA</b>                                 | <b>102</b> |
| <b>4.4 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA</b>                             | <b>102</b> |
| <b>4.5 MODELO OPERATIVO DE EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA</b>             | <b>102</b> |
| <b>4.5.1. Pre diseño</b>                                             | <b>107</b> |
| <b>4.5.2 Diseño</b>                                                  | <b>113</b> |
| <b>4.5.3 Pendiente de Compensación</b>                               | <b>125</b> |
| <b>4.5.4 Canales rectangulares horizontales</b>                      | <b>126</b> |
| <b>4.6 MEDIDAS DE IMPACTO AMBIENTAL</b>                              | <b>128</b> |
| <b>4.6.1 Disposiciones generales</b>                                 | <b>128</b> |
| <b>4.6.2 Protección de cuerpos de agua y saneamiento ambiental</b>   | <b>130</b> |
| <b>4.6.3 Calidad del aire y emisiones de fuentes fijas o móviles</b> | <b>131</b> |
| <b>4.6.4 Atenuación de ruido y vibraciones</b>                       | <b>133</b> |
| <b>4.6.5 Calidad del suelo</b>                                       | <b>134</b> |
| <b>Capitulo V</b>                                                    | <b>135</b> |
| <b>5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                              | <b>135</b> |
| <b>5.1. CONCLUSIONES</b>                                             | <b>135</b> |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>5.2. RECOMENDACIONES.</b> | <b>136</b> |
|------------------------------|------------|

|                     |            |
|---------------------|------------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> | <b>137</b> |
|---------------------|------------|

## **INDICE DE FIGURAS**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Proceso del evento en la Quebrada Caicedo                                       | 9  |
| 2. Riesgo de por lo menos una exedencia del evento de diseño durante la vida útil. | 11 |
| 3. Área de influencia                                                              | 14 |
| 4. Planimetría                                                                     | 17 |
| 5. Cuneta de coronación                                                            | 28 |
| 6. Esquema de un aliviadero                                                        | 29 |
| 7. Esquema de la sección tipo baúl                                                 | 30 |
| 8. Implantación de sondeos                                                         | 55 |
| 9. Zonificación Ecuador                                                            | 61 |
| 10. Precipitación para un período de retorno de 25 años                            | 63 |
| 11. Generación del proyecto                                                        | 65 |
| 12. Cambio de unidades                                                             | 66 |
| 13. Creando el nuevo proyecto                                                      | 66 |
| 14. Creación de datos geométricos                                                  | 66 |
| 15. Creación de secciones transversales, coordenadas y coeficientes                | 67 |
| 16. Ingreso de secciones y coordenadas                                             | 67 |
| 17. Edición de datos del tipo de flujo                                             | 67 |
| 18. Ingreso de condición de borde                                                  | 68 |
| 19. Ingreso dependiente                                                            | 68 |
| 20. Corrida de la modelación                                                       | 68 |
| 21. Revisión de tabla de datos                                                     | 69 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 22. Modelo sin obras de protección                                              | 69  |
| 23. Áreas de aportación                                                         | 77  |
| 24. Imagen del programa H-Canales                                               | 79  |
| 25. Muro de viguetas prefabricadas                                              | 81  |
| 26. Muro de viguetas prefabricadas corte A-A                                    | 82  |
| 27. Muro con enrejado metálico tipo peineta de viguetas prefabricadas           | 82  |
| 28. Muro con enrejado metálico tipo peineta de viguetas prefabricadas corte A-A | 83  |
| 29. Muro vista frontal                                                          | 84  |
| 30. Muro planta                                                                 | 85  |
| 31. Forma en planta de espigones                                                | 86  |
| 32. Forma en planta de espigones                                                | 88  |
| 33. Separación de espigones                                                     | 92  |
| 34. Colocación de espigones                                                     | 92  |
| 35. Separación de espigones en tramos curvos                                    | 93  |
| 36. Armadura de losas                                                           | 99  |
| 37. Cerramiento                                                                 | 100 |
| 38. Descarga                                                                    | 101 |
| 39. Garita                                                                      | 102 |
| 40. Modelo incluido muros de protección                                         | 104 |
| 41. Barras o muros de control aluvional corte transversal al eje de la Quebrada | 107 |
| 42. Esquema en corte de un muro de espigón                                      | 108 |
| 43. Selección de grilla para inicio de proyecto en SAP2000                      | 114 |
| 44. Verificación de grilla de espaciamientos                                    | 114 |
| 45. Edición de grilla de espaciamientos                                         | 114 |

|     |                                               |     |
|-----|-----------------------------------------------|-----|
| 46. | Asignación de material                        | 115 |
| 47. | Asignación de material acero A36              | 115 |
| 48. | Selección del tipo de material                | 116 |
| 49. | Selección del propiedades del material        | 116 |
| 50. | Selección del elemento principal              | 116 |
| 51. | Selección del elemento secundario travesaño   | 117 |
| 52. | Obtención de dos elementos para diseño        | 117 |
| 53. | Diagrama con los elementos de diseño          | 117 |
| 54. | Verificación de elementos                     | 118 |
| 55. | Obtención del modelo gráfico                  | 118 |
| 56. | Comprobación de sección de elementos          | 118 |
| 57. | Selección de puntos de restricción            | 119 |
| 58. | Asignación de restricciones en nivel superior | 119 |
| 59. | Asignación de restricciones en nivel inferior | 119 |
| 60. | Verificación de restricciones                 | 120 |
| 61. | Asignación de carga obtenida del prediseño    | 120 |
| 62. | Asignación de carga obtenida del prediseño    | 120 |
| 63. | Definición de cargas                          | 121 |
| 64. | Corrida de programa                           | 121 |
| 65. | Deformación de elementos                      | 121 |
| 66. | Diseño definitivo                             | 122 |
| 67. | Verificación de elementos                     | 122 |
| 68. | Verificación de cada elemento                 | 122 |
| 69. | Rótulos de señalización                       | 131 |
| 70. | Rótulos de señalización                       | 133 |

## INDICE DE CUADROS

|     |                                                                                             |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.  | Valores de período de retorno T años                                                        | 12  |
| 2.  | Sistema de referencia proyección TMQ                                                        | 14  |
| 3.  | Simbolo de grupo                                                                            | 32  |
| 4.  | Características generales                                                                   | 33  |
| 5.  | Informe de inspección de campo                                                              | 42  |
| 6.  | Descripción de daños por zonas                                                              | 43  |
| 7.  | Coordenadas de puntos base de la topografía                                                 | 53  |
| 8.  | Resumen de perforaciones                                                                    | 55  |
| 9.  | Información de la primera perforación                                                       | 57  |
| 10. | Información de la segunda perforación                                                       | 58  |
| 11. | Información de la tercera perforación                                                       | 59  |
| 12. | Cálculo del caudal                                                                          | 63  |
| 13. | Cálculo del caudal (DAC)                                                                    | 64  |
| 14. | Cálculo del caudal (INAMHI) Y(DAC)                                                          | 65  |
| 15. | Coeficiente de escorrentía                                                                  | 76  |
| 16. | Caudales pluviales por áreas                                                                | 77  |
| 17. | Separación de espigones en tramos rectos                                                    | 93  |
| 18. | Separación de espigones en tramos rectos                                                    | 94  |
| 19. | Alturas o espesores mínimos de vigas no<br>presforzadas o losas reforzadas en una dirección | 98  |
| 20. | Peso específico promedio (sedimentos)                                                       | 109 |
| 21. | Estudio de suelos                                                                           | 109 |
| 22. | Peso específico de suelos                                                                   | 110 |
| 23. | Peso específico de sedimentos                                                               | 110 |

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

|     |                                                                         |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Vegetación propia del sector y elementos ajenos                         | 15 |
| 2.  | Zona ocupada por antenas                                                | 16 |
| 3.  | Pendientes en el sector de la Quebrada                                  | 18 |
| 4.  | Pendientes en el sector de la Quebrada                                  | 18 |
| 5.  | Vista de oriente a occidente de la ciudad sector de la Quebrada Caicedo | 19 |
| 6.  | Erosión laminar en el sector de la Quebrada Caicedo                     | 22 |
| 7.  | Erosión en surcos sector de la Quebrada Caicedo                         | 22 |
| 8.  | Erosión en cárcavas sector de la Quebrada Caicedo                       | 23 |
| 9.  | Erosión en badlands sector de la Quebrada Caicedo                       | 24 |
| 10. | Deslizamiento                                                           | 26 |
| 11. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 47 |
| 12. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 47 |
| 13. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 47 |
| 14. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 47 |
| 15. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 16. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 17. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 18. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 19. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 20. | Obras en la Quebrada Caicedo                                            | 48 |
| 21. | Trabajos durante la emergencia                                          | 49 |
| 22. | Trabajos durante la emergencia                                          | 49 |
| 23. | Trabajos durante la emergencia                                          | 49 |

|     |                                                   |     |
|-----|---------------------------------------------------|-----|
| 24. | Trabajos durante la emergencia                    | 49  |
| 25. | Trabajos durante la emergencia                    | 49  |
| 26. | Trabajos durante la emergencia                    | 49  |
| 27. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 28. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 29. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 30. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 31. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 32. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 50  |
| 33. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 34. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 35. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 36. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 37. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 38. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 51  |
| 39. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 52  |
| 40. | Condiciones del sitio después del aluvión         | 52  |
| 41. | Implantación de equipos para realizar perforación | 56  |
| 42. | Ubicación de las obras a implementarse            | 80  |
| 43. | Punta de pilote metálico                          | 123 |
| 44. | Cortes tipo boca de pescado para unión            | 124 |
| 45. | Conformación de muro tipo espigón                 | 124 |

## **INDICE DE PLANOS**

|      |                                |       |
|------|--------------------------------|-------|
| P1.  | Ubicación                      | ANEXO |
| A1.  | Obras propuestas               | ANEXO |
| A2.  | Perfil e implantación de obras | ANEXO |
| G-1. | Garita                         | ANEXO |

|                                                   |       |
|---------------------------------------------------|-------|
| G-2. Cuneta de control de erosión                 | ANEXO |
| E-1. Espigones laterales - ubicación - materiales | ANEXO |
| E-2. Espigón transversal - ubicación - material   | ANEXO |

## Resumen

El presente proyecto se presentó ante la necesidad de encontrar la mejor solución para el problema que año tras año se ha presentado en la Quebrada Caicedo, que a pesar de haberse construido varias obras civiles en el sitio, los fuertes inviernos ocurridos provocaron el colapso de las mismas, además de provocar daños significativos en los lugares próximos. Es así que mediante el análisis hidráulico, topográfico, estudio de suelos, estructural, entre otros, se pudo establecer las alternativas más óptimas, tanto en la prevención de futuros desastres como en la mitigación del impacto de lluvias de alta intensidad. La medida presentada y debidamente analizada para mejorar el drenaje en la Quebrada, es la construcción de muros tipo espigón, debidamente ubicados y diseñados para evitar un posible desbordamiento en la parte más baja del cauce.

**Palabras Claves:** Desastre, Quebrada, Lluvias Intensas, Drenaje, Muros.

## **CAPITULO 1**

### **1. EL PROBLEMA**

En las últimas décadas, en la ciudad de Quito se han producido graves daños ocasionados por las lluvias intensas, es así que en los inviernos del 2010 y 2011, la Quebrada Caicedo importante zona de drenaje pluvial y objeto del presente estudio, fue afectada por su baja capacidad para evacuar los excedentes de lluvias, generando situaciones desastrosas en las obras existentes y en las zonas cercanas debido al desborde de aguas servidas, por ello es necesario implementar diversas obras dirigidas hacia la prevención de los impactos relacionados con los diferentes riesgos que afectan la vulnerabilidad de la Quebrada Caicedo y de su sistema de drenaje.

#### **1.1 EL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

Las diferentes actividades y trabajos que se realizaron fueron una solución emergente, quedando pendiente por parte de la EPMAPS un plan de manejo de desastres y el planteamiento de soluciones al problema a mediano y largo plazo. Ante la posibilidad de ocurrencia de este tipo de eventos y que además su área de afectación pueda incrementarse es necesario plantear medidas de protección definitivas.

Con ésta investigación se establecerán cuáles fueron los diferentes factores de riesgo que causaron los deslizamientos y el arrastre de sólidos, posteriormente se planteará el diseño de elementos que controlen la amenaza y vulnerabilidad de la quebrada mediante la construcción de estructuras hidráulicas.

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las intensas lluvias han sido el desencadenante que ha provocado varios efectos negativos en el drenaje natural de la Quebrada Caicedo, sin embargo es importante conocer todos los factores que influyeron en

la socavación de los taludes de la Quebrada, la inestabilidad del suelo, los deslizamientos y el arrastre de materiales y que a su vez, han ocasionado el taponamiento de la captación y daños en las obras estructurales y no estructurales existentes. Dando lugar todo lo anterior a embalses que afectaron a todo el sector.

Si bien los sistemas globales de predicción climática permiten conocer con aceptable anticipación y grado de exactitud sobre la posible ocurrencia de las lluvias y de sus niveles de intensidad, no hay un estudio debidamente desarrollado sobre los diversos efectos y tampoco estrategias que puedan prevenir y mitigar sus potenciales daños de una manera efectiva. Los eventos adversos ocurridos en la Quebrada Caicedo, han demostrado la importancia del presente proyecto, que radica en la evaluación del desastre y sus efectos. Además que haciendo uso de estudios hidráulicos, hidrológicos, geológicos entre otros, se podrá determinar las alternativas como soluciones que permitan evitar daños futuros.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Los deslizamientos de tierra que se producen en inviernos con alta intensidad de lluvias es la amenaza más relevante, por una parte se producen avalanchas de tierra y lodos y por otra la erosión del suelo y arrastres de materiales dando todo esto lugar a que las diferentes obras existentes puedan quedar casi totalmente sepultadas y sin funcionamiento causando graves daños a la comunidad. Todo este proceso debe ser controlado mediante la construcción de estructuras hidráulicas adecuadas y de otras obras complementarias como palizadas que ayuden al buen funcionamiento de las mismas.

### **1.4 SISTEMATIZACIÓN**

¿Qué tipo de suelo encontramos en el área de estudio?

¿De qué modo afecta a las estructuras de drenaje el tipo de suelo en las que se encuentran emplazadas?

¿Cuál es el origen de la falla en las estructuras de drenaje de la quebrada Caicedo?

¿Existen investigaciones anteriores realizadas en el área de incidencia del proyecto?

¿Cuáles han sido los resultados de la última intervención realizada por la EPMAPS?

## **1.5 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar medidas de protección y rehabilitación de la captación de la Quebrada Caicedo, en base al estudio de suelos, información hidrológica y evidencias del colapso producido.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Diagnosticar por qué se produjo el colapso de la estructura de drenaje existente.

Realizar el análisis de suelos en la Quebrada Caicedo.

Recopilar la información hidrológica y topográfica del área de estudio para determinar caudales de escorrentía.

Determinar los parámetros de diseño de la cimentación de las obras de protección, tomando en cuenta las características geotécnicas y topográficas del área de estudio.

Proponer medidas de protección y elaborar diseños de las diferentes obras propuestas en la captación de la quebrada Caicedo.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

El proyecto considera un problema constante en el sistema de drenaje del área de estudio y servirá de ayuda para a la Unidad Técnica de la EPMAPS, para iniciar la fase de construcción de infraestructura necesaria para proteger las obras de aproximación y captación existentes en la quebrada.

Apoyará al desarrollo integral de la población que se encuentra asentada en el sector ya que existirán diseños acordes a las características del lugar, los cuales garantizarán la estabilidad y durabilidad de las obras de drenaje existentes.

### **1.6.1 Justificación Teórica**

La necesidad de contar con un diseño de obras de protección es importante, porque mediante la aplicación de estos estudios se dará solución a un problema recurrente y se podrá determinar de mejor manera tiempos de mantenimiento preventivo en el lugar.

### **1.6.2 Justificación Práctica**

Al construir obras de protección, estas se constituyen en factores retardantes en la acumulación de sedimentos, que combinado con un monitoreo constante del área de incidencia, reduciría el presupuesto asignado al mantenimiento de esta captación.

Dar estabilidad y seguridad de operación a las estructuras existentes

### **1.6.3 Justificación Relevancia Social**

El presente proyecto propone la implantación de obras para controlar el desborde de la captación y con ello garantizar que de producirse eventos aluvionales, estos sean controlados y no se conviertan en desastres que interrumpan procesos y afecten las condiciones de vida de población especialmente en la zona baja de la captación.

### **1.7 IDEA A DEFENDER**

Partiendo de un análisis de las obras que existieron hasta antes del aluvión y estableciendo que en las condiciones actuales persisten factores de riesgo que permitan que ocurra el mismo suceso. Se propone mediante la validación de los parámetros de diseño ya determinados para el área de estudio, un diseño de medidas de protección estructurales y no estructurales, mismas que serán verificadas en su eficiencia mediante una modelación hidráulica que garantice la reducción del impacto consecuente por deslaves en el sector.

## **CAPITULO II**

### **2. EL MARCO REFERENCIAL**

A pesar de las obras que se implantaron en la Quebrada Caicedo, los eventos ocurridos en el 2010 y 2011, demostraron su poca eficiencia, Así en el presente proyecto se plantea establecer diferentes obras y medidas para evitar los efectos negativos como los ya ocurridos. Por ello se debe establecer los factores que aumentan el riesgo y que hacen a la Quebrada una zona vulnerable al desastre. También es importante aprender a través del análisis del evento con todos sus escenarios.

Mediante estudios específicos de suelo, cobertura vegetal, topografía del sitio, hidrología se establecerán los parámetros de diseño más adecuados para dar las mejores alternativas y medidas de protección para disminuir el impacto que anteriormente ocasionaron las lluvias intensas en el sector.

#### **2.1. MARCO TEÓRICO**

##### **2.1.1 Antecedentes**

En la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia de Cochapamba, existe una importante zona de drenaje pluvial que es objeto del presente estudio y que lleva por nombre Quebrada Caicedo, sitio en el cual se han producido eventos que afectan a la población especialmente en invierno, siendo el más relevante el ocurrido el 22 de febrero de 2010, la alta intensidad de lluvia ocasionó deslizamientos de tierra, arrastre de sedimentos, erosión del suelo y la consecuente inestabilidad que produjo la caída de un árbol, formando un embalse temporal y saturación en la parte alta. Después de un corto tiempo, este embalse cedió intempestivamente, arrastrando a su paso troncos, ramas, piedras y demás materiales, en dirección al cauce en la parte baja de la quebrada, lugar de implantación de las obras de captación

para el control de escorrentía. Este evento provoca la obstrucción del pozo de captación y el colapso del túnel de trasvase, produciendo el embalsamiento de las aguas pluviales en un gran volumen.

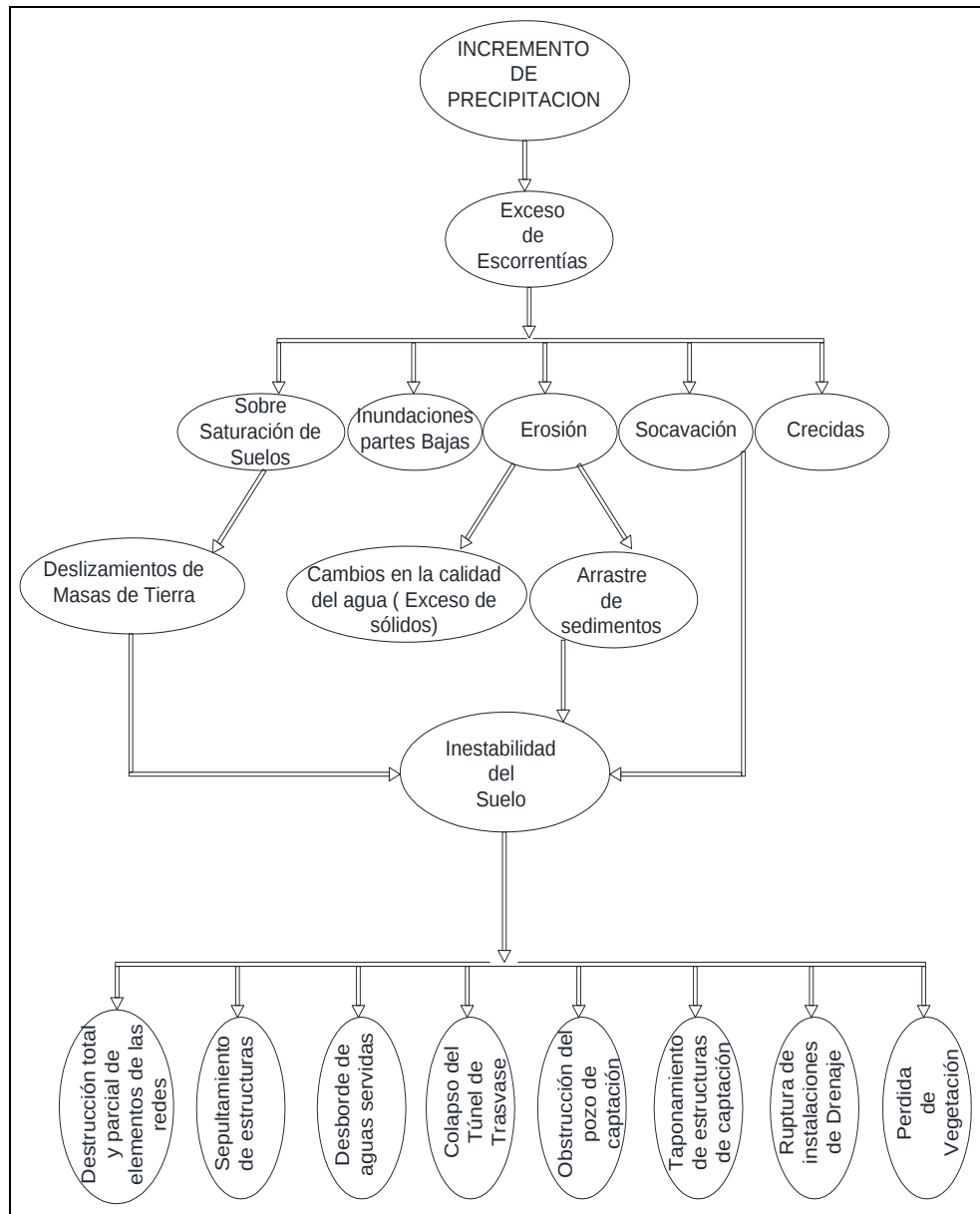
A fin de eliminar la obstrucción de la captación, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), conformó un equipo de cincuenta personas, cinco ingenieros, cuarenta y cinco trabajadores, entre operadores de maquinarias, palas mecánicas, volquetas, motoniveladoras y grúas de poleas. Como resultado de los trabajos de desalojo, parte del volumen de material que se represó en la captación, ingresó al colector obstruyendo el sistema de alcantarillado del sector aguas abajo, el material ingresado realizó presión hacia las paredes del colector, provocando fallas en la zona superior (losa) de esta estructura a la altura de la calle San Francisco, provocando el desborde de las aguas servidas hacia la superficie, expulsando lodos y materiales en descomposición a lo largo de las calles Mariano Echeverría, Hidalgo de Pinto y Voz Andes.

En el gráfico 1 se puede observar el proceso del evento ocurrido en la Quebrada Caicedo.

Transcurridos varios días, las cuadrillas destinadas para mitigar este evento, con la ayuda de una grúa de poleas contratada, logran reducir significativamente el volumen de lodos represados en la parte alta, lo cual posibilita una limpieza profunda del pozo de captación, retirándose troncos y escombros; por otra parte en la zona baja, una cuadrilla fue destinada para realizar la limpieza del sistema de alcantarillado con lo que se restablece parcialmente el servicio de alcantarillado del sector.

Una vez realizados estos trabajos, la EPMAPS, contrata mediante una Declaratoria de Emergencia, los servicios de Limpieza de Túnel, Desalojo de Lodos y Reparación de Colector, con lo cual en aproximadamente tres meses se normaliza parcialmente el servicio de alcantarillado.

El desastre ocurrido causa malestar en los moradores durante los respectivos trabajos de limpieza y recuperación de la Quebrada, por la presencia de maquinaria, equipos y vehículos de la EPMAPS designados para la atención de la emergencia. Además ocasiona la interrupción del tráfico vehicular en la zona, generación de altos niveles de polución, obstrucción de acometidas domiciliarias sumado a la excesiva generación de residuos sólidos y aguas servidas que circulan por las calles del sector sin ningún tipo de control, represamiento de aguas servidas en los subsuelos de varios edificios, tales como Estudio K, San Francisco Eco 2000 y otros, ubicados en la intersección de la avenida Brasil y la calle Hidalgo de Pinto.



**Figura 1: Proceso del Evento en la Quebrada Caicedo**  
**Fuente: J. Lema**

## 2.1.2 Clima general y ubicación del proyecto

Los efectos físicos y las amenazas están asociados a las variaciones climáticas.

### 2.1.2.1 La Precipitación

La precipitación es cualquier forma de humedad, es una parte importante del ciclo hidrológico, los instrumentos más frecuentemente

utilizados para la medición de la lluvia son los pluviómetros, en el caso de la zona de estudio el promedio anual es de 1300 mm (INAMHI. 2010), siendo abril el mes con mayor pluviosidad y los meses menos lluviosos agosto, septiembre y octubre.

La lluvia se puede medir en términos de altura de agua pues consiste en la medida de un volumen por unidad de superficie. También se puede considerar la cantidad de agua que se puede acumular (mm) en una superficie determinada ( $m^2$ ). Si en un área determinada una Ha ( $10000 m^2$ ) cae un volumen de  $10 m^3$  cual es la altura que ocuparía si la superficie en cuestión es impermeable. La respuesta es que son exactamente 1mm. También es 1 litro de agua vertido en un metro cuadrado, el agua ascendería 1 mm. Es por ello que se habla de mm de agua, para indicar el volumen caído en una superficie.

También se suele utilizar la medida de intensidad de precipitación y es la cantidad de agua que cae en una cierta área por unidad de tiempo. Es decir se está hablando de ( $m^3/m^2/s$ ). Mide la velocidad con que fluye la lluvia o la velocidad con que se acumula la lluvia en un área determinada. Normalmente se mide en (mm/hr). La intensidad caracteriza el evento como la lluvia caída en un día, o un mes o un año.

- Intensidad de lluvia

Este valor se obtiene a través de un estudio hidrológico de la zona, analizando la información pluviográfica del cual se obtiene las curvas de intensidad, duración y frecuencia (curvas IDF).

- Periodo de Retorno

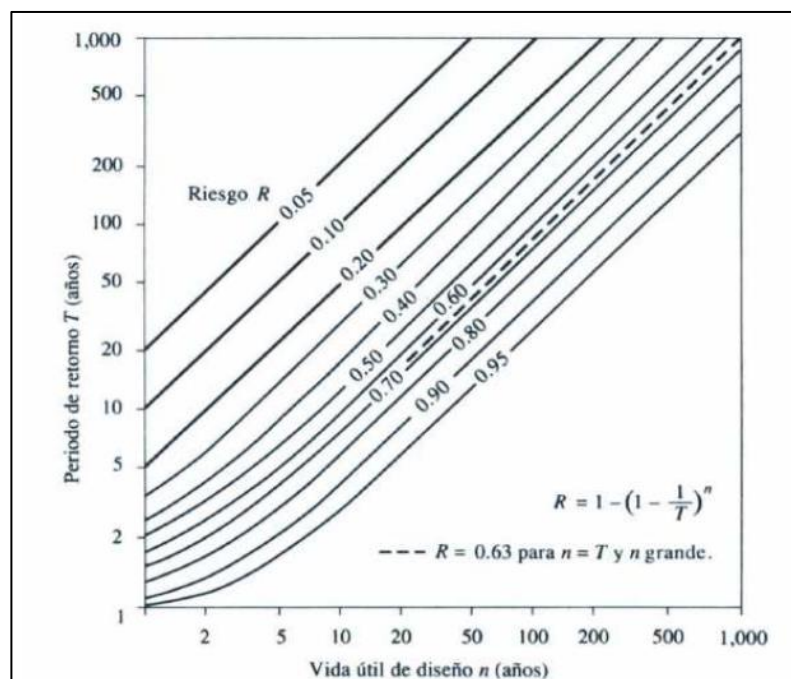
El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Periodo de Retorno “T”. Si se supone que los eventos

anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil  $n$  años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Si la obra tiene una vida útil de  $n$  años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno  $T$ , fijando el riesgo de falla admisible  $R$ , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la crecida estudiada, durante la vida útil de la obra. (Ver Figura N° 02)



**Figura 2: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.**

**Fuente: Hidrología Aplicada (Ven te Chow)**

En el Cuadro 1 se representa el valor  $T$  para varios riesgos permisibles  $R$  y para la vida útil  $n$  de la obra.

| RIESGO ADMISIBLE | VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años) |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| R                | 1                               | 2    | 3    | 5    | 10   | 20   | 25   | 50   | 100  | 200   |
| 0.01             | 100                             | 199  | 299  | 498  | 9995 | 1990 | 2488 | 4975 | 9950 | 19900 |
| 0.02             | 50                              | 99   | 149  | 248  | 495  | 990  | 1238 | 2475 | 4950 | 9900  |
| 0.05             | 20                              | 39   | 59   | 98   | 195  | 390  | 488  | 975  | 1950 | 3900  |
| 0.10             | 10                              | 19   | 29   | 48   | 95   | 190  | 238  | 475  | 950  | 1899  |
| 0.20             | 5                               | 10   | 14   | 23   | 45   | 90   | 113  | 225  | 449  | 897   |
| 0.25             | 4                               | 7    | 11   | 18   | 35   | 70   | 87   | 174  | 348  | 695   |
| 0.50             | 2                               | 3    | 5    | 8    | 15   | 29   | 37   | 73   | 154  | 289   |
| 0.75             | 1.3                             | 2    | 2.7  | 4.1  | 7.7  | 15   | 18   | 37   | 73   | 144   |
| 0.99             | 1                               | 1.11 | 1.27 | 1.66 | 2.7  | 5    | 5.9  | 11   | 22   | 44    |

**Cuadro 1: Valores de período de retorno T (años)**

**Fuente: Monsalve, 1999.**

Una de las fórmulas más utilizadas para asignar periodos de retorno a eventos es la expresión:

$$T = \frac{n+1}{m}$$

Siendo m el número de orden y n el número total de datos.

- Relación entre la intensidad duración y frecuencia (periodo de retorno)

En primer lugar se sabe por empirismo y experiencia que cuando una lluvia es intensa su duración es baja, en cambio cuando la lluvia es de baja intensidad su duración es más prolongada. Es decir que ambas variables se relacionan una respecto a la otra de forma inversa. Por otro lado la intensidad de una lluvia es mayor a mayor periodo de retorno, es decir cuando el intervalo escogido es cada vez mayor. Las curvas de intensidad – duración - frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es el siguiente:

$$I = a / (D+b)^m$$

Donde la I es la intensidad de lluvia de diseño, D es la duración y a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y periodo de retorno.

La intensidad del evento obtenida a través de las curvas IDF corresponde a un valor específico. Cuando el área de drenaje es muy extensa, la lluvia no se presenta con la misma intensidad sobre toda la zona y, por tanto, la intensidad de diseño es menos. Se puede zonificar el área o multiplicar el valor obtenido de las curvas por el factor de reducción.

#### 2.1.2.2 La Hidrografía

Estudia características como el caudal, el lecho. La cuenca y la sedimentación fluvial de las aguas continentales. La zona del proyecto pertenece a la cuenca del Río Esmeraldas y a la sub cuenca Río Guayllabamba.

#### 2.1.2.3 La Temperatura

La temperatura o mejor dicho la variación de temperatura es un indicativo de eventos oceánico-atmosféricos como “El Niño que constituye una de las manifestaciones más severas en los ecosistemas del país” (CAF, 2000: 23). El clima en el país y específicamente en la ciudad de Quito, se divide en 2 estaciones o etapas; el invierno con un período de lluvias prolongado y una estación seca de cuatro meses donde se presentan las temperaturas más altas. Quito siempre tiene un clima templado con temperaturas que van desde los 10 a los 27 °C.

Debido a que está a 2800 metros de altura y a que está ubicada en un valle cerca de la línea ecuatorial, Quito cuenta con un clima primaveral todo el año. De junio a septiembre el clima suele ser más cálido, sobre todo durante el día, mientras que el resto del año el clima suele ser templado.

#### 2.1.2.4 Ubicación del Proyecto

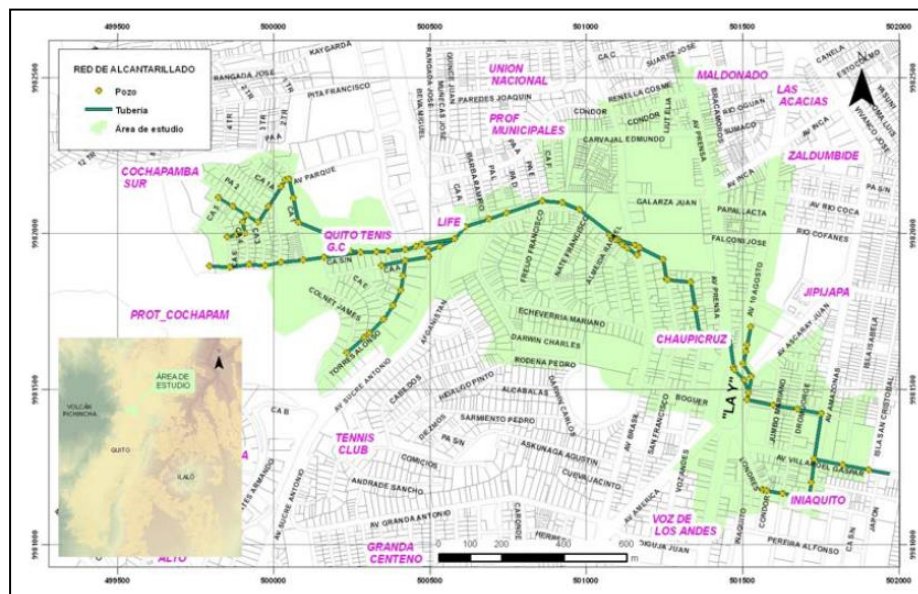
La Quebrada Caicedo es una micro cuenca, perteneciente a la Quebrada el Batán. Está ubicada al occidente del sector centro norte

de la ciudad de Quito. En el trayecto del colector del mismo nombre, su recorrido pasa por los barrios Quito Tennis, Life, Chaupicruz e Iñaquito a los cuales presta servicio, como se observa en la figura N°03.

A continuación se indica la ubicación exacta en coordenadas de la captación de la Quebrada Caicedo:

| COORDENADA | TM DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO |
|------------|------------------------------------|
| NORTE      | 9.981.894,000                      |
| ESTE       | 499. 794,000                       |

**Cuadro 2: Sistema de Referencia Proyección TMQ.**  
Fuente: EPMAPS



**Figura 3: Área de Influencia**  
Fuente: EPMAPS

### **2.1.3 Características naturales y físicas de la zona en la que está ubicado proyecto**

#### **2.1.3.1 La Vegetación**

La vegetación como factor de influencia en el suelo, entre ellas la erosión, varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura, desarrollo de raíces, etc., se considera que su efecto se relaciona directamente con la interceptación, velocidad de escurrimiento e infiltración.

En el Distrito Metropolitano de Quito-DMQ, a pesar de que existe la declaratoria de bosque protector, las laderas siguen siendo ocupadas legalmente o invadidas ilegalmente por grupos de personas. Es así que elementos ajenos al medio ambiente natural, como son las basuras y escombros que se arrojan a las quebradas, a más del problema sanitario, implica altos costos de operación y mantenimiento. Según EMAAP-Q, 1995, en las laderas se recoge sólo el 36.8% de la basura que se genera; el 31.5%, aproximadamente 3.200 Ton/año, se depositan en las quebradas. Al provocar el taponamiento de la entrada de los colectores, se incrementan las inundaciones y el riesgo de aluviones sobre la ciudad.



**Fotografía 1: Vegetación propia del sector y elementos ajenos (basura)**  
**Fuente: J. Lema**

Existen en la zona también otros usos, como la instalación de más de 30 estaciones de antenas para radio y televisión y el cruce de una línea de alta tensión, para lo cual ha sido talada una franja de 30 metros de ancho y 13 Km de largo. La existencia de antiguas canteras de explotación de materiales de construcción era otro severo peligro que, afortunadamente se ha prohibido.

Para el acceso donde se encuentran operando las torres y antenas de telecomunicación, se ha construido caminos empedrados con cunetas a los costados, el área de laderas está constituida por vegetación, misma que se enumera a continuación:

- Eucalipto
- Paja
- Chocho
- Romerillo
- Pino
- Chazazo
- Chilca

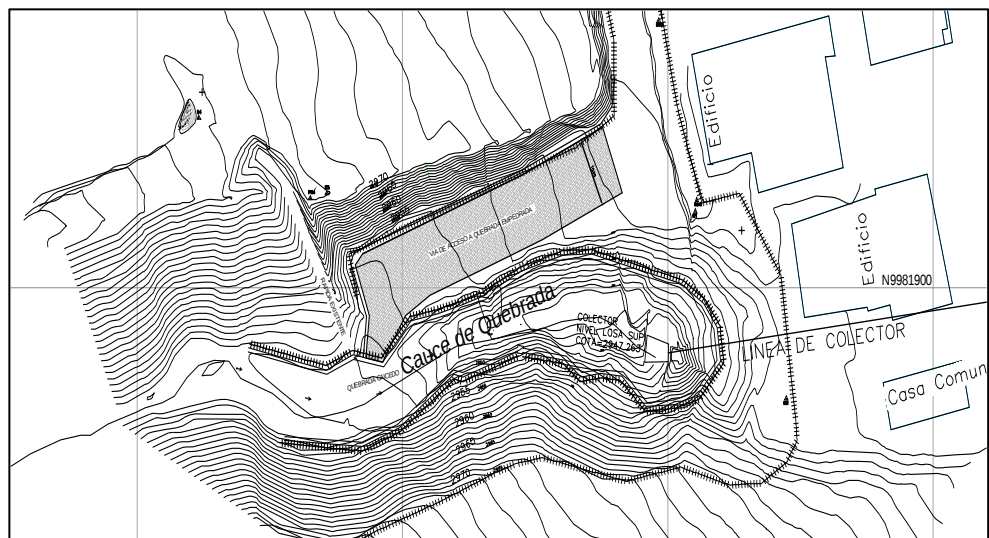


**Fotografía 2: Zona ocupada por antenas**  
**Fuente: J. Lema**

### 2.1.3.2 Topografía

A través de la pendiente, la topografía y más específicamente la inclinación de los taludes también influye en el proceso de la erosión. El área de aporte del sitio de estudio, es de 243,7 Ha. de los cuales 104,5 Ha. corresponde a laderas. La longitud total del colector con una sección rectangular mayor a 600 milímetros es de 4,81 Km y descarga en el colector Central Iñaquito.

En la presente investigación se concentra el estudio en el área colindante al pozo de captación



**Figura 4: Planimetría**  
**Fuente: EPMAPS**

La zona más baja (lugar de estudio) presenta una altura de 2945 msnm, mientras que en la zona alta (antenas del Pichincha) se registra una altura de 3865,40 msnm; Desde el pozo de captación hacia arriba en una longitud de 500 metros se ha determinado una pendiente longitudinal del 15%.



**Fotografía 3 y 4: Pendientes en el sector de la Quebrada**  
**Fuente: J. Lema**

Quito se ubica en el valle cuyo terreno irregular tiene una altitud que oscila entre los 2850 msnm en los lugares llanos y los 3100 msnm en los barrios más elevados. Algunas estribaciones desprendidas de la cordillera de los Andes han formado un paisaje enclaustrado, dividido en su parte central por el cerro de El Panecillo (3035 m.s.n.m). Al este por las lomas de Puengasí, Guanguiltagua e Itchimbía. Así como también, la principal cadena montañosa perteneciente al volcán Pichincha, el que se encuentra emplazado en la Cordillera de los Andes, encierra a la urbe hacia el oeste con sus tres diferentes elevaciones, Guagua Pichincha (4794 m.s.n.m),<sup>46</sup> Rucu Pichincha (4.698 msnm) <sup>47</sup> y Cóndor Guachana. Debido a ello la ciudad posee una forma alargada, cuyo ancho no supera los 4 km, mientras que el distrito ocupa el valle de 12.000 km<sup>2</sup>. El punto más bajo del valle se encuentra 2700 msnm en el condado; mientras que el más alto es la cima de la libertad a 3400 msnm.



**Fotografía 5: Vista de Oriente a Occidente de la ciudad desde sector de La Quebrada Caicedo**  
**Fuente: J. Lema**

#### 2.1.3.3 Red Vial Para Acceder Al Proyecto

Las vías existentes que rodean a la quebrada Caicedo son de segundo y tercer orden en lo que al ingreso hacia las obras de captación se refiere. La parte alta ubicada en las faldas del volcán Pichincha presenta una sola vía de acceso particular o semipública con una rasante mejorada de entre 40 a 60 cm de espesor (mejoramiento) con un ancho promedio de seis metros.

Presenta una fuerte pendiente propia del ascenso a una elevación y es considerada como una vía de alto riesgo, no recomendada para vehículos que no posean doble tracción, en varios tramos se evidencia la existencia de cunetas laterales sin revestimiento.

#### 2.1.3.4 Riesgos Naturales

El Ecuador está en los límites de convergencia entre la placa Nazca y la Sudamericana, las cuales están chocando entre sí, generando así

grandes presiones, que emanan energía que al desfogar genera fallas terrestres y, consecuentemente, produce sismos o actividades volcánicas.

Los fenómenos ocasionados por eventos volcánicos, que pueden afectar a la actividad humana son los flujos de los volcanes tales como lodo, piroclastos y lava, a los que se sumarían los eventos ocasionados por la ceniza volcánica en relación con la topografía y la geografía de la zona.

Si se analizan las características de la estructura urbana del Distrito Metropolitano de Quito, claramente se puede establecer que el riesgo volcánico al que está sometida la ciudad no solamente constituye la presencia del volcán Pichincha que está ubicado a 12 Km. de Quito, sino las potenciales erupciones de los volcanes Cotopaxi y Pululahua (este último se encuentra dentro del área urbana), a las que se sumarían las amenazas de los volcanes activos Cayambe y Antisana, que en caso de erupción, impactarían a los sistemas de abastecimiento de la ciudad, entre ellos la red de drenaje – sanitaria.

#### **2.1.4 Impacto sobre la Quebrada Caicedo**

Son tanto los eventos naturales como los antrópicos los que desencadenan múltiples efectos negativos, impidiendo un eficiente drenaje de las aguas pluviales y generando impactos perjudiciales para la población

##### **2.1.4.1 Erosión**

Los procesos erosivos del suelo son degradaciones propias de éste elemento, los cuales se producen principalmente por factores como: cambios en el uso del suelo, eventos climáticos, pendientes del terreno, causas antrópicas como es la intervención humana en la eliminación de la capa protectora de vegetación, entre otras. Una extensa erosión puede provocar deslizamientos de terrenos y arrastres

del suelo, lo que significa que el suelo de por sí se convierte en un suelo inestable. Una vez que se inicia la erosión, es muy difícil reparar el daño. En consecuencia, el problema que genera debe abordarse mediante medidas preventivas.

La erosión es la manifestación fenomenológica de una multitud de procesos que dan lugar a la pérdida del recurso suelo. Así, una clasificación muy general permitiría discernir entre erosión hídrica, eólica y por laboreo. Las dos primeras también acaecen en condiciones naturales, sin embargo, el hombre, mediante prácticas, tiende a acelerarla, hasta el punto que las pérdidas no pueden ser compensadas por las tasas naturales de formación del suelo. En casos extremos, puede llegar a generar la denominada desertificación, que no es más que la pérdida o degradación del suelo bajo ambientes áridos, semiáridos y seco-sub húmedos.

Por el contrario, la erosión por laboreo es un fenómeno antrópico, ya que no intervienen directamente las fuerzas naturales (a excepción de la gravedad), sino la intervención humana a través de sus prácticas y tecnologías.

#### 2.1.4.2 Procesos Erosivos:

Los riesgos, entre ellos la erosión que se produjo en la Quebrada Caicedo y que ocasionaron diversos daños, persisten aún como factores de riesgo de nuevos desastres para el sector. La mejor medida ante la erosión es la prevención, entonces es necesario conocer con mayor profundidad cuales son los procesos erosivos y poder prevenir y mitigar los daños.

El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo produce la dispersión de los agregados del suelo en sus partículas elementales. Puede formarse un sello que impide la normal infiltración del agua generando su pérdida por escorrentía superficial

- La erosión laminar.-

Es la pérdida de suelo generada por circulación superficial difusa del agua de escorrentía. El daño causado es muchas veces poco perceptible.



**Foto 6: Erosión Laminar en el sector de la Quebrada Caicedo**  
**Fuente: J. Lema**

- La erosión en surcos.-

Se genera cuando el suelo arrastrado por el flujo del agua se canaliza y jerarquiza dando lugar a los denominados surcos.



**Foto 7: Erosión en surcos (sector de la Quebrada Caicedo)**  
**Fuente: J. Lema**

- La erosión en Cárcavas.-

Se trata del suelo arrastrado por el agua que al generar cárcavas (estas suelen comenzar en forma de surcos).



**Foto 8: Erosión en cárcavas (sector de la Quebrada Caicedo)**  
**Fuente: J. Lema**

- Erosión en “Badlands”.-

Es la erosión en cárcavas profundas generalizada, que llega a eliminar toda la capa de suelo dando lugar a un “abarrancado”, las cuales son definidas como zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía). Cuando las cárcavas evolucionan con crecimiento hacia arriba y hacia los lados de la ladera, toman el nombre de cárcavas remontantes. La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y ausencia de prácticas preventivas de conservación, o por la construcción de vías sin obras adecuadas para conducción de aguas de escorrentía y por descargas de caudales altos de agua sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética.



**Foto 9: Erosión en Badlands (sector de la Quebrada Caicedo)**  
**Fuente: EMAAPQ**

Una de las limitantes principales en el control de cárcavas remontantes son los costos cuando la solución se enfoca hacia la ingeniería convencional con estructuras de concreto y por el desconocimiento de otras soluciones alternas, más eficientes, eficaces y de menor costo, como son los tratamientos de tipo biológico, utilizando los recursos existentes en la finca, zona urbana o área de influencia del problema.

Hudson, 1982, explica la formación y avance ilimitado de una cárcava, mediante la fórmula de Manning, la cual relaciona el gradiente y la rugosidad del terreno con la velocidad de flujo, de manera que:

$$V = R^{2/3} S^{1/2} / n$$

Una vez ha comenzado la cárcava, el canal es de sección más angular y profunda que la original, es decir, aumenta R (Radio hidráulico). El cauce está libre de vegetación, de tal forma que el coeficiente de rugosidad (n), disminuye. Para que la velocidad (V) permanezca constante se debe disminuir el gradiente (S), o aumentar el coeficiente de rugosidad (n) mediante establecimiento de vegetación. Esto es lo que ocurre casi invariablemente, el gradiente (S) del lecho es más llano que el original. A medida que la cabeza de la cárcava retrocede curso arriba es mayor la altura de caída del agua. Dicho tramo es el que

experimenta por lo general una erosión más activa. El efecto de cascada es el que erosiona el suelo ya que salpica y arremolina contra el escarpe. La parte más baja del mismo se erosiona, dejando la parte alta en saliente, hasta que cae dando lugar a una cara vertical, a partir del cual todo el proceso comienza de nuevo.

Al comenzar la cárcava, los cambios se manifiestan en un aumento del radio hidráulico  $R$ , disminución del coeficiente de rugosidad ( $n$ ) y una disminución probable del gradiente ( $S$ ). En resumen, el efecto general es que aumente la velocidad, razón por la cual, la erosión en cárcavas se perpetúa así misma y no se autocorriges.

- Erosión por sufusión (Piping).-

Se desarrolla de una red de drenaje sub-superficial que termina por colapsarse. Suele acompañar a los paisajes de “bandalnds”.

- Bio-erosión.-

Es la erosión de las capas subsuperficiales del suelo causada por la acción de organismos vivos.

- Erosión Mecánica.-

Es la pérdida de suelo causada por las labores de la labranza.

- Nivelación del terreno.-

Es la pérdida de suelo debida a la modificación humana del perfil original de una ladera o la construcción de terrazas.

- Erosión de los cauces fluviales.-

Es el génesis de paisajes fluviales por incisión de las aguas pluviales o por el desplazamiento lateral de los propios cursos (erosión de márgenes fluviales)

- Erosión Eólica o deflación.-

Es la pérdida del suelo debido al efecto erosivo del viento el consiguiente arrastre de los materiales edáficos arrancados

- Erosión eólica.-

Es la corrosión y desprendimiento de partículas debido al impacto de partículas previas suspendidas o arrastradas por el viento que genera modelados o esculpidos muy característicos y a veces bellos que reciben diversas denominaciones.

#### 2.1.4.2 Deslizamientos

Los deslizamientos se producen como resultado de cambios súbitos o graduales e la composición, estructura, hidrología o vegetación en una pendiente. Estos deslizamientos pueden ser una capa superficial de terreno que resbala por efecto de la gravedad y de la cantidad de agua embebida y también pueden ser deslizamientos de fondo, en donde una capa permeable resbala sobre otra más profunda impermeable, debido a la formación de un plano lubricado.



**Foto 10: Deslizamiento (sector de la Quebrada Caicedo)**  
**Fuente: EMAAPQ**

Además la presencia de agua tiene directa relación con la altura de un talud, así a mayor altura mayor será la incidencia de la presencia de agua, debido a que existe un mayor factor de fragmentación, lo que significa además, que existe un mayor número de fracturas, a través de

las cuales se puede infiltrar el agua y también fluir mediante flujos a presión produciendo el desplazamiento y la inestabilidad de la zona.

### **2.1.5 Estructuras Hidráulicas**

Existen diferentes estructuras, que son importantes para un eficiente drenaje de agua pluvial y evitar los efectos negativos de eventos naturales y así disminuir la vulnerabilidad del sector de estudio.

#### **2.1.5.1 Pasos De Agua Lluvia.**

Normalmente el canal de conducción de aguas pluviales está situado a media ladera, en este caso cada lluvia puede perjudicarlo, pues además de incrementar su caudal en forma descontrolada, lleva hacia él grandes cantidades de material sólido de arrastre, producto de la erosión de la ladera. Para evitar esto, paralelamente al canal principal y encima se construyen unas acequias de recolección de las aguas lluvia que se llaman cunetas de coronación, así estas deben estar ubicadas en forma transversal a la escorrentía. En sitios apropiados y en lo posible a distancias regulares, el agua recogida por las cunetas debe pasar sobre o bajo el canal. Normalmente este paso se hace por encima del canal por medio de estructuras de hormigón armado.

La razón para la construcción de cunetas de coronación es porque tienen menor excavación, la rapidez de bajada es menos alta y por lo tanto menos costosa especialmente porque pueden ser construidos después de estar funcionando el canal, lo cual disminuye la magnitud de la inversión inicial. Además así se puede ubicarlos en el sitio más conveniente y diseñarlos con las dimensiones determinadas por la experiencia. Si la pendiente es mayor que 2% (desnivel de 2cm por cada metro), es necesario que el canal tenga recubrimiento de concreto simple o enrocado.



**Figura 5: Cuneta de coronación**  
**Fuente: J. Lema**

#### 2.1.5.2 Vertedero Trapezoidal

Se llaman vertederos a las estructuras que intercaladas en una corriente de agua obligan a que ésta pase sobre ellas. Son utilizados en el control del flujo en galerías y canales por permitir el pase, libre o controlado del agua en los escurrimientos superficiales. Así también, se utilizan satisfactoriamente en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres.

De acuerdo a su forma, ubicación respecto al flujo y otras características, los vertederos se dividen en varios tipos, en la presente investigación se registra un vertedero trapezoidal de cresta ancha.

Cipolletti procuró determinar un vertedor trapezoidal el cual compensa el decrecimiento del caudal debido a las contracciones. La inclinación de las caras es establecida de modo que la descarga a través de las paredes triangulares del vertedor corresponda al decrecimiento de la descarga debido a contracciones laterales.

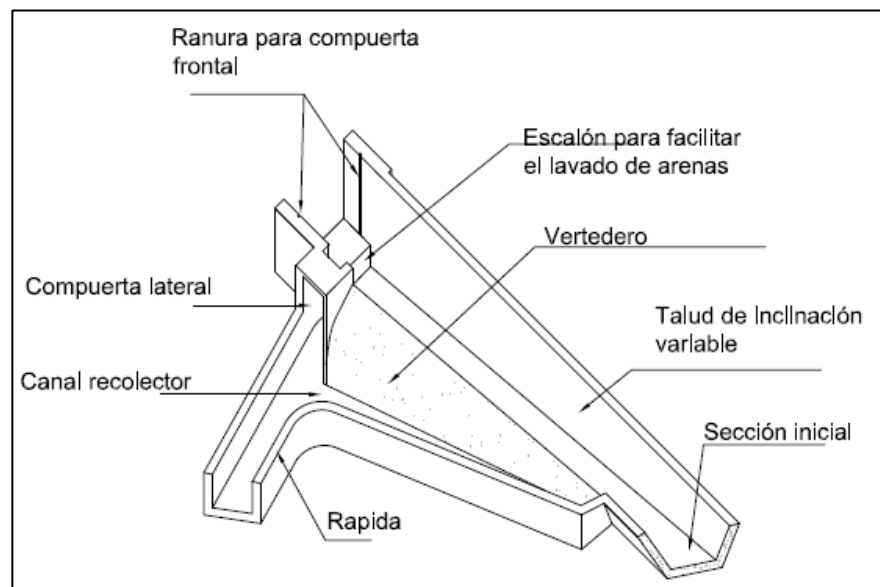
#### 2.1.5.3 Aliviaderos

Debido a la desestabilización de las laderas es inevitable que en algún momento esta ladera se derrumbe obstruyendo el canal, sea directamente o por materiales arrastrados. En ese momento, como el agua sigue llegando sin pasar el obstáculo, el nivel en el canal

comienza a subir hasta que en un momento dado se desborda sobre el labio. Debido a la pendiente transversal fuerte del terreno, las velocidades adquiridas son grandes, la erosión intensa y en poco tiempo pueden destruirse tramos de canal bastante grandes por lo que se deberá realizar un nuevo diseño para reemplazar las obras que en el evento colapsaron.

Los aliviaderos se proyectan en forma de vertederos laterales o sifones ubicados en el labio del canal, siendo los primeros mucho más comunes que los segundos por razones de facilidad de construcción.

Para diseño de los aliviaderos se toman condiciones críticas, o se asume un derrumbe instantáneo que se produce aguas arriba de un aliviadero. Por lo tanto, para que el agua pueda desfogar por el aliviadero situado aguas arriba, debe remansarse en toda longitud que separa los dos aliviaderos entre sí, de aquí se puede obtener la relación entre la distancia, entre aliviaderos y la altura de seguridad o franco.

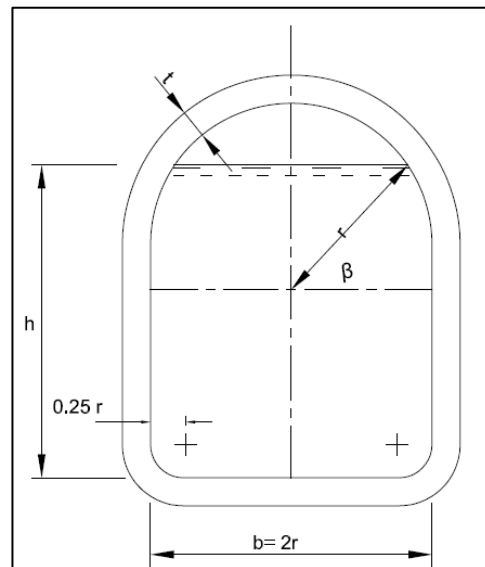


**Figura 6: Esquema de un Aliviadero**  
**Fuente: Krochin**

#### 2.1.5.4 Túnel Tipo Baúl

Son obras de conducción subterránea, se utilizan cuando se requiere conducir agua de un sitio a otro, atravesando el macizo montañoso que los separa, acortando de esta manera la distancia.

La forma del túnel así como el revestimiento están íntimamente relacionados con la geología y la mecánica de suelos del sector.



**Figura 7: Esquema de la sección tipo baúl**  
**Fuente: Krochin**

#### 2.1.5.5 Rápida

En canales abiertos se presenta muchas veces la necesidad de llevar el agua con gradiente relativamente grande, o de perder altura por medio de una caída. En éste caso, el agua que sale de un aliviadero, tiene que ser conducida donde no cause erosión. Los canales de desfogue tienen generalmente una pendiente fuerte, el caudal puede ser grande pero ocasional.

### 2.1.6 Muros

La erosión es un factor que tiene efectos negativos para los suelos, el material se desprende en las partes media y alta de la quebrada, como principales obras de control contra los diferentes efectos se encuentran

los muros, estableciendo el estado de equilibrio en el cauce y evitando el transporte de materiales.

### **2.1.7 Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)**

Sistema de clasificación que divide los suelos en:

- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos orgánicos

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

#### **▪ Suelos gruesos.-**

Se dividen en gravas (G) y arena (S), y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava (G) si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena (S) en caso contrario. Además W (bien graduada) y P (mal graduada).

#### **▪ Suelos finos.-**

El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas

orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, L (baja compresibilidad) y H (alta compresibilidad). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

- ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.
- OL: Limos y arcillas orgánicas.
- CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
- CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.
- MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.
- OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.
- Suelos Orgánicos.-

Para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba)

| Símbolos de grupo (SUCS) |         |                           |        |
|--------------------------|---------|---------------------------|--------|
| TIPO DE SUELO            | PREFIJO | SUBGRUPO                  | SUFIJO |
| Grava                    | G       | Bien graduado             | W      |
| Arena                    | S       | Pobrementemente graduado  | P      |
| Limo                     | M       | Limoso                    | M      |
| Arcilla                  | C       | Arcilloso                 | C      |
| Orgánico                 | O       | Límite líquido alto (>50) | L      |
| Turba                    | Pt      | Límite líquido alto (<50) | H      |

**Cuadro 3: Símbolos de grupo**  
**Fuente: Bañón Blázquez Luis**

| SIMBOLO | CARACTERISTICAS GENERALES |           |                           |
|---------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| GW      | GRAVAS                    | Limpías   | Bien graduadas            |
| GP      |                           |           | Pobrementemente graduadas |
| GM      |                           | Con finos | Componente limoso         |
| GC      |                           |           | Componente arcilloso      |
| SW      | ARENAS                    | Limpías   | Bien graduadas            |
| SP      |                           |           | Pobrementemente graduadas |
| SM      |                           | Con finos | Componente limoso         |

|    |                  |                            |
|----|------------------|----------------------------|
| SC |                  | Componente arcilloso       |
| ML | LIMOS            | Baja plasticidad           |
| MH |                  | Alta plasticidad           |
| CL | ARCILLAS         | Baja plasticidad           |
| CH |                  | Alta plasticidad           |
| OL | SUELOS ORGANICOS | Baja plasticidad           |
| OH |                  | Alta plasticidad           |
| Pt | TURBA            | Suelos altamente orgánicos |

**Cuadro 4: Características Generales**  
**Fuente: Bañón Blázquez Luis**

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Escorrentía superficial**

La escorrentía es una fase del ciclo hidrológico. Es el agua que fluye por sobre la superficie del terreno hasta el cauce más cercano y sólo se produce en los eventos de lluvia. En un evento de lluvia, cuando la intensidad de la misma es superior a la tasa de infiltración, se produce un almacenamiento superficial que primero llena las depresiones del terreno, conformando el almacenamiento de retención. Luego que las depresiones se han llenado se inicia el almacenamiento detención, el cual genera el escurrimiento.

En suelos muy permeables, de cobertura densa y de poca pendiente, el escurrimiento es muy pequeño, por el contrario, en suelos arcillosos y con poca cobertura el escurrimiento es mayor, lo anterior es de suma importancia conocerlo ya que la escorrentía es el principal factor en la erosión de los suelos.

### **2.2.2 Infiltración**

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo.

La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie.

Los principales factores de influencia para la infiltración son tipo y extensión de cobertura vegetal, condición de la superficie y el subsuelo, temperatura, intensidad de lluvia, propiedades físicas del suelo y del agua y calidad del agua.

### **2.2.3 Arrastre de sedimento**

Se denomina así al estudio de los procesos de erosión, iniciación de movimiento, transporte, depósito y compactación de las partículas sólidas. Es el responsable de la desertización del terreno y de su inestabilidad.

### **2.2.4 Tiempo de concentración**

Período de tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma.

### **2.2.5 Geología y suelos**

Ciencia que analiza la forma interior y exterior de la Tierra. La información obtenida es útil sobre todo para el estudio y determinación de la escorrentía, porque la geología y el tipo de suelo son factores importantes de la infiltración.

### **2.2.6 Cobertura**

Se refiere al tipo de cubierta vegetal. También es un factor importante para la determinación de la escurritia.

### **2.2.7 Topografía**

La topografía (topos, lugar, grafía, descripción), tiene por objeto el levantamiento y representación gráfica de la superficie terrestre.

El levantamiento topográfico mide directamente sobre el terreno lo que se desea conseguir: plano de una ciudad, una carretera, un tramo de río, una quebrada, etc.

### **2.2.8 Perfil topográfico**

Un perfil topográfico no es más que un corte topográfico, corresponde a una representación de tipo lineal, que permite establecer las diferencias de alturas que se presentan a lo largo de una trayectoria definida.

El perfil del terreno se representa mediante un sistema de coordenadas en el origen al inicio del perfil; en el eje X, las distancias reducidas y en el eje Y las cotas, el tipo de medición que se utiliza es la nivelación cerrada precisa.

### **2.2.9 Caudal**

Se conoce como caudal a la cantidad de agua que pasa por un punto durante un determinado tiempo, las unidades para expresar caudales generalmente son lt/s, m<sup>3</sup>/s, gal/min, etc.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

La Constitución de la República del Ecuador, aprobada en referendun por el pueblo ecuatoriano el 20 de octubre de 2008, en su sección primera, artículo 12 señala "El derecho humano al agua es fundamental

e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida"

### **2.3.1 Creación de la EPMAPS**

Desde la época colonial se comienzan a establecer normas regulatorias sobre el manejo del agua en Quito. Es así que en el año de 1535, el Cabildo de Quito tuvo la potestad de legislar el uso de las aguas que descendían del Pichincha y las embalsadas en las lagunas para que no fueran utilizadas al azar ni al capricho de los dueños de las estancias.

En 1887, se contaba ya con el primer sistema de conducción del agua proveniente de El Atacazo, que se trataba de una acequia llamada posteriormente El Canal Municipal, que conducía el agua a fuentes públicas de donde los aguateros la acarreaban hacia los hogares en pesados pundos de barro.

En 1902, el Congreso de la República inició la construcción de obras para el abastecimiento de agua potable, para lo cual gravó con 5 cts. al consumo de aguardiente y 2 cts. por cada kilo de cuero de exportación, con lo que se financió el estudio de aprovisionamiento de agua y canalización de Quito.

Si bien se realizaron los estudios para el diseño del sistema de distribución, no fue sino hasta Mayo de 1906, que durante el gobierno del General Eloy Alfaro, las obras de distribución de agua potable y canalización de aguas servidas se declararon prioritarias. Se conformó la primera Junta de Agua Potable y Canalización de Quito, que tuvo a cargo la ejecución de los proyectos relativos a la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado hasta noviembre de 1915, año en el cual el congreso decretó que la gestión del agua en Quito pasara a manos del Municipio de la ciudad.

Durante la gestión de la Junta de Agua se construyó la Planta de Purificación de "El Placer" que entró en funcionamiento en 1913.

Entre 1925-1940 la ciudad creció y la demanda de agua potable se incrementó notablemente, la búsqueda de soluciones a este problema llevó a la Empresa a buscar más fuentes para aumentar el caudal de ingreso a la planta de El Placer. Para 1947, se había construido ya el canal de Lloa brindando a la ciudad una solución adecuada a ese momento.

En junio de 1960 se creó la Empresa Municipal de Agua Potable y a partir de ese año se entregaron importantes obras para la ciudad:

El Sistema Pita– Tambo que alimenta la planta de Puengasí y sirve al centro y sur de la ciudad.

El proyecto la Mica - Quito Sur, cuyas aguas son potabilizadas en la planta de El Troje y sirve al sur de la ciudad

El Sistema Integrado Papallacta, que lleva el agua cruda hasta la planta de Bellavista y sirve de abastecimiento al norte de la ciudad y los valles de Tumbaco y Cumbayá.

Cincuenta años después de su creación la Empresa dota del servicio de agua potable al 96% de la población del distrito metropolitano, el alcantarillado en la ciudad supera el 97% y el 80% en las parroquias.

Actualmente trabajan más de 2000 servidores, los cuales mantienen entre sus objetivos principales el mejoramiento de los sistemas de gestión y gobierno de la EPMAPS, para así renovar el compromiso de servicio y calidad.

La EPMAPS brinda servicios de agua potable y saneamiento a la ciudad y asume la responsabilidad de descontaminar las aguas servidas para devolver a la naturaleza agua más limpia.

### **2.3.2 Gestión Ambiental**

La Ley de Gestión Ambiental, de 30 de julio de 1999, en su capítulo IV, De la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas, en sus artículos 16 y 17 dice "Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades"

"Art. 17.- El Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), hoy Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), en coordinación con los Ministerios de Salud y Defensa, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor."

Capítulo VII De la Prevención y Control de la Contaminación de los Suelos

"Art. 20.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 21.- Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica."

#### **2.3.2.1 La Municipalidad y la Gestión Ambiental**

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, extendió una ordenanza acerca del Ordenamiento Territorial, Ordenanza 172, identificando áreas de protección en quebradas, rellenos y terrenos

aledaños, misma que regula los métodos y entidades competentes para identificar y delimitar las áreas de protección, además de otorgar los correspondientes certificados y permisos de construcción, en base al estudio técnico del uso de suelos.

## **CAPITULO III**

### **3. METODOGÌA UTILIZADA EN EL ANÀLISIS DEL SECTOR O ZONA DE IMPACTO DEL PROYECTO A EJECUTARSE**

En este estudio se aplica el método de observación científica, ya que se perciben ciertos rasgos existentes en el objeto de conocimiento. En un diseño no puede faltar la observación científica.

#### **3.1 TIPOS DE INVESTIGACIÒN**

Los tipos de investigación adoptadas para el presente trabajo son:

- Exploratoria
- Correlacional
- Análitica - Descriptiva

##### **3.1.1 Exploratoria**

Para plantear un diseño, es fundamental realizar una investigación de campo, con la finalidad de determinar factores que pueden ser relevantes en la toma de decisión para el diseño de obras de protección.

##### **3.1.2 Correlacional**

Se debe relacionar los procesos de diseño existentes y adaptarlos a las características propias del lugar de estudio.

##### **3.1.3 Analítica - Descriptiva**

Se describe los eventos suscitados y se analiza técnicamente las causas de ocurrencia, para tomar en cuenta aspectos relevantes y así desarrollar soluciones definitivas.

### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Para efectos del presente estudio, la población es el área de la microcuenca de la Quebrada Caicedo, son 243,7 Ha. y la muestra es de 3,14 Ha. que corresponden al lugar de descarga de aguas pluviales y por ende lugar de concentración de caudal.

### **3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA**

La fuente de esta investigación es principalmente los eventos, que tuvieron lugar en el mes de febrero de 2010 y en abril del 2011. Además documentos tales como el Plan Maestro de Alcantarillado, donde se describen los parámetros de diseño para la micro cuenca de la Quebrada Caicedo.

Las técnicas a las cuales se acoge este proyecto son:

- Revisión de archivos;
- Revisión de documentos;
- Revisión de literatura;
- Internet

A fin de determinar las características hidrológicas de la micro cuenca y su objeto de estudio, se trabajará con datos meteorológicos e hidrológicos del año 2000 al 2010, generalizando los resultados.

#### **3.3.1 Reconocimiento de Campo**

El presente proyecto tiene importancia para lograr el mejoramiento del drenaje en la Quebrada Caicedo, a través de un reconocimiento de campo se puede establecer soluciones gracias a las lecciones aprendidas de eventos ya ocurridos.

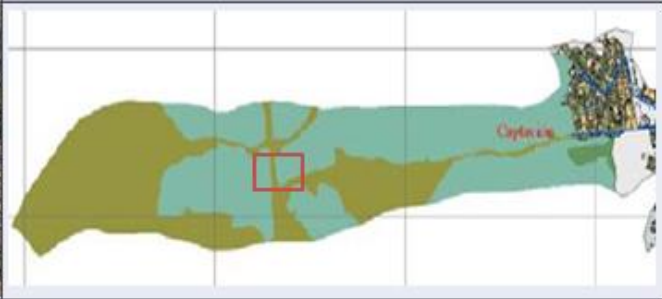
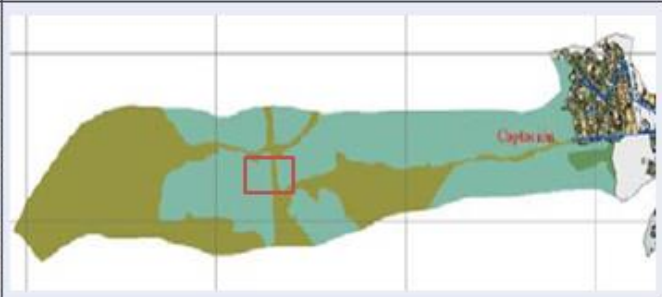
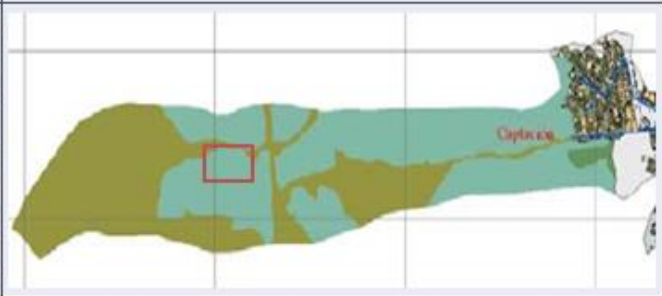
### 3.3.1.1 Informe de Evaluación de Campo

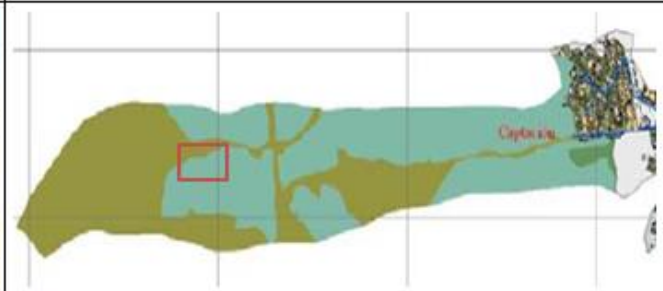
| <b>ESTRUCTURA EXISTENTE</b>       | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                            |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| OPERADOR DE POZO                  | No se evidencia operador de pozo, no se evidencia guardianía. |
| NUMERO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES: | Tres. Pozo de captación, túnel tras base, aliviaderos.        |
| DENOMINACIÓN DE POZOS             | Pozo de captación, colector Quebrada Caicedo                  |
| SISTEMAS NATURALES DE EVACUACIÓN: | Aguas abajo no se evidencia.                                  |
| OBRAS DE PROTECCIÓN POZO:         | Vertederos aguas arriba del colector                          |
| VALVULAS DE POZO:                 | No se evidencia                                               |
| COMPUERTAS DE DESFOGUE:           | No se evidencia                                               |
| ALIVIADEROS:                      | No se evidencia                                               |
| CERRAMIENTO PERIMETRAL:           | No se evidencia                                               |
| CUNETAS PERIMETRAL:               | No se evidencia                                               |
| CUNETAS DE CORONACIÓN:            | No se evidencia                                               |
| TALUDES:                          | Estables con presencia mediana de vegetación                  |
| TIPO DE CAUCE:                    | Cerrado con alta presencia de rocas                           |
| VÍAS DE ACCESO:                   | Lastrada ancho promedio 6 metros.                             |
| SISTEMAS DE ILUMINACIÓN:          | No se evidencia                                               |
| CASSETAS DE CONTROL_              | No se evidencia                                               |
| GARITA:                           | No se evidencia                                               |

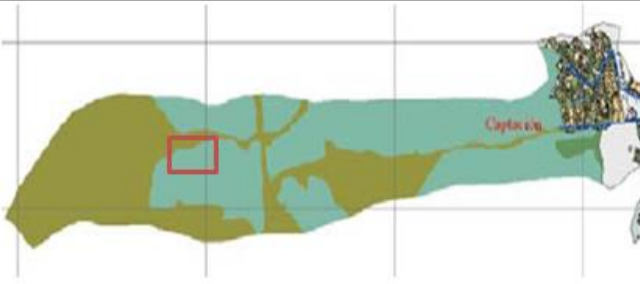
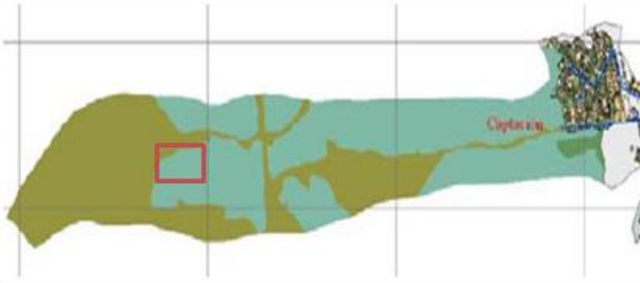
**Cuadro5: Informe de Inspección de campo**

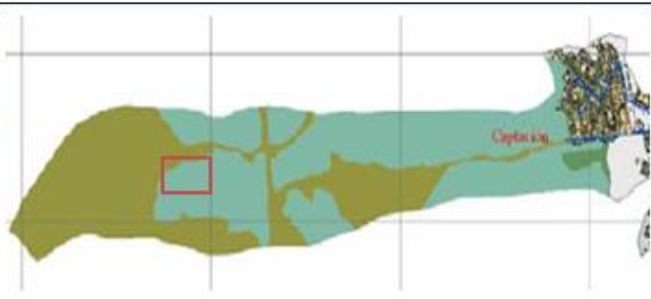
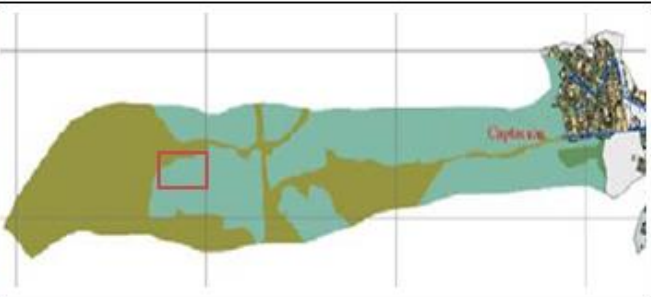
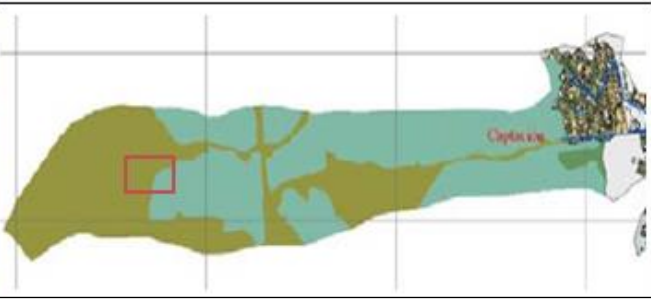
**Fuente: EPMAPS**

### 3.3.1.2 Inspección Detallada 19 de Agosto de 2011

| FOTOGRAFÍA                                                                         | LOCALIZACIÓN                                                                        | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | A 3419 msnm, existe un desprendimiento de la capa vegetal en aproximadamente una longitud de 80 metros, el ancho es variable, siendo el más considerable el de 34 metros.                                                                                              |
|   |   | En este lugar, un árbol centenario, que estuvo sostenido por suelo de tipo ML, según la clasificación SUCS, cayó, posiblemente por la precipitación, creando un dique natural, el cual acumuló aguas pluviales por tiempo no determinado saturando el suelo del sector |
|  |  | La capa vegetal del sector se desprendió, y las aguas pluviales arrastaron la vegetación buscando un dren natural, se mezclaron con basura, lodos y rocas de gran tamaño                                                                                               |

| FOTOGRAFÍA                                                                         | LOCALIZACIÓN                                                                        | DESCRIPCIÓN                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | Fotografías del desprendimiento de la capa vegetal, tomada con dirección hacia el oriente |
|   |   |                                                                                           |
|  |  |                                                                                           |

| FOTOGRAFÍA                                                                         | LOCALIZACIÓN                                                                        | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | Magnitud del desprendimiento, fotografia tomada con direccìon al occidente (hacia la cresta)                                                                                                                                                   |
|   |   | Se verificò la existencia de cunetas sin revestimietno a los costados de una via de acceso hacias las antenas del Pichincha, las cuales no cuentan con un sistema para encauzar tènicamente las aguas pluviales y descargarlas                 |
|  |  | Existe una via, la cual al momento de realizar el movimiento de tierras, generò un volùmen considerable de tierra, la cual fue empujada hacia abajo, dando origen a un talud inestable, el cual podria dar origen a un nuevo arrastre de lodos |

| FOTOGRAFÍA                                                                         | LOCALIZACIÓN                                                                        | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | A los 3761 msnm, se verificò la presencia de una caverna por la cual aflora una vertiente de agua, la misma que es captada hacia una cisterna y conducida por mangueras, lastimosamente no se pudo realizar el seguimiento del aprovechamiento y los beneficiarios de esta captaciòn. |
|   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Cuadro 6: Descripción de daños por zonas.

Fuente: J. Lema

A fin de determinar el estado actual de las obras civiles que entrarán en proceso de construcción, se realizó una visita de campo, cuyas observaciones se encuentran junto al archivo fotográfico.

El estado actual de la quebrada genera necesidades constructivas de protección ante posible impacto ambiental en caso de producirse un nuevo aluvión.



**Foto 11, 12, 13, 14: Obras en la Quebrada Caicedo**  
**Fuente: EPMAPS**



Ingreso a túnel de trasvase  
fecha: 22 de octubre de 2010



Interior del túnel de trasvase  
fecha: 22 de octubre de 2010



Salida de túnel de trasvase  
fecha: 22 de octubre de 2010



Lodos y árboles sacados del túnel de trasvase  
fecha: 11 de diciembre de 2010



Acumulación de lodos y otros materiales en el lugar de  
emplazamiento del pozo de captación  
fecha: 24 de febrero de 2011



Grúa de poleas realizando localización y rotura de losa de  
pozo de captación  
fecha: 06 de marzo de 2011

**Foto 15, 16, 17, 18,19, 20: Obras en la Quebrada Caicedo**  
**Fuente: EPMAPS**



Instalación de bomba sumergible para evacuar lodos  
fecha: 10 de marzo de 2011



Dragado de lodos con la utilización de una grúa de poleas  
fecha: 06 de marzo de 2011



Retiro y transportación de lodos hacia un stock  
fecha: 07 de marzo de 2011



Presencia de sólidos en pozo de captación  
fecha: 11 de marzo de 2011



Tronco alojado en tubería del pozo de captación  
fecha: 13 de marzo de 2011



Evacuación de material alojado al interior del pozo de captación  
fecha: 13 de marzo de 2011

**Foto 21, 22, 23, 24, 25, 26: Trabajos durante la emergencia**  
**Fuente: EPMAPS**



Daños en la estructura del pozo de captación  
fecha: 19 de marzo de 2011



Daños en la estructura del pozo de captación  
fecha: 19 de marzo de 2011



Inundación en la calle Mariano Echeverría y San Francisco  
fecha: 22 de febrero de 2011



Lodos depositados en las calles San Francisco y Mariano Echeverría, provenientes de la red sanitaria-pluvial  
fecha: 19 de marzo de 2011



Topografía realizada en zona de deslave  
fecha: 22 de febrero de 2011



Topografía realizada en zona del pozo de captación  
fecha: 01 de julio de 2011

**Foto 27, 28, 29, 30, 31, 32: Condiciones del sitio después del aluvión.  
Fuente: EPMAPS**

|                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Topografía realizada por un equipo del Departamento de Alcantarillado<br/>fecha: 01 de julio de 2011</p> |  <p>Muro colapsado<br/>fecha: 01 de julio de 2011</p>                                           |
|  <p>Base del muro colapsado<br/>fecha: 01 de julio de 2011</p>                                               |  <p>Toma de detalles topográficos en zona de colapso de muro<br/>fecha: 01 de julio de 2011</p> |
|  <p>Deslizamientos producidos aguas arriba de la captación<br/>fecha: 07 de julio de 2011</p>              |  <p>Lecho de la quebrada con colmatación de lodos<br/>fecha: 07 de julio de 2011</p>          |

**Foto 33, 34, 35, 36, 37, 38: Condiciones del sitio después del aluvión.  
Fuente: EPMAPS**



**Foto 39, 40: Condiciones del sitio después del aluvión.**  
**Fuente: EPMAPS**

### **3.3.2 TRABAJOS TOPOGRÁFICOS**

A continuación se detallan los trabajos topográficos efectuados los que servirán como base para el estudio en donde se emplazarán las obras a proponerse.

#### **3.3.2.1 Levantamiento de Detalles**

El levantamiento de detalles consiste en un conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos de interés en el sector de estudio. Así se puede obtener la representación gráfica del sector levantado.

En esta etapa se realizó el levantamiento de la zona de influencia posterior a los eventos suscitados incluyendo, captación, túnel de trasvase, estructuras de derivación, estructuras de control, etc. Es decir se levantó todo detalle existente en el área y alrededor de la misma en unos 200 – 500 metros tales como vía existente, postes de líneas de transmisión, casas, centros poblados, alcantarillas, edificios y todo detalle que sirva para realizar un buen diseño horizontal de las obras al interior de la quebrada.

Para lograr este objetivo fue necesario la utilización de una Estación Total, y se utilizó la altura nivelada con la que trabaja la EPMAPS, se

empleó el método de radiación, para el cual utilizamos dos puntos conocidos.

El primer punto “BM o Base de medición” y el EOP o punto conocido, el cual es utilizado para la corrección de la poligonal base.

| DENOMINACIÓN | COORDENADAS  |
|--------------|--------------|
| BM           | N9981891,029 |
|              | E499798,423  |
| EOP          | N9981882,375 |
|              | E499646,182  |

**Cuadro 7: Coordenadas de puntos base de la topografía.**  
Fuente: J. Lema

En oficina se procedió a bajar los puntos de la estación total y dibujar el levantamiento realizado en Campo.

Cabe mencionar que los puntos tomados en el levantamiento topográficos están acordes técnicamente a la escala de trabajo, estos es, curvas de nivel cada metro, y escala de trabajo 1:1000, se ha densificado de manera óptima que garantiza el cumplimiento de estos requisitos.

### **3.3.3 Estudio de mecánica de suelos**

El informe comprende el estudio de los suelos encontrados en el lecho de la quebrada (S-1 y S-2) y de los suelos encontrados en el flanco superior izquierdo de la misma (S-3), la que a su vez se encuentra ubicada en el sector de El Bosque.

Este estudio realizado en base de los resultados obtenidos de los trabajos de campo, laboratorio y oficina tiene por objeto fundamental determinar los parámetros geomecánicos del suelo, a fin de recomendar el correcto tipo de fundación y la profundidad de la misma, para los trabajos propuestos.

Con el objeto de recuperar muestras alteradas de suelo que permitan recomendar la capacidad portante más óptima de estos suelos, se realizaron 3 perforaciones de 7, 7 y 4 metros de profundidad, designadas como P-1, P-2 y P-3 respectivamente, localizadas en sitios representativos del sector en estudio como consta en el plano de ubicación de sondeos que se adjunta en el anexo.

Las perforaciones o el muestreo fue realizado a cada metro de profundidad con la ayuda de un equipo semiautomático para ensayos de penetración estándar (SPT) con una eficiencia combinada del 60%, a fin de obtener el número de golpes "N60" necesarios para introducir el muestreador denominado "cuchara partida" una profundidad de 45 cm mediante un martinete de 140 lb (63.5 kg.) de peso que cae desde una altura de 30 pulgadas (76 cm.) y determinar de esta manera la capacidad portante de estos suelos.

Con todas las muestras alteradas y representativas de los suelos obtenidas de los sondeos realizados, se efectuaron en laboratorio ensayos de clasificación manual – visual permitiendo conocer la secuencia estratigráfica del subsuelo en estudio de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.

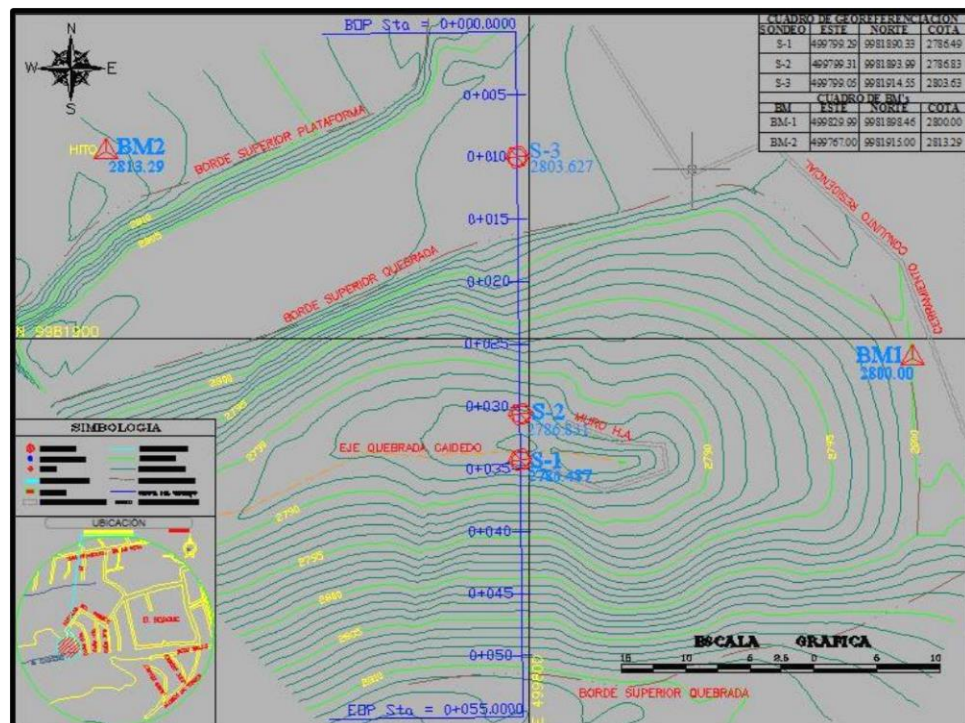
En los anexos de este informe se presenta los respectivos registros de perforación en los cuales se indica la variación del número de golpes con la profundidad y el perfil estratigráfico de los sectores en estudio hasta la cota prospectada.

### 3.3.3.1 Caracterización de los Suelos

| RESUMEN DE PERFORACIONES |              |
|--------------------------|--------------|
| SONDEO                   | PROFUNDIDAD  |
|                          | (m)          |
| S - 1                    | 7.00         |
| S - 2                    | 7.00         |
| S - 3                    | 4.00         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>18.00</b> |

**Cuadro 8: Resumen de Perforaciones**  
Fuente: J. Lema

### 3.3.3.2 Implantación de los Sondeos:



**Figura 8: Implantación de Sondeos**  
Fuente: J. Lema

### 3.3.3.3 Perforaciones

Las perforaciones se realizaron a cada metro de profundidad con la ayuda de un equipo semiautomático (ver foto 35).

Los resultados obtenidos con la prueba SPT sirven para correlacionar características de los suelos, tales como: peso unitario, densidad relativa, consistencia, entre otros.



**Foto 41: Implantación de equipos para realizar perforación.**

**Fuente: J. Lema**

A continuación se presenta los respectivos registros de las tres perforaciones realizadas, en la cual se indica la variación del número de golpes con la profundidad, el perfil estratigráfico, SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), la descripción y las fotos de las diferentes muestras.

- Primera Perforación:

| LOG DE PERFORACION                                                                                                                                             |               |          |         |        |                                                                                                                                                                                     |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Proyecto :</b> Quebrada Caicedo<br><b>Localización:</b> Sector El Bosque<br><b>Fecha :</b> Junio 2011<br><b>Sondeo :</b> 1<br><b>N.A.F. :</b> No encontrado |               |          |         |        |                                                                                                                                                                                     |       |
| Prof.<br>(m)                                                                                                                                                   | Muestra<br>No | N<br>SPT | SUCS    | Perfil | Descripción                                                                                                                                                                         | Fotos |
| 1,0                                                                                                                                                            | P 1 1         | 5        | Relleno |        | Suelos de relleno conformados por una matriz de arena limosa, color habana, con presencia de raíces, grumos y piedras, hasta los 5.0 m de profundidad y con una compactidad suelta. |       |
| 2,0                                                                                                                                                            | P 1 2         | 5        | Relleno |        |                                                                                                                                                                                     |       |
| 3,0                                                                                                                                                            | P 1 3         | 9        | Relleno |        |                                                                                                                                                                                     |       |
| 4,0                                                                                                                                                            | P 1 4         | 11       | Relleno |        |                                                                                                                                                                                     |       |
| 5,0                                                                                                                                                            | P 1 5         | 11       | Relleno |        |                                                                                                                                                                                     |       |
| 6,0                                                                                                                                                            | P 1 6         | 50       | SM      |        | Suelos naturales conformados por arenas limosas de grano fino, color gris oscura, hasta los 6.0 m de profundidad y de compactidad suelta.                                           |       |
| 7,0                                                                                                                                                            | P 1 7         | R        | ML      |        | Suelos naturales conformados por limos arenosos, color gris oscuro, hasta los 7.0 m de profundidad, muy compactos.                                                                  |       |
| R = Rechazo                                                                                                                                                    |               |          |         |        |                                                                                                                                                                                     |       |

**Cuadro 9: Información de la Primera Perforación**  
**Fuente: J. Lema**

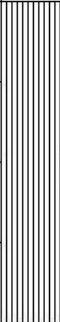
- Segunda Perforación:

| LOG DE PERFORACION                                                                                                                                             |               |          |         |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Proyecto :</b> Quebrada Caicedo<br><b>Localización:</b> Sector El Bosque<br><b>Fecha :</b> Junio 2011<br><b>Sondeo :</b> 2<br><b>N.A.F. :</b> No encontrado |               |          |         |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |
| Prof.<br>(m)                                                                                                                                                   | Muestra<br>No | N<br>SPT | SUCS    | Perfil                                                                              | Descripción                                                                                                                                                                                | Fotos                                                                                 |
| 1,0                                                                                                                                                            | P 2 1         | 9        | Relleno |    | Suelos de relleno, arena limosa con algo de grava, color habana, con oxidaciones y grumos, hasta el 1.0 m de profundidad y con una compacidad suelta.                                      |    |
| 2,0                                                                                                                                                            | P 2 2         | 17       | SM      |    | Suelos naturales conformados por arenas limosas con algo de grava, color habana, con presencia de oxidaciones y grumos, hasta los 4.0 m de profundidad y de compacidad medianamente densa. |    |
| 3,0                                                                                                                                                            | P 2 3         | 20       | SM      |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |    |
| 4,0                                                                                                                                                            | P 2 4         | 34       | SM      |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |    |
| 5,0                                                                                                                                                            | P 2 5         | 47       | SM      |   | Suelos naturales conformados por arenas limosas, color gris clara, con presencia de pómez, hasta los 6.0 m de profundidad y de compacidad densa.                                           |   |
| 6,0                                                                                                                                                            | P 2 6         | 50       | SM      |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |
| 7,0                                                                                                                                                            | P 2 7         | R        | ML      |  | Suelos naturales conformados por limos arenosos, color café claro, con oxidaciones, hasta los 7.0 m de profundidad, muy compactos.                                                         |  |
| R = Rechazo                                                                                                                                                    |               |          |         |                                                                                     |                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |

**Cuadro 10: Información de la Segunda Perforación**

**Fuente: J. Lema**

- Tercera Perforación:

| LOG DE PERFORACION             |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
|--------------------------------|---------------|----------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Proyecto : Quebrada Caicedo    |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| Localización: Sector El Bosque |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| Fecha : Junio 2011             |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| Sondeo : 3                     |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| N.A.F. : No encontrado         |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| Prof.<br>(m)                   | Muestra<br>No | N<br>SPT | SUCS | Perfil                                                                            | Descripción                                                                                                                               | Fotos                                                                               |
| 1,0                            | P 3 1         | 24       | ML   |  | Suelos naturales conformados por limos arenosos, color café claro, con presencia de pómez, hasta los 4,0 m de profundidad, muy compactos. |  |
| 2,0                            | P 3 2         | 34       | ML   |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 3,0                            | P 3 3         | 44       | ML   |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 4,0                            | P 3 4         | R        | ML   |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |
| R = Rechazo                    |               |          |      |                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                     |

**Cuadro 11: Información de la Tercera Perforación**  
Fuente: J. Lema

#### 3.3.3.4 Nivel Freático:

Se pudo constatar que no existe la presencia de nivel freático en los tres sondeos, hasta la profundidad inspeccionada. Sin embargo es importante mencionar que la condición del nivel freático puede variar dependiendo de la época del año y la intensidad de las lluvias.

### 3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El procesamiento y posterior análisis de los datos se realizará utilizando Estadística descriptiva (Determinación del caudal), que analiza, estudia y describe a la totalidad de individuos de una población. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin requerido.

La hidráulica que estudia las propiedades mecánicas de los fluidos, es una herramienta que ayuda a determinar las secciones más óptimas para la protección y drenaje del caudal en la Quebrada Caicedo.

Los estudios hidrológicos son fundamentales para el diseño hidráulico, es así que los programas (H-CANALES y HEC-RAS) utilizados en el presente proyecto, ayudan a representar el comportamiento del cauce y de las obras a implementarse en el sector de interés del presente estudio.

### **3.4.1 Estudio Hidrológico del área de influencia del proyecto**

Para efectos del estudio hidrológico en el área de influencia del proyecto, utilizamos la información disponible, generada tanto por el INAMHI como por la EPMAPS, para verificar cual es la ecuación con la que se obtiene un mayor caudal, correspondiente al Estudio de lluvias registradas en el período 2000-2008, se ha tomado este período debido a que en ésta investigación se plantean obras de control, las cuales se deberán construir provisionalmente hasta que se determine un diseño definitivo, el cual alivie el sistema existente.

En base a esta información, procedemos a establecer los parámetros hidráulicos para el diseño de las diferentes estructuras, conforme se explica a continuación:

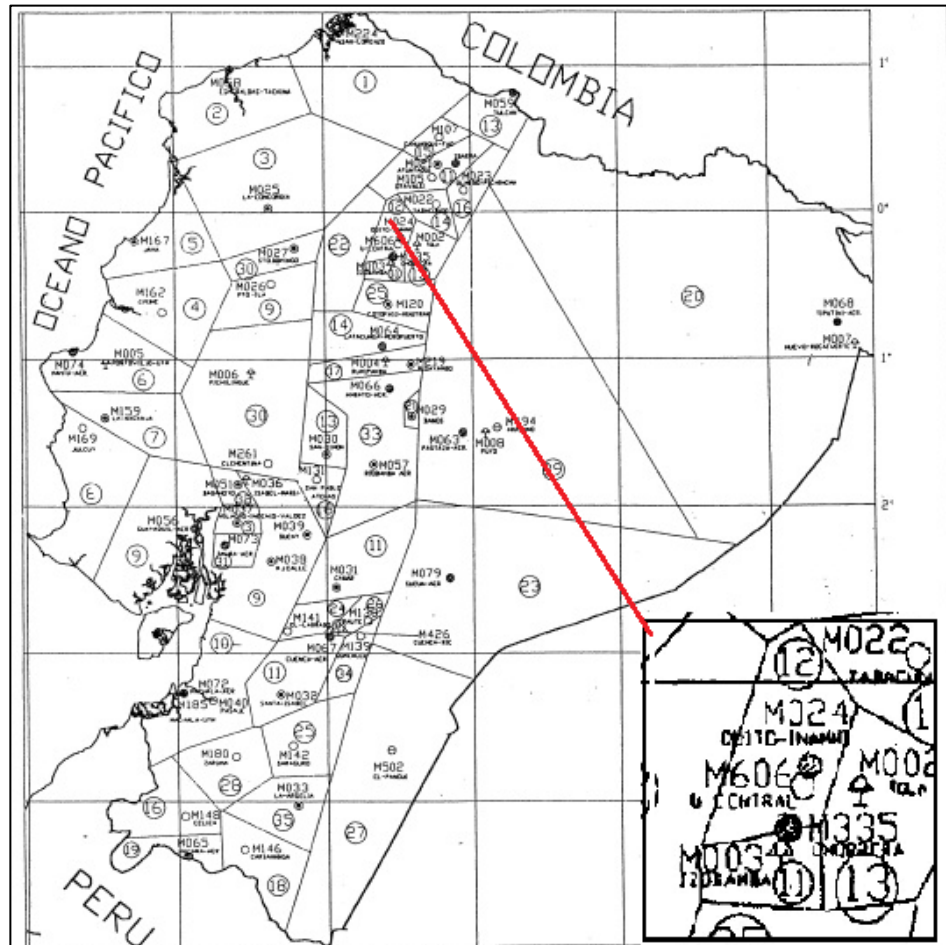
#### **3.4.1.1 Intensidad de Lluvia**

La intensidad de lluvia es el caudal de agua que pasa por una determinada superficie, es decir, el volumen de agua caído por unidad de tiempo y superficie. Se mide habitualmente en mm/h o en lt/s-Ha.

- Método grafo- analítico del INAMHI (1999).-

Para determinar la Intensidad de la lluvia usamos las ecuaciones establecidas por el (INAMHI- 1999), en el área de influencia del proyecto (Región Nor Occidental del Ecuador) de acuerdo a la

Zonificación de Intensidades establecidas, en nuestro caso la zona 12 (ver la figura 9), es el área en donde se encuentran ubicadas las obras hidráulicas (Quebrada Caicedo) del presente estudio, en la cual se encuentra también la estación meteorológica Iñaquito.



**Figura 9: Zonificación Ecuador**  
**Fuente: INAMHI**

Así se ha realizado una comprobación de la intensidad de lluvia utilizando para este análisis la siguiente ecuación:

Zona 12 (Estación Iñaquito)

$$ITR = 138.301 t^{-0.4882} \cdot IdTR (5min < t < 60min)$$

$$ITR = 674.13 t^{-0.8935} \cdot IdTR (60min < t < 1440min)$$

Dónde:

t= tiempo de concentración inicial en la que una gota de agua tarda en llegar al cuerpo receptor (cuneta o fosa). Dependerá del tipo de superficie, que para el caso se define como grava con vegetación ligera, adoptando un periodo de duración de la lluvia de 12 minutos. (Ver Anexo- cuadro 3.2)

IdTR= Intensidad de lluvia diaria. De conformidad al mapa de Isolíneas de Intensidades de Precipitación para un periodo de retorno de 25 años (zonas de riqueza media del suelo, zonas de residencia habitual; Carlos Martínez García – Diseño y cálculo de redes de saneamiento) (INAMHI - 1999) se ha adoptado un valor de 4.5 mm/h, para un periodo de retorno de 25 años. (Ver Figura 10).

Es importante anotar que la ecuación Iñaquito se encuentra dentro de la zona 12, por lo que hemos determinado con la intensidad de la lluvia en esta estación el caudal pluvia, como se indica a continuación:

$$Q = C * I * A \text{ (Método Racional)}$$

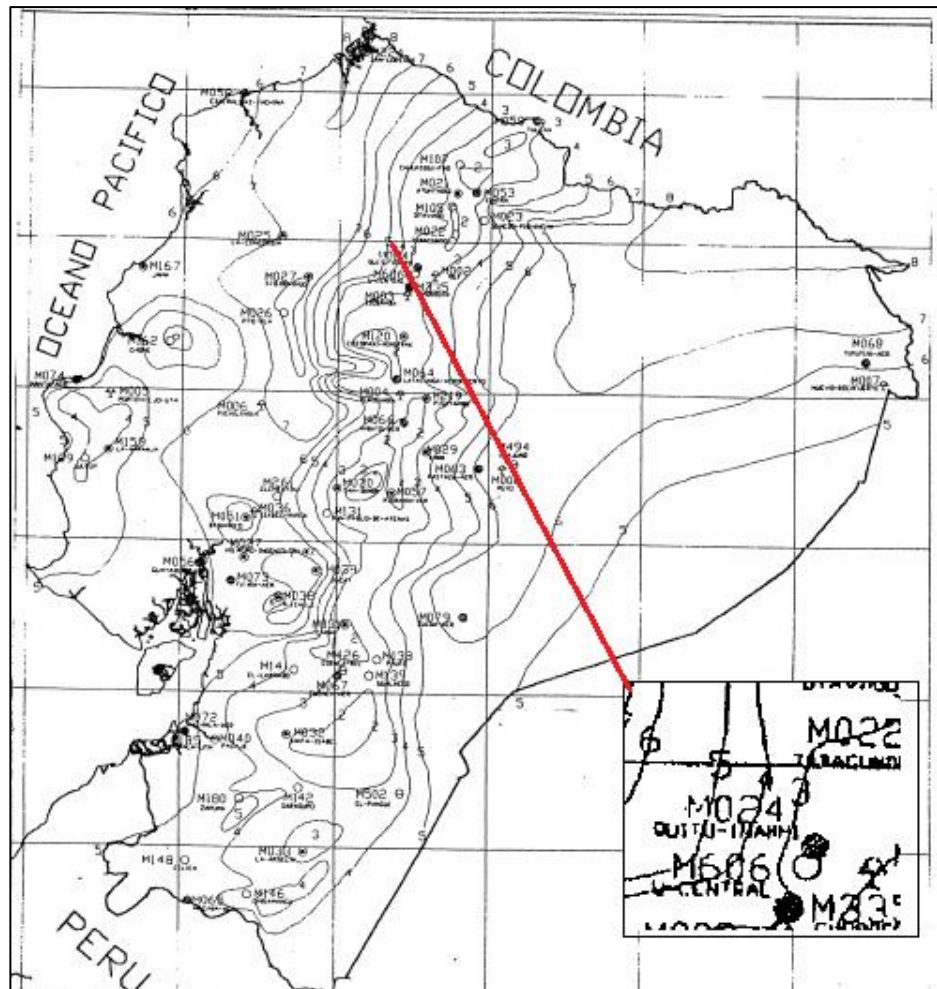


Figura 10: Precipitación para un periodo de retorno 25 años  
Fuente: INAMHI

| ESTACIÓN | Area   | Tiempo<br>Concent.<br>(min) | Período<br>Retorno<br>Tr (años) | Intensidad<br>diaria<br>(mm/h) | Intensid<br>lluvia<br>(mm/h) | Coefic.<br>Ecurr.<br>"C" | Caudal<br>Pluvial<br>(l/s) |
|----------|--------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|          | (Ha)   |                             |                                 |                                |                              |                          |                            |
| ZONA 12  | 243.70 | 12.00                       | 25                              | 4.5                            | 185.00                       | 0.15                     | 18785.6                    |
| ZONA 12  | 273.70 | 12.00                       | 25                              | 4.5                            | 329.39                       | 0.15                     | 37564.0                    |

Cuadro 12: Calculo de Caudal  
Fuente: J. Lema

Dónde:

- $C = 0,15$  El área de aporte para el tramo de estudio está conformada por una superficie de gravas con vegetación ligera. (Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable y

Saneamiento Alcantarillado Pluvial. Tabla 4.14 valores del coeficiente de escurrimiento p141.2007).

- Estudio de intensidades (Ecuación de la EPMAPS).-

Para el caso de la estación seleccionada, (DAC AEROPUERTO) para una duración de 5 minutos a 90 minutos (por ser una zona de muy alta pluviosidad) la ecuación es la siguiente:

$$I = 55.6656 * T^{0.0922} * [\ln(t+3)]^{4.1647} * (\ln)^{0.0985} / t^{1.6567}$$

(Ecuación Estación DAC-AEROPUERTO)

Dónde:

I = intensidad de lluvia en mm/h

T= es el período de retorno (25años)

t = tiempo en minutos de concentración de la lluvia más tiempo de recorrido (t=tc+tf)

$$tc = (0.0195 * L^{1.155}) / (\text{Dif. Nivel})^{0.385}$$

L= Longitud

| Ecuación | Area<br>(Ha) | t      | Período<br>de Retorno<br>Tr | Coeficiente<br>de<br>Esgurrimiento<br>C | Intensidad<br>lluvia<br>(mm/h) | Caudal<br>(l/s) |
|----------|--------------|--------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| DAC      | 2062.74      | 13.887 | 25                          | 0.15                                    | 81.445                         | 8270.15         |

**Cuadro 13: Calculo de Caudal (DAC)**

**Fuente: J. Lema**

Como se puede apreciar en el siguiente cuadro, el caudal mayor entre las Estaciones del INAMHI y la EPMAPS, es la de la estación Iñaquito, por lo que se adopta a posterior este valor para diseños.

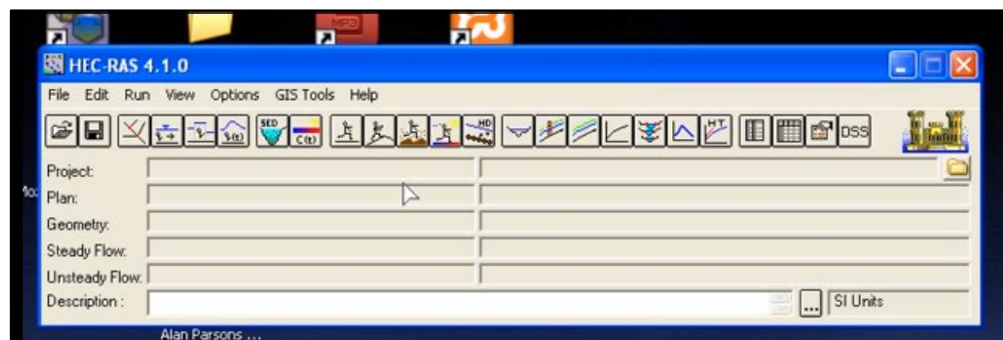
| ESTACIÓN                | Caudal  |
|-------------------------|---------|
|                         | Pluvial |
|                         | (l/s)   |
| IÑAQUITO (INAMHI)       | 18785.6 |
| DAC AEROPUERTO (EPMAPS) | 8270.2  |

**Cuadro 14: Calculo de Caudal (IÑAQUITO y DAC)**  
Fuente: J. Lema

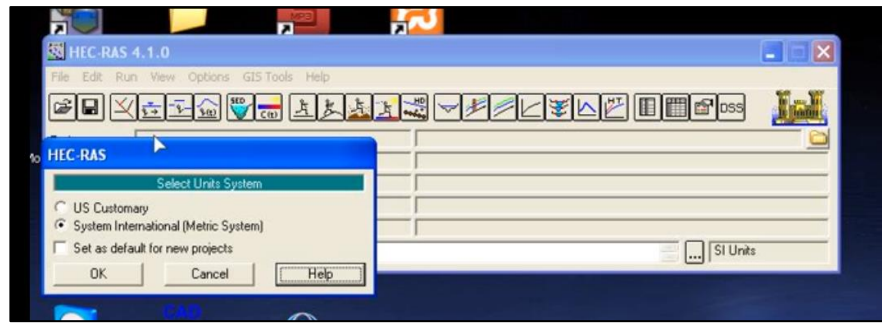
### 3.4.2 Análisis en Hec Ras

La modelación en el programa Hec ras nos permite conocer el comportamiento del cauce, así sin ninguna obra de protección se observa el desbordamiento aguas debajo de la Quebrada Caicedo (Ver figura 11).

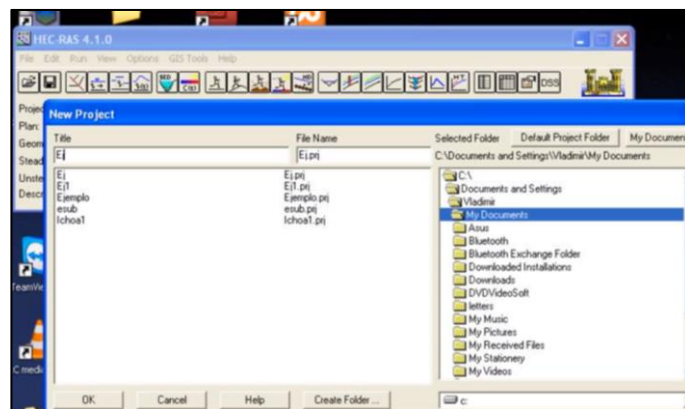
Para evitar los daños debido al desbordamiento de agua, es necesario implantar diversas obras de protección y mejorar de esta manera el drenaje en la quebrada.



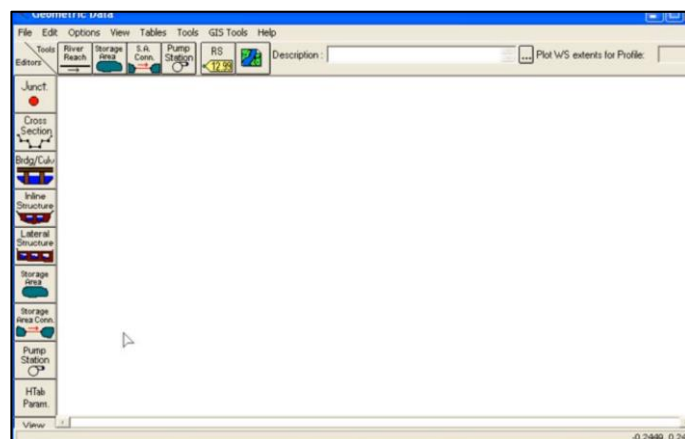
**Figura 11: Generación del proyecto**  
Fuente: J. Lema



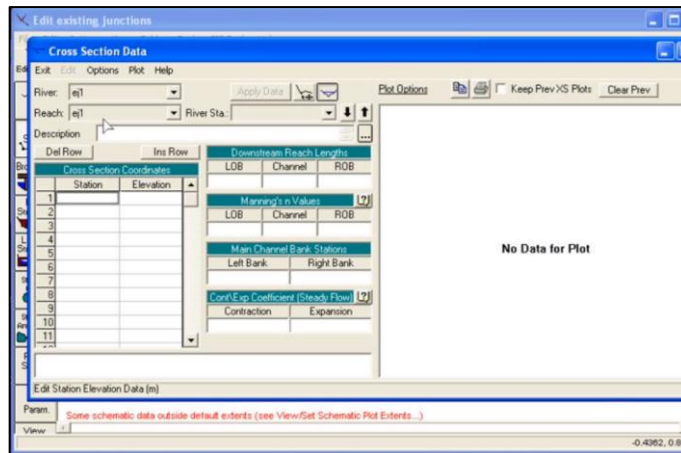
**Figura 12: Cambio de unidades**  
Fuente: J. Lema



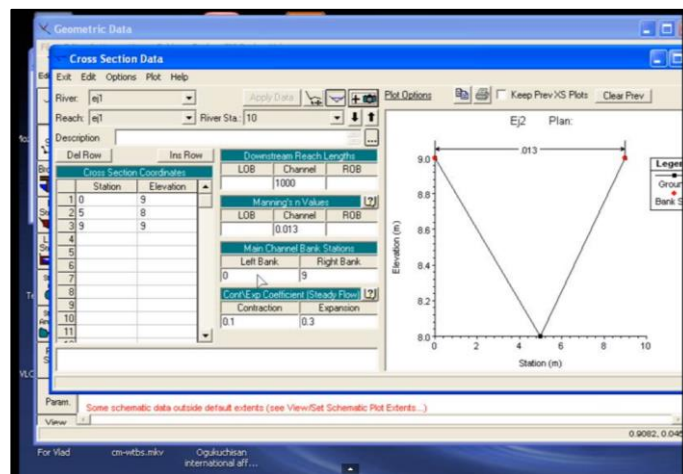
**Figura 13: Creando el nuevo proyecto**  
Fuente: J. Lema



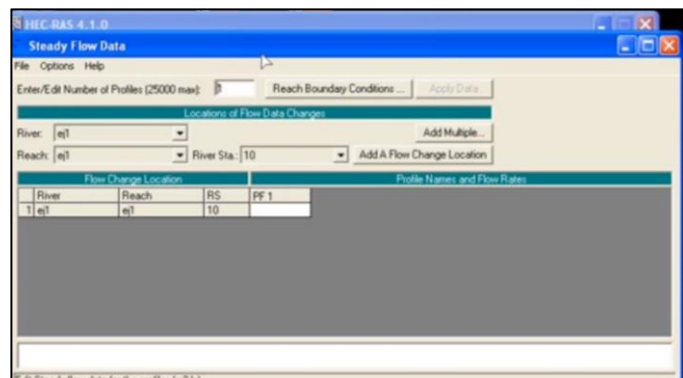
**Figura 14: Creación de datos geométricos**  
Fuente: J. Lema



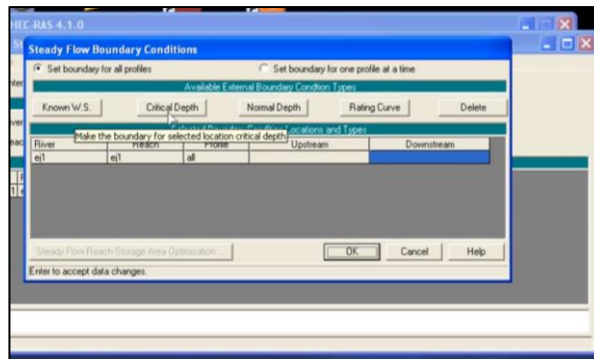
**Figura 15: Creación de secciones transversales, coordenadas y Coeficientes**  
Fuente: J. Lema



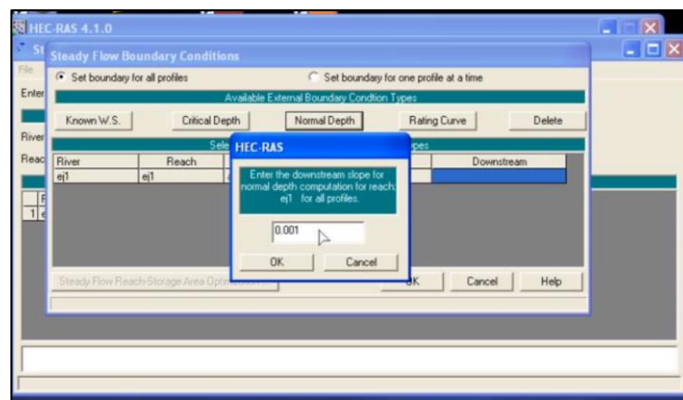
**Figura 16: Ingreso de coordenadas (secciones)**  
Fuente: J. Lema



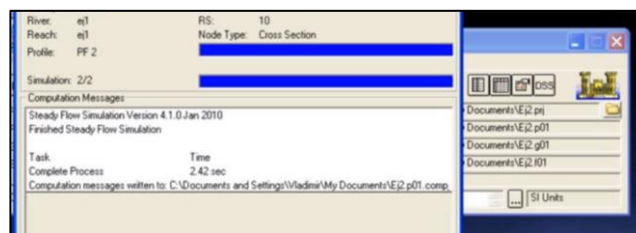
**Figura 17: Edición de datos del tipo de flujo**  
Fuente: J. Lema



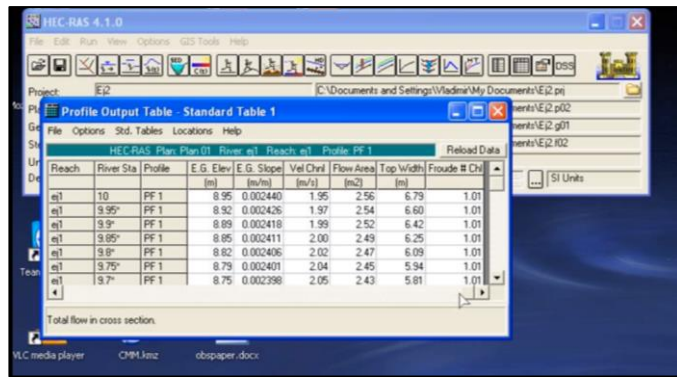
**Figura 18: Ingreso de condición de borde**  
Fuente: J. Lema



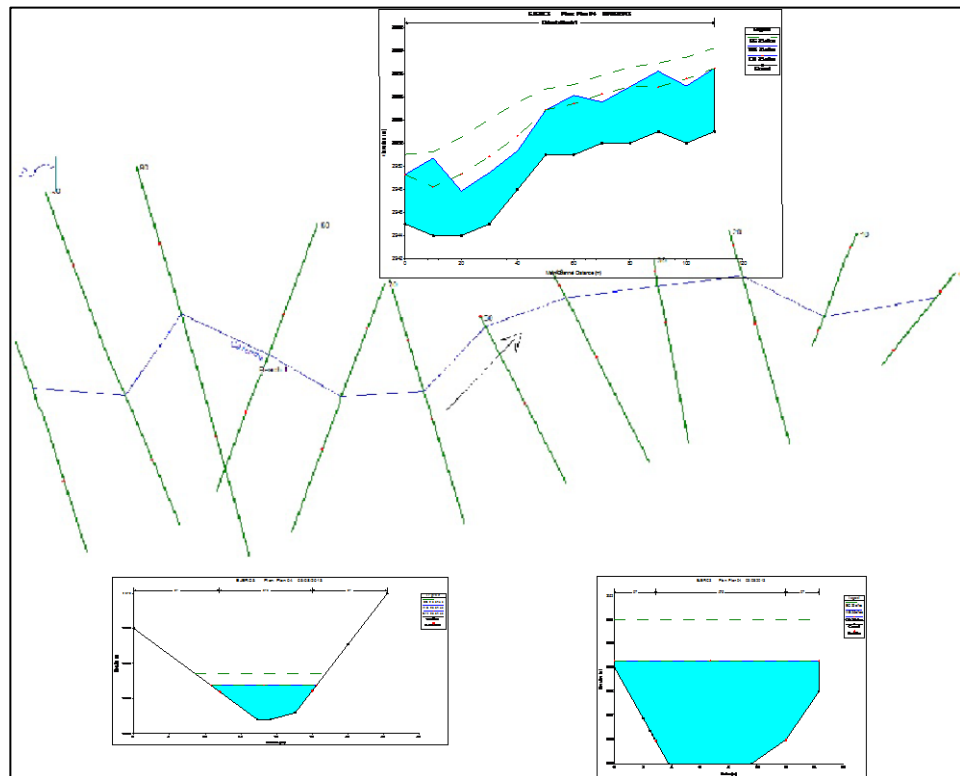
**Figura 19: Ingreso de pendiente**  
Fuente: J. Lema



**Figura 20: Corrida de la modelación**  
Fuente: J. Lema



**Figura 21: Revisión de tablas de datos**  
Fuente: J. Lema



**Figura 22: Modelo sin obras de protección**

Fuente: J. Lema

### 3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.5.1 Conclusiones de la investigación

Al momento de realizada la inspección en sitio, no se pudo evidenciar la existencia de obras de control, por lo que se presume que en el evento

suscitado el 20 de febrero de 2010 éstas desaparecieron, sin dejar evidencia de su existencia.

El área de ubicación del pozo colector de aguas lluvias y demás estructuras hidráulicas que pudieron haber existido no se encuentran limitadas o cercadas por algún tipo de estructura.

La Quebrada Caicedo es una de las quebradas más grandes y tiene una pendiente pronunciada de aproximadamente 15%, lo que genera un alto nivel de presión del agua.

El colector de mampostería de piedra es pequeño y con una baja energía de conducción.

Cuando se producen grandes precipitaciones, se obstruye el sistema de conducción por lodos, ramas y troncos, produciéndose embalses y el agua consecuentemente desborda la quebrada.

Durante fuertes precipitaciones en la quebrada Caicedo se producen severos daños en las estructuras hidráulicas sanitarias de las calles por las cuales circula el caudal pluvial-sanitario.

Aun cuando la ocurrencia de un aluvión o un deslave no es previsible y sucede sin aviso, los signos encontrados en las laderas permiten sospechar nuevos eventos de esta naturaleza durante una época invernal.

El hecho se produjo por la acumulación de lodo y troncos en el colector, que tenía 40 años funcionando en el sitio, fluyó agua lluvia junto con troncos talados y desechos desde la quebrada Caicedo hacia el colector, sobrepasando la capacidad del mismo (1 400 m<sup>3</sup> por minuto). Como resultado, se abrieron tres boquetes de 2 metros de diámetro en la calzada del San Francisco por donde se expulsó la basura.

Luego de la verificación del colector por donde escurre el caudal pluvial de esta área, se concluyó que este se obstruyó por el alto contenido de

material sólido, provocando la obstrucción del pozo, consecuentemente ocasionando un represamiento de las aguas que al llegar a un nivel de embalse superando la cota de cimentación de las estructuras asentadas cerca a los bordes de la quebrada.

No existen sistemas de iluminación que permitan una intervención nocturna o la realización de operaciones y/o maniobras.

Se deberá sociabilizar a nivel institucional la información existente ya que la protección de las laderas del Pichincha es uno de los más importantes retos que figura en los planes del Municipio Metropolitano de Quito y que comprende obras que se ejecutan desde hace varios años con el fin de precautelar la seguridad de los habitantes del sector bajo de la ciudad.

Limpiar el colector en su nacimiento mediante procesos de dragado en el área donde se ubican las estructuras, esto ayudará con la captación y desalojo de las aguas pluviales.

Limpiar el túnel tras base al ingreso y salida de la estructura para efectivizar la operación hidráulica en todo el recorrido de la estructura.

Limitar el área donde se encuentran asentadas las actuales obras hidráulicas existentes, mediante un cerramiento visible, esto evitará la incursión de personas extrañas al proyecto.

El cerramiento deberá contar con una puerta de ingreso vehicular pesado y peatonal frontal y dos o más puertas peatonales de emergencia en la parte posterior del área.

Construir cunetas perimetrales en hormigón armado al interior del cerramiento de malla (Anexo Cuneta Perimetral), esto garantizará la conducción de las aguas pluviales hacia el área de evacuación.

Construir una garita la cual servirá de estación de descanso para el personal de guardia que se deberá implantar para garantizar la verificación de las operaciones del lugar.

Realizar una estabilización de los taludes en las zonas cercanas a la captación, para evitar posibles deslizamientos.

Construir cunetas de coronación recubiertas o protegidas con geomembrana para protección de taludes y evitar la saturación del suelo.

Estabilizar zonas aguas arriba de las estructuras con muros de gaviones, rejillas hincadas y/o barreras (Anexo Perfil Longitudinal), esto para garantizar la estabilidad de la zona.

### **3.5.1 Resultados mecánica de suelos**

Luego del Estudio Estratigráfico del Suelo y en base a los resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio, se establece lo siguiente:

Los Materiales encontrados en los Sondeos, se presentan desordenados en el Plano y en la profundidad.

Los suelos encontrados en el área inspeccionada hacia el área del sondeo 1, representan una capa superficial de aproximadamente 5 metros de material de relleno tipo sedimentos, no aptos para cimentar ninguna clase de estructura importante.

Las capacidades portantes de los suelos de relleno resultan ser poco confiables, ya que el medio de ensayo es errático.

La capacidad portante en el suelo natural es buena y se encuentra a 6 metros de profundidad en el sondeo 1 y a 2 metros en el sondeo 3.

La Humedad Natural de los Suelos tiende a mantenerse con la profundidad.

Los Materiales encontrados en los 3 sondeos presentan variaciones, sin embargo al clasificarlos en su mayoría tenemos SM Y ML, que son arenas limosas y limos arenosos; de resistencia al corte que está entre regular y buena.

Así mismo de acuerdo a la clasificación SUCS son suelos que su permeabilidad en estado compacto está entre semipermeable a impermeable.

### **3.5.2 Recomendaciones Constructivas**

Para la ejecución de obras civiles se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

Sobre el nivel de excavación colóquese 1.00 metro de material de mejoramiento Sub base clase III.

Compáctese este material en tres capas mediante plancha vibro compactadora hasta alcanzar un grado de compactación mínimo del 95% del proctor modificado.

Una vez construida la estructura hasta el nivel natural del terreno, rellénese hacia el perímetro en capas de 20cm.

El relleno debe hacerse con plancha vibro compactadora o equipo similar, de tal manera que se alcance un grado de compactación del 95% del próctor modificado.

El grado de compactación del relleno debe ser chequeado mediante ensayos de densidades de campo, capa a capa hasta llegar al nivel normal.

Una vez que se haya llegado a nivel del cauce, impermeabilice el área de embalse mediante un capa de sub base clase III mejorada con cemento portland y compactada hasta llegar a un grado de compactación del 100% del próctor modificado.

La recomendación anterior evitará erosión y esfuerzos de sub presión en la cimentación de la torre de captación.

## CAPITULO IV

### 4. PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

Si bien los desastres ocurridos son indicadores de riesgos por la recurrencia de los peligros, es muy útil conocer de cerca los factores generadores y las probabilidades de ocurrencia y magnitudes de los mismos de tal manera que sea posible tomar decisiones para prevenir y mitigar las inundaciones y arrastre de sólidos.

El estudio realizado a partir del análisis de las condiciones geológicas, hidráulicas, climatológicas y geotécnicas permite reconocer la existencia de factores y condiciones que facilitan la ocurrencia de fenómenos generadores de riesgos y desastres. Es así que luego de describir los problemas diagnosticados se sugiere realizar medidas de protección, las cuales se enumeran a continuación:

- Cunetas perimetrales en hormigón armado  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- Muro Gravitacional de Viguetas Prefabricadas
- Muro con Enrejado Metálico Tipo Peineta
- Muro Gravitacional de Gaviones Protegidos con Trozas de Madera
- Muro Tipo Espigón
- Cajas rompe velocidades de hormigón armado  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- Losas para estabilización en hormigón armado  $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$
- Cerramiento de malla y cimientado en hormigón ciclópeo
- Descarga fuera de plataforma y recepción de productos
- Postes de iluminación
- Garita
- Puertas de cerramiento de malla
- Estructura metálica
- Cubierta galvalumen prepintada

## **4.1 DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN**

### **4.1.1 Cunetas perimetrales en hormigón armado $f'c = 210$ Kg/cm<sup>2</sup>**

El propósito de estas estructuras es recolectar las aguas lluvias superficiales. Este escenario es el que generalmente se presentará tomando en cuenta que las aguas superficiales acarrearán consigo una serie de productos y/o sedimentos.

Para el efecto se ha realizado el estudio hidrológico, a fin de determinar los caudales generados en cada una de las áreas donde se propone estas estructuras de drenaje.

Es importante destacar que las áreas de aportación corresponden a los sectores perimetrales a la quebrada Caicedo (parte superior) dejando o restando el área que se encuentra en la quebrada propiamente dicha.

Para determinar el caudal de aporte a las cunetas se utiliza el Método Racional, basado en siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{0.36}$$

Donde:

Q = caudal de diseño (l/seg)

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de lluvia (mm/h)

A = superficie (Ha)

En donde:

- Coeficiente de escorrentía.-

Se llama cuenca o vertiente topográfica en una sección de un curso de agua (continuo o torrencial) a la extensión de terreno separada de las vecinas por la línea de separación de aguas, que coincide con la cresta que bordea la cuenca, y cuya característica fundamental es que no atraviesa el curso de agua más que en la sección considerada, el valor que se define para este caso es de 0.15, obtenido del siguiente cuadro:

| NATURALEZA DE LA SUPERFICIE          |                                                          | VALORES DE C <sup>2</sup> |        | VALORES RECOMENDADOS DE C |        |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
|                                      |                                                          | MINIMO                    | MAXIMO | MINIMO                    | MAXIMO |
| CUBIERTAS DE EDIFICIOS.....          |                                                          | 0,70                      | 0,95   | 0,90                      | 1,00   |
| PAVIMENTOS                           | Hormigón o asfalto.....                                  | 0,85                      | 1,00   | 0,90                      | 0,95   |
|                                      | Macadam bituminoso.....                                  | 0,70                      | 0,90   | 0,70                      | 0,90   |
|                                      | Macadam ordinario .....                                  | 0,25                      | 0,60   | 0,35                      | 0,70   |
|                                      | Gravas gruesas.....                                      | 0,30                      | 0,65   | 0,40                      | 0,65   |
|                                      | Adoquines .....                                          | 0,50                      | 0,85   | 0,60                      | 0,85   |
| SUPERFICIE SIN PAVIMENTACIÓN, PATIOS |                                                          | 0,10                      | 0,30   | 0,10                      | 0,30   |
| SUPERFICIES MIXTAS                   | Zona industrial de una ciudad pavimentada.....           | 0,60                      | 0,85   | 0,60                      | 0,85   |
|                                      | Zona residencial en bloques aislados de una ciudad ..... | 0,40                      | 0,60   | 0,50                      | 0,65   |
|                                      | Zonas residenciales unifamiliares en el extrarradio..... | 0,30                      | 0,50   | 0,35                      | 0,55   |
|                                      | Zonas rurales.....                                       | 0,10                      | 0,25   | 0,10                      | 0,25   |
|                                      | Parques.....                                             | 0,05                      | 0,25   | 0,10                      | 0,35   |
| TERRENO GRANULAR                     | Pradera vegetal densa.....                               | 0,05                      | 0,35   | 0,10                      | 0,35   |
|                                      | Vegetación tipo medio.....                               | 0,10                      | 0,50   | 0,10                      | 0,50   |
| TERRENO ARCILLOSO                    | Pradera vegetal densa.....                               | 0,15                      | 0,05   | 0,30                      | 0,55   |
|                                      | Vegetación tipo medio.....                               | 0,30                      | 0,75   | 0,30                      | 0,75   |
| SUPERFICIES EN TIERRA                | Arebas sin vegetación.....                               | 0,01                      | 0,55   | 0,15                      | 0,50   |
|                                      | Arenas con vegetación ligera.....                        | 0,01                      | 0,55   | 0,10                      | 0,40   |
|                                      | Arenas con vegetación densa.....                         | 0,01                      | 0,55   | 0,05                      | 0,30   |
|                                      | Margas o barro sin vegetación.....                       |                           |        | 0,20                      | 0,60   |
|                                      | Margas o barro con vegetación ligera.....                |                           |        | 0,10                      | 0,45   |
|                                      | Margas o barro con vegetación densa.....                 |                           |        | 0,05                      | 0,35   |
|                                      | Gravas sin vegetación.....                               |                           |        | 0,25                      | 0,65   |
|                                      | Gravas con vegetación ligera.....                        |                           |        | 0,15                      | 0,50   |
|                                      | Gravas con vegetación densa.....                         |                           |        | 0,10                      | 0,40   |
|                                      | Arcillas sin vegetación.....                             | 0,01                      | 0,70   | 0,30                      | 0,75   |
|                                      | Arcillas con vegetación ligera.....                      | 0,01                      | 0,70   | 0,20                      | 0,60   |
|                                      | Arcillas con vegetación densa.....                       | 0,01                      | 0,70   | 0,15                      | 0,50   |

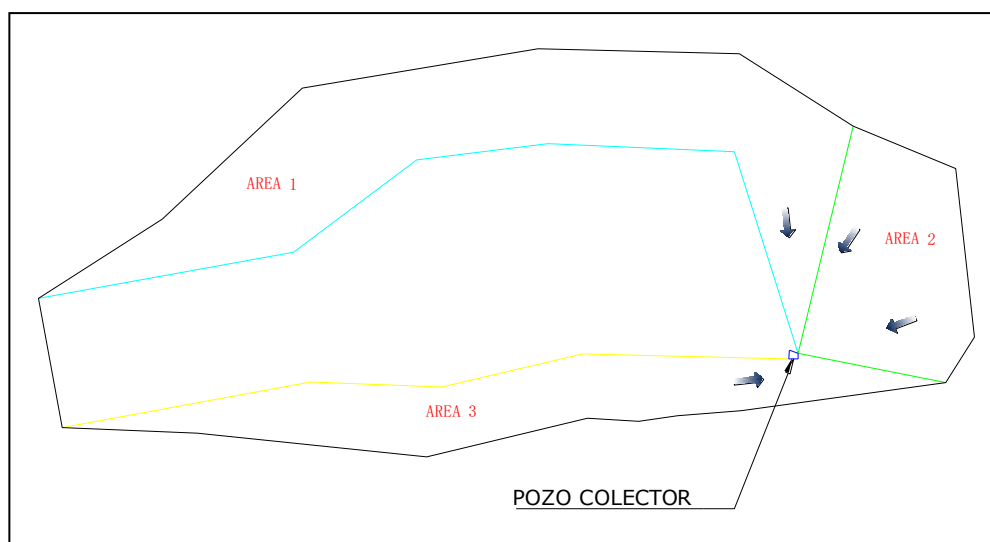
\*Valores según distintos autores

#### Cuadro 15: Coeficiente de Escorrentía

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable y Saneamiento Alcantarillado Pluvial

#### ▪ Superficie.-

La superficie se conoce como al área de aportación delimitada que para nuestro caso asumirá tres áreas de aportación medidas en hectáreas que corresponde a la delimitación registrada por los bordes de la quebrada de conformidad a la siguiente figura.



**Figura 23: Áreas de aportación**  
Fuente: J. Lema

Por lo expuesto se obtiene los siguientes caudales:

| DETERMINACION DE CAUDALES PLUVIALES |      |                   |                      |                  |                  |               |                  |
|-------------------------------------|------|-------------------|----------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|
| Nº                                  | Area | Tiempo            | Período              | Intensidad       | Intensid         | Coefic.       | Caudal           |
|                                     | (Ha) | Concent.<br>(min) | Retorno<br>Tr (años) | diaria<br>(mm/h) | lluvia<br>(mm/h) | Ecurr.<br>"C" | Pluvial<br>(l/s) |
| 1                                   | 1,66 | 12,00             | 10                   | 5,7              | 140,35           | 0,15          | <b>96,9</b>      |
| 2                                   | 0,64 | 12,00             | 10                   | 5,7              | 140,35           | 0,15          | <b>37,3</b>      |
| 3                                   | 0,84 | 12,00             | 10                   | 5,7              | 140,35           | 0,15          | <b>48,9</b>      |

**Cuadro 16: Caudales Pluviales por áreas.**  
Fuente: J. Lema

$C = 0,15$  El área de aporte para el tramo de estudio está conformada por una superficie de gravas con vegetación ligera. (Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable y Saneamiento Alcantarillado Pluvial. Tabla 4.14 valores del coeficiente de escurrimiento p141.2007)

Áreas correspondientes para la determinación de caudales pluviales (Figura 12)

De los caudales obtenidos, para el diseño de las cunetas adoptamos el caudal máximo que en este caso es de 96.9 l/s, debido a que este será

la máxima exigencia que la estructura soporte en una máxima escorrentía.

Para diseñar la cuneta utilizamos el programa HCANALES; Es un programa elaborado por el Ing. Máximo Villón, mediante el cual se puede determinar las características hidráulicas de canales y tuberías en general.

Se requiere de algunos datos previamente para realizar un cálculo instantáneo, su menú es muy amigable y sencillo

Este software proporciona una herramienta fácil de utilizar para la Mecánica de Fluidos para personas que trabajen en el campo del diseño de canales y estructuras hidráulicas.

Entre las características más notables tenemos:

- Permite simplificar los cálculos laboriosos.
- Permite simular el diseño de canales, variando cualquier parámetro hidráulico como: diferentes condiciones de rugosidad, pendiente, forma, y dimensiones del canal.  
Reduce el tiempo de cálculo.
- Permite obtener un diseño óptimo.

El programa permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas, permite calcular el caudal que transporta un canal o cuneta.

Adicionalmente cálculos variados, como pendiente, ancho de solera, coeficiente de rugosidad, diámetros de tuberías, para las secciones transversales artificiales de uso común: triangular, rectangular, trapezoidal, parabólica y circular.

Para efectos de la presente investigación se necesita los siguientes datos:

- Caudal

- Ancho de la solera
- Talud
- Rugosidad que en este caso 0.013 para hormigón

Con los datos ingresados anteriormente se obtienen los siguientes datos hidráulicos para el diseño de las cunetas:

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** QUITO **Proyecto:** QUEBRADA CAICEDO  
**Tramo:** POZO COLECTOR **Revestimiento:** HORMIGON

**Datos:**

|                      |        |                   |
|----------------------|--------|-------------------|
| Caudal (Q):          | 1.6575 | m <sup>3</sup> /s |
| Ancho de solera (b): | 0.400  | m                 |
| Talud (Z):           | 0.400  |                   |
| Rugosidad (n):       | 0.013  |                   |
| Pendiente (S):       | 0.005  | m/m               |

**Resultados:**

|                       |            |                |                         |        |         |
|-----------------------|------------|----------------|-------------------------|--------|---------|
| Tirante normal (y):   | 0.9052     | m              | Perímetro (p):          | 2.3499 | m       |
| Area hidráulica (A):  | 0.6899     | m <sup>2</sup> | Radio hidráulico (R):   | 0.2936 | m       |
| Espejo de agua (T):   | 1.1242     | m              | Velocidad (v):          | 2.4026 | m/s     |
| Número de Froude (F): | 0.9792     |                | Energía específica (E): | 1.1995 | m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo:        | Subcrítico |                |                         |        |         |

**Diagrama de la sección trapezoidal:**

El diagrama muestra una sección trapezoidal con un ancho de solera (b) en la base, una altura (y) del agua, una pendiente (Z) de los taludes, y un talud (1) para cada unidad horizontal (Z). El espejo de agua (T) y el perímetro (p) están indicados.

**Botones de control:** Ejecutar, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal.

**Nota:** Limpia la pantalla para realizar nuevos cálculos

**Figura 24: Imagen del programa H-CANALES**  
**Fuente: J. Lema**

La velocidad mínima permitida, o la velocidad no depositante, es la más baja velocidad que no iniciara sedimentación y no inducirá el crecimiento de plantas acuáticas y musgo. Esta velocidad es muy incierta y su valor exacto no puede ser fácilmente determinado. Para el agua que no lleva carga de limo o para el flujo sin limo, este factor tiene poca significación excepto por su efecto sobre el crecimiento de las plantas. Generalmente hablando, una velocidad media de 1m/s prevendrá un crecimiento de vegetación que disminuirá seriamente la capacidad de arrastre del canal.

Esta cuneta será de hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, con paredes de 12 cm de espesor, con una malla electro soldada de 6 mm de diámetro con espaciamientos de 10 cm entre sí. La misma que se detalla en el Anexo de Planos adjunto a esta investigación.

#### **4.1.2 Alternativas constructivas para protección del pozo colector**

De conformidad a la investigación realizada se plantea varias alternativas las que serán priorizadas de conformidad a los siguientes aspectos:

- Aspecto económico
- Aspectos logístico (facilidad o no de ingreso a la zona)
- Aspecto natural (materiales que pueda proveer la zona)



Unos de los sitios a implementarse las obras de protección

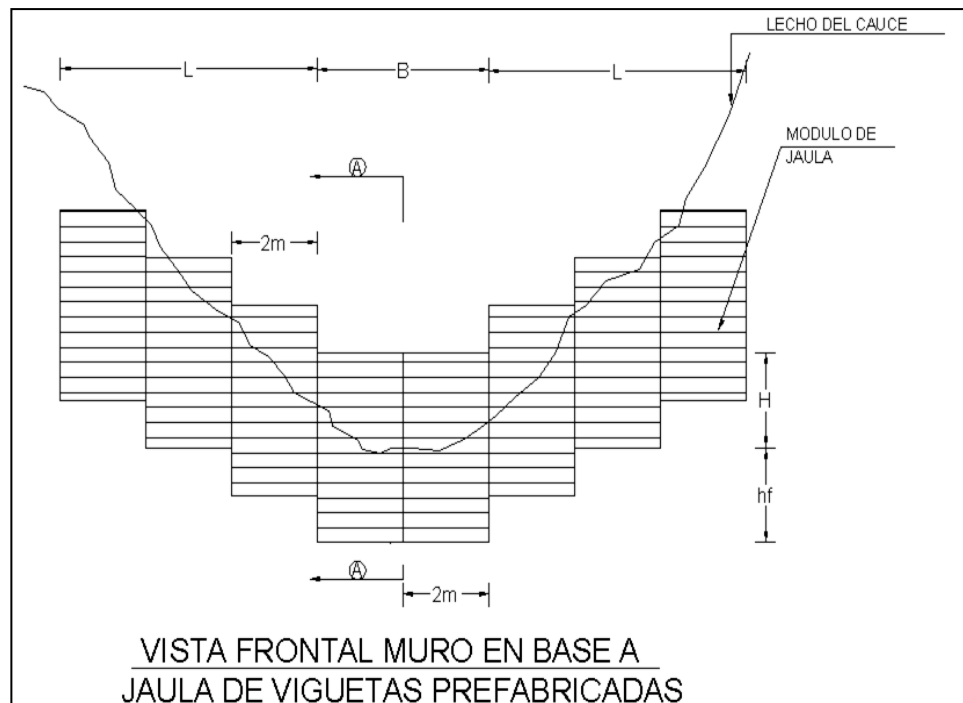
**Foto 42: Ubicación de las obras a implementarse**

**Fuente: EPMAPS**

Es así que se plantean las siguientes alternativas constructivas:

##### **4.1.2.1 Muro Gravitacional de Viguetas Prefabricadas**

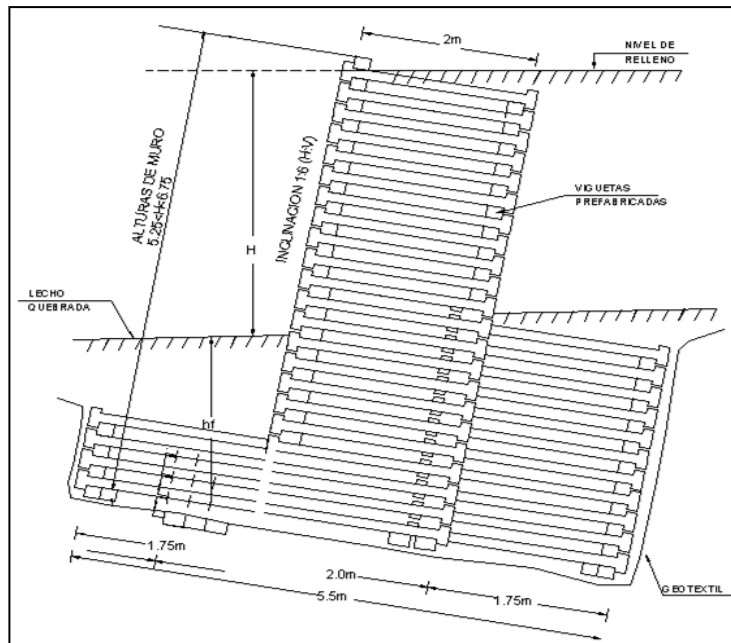
Son aquellos cuyo peso contrarresta el empuje del terreno. Dadas sus grandes dimensiones, prácticamente no sufre esfuerzos flectores, por lo que no suele armarse.



**Figura 25: Muro de Viguetas Prefabricadas**  
Fuente: J. Lema

Los muros prefabricados o de elementos prefabricados, se pueden realizar mediante bloques de hormigón previamente fabricados.

Posteriormente son trasladados a su ubicación final, en donde son instalados o montados, con la posibilidad de incorporar otros elementos prefabricados o ejecutados en la propia obra.

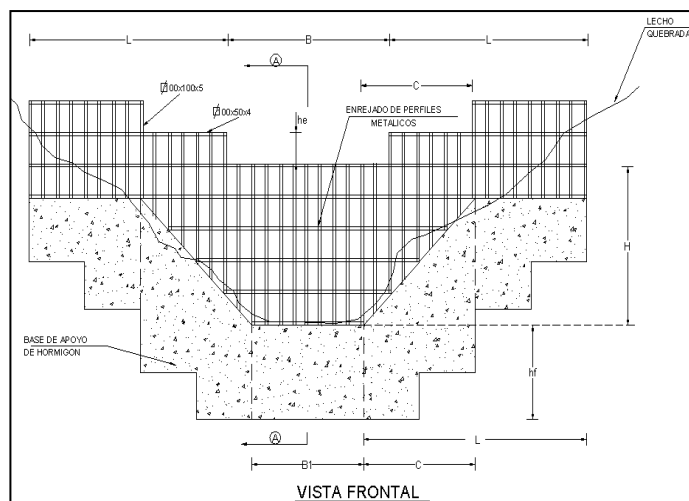


**Figura 26: Muro de Viguetas Prefabricadas Corte A-A**  
Fuente: J. Lema

**Fuente: J. Lema**

#### 4.1.2.2 Muro con Enrejado Metálico Tipo Peineta.-

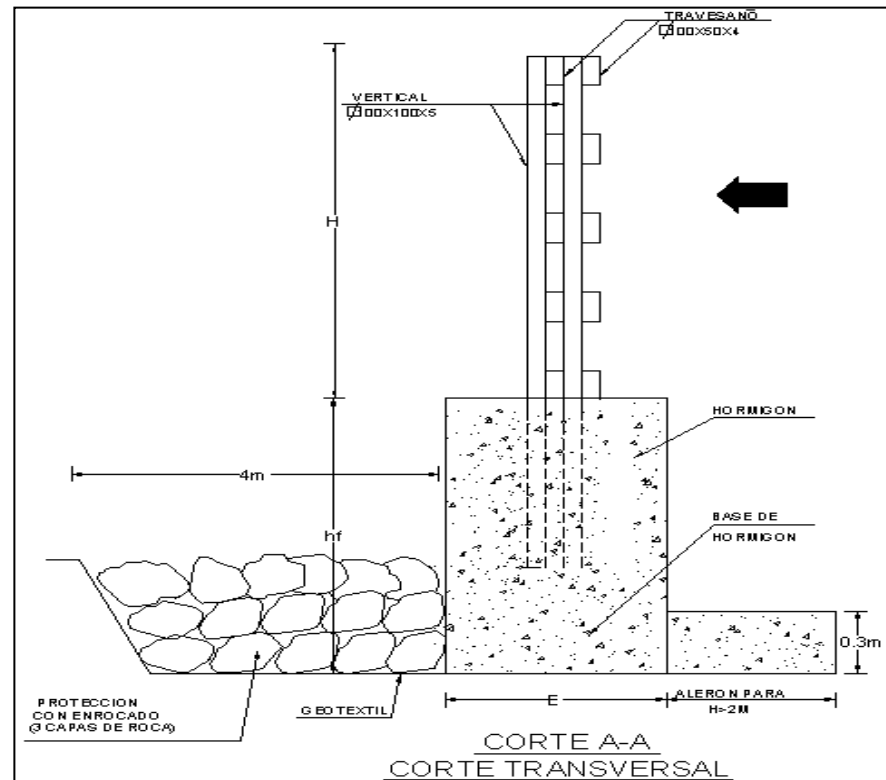
Se arma el conjunto y el poste horizontalmente en terreno para luego levantarlo con una grúa y posicionarlo en el terreno hasta en los lugares más inaccesibles, luego comienza el Hincado controlando su energía de impacto entre 1% y 100%. (Ver anexo de emplazamiento de estructuras).



**Figura 27: Muro con Enrejado Metálico Tipo Peineta de Viguetas Prefabricadas**

**Fuente: J. Lema**

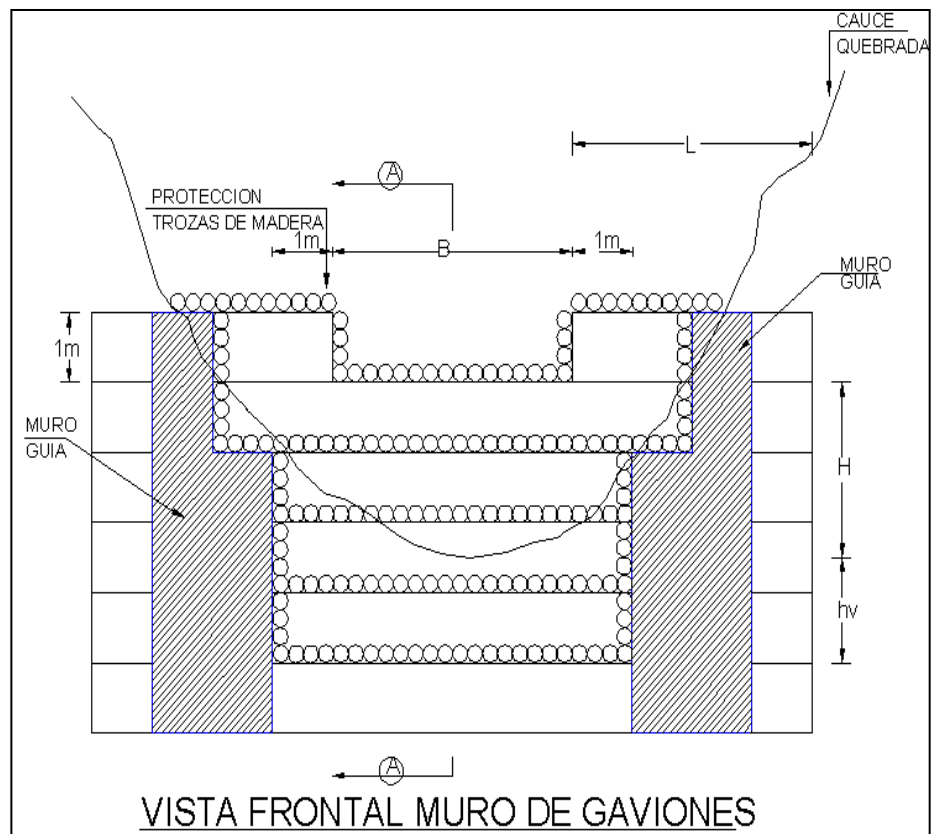
Esta propuesta se define como un elemento estructural de gran esbeltez, que soporta cargas axiales y laterales, y el cual puede sufrir cierta flexión, aún estando rodeado del suelo sobre el cual se hinca o se construye.



**Figura 28: Muro con Enrejado Metálico Tipo Peineta de Viguetas Prefabricadas Corte A-A**

**Fuente: J. Lema**

4.1.2.3 Muro Gravitacional de Gaviones Protegidos con Trozas de Madera.- Corresponden a los muros más antiguos y tradicionales de la ingeniería. También llamados muros de gravedad, se construyen en concreto simple, con un gran espesor, de tal manera que no se produzcan esfuerzos de tensión en ninguna parte de la estructura (también puede construirse con mampostería de piedra); el muro solo cuenta con una gran masa y su resistencia a la compresión para resistir las fuerzas que sobre él actúan. Estos muros deben poseer estabilidad contra el volcamiento, el deslizamiento a lo largo de su base y resistencia a la falla por capacidad portante.

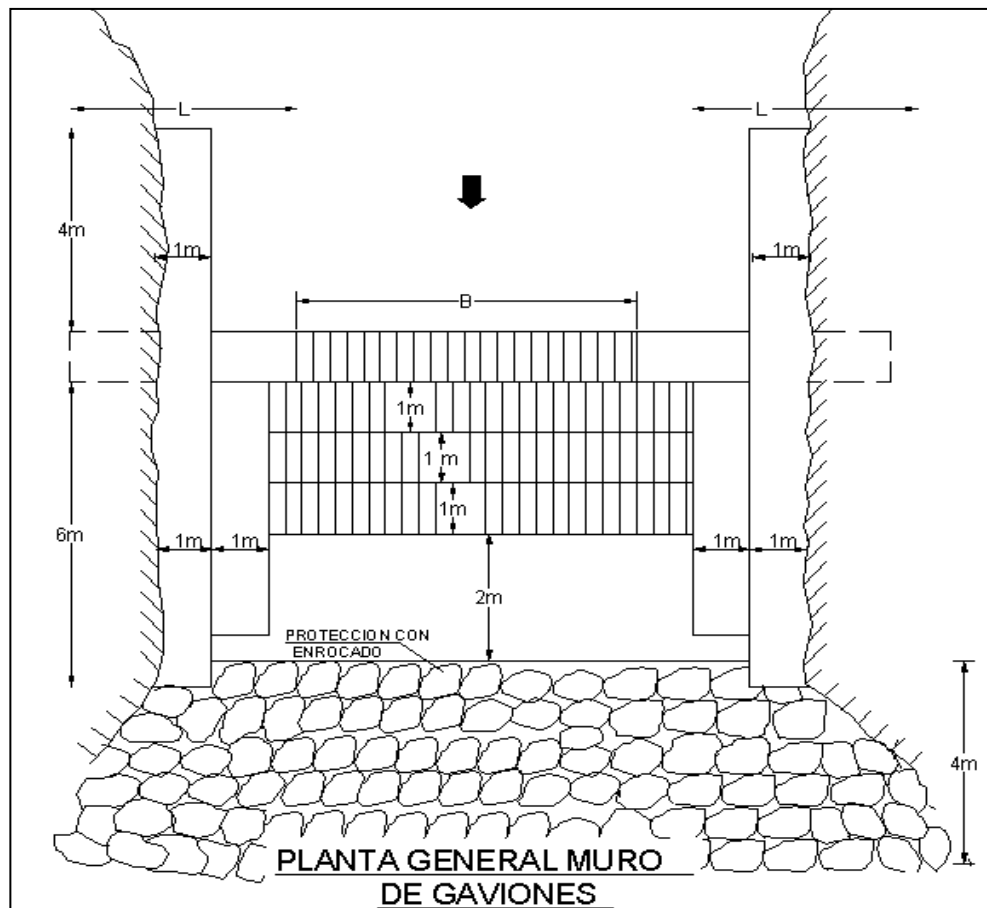


**Figura 29: Muro Vista Frontal**  
**Fuente: J. Lema**

Los muros de gaviones están formados por cajas metálicas, hechas normalmente con mallas de alambre galvanizado, las que luego son apiladas y llenadas con rocas o agregados, que por lo general, tienen dimensiones de 1m x 1m de sección transversal por 2m de largo. (En el Manual de Carreteras de MOP se especifican dimensiones distintas de las mencionadas y que son utilizadas en nuestro país).

Este tipo de estructuras posee muchas ventajas frente a otros sistemas de retención, como por ejemplo, son de fácil construcción, no necesitan fundaciones profundas, no requieren de mano de obra calificada y resultan ser mucho más económicas que las demás soluciones. Estos muros forman estructuras flexibles y monolíticas; son capaces de soportar y absorber grandes asentamientos sin perder su eficiencia y

por su alta permeabilidad permiten el escurrimiento de las aguas de filtración eliminando los efectos de la presión hidrostática. Su desventaja es la facilidad de rotura de la cesta por agentes externos naturales, ya sea por los esfuerzos que producen el material que sostiene o por corrosión de la malla, especialmente si crece vegetación en su interior.



**Figura 30: Muro – Planta**  
Fuente: J. Lema

#### 4.1.2.4 Muro Tipo Espigón.-

El objetivo de las estructuras denominadas espigones, es desviar el flujo de agua provocadas por eventos extraordinarios de lluvia en el sector de la Quebrada Caicedo, de esta forma se consigue alejar de las

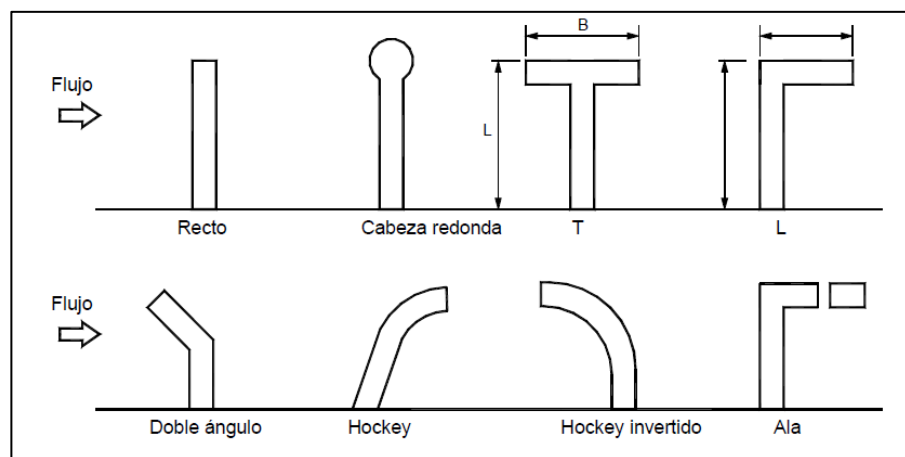
zonas críticas para prevenir la erosión de las orillas de la quebrada y logrando que el cauce no se vea afectado.

Existen espigones permeables e impermeables, en el caso específico de la Quebrada Caicedo, es más conveniente los espigones permeables debido a la alta concentración de sedimentos en el fondo del cauce y al arrastre que se produce desde aguas arriba de varios sólidos, es así que los espigones facilitarán la sedimentación.

▪ Forma de los Espigones:

Los espigones pueden clasificarse de acuerdo a su forma en planta, así:

- Espigón recto formando un ángulo con la orilla y que tiene una cabeza con un sistema de protección contra la socavación en la punta.
- Espigón en forma de T, el ángulo  $\alpha$  es generalmente de 90 grados y el dique en la punta es paralelo a la dirección del flujo.
- Espigón en forma de L, que permite mayor espacio para sedimentación entre espigones y menos socavación en su cabeza y son más efectivos para facilitar la navegación.
- Espigones en forma de jockey que poseen huecos los cuales son más extensivos en área que los en forma de T.



**Figura 31: Forma en planta de espigones**  
**Fuente: Maza J.A.**

- Partes del Espigón.-

Punta del espigón, la cual constituye en punto crítico de socavación debido a la concentración de corrientes y la velocidad del agua en el sitio.

Cresta, la cual puede ascender hacia la orilla o ser horizontal, puede ser sumergida o levantada respecto al nivel de diseño

Anclaje, el cual depende exclusivamente de la realidad del sitio ante la posibilidad de que el agua pase por detrás del espigón.

Cimiento, está constituido por la fundación y es el factor de durabilidad de la estructura, para evitar la destrucción de los espigones se debe profundizar la cimentación cuanto sea posible dentro del fondo de la quebrada.

- Factores para el Diseño.-

El diseño de un grupo de espigones está en función de los siguientes factores:

- Variables del flujo
- Profundidades de aguas mínimas, normales y máximas.
- Cantidad de sedimentos suspendida con relación a los sedimentos de fondo.
- Parámetros del cauce
- Pendiente de la quebrada.
- Características del material de fondo (arcilla, limos, arena, grava, cantos, guijarros).
- Tamaño del canal (ancho y sección).

- Materiales disponibles para construcción

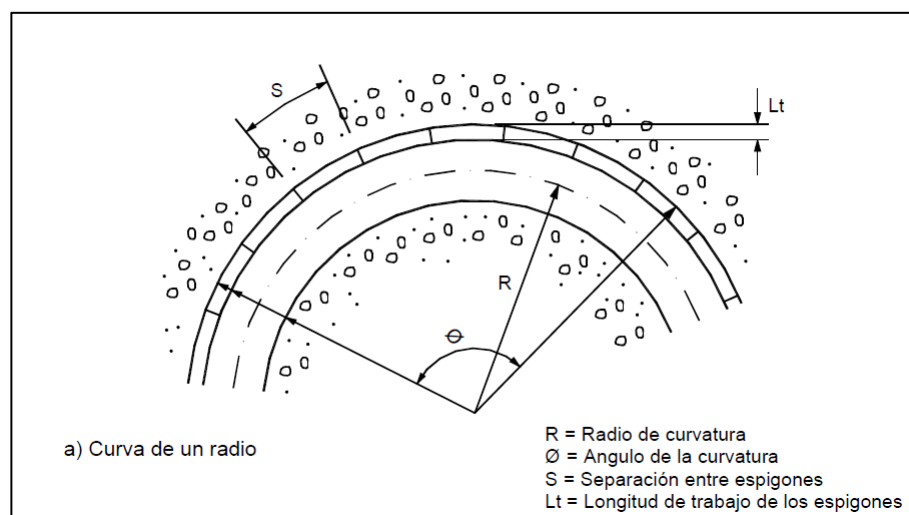
Previamente al diseño debe analizarse que materiales se utilizarán para la construcción, en nuestro caso particular se plantea la construcción de espigones spurf con tubería metálica y malla tipo gavión.

- Ocurriencia de amenazas

Para evitar la destrucción y/o arrastre de los espigones, se debe tomar en cuenta las siguientes características:

- Conocimiento del régimen hidráulico.
- Diseño de una cimentación con la profundidad adecuada.
- Diseño hidráulico del espigón.
- Diseño estructural (resistencia y flexibilidad) del espigón.

El espigón no debe causar un cambio brusco en el direccionamiento de la corriente, sino por el contrario producir un cambio suave. Los espigones son efectivos solamente si el espaciamiento entre ellos no es muy grande.



**Figura 32: Forma en planta de espigones**  
**Fuente: Maza J.A.**

- Elementos a diseñar

Los puntos más importantes a tomar en cuenta al diseñar una protección basado en espigones son:

(Maza, 1975)

- Localización en planta. Radios de las curvas, longitud de las tangentes, ancho estable de la quebrada.

- Longitud de los espigones.
- Elevación de la cresta de los espigones
- Espaciamiento entre espigones.
- Número de espigones
- Angulo de orientación respecto a la orilla.
- Taludes laterales de los espigones.
- Permeabilidad del espigón.
- Características y tamaño de los Materiales para la construcción de los espigones.
- Determinación de las condiciones de flujo alrededor de los espigones.
- Predicción de la socavación en la curva y socavación local en el extremo del espigón.
- Localización en Planta

Al proyectar una obra de defensa ya sea protegiendo la orilla actual, o bien, en una margen nueva (al hacer una rectificación) se requiere trazar en planta el eje del cauce y en las orillas dibujar una línea paralela al eje a la cual llegarán los extremos de los espigones. La longitud de cada espigón, estará dada por la distancia de la orilla real a esa línea. La separación entre las nuevas orillas, es decir el ancho B, estará dado por el estudio de estabilidad de la corriente, el cual tomará en cuenta si el tramo será navegable, el cambio de pendiente si se rectifica, etc.

Cuando se trata de una rectificación en cauces formados por arenas y limos, conviene dentro de lo posible, que los radios de las curvas nuevas, medidos hasta el eje del cauce tengan la longitud R siguiente:

$$2,5 B < R < 8B$$

Donde:

R = Radio de Curva

B = Ancho de la quebrada

Al respetar los radios anteriores, la defensa que se haga sobre la base de espigones, trabajará eficientemente. Si los radios de curvatura son menores, la separación de los espigones disminuye y económicamente es preferible construir una defensa marginal apoyada en la orilla.

Como en el presente proyecto se desea proteger las orillas actuales de la quebrada, y no se desea hacer trabajos de rectificación, la línea que une los extremos de los espigones deberá trazarse lo más uniformemente posible, aunque no necesariamente tendrá un radio único.

Los proyectos de este tipo son los más comunes en la primera etapa de desarrollo de una región ya que se trata de fijar las orillas al menor costo posible. La selección de la línea que une los extremos de los espigones incluye en la longitud de los mismos y ésta junto con la orientación que se les dé, determina la separación, entre ellos. Por lo tanto es indispensable estudiar varias localizaciones en esa línea.

Al protegerse una sola curva o un tramo completo, los primeros tres espigones de agua arriba deben tener longitud variable. El primero deberá ser de la menor longitud posible (igual al tirante), y los otros aumentar uniformemente, de tal manera que el cuarto tenga ya la longitud de proyecto. La pendiente longitudinal de la corona debe ser uniforme en todos ellos y por lo tanto la misma de los demás espigones.

Por último conviene aclarar que aunque la línea teórica que une los extremos de los espigones pueda tener diversos radios de curvatura, nunca deberá tener un tramo en que su radio de curvatura se mida hacia la orilla exterior. Todos los radios de esa línea se deberán medir hacia el mismo lado; es decir, hacia el interior de la curva.

- Separación entre Espigones.-

La separación entre espigones se mide en la orilla entre los puntos de arranque de cada uno y depende primordialmente de la longitud del espigón de aguas arriba de su orientación y de la localización de la orilla.

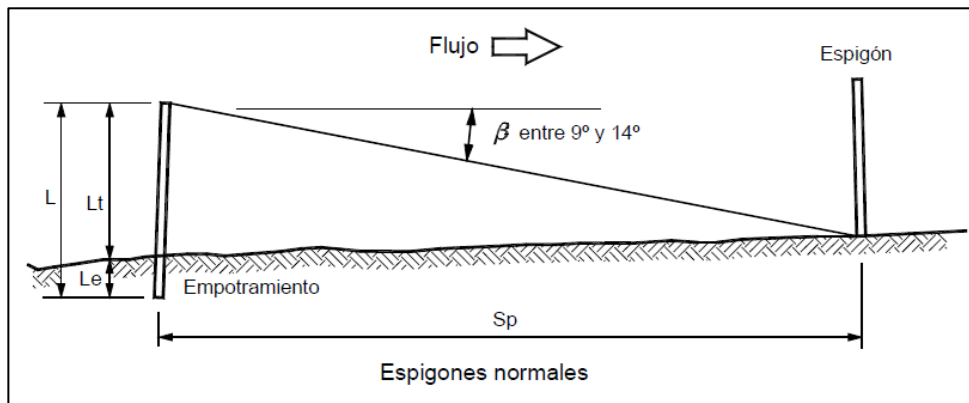
Para calcularla se toma en cuenta la inclinación del espigón respectivo a la orilla de aguas abajo y la ampliación teórica de la corriente al pasar por el extremo del espigón. El ángulo de esa desviación es de  $9^{\circ}$  a  $14^{\circ}$ .

La longitud de anclaje debe ser mayor cuando las orillas son de poca altura, con el objeto de evitar que la corriente pueda desviarse por detrás de los espigones. Generalmente, se construye primero el espigón localizado más aguas arriba y luego los espigones subsiguientes hacia aguas abajo. Esto se hace con el objetivo de poder construir los espigones en aguas bajas y calmadas.

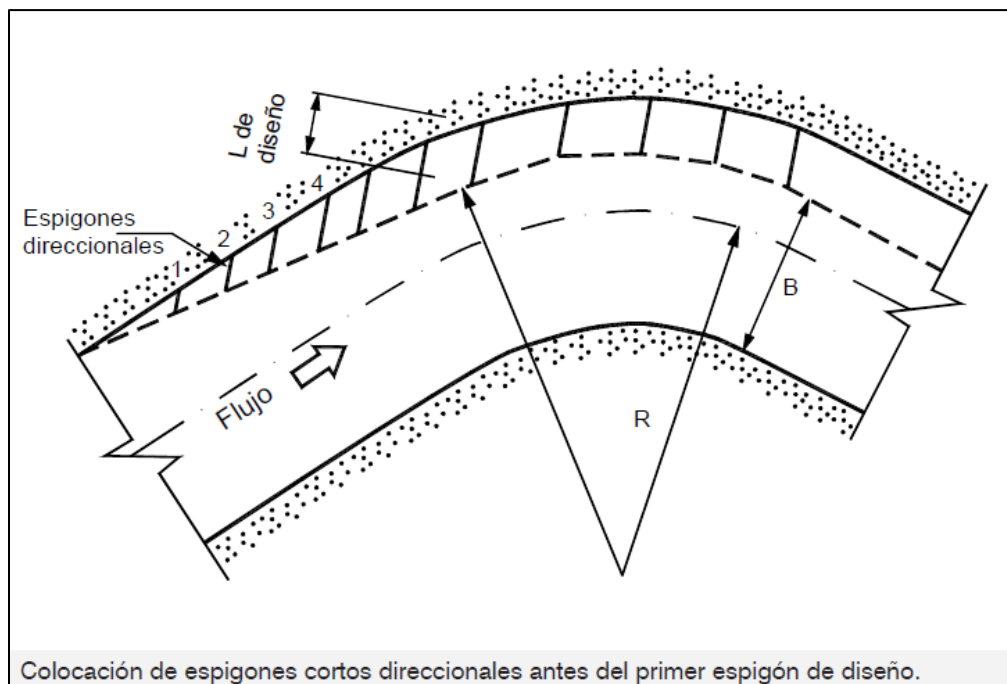
Los espigones se construyen en grupos mínimo de cuatro espigones seguidos (Derrick, 1998). Una de las decisiones más importante del diseño es la separación entre espigones individuales. Los espigones deben colocarse a una distancia tal que la acción conjunta de ellos pueda separar el eje de flujo de la orilla, se debiliten las corrientes entre espigones y se promueva entonces, sedimentación en los espacios entre ellos (Przedwojski 1995). Si los espigones están demasiado separados, las corrientes pueden atacar la orilla que se pretende proteger entre dos espigones, generándose erosión o produciéndose meanderización de la corriente. La construcción de espigones muy cerca unos de los otros produce un sistema menos eficiente y más costoso.

Generalmente la distancia entre espigones está relacionada con el ancho de quebrada la longitud del espigón, la velocidad del flujo, el ángulo  $\alpha$  y la curvatura de la orilla.

Generalmente los espigones permeables pueden ser espaciados a mayores distancias que los impermeables.



**Figura 33: Separación de espigones**  
Fuente: Maza J.A.



**Figura 34: Colocación de espigones**  
Fuente: Maza J.A.

Las recomendaciones de Maza Álvarez (1989) son las siguientes:

- Separación en tramos rectos:

Cuando se requieran construir espigones en tramos rectos y sin empotramiento en la margen, la separación deberá ser la que se indica en la siguiente tabla.

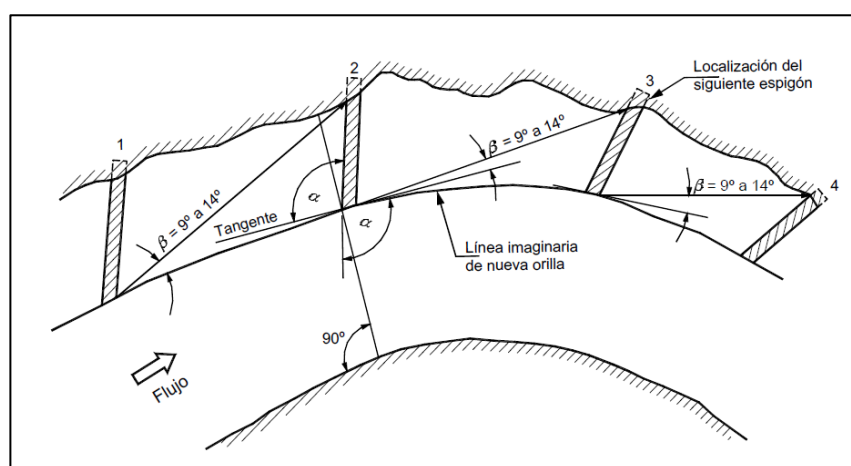
| Ángulo de Orientación | Separación Sp                   |
|-----------------------|---------------------------------|
| 90° a 70°             | (5.1 a 6.3) Lt, (5.2 a 6.4) Lto |
| 60°                   | (5 a 6) Lt, (5.7 a 6.9) Lto     |

**Cuadro 17: Separación de espigones en tramos rectos**  
Fuente: Maza J.A.

- Separación en curvas

Para la localización de espigones en curva Maza (1989) recomienda suponer un ángulo  $\beta$  de 9° a 14° de desviación de la corriente para la colocación del siguiente espigón. La separación  $S_p$ , entre espigones colocados en curva, conviene controlarla gráficamente como se indica en la figura 12.8.

Si la curva es regular y tiene un único radio de curvatura la separación que se ha probado con buenos resultados es  $S_p = (2.5 \text{ a } 4) \text{ Lt}$ ; para radios de curvatura mayores de cuatro B se han usado separaciones de 4 Lt. Si la curva es irregular o con un radio de curvatura pequeña la separación de espigones necesariamente debe encontrarse en forma gráfica.



**Figura 35: Separación de espigones en tramos curvos**  
Fuente: Maza J.A.

| $\alpha$ | Lt       | Sp teórico en función<br>Lto | Sp teórico en función<br>Lt | Sp recomendable |              |
|----------|----------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------|
|          |          |                              |                             | Empotrado       | No empotrado |
| 60       | 1.15 Lto | 5.7 - 6.9                    | 5.0 - 6.0                   | 6 Lt            | 5 Lt         |
| 70       | 1.06 Lto | 5.4 - 6.6                    | 5.1 - 6.3                   | 6.3 Lt          | 5Lt          |
| 90       | Lto      | 5.1 - 6.3                    | 5.1 - 6.3                   | 6.3 Lt          | 5 Lt         |

**Cuadro 18: Separación de espigones en tramos rectos**

**Fuente: Maza J.A.**

- Separación de espigones criterio Maza – Álvarez 1989

Espigones ortogonales al flujo (ángulo  $\alpha = 90^\circ$ )

Un espigón a 90 grados protege en forma similar los lados aguas abajo y arriba del espigón. Estos espigones son más cortos pero poseen menores ventajas de sedimentación que los inclinados hacia aguas arriba, sin embargo, son utilizados con frecuencia en los casos en los cuales se requiere controlar un canal navegable.

- Altura de los espigones

Los espigones pueden ser sumergidos o no sumergidos. Aunque los espigones sumergidos presentan una mayor socavación aguas abajo del espigón, la socavación en la punta es menor y se adaptan mejor a las condiciones de inundaciones. Sin embargo, algunos autores recomiendan que los espigones permeables o sólidos trabajen en condiciones no sumergidas para disminuir la socavación lateral la cual puede destruir los espigones (Przedwojski 1995). Los espigones permeables funcionan mejor sumergidos porque crean alteraciones menores al flujo.

Algunos investigadores recomiendan que no se permita que el flujo pase por encima del espigón para evitar socavación lateral del mismo. Para propósitos de navegación en Holanda la altura de los espigones se construye entre 0.3 y 1.3 metros por encima del valor medio de agua anual.

Maza (1989) recomienda pendientes longitudinales de la cresta entre 10% y 25%, sin embargo, otros autores difieren de su apreciación y prefieren espigones con muy poca pendiente en la cresta.

La utilización de espigones de baja altura disminuye la sedimentación pero forman unas áreas de aguas bajas entre espigones que facilitan la vida acuática.

- Cabeza de los espigones

Debido a la formación de huecos de socavación junto a la cabeza de los espigones tanto en las riberas cóncavas como convexas, las cabezas deben ser lo suficientemente resistentes y tener pendientes muy suaves para disminuir la socavación. Muchos autores prefieren la cabeza en forma de punta como un sistema de disminuir la amenaza de socavación.

- Espigones con punta en L

La construcción de una cabeza en la punta del espigón formando una L restringe las corrientes sedimentadoras de moverse hacia el área entre espigones e inducen socavación profunda a lo largo de la cara de la L, paralela al flujo: sin embargo la socavación es menor que en los diques con punta.

Estudios biológicos realizados en los Estados Unidos (Shields, 1983) revelan que en las aguas bajas detrás de las eles se forman comunidades acuáticas muy diversas.

La socavación local en la punta de los espigones es de importancia durante su construcción, cuando se utilizan elementos que están sueltos entre sí (bolsas, piedras, gaviones, etc.). La socavación local en el extremo del espigón deja de tener importancia si el espigón se construye con una fuerte pendiente longitudinal.

- Longitud de los espigones

La longitud total de un espigón se divide en longitud de anclaje o empotramiento y longitud del trabajo. La primera es la que está dentro de la margen y la segunda la que está dentro de la corriente.

La longitud de los espigones se determina con base a buen juicio de ingeniería, basándose principalmente en el estudio de la morfología de la corriente, características del thalweg y comportamiento de la corriente (Derrick 1998). Cuando la curva es uniforme (rectificación) todos los espigones tienen la misma longitud, ángulo de orientación y por lo tanto la separación entre ellos es la misma

La longitud de trabajo, medida sobre la corona, se selecciona independientemente y se ha comprobado que conviene que esté dentro de los límites siguientes:

$$H < L < B/4$$

Donde:

B = ancho medio del cauce

h = tirante medio; ambos para el gasto dominante.

L = longitud efectiva del espigón.

Los espigones se pueden construir en ocasiones sin tener longitud de anclaje; es decir, sin que penetren dentro de la margen, apoyados únicamente a la orilla.

La máxima longitud de empotramiento es igual a L/4.

4.1.2.5 Cajas rompe velocidades de hormigón armado  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>.-

La caja rompe velocidades es una estructura que sirve para bajar la velocidad y permitir el ingreso del agua hacia los desarenadores ubicados en los cambios de dirección y al ingreso del pozo colector a una velocidad mínima establecida en la norma API 421.

Para el diseño de esta estructura se ha acudido a las normas españolas y europeas DIN 1999 UNE-EN 858-1 y UNE-EN 858-2 diseño de tanques desarenadores.

La caja es de hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup> con paredes de 20 cm de espesor y una losa de piso de 20 cm con varilla de 12 mm, esto con la finalidad de evitar la socavación de las paredes debido a la alta velocidad del agua que ingresa a esta caja.

El tanque se lo ha diseñado para un caudal máximo de 96.9 l/s de conformidad a los cálculos anteriormente realizados y un tiempo de retención de 35 segundos considerando que es una estructura de paso con lo cual se obtiene un volumen neto de 1985 litros por lo tanto las dimensiones internas de la caja serán de 1.2 x 1.2 x 1.4 m. los detalles de estas cajas están en el anexo de planos y las especificaciones técnicas.

4.1.2.6 Losas para estabilización en hormigón armado  $f'c = 240$  Kg/cm<sup>2</sup>.-

Se ha previsto la necesidad de construir losas en las áreas de estabilización aguas arriba y abajo esto es donde se soportaran los muros.

Previo a la ejecución de estas obras se deberá realizar un mejoramiento tipo sub base con un espesor no menor de 0.50 cm., más un geotextil tejido el que cumplirá las funciones de material filtrante sin dar paso a una contaminación de la base por lodos y sedimentos.

La situación más desfavorable para su implementación apunta al peso propio del muro a implementarse por lo que de conformidad a la opción escogida se deberá calcular el peso propio del muro a fin de aplicarse en el diseño de la losa las dimensiones correctas.

Peso del muro = 10 - 15 Ton/m<sup>2</sup> (según muro definido)

Esfuerzo Admisible Suelo = 2.0 Kg/cm<sup>2</sup> = 20.0 Ton/ m<sup>2</sup> (Anexo informe de Suelos)

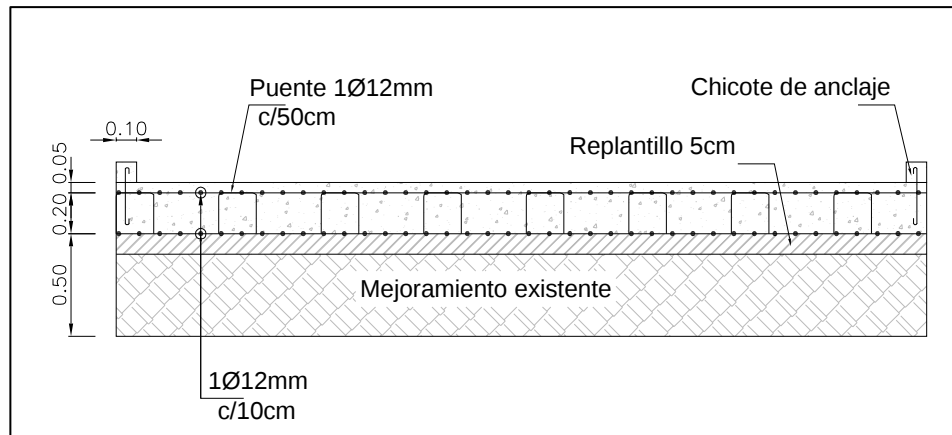
Comparando la posible carga del muro con el esfuerzo admisible del suelo concluimos que tenemos las condiciones apropiadas para la implementación de estas estructuras.

La estructura ha sido diseñada con doble malla electro soldada de 15 x 15 cm y varilla de 12 mm de diámetro, un espesor de losa de 25 cm de conformidad a la Normas ACI – 318S – 08 numeral 9.5.2 – “Elementos reforzados en una dirección (no pre esforzados) la que señala que las alturas o espesores mínimos establecidos en la tabla 9.5(a) debe aplicarse a los elementos en una sola dirección que no soporten o estén ligados a particiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes a menos que el cálculo de las deflexiones indique que se puede utilizar un espesor menor sin causar efectos adversos”.

|                                         | Espesor mínimo, <i>h</i>                                                                                                              |                         |                          |                   |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
|                                         | Simplemente apoyados                                                                                                                  | Con un Extremo continuo | Ambos Extremos continuos | En voladizo       |
| Elementos                               | Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. |                         |                          |                   |
| Losas macizas en una dirección          | $\frac{\ell}{20}$                                                                                                                     | $\frac{\ell}{24}$       | $\frac{\ell}{28}$        | $\frac{\ell}{10}$ |
| Vigas o losas nervadas en una dirección | $\frac{\ell}{16}$                                                                                                                     | $\frac{\ell}{18.5}$     | $\frac{\ell}{21}$        | $\frac{\ell}{8}$  |

**Cuadro 19: Alturas o espesores mínimos de vigas no presforzadas o losas reforzadas en una dirección.**

**Fuente: ACI Normas**



**Figura 36: Armadura de losa**  
**Fuente: J. Lema**

#### 4.1.2.7 Cerramiento de malla y cimiento en hormigón ciclópeo.-

Los cerramientos son superficies que delimitan el área de las obras hidráulicas al interior de la quebrada y acondicionan los espacios de trabajo para las operaciones de mantenimiento.

Se ha propuesto un cerramiento con una malla de alambre galvanizado liviano de 50 gr/m<sup>2</sup> en forma de celdas o eslabones entrelazados cuya especificación es 50 / 10 / 10 / 250:

50 Espaciado del eslabón (mm)

10 Calibre del alambre galvanizado

10 Longitud del panel (m) (variable)

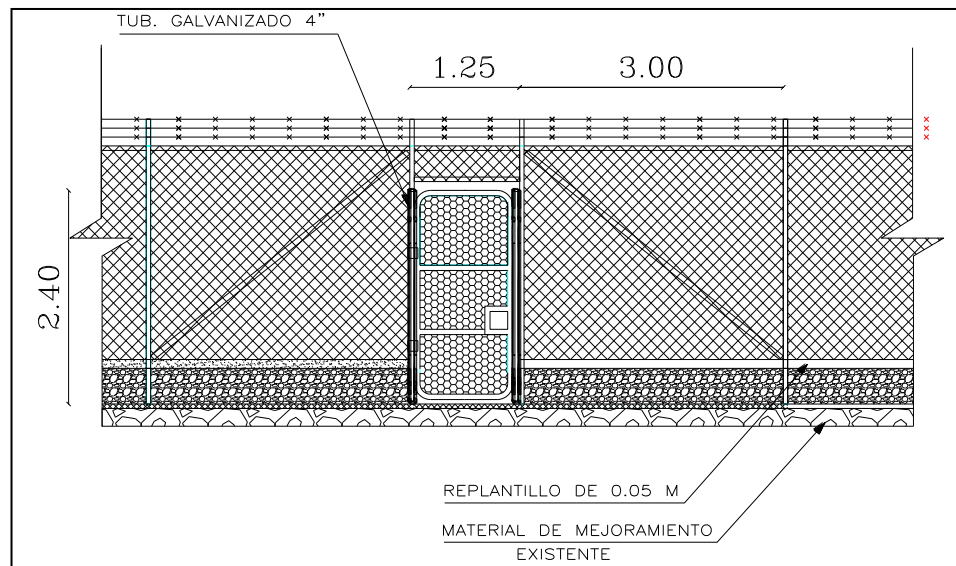
250 Ancho del panel (cm)

El cerramiento se conformará por postes en HG de 2" de diámetro, 3 mm de espesor y una longitud de tres metros los que se dispondrán cada tres metros fundidos en un cimiento de hormigón ciclópeo de 180 Kg/cm<sup>2</sup> de 40 x 40 cm cada tres metros de distancia.

La malla será tensada y sujeta a los postes de hierro galvanizado. Adicionalmente se colocará un chaflán a 45 grados con un hormigón de

140 Kg/cm<sup>2</sup> a lo largo de todo el cimiento con la finalidad de dar mayor sujeción a la malla.

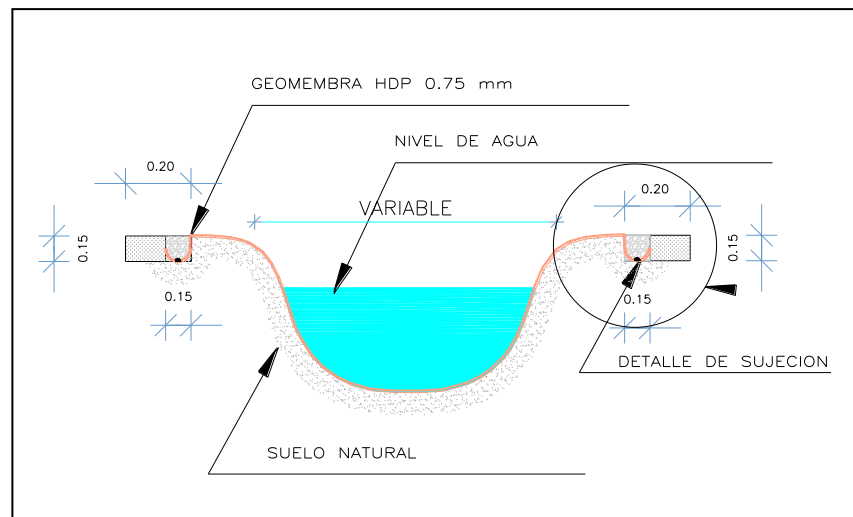
Finalmente en la parte superior de la malla se instalarán tres filas de alambre de púas sujetadas con grapas o ganchos soldados a los tubos de HG. Contravientos serán colocados en todos los cambios de dirección y en tramos largos cada 24 metros.



**Figura 37: Cerramiento**  
**Fuente: J. Lema**

#### 4.1.2.8 Descarga fuera de plataforma y recepción de productos

De las zonas analizadas no se ubican sitios de altas depresiones por lo que es necesario el diseño de disipadores de energía en hormigón armado. Sin embargo en zonas donde se presentan pendientes entre 5 – 10% se ha previsto una disposición de material tipo sub base tipo 3 a fin de proteger el pie de la descarga y evitar problemas de erosión.



**Figura 38: Descarga**  
**Fuente: J. Lema**

Se recomienda proteger las descargas, canales externos y cunetas de coronación con una geomembrana HDPE de 0.75 mm de espesor, esto donde se encuentren pendientes bajas, libre de riesgos de erosión. Donde existan pendientes pronunciadas se construirá en suelo natural una disposición tipo terrazas protegidas con el mismo material que las descargas normales de pendiente moderada.

#### 4.1.2.9 Postes de iluminación.-

Las luminarias (generalmente colocadas simétricamente) que proporcionan un nivel de iluminación razonablemente uniforme a toda una zona constituyen un sistema de alumbrado general. Un buen sistema de alumbrado general hace posible el cambio de desplazamiento de la maquinaria sin necesidad de alterar el alumbrado, y así mismo permiten la utilización total de la superficie de suelo.

Se definen en una unidad estructurada por un poste de hierro fundido de 4" de diámetro con un lámpara de 200 – 300 watts.

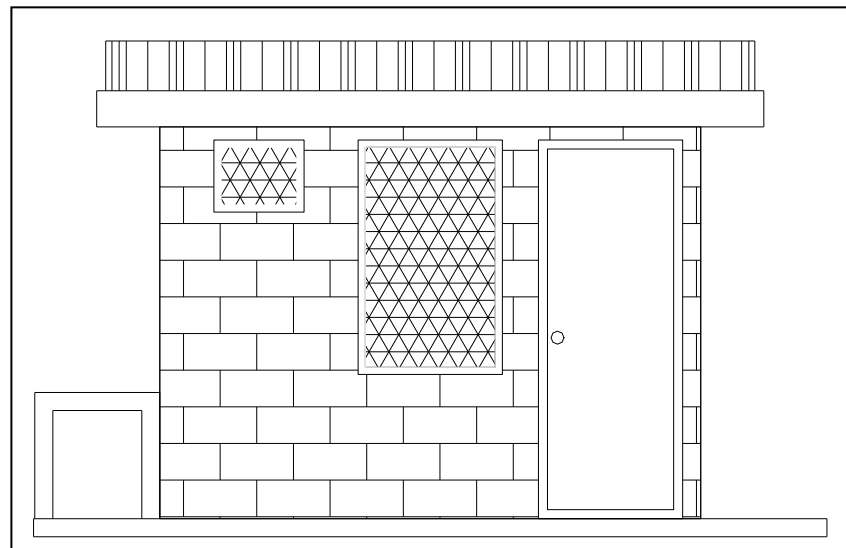
Irán dispuestas en sitios específicos generalmente definidas en zonas de operaciones tales como Químicos, Generadores, Bombas, etc.

Las conexiones del tendido eléctrico irán entre la cuneta perimetral y el cerramiento, esto con la finalidad de evitar cualquier carga que pueda sufrir esta conducción.

#### 4.1.2.10 Garita.-

El garantizar un monitoreo de estas estructuras ante posibles nuevos eventos (aluviones), debe implementar un tiempo de respuesta óptimo para lo cual se hace necesario tener personal de turno durante las 24 horas del día a fin de recibir un reporte y mantener estadísticas reales de la situación diaria de la quebrada.

Surge la necesidad de contar con una estructura que cubra las necesidades de seguridad y que no se contraponga a las labores eventuales que amerita el mantenimiento de una plataforma por lo que se sugiere mediante un diseño estándar, la implementación de una estructura que garantice su permanencia y vida útil según las condiciones de la zona.



**Figura 39: Garita**  
**Fuente: J. Lema**

#### 4.1.2.11 Puertas de cerramiento de malla.-

La puerta de malla se ubicará al ingreso de la quebrada y es de 6m de ancho por 2.5 m de alto está formada con tubo de HG de 4" los parantes y de 2" las divisiones como consta en los planos y en las especificaciones técnicas.

Cada cerramiento en su parte posterior asequible tendrá una puerta peatonal de 1.25 m de ancho y 2.4 m de alto la que servirá de emergencia para salida del personal que labore al interior de la quebrada.

#### 4.1.2.12 Estructura metálica.-

La estructura de las facilidades está formada por: Columnas, vigas, correas las cuales son perfiles metálicos sobre el cual se apoya la cubierta. La estructura será sujeta a la losa mediante una platina empernada o soldada.

#### 4.1.2.13 Cubierta galvalumen prepintado.-

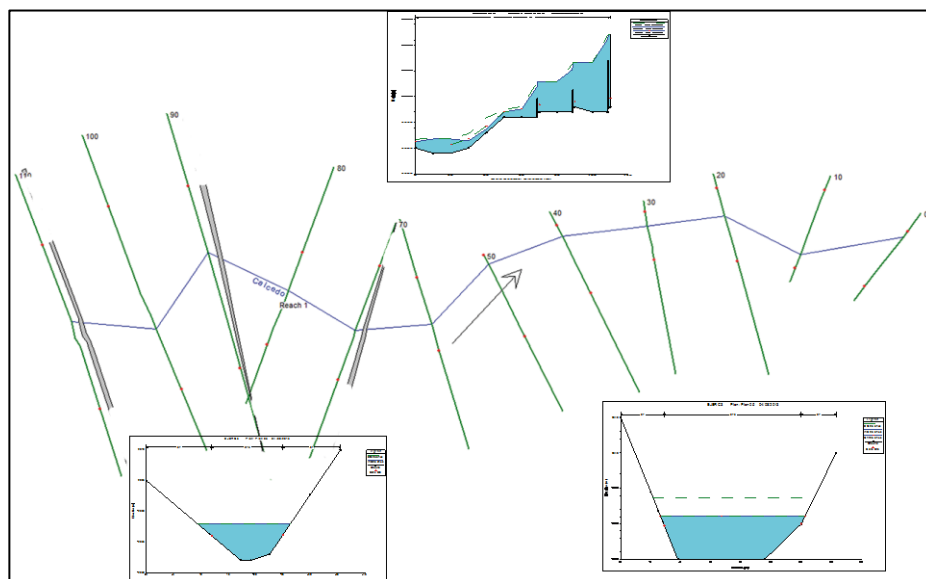
La cubierta sirve para proteger las diferentes facilidades (Químicos, Transformadores y Variadores y Generadores) existentes en las plataformas.

La cubierta de galvalumen tiene un espesor de 0.45 milímetros, la misma que será fijada a la estructura mediante tornillos tipo ganchos.

### **4.1.3 Modelo hidráulico con muros de protección**

De acuerdo a la propuesta de los muros de protección, necesarios para controlar el proceso de socavación lateral y de fondo del drenaje. El programa Hec-Ras nos permite observar que mediante la construcción de estos muros también denominados obras transversales para corrección de aluviones, se puede obtener la estabilización de drenajes

y retención de sedimentos, evitando el desborde en la parte baja de la quebrada.



**Figura 40: Modelo incluido muros de protección**  
**Fuente: J. Lema**

En base a teorías hidrológicas e hidráulicas así como manuales de usuario del programa HECRAS versión 4.0 para flujo permanente, se genera el modelo computacional que se apega a la realidad física e hidrológica de la Quebrada Caicedo.

Hec ras para su aplicación requiere el ingreso de información que se describe a continuación:

Geometría de tramo en la cual se requiere de sección transversal (forma, longitud hasta cambio de sección), coeficiente de Manning, ubicación de bordes de la sección.

Estructuras, en este caso muros de protección, los datos requeridos son la longitud, cota, tipo de estructura, coeficiente de contracción

Condiciones de borde, los datos requeridos son curva de nivel, pendientes, hidrograma

Una vez con estos datos, el programa requiere de ajustes o condiciones propias para el sitio para luego realizar la modelación con el o los escenarios solicitados, el programa tiene la capacidad de realizar una visualización de cada escenario y su comportamiento para el análisis técnico de las solicitudes

En corrientes naturales y en este caso de drenaje casi nunca se experimenta una condición estricta de flujo uniforme. A pesar de esta realidad, en la presente modelación se supone está condición de flujo uniforme puesto que los resultados son aproximados y generales y ofrecen una solución relativamente simple y satisfactoria para mostrar el comportamiento del cauce con la implantación de muros como obras de protección y que eviten los daños aguas abajo de la quebrada.

Como se observa en la figura 23, el perfil así como las secciones indican que en donde se produjo el desborde de agua y que causó los diferentes daños (Figura 11) anteriormente ya mencionados ya no existe, validándose la construcción de los muros como estructuras que evitan la concentración de sedimentos y la descarga pico de una creciente por causa de un aluvión y de esta manera facilitar el drenaje en la Quebrada Caicedo.

#### **4.2 DATOS INFORMATIVOS DE LA EMPRESA**

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento es la empresa encargada de proveer servicios de agua potable y saneamiento, fue creada hace cincuenta y dos años, tiempo en el cual ha extendido su área de cobertura tanto en agua potable como en alcantarillado, la sección encargada de velar por el buen funcionamiento de la infraestructura es la Gerencia de Operaciones, Con su Departamento de Alcantarillado, la cual para efectivizar su gestión, se divide en cuatro unidades operativas, norte, centro, sur y pluviales, siendo ésta última la facultada para el mantenimiento de

interceptores y lugares de captación en el Distrito Metropolitano de Quito ciudad y parroquias.

#### **4.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

El objetivo fundamental de la propuesta, es la entrega del Diseño de obras que posean la capacidad de proteger y reducir el riesgo al que están expuestas las obras principales de captación en la Quebrada Caicedo.

#### **4.4 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

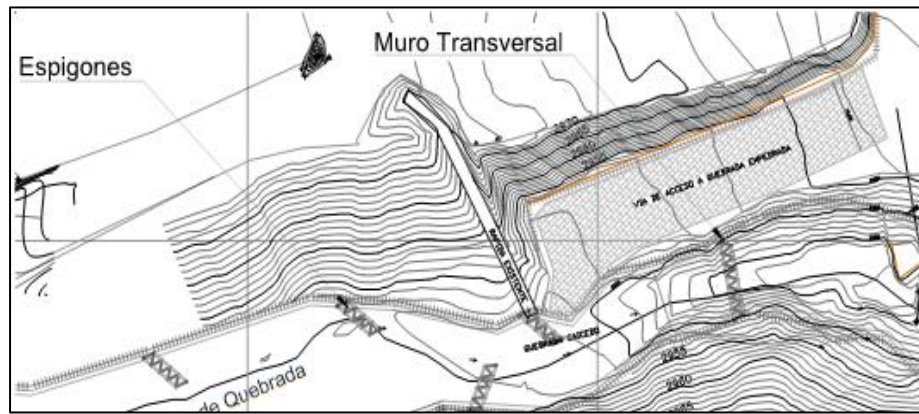
Las obras de protección indicadas en el numeral anterior garantizan la eliminación de un problema constante en el sistema de drenaje del área de estudio y sirve de apoyo para la Unidad Operativa Pluvial de la EPMAPS, para afinar una línea base del proyecto que garantice la estabilidad de las obras a proteger.

Además avala seguridad para la población que está asentada en el sector ya que se han planteado diseños acordes a las características del lugar lo cual garantizara la funcionalidad y durabilidad de las obras de drenaje existentes.

#### **4.5 MODELO OPERATIVO DE EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA**

La implantación de las estructuras de esta plataforma se presenta en el Anexo Planos, donde se puede observar la ubicación exacta de cada una con facilidad, así como las obras civiles de control propuestas.

Sin embargo para una mejor comprensión sobre la propuesta para las obras de protección al interior de la quebrada Caicedo se presenta el siguiente grafico en el cual se puede apreciar con una mejor perspectiva lo planteado a lo largo del presente estudio.



**Figura 41: Barreras o muros de Control Aluvional Corte Transversal Al Eje De La Quebrada.**  
**Fuente: J. Lema**

Podemos apreciar la disposición de los lodos en cada una de las barreras. Este flujo tiende a perder energía con forme van chocando contra los muros los que se convierten en estructuras de embalse.

De acuerdo a los datos del estudio de suelos y a la modelación hidráulica con el programa HEC RAS, se debe realizar un diseño de muros, debido a que la cota de cimentación se encuentra a 6,00 metros de profundidad, es recomendable la construcción de muros con características tales que mantengan estabilidad y a la vez sean filtrantes, razón por la cual se plantea la investigación y diseño de muros que tengan características similares a los espigones spurf como alternativa a la necesidad planteada.

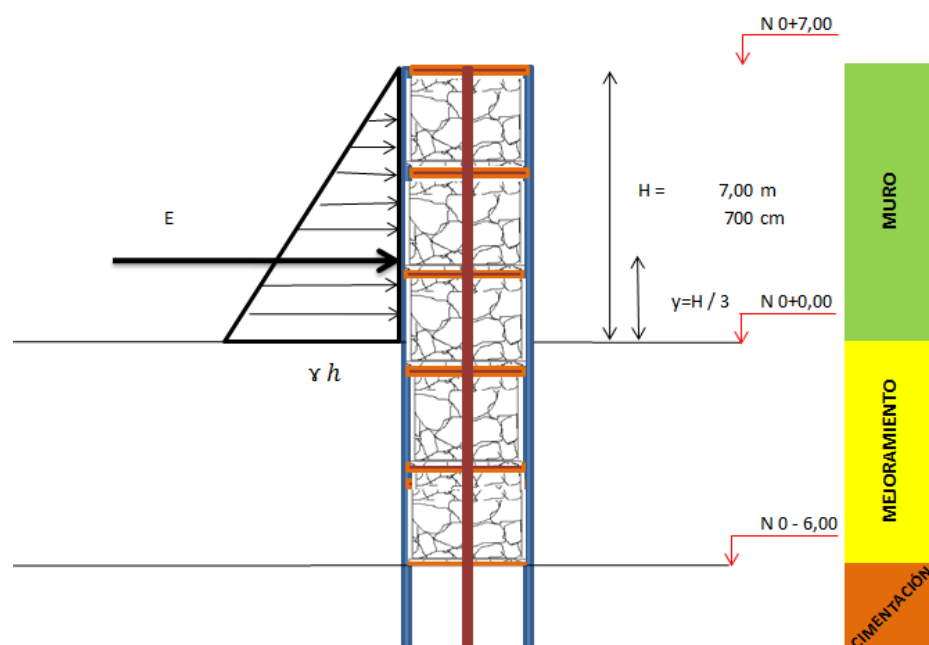
Los espigones spurf tienen como objetivo el equilibrio del cauce y ribera de un río, en la presente investigación se realizará un planteamiento de diques o muros permeables que a más de disminuir la energía y carga proveniente del caudal, sean un elemento filtrante con capacidad de retener altas concentraciones de sedimentos y además pueda filtrar el agua que circule en el lugar.

#### **4.5.1. Pre diseño**

Para el pre diseño partimos del dato de profundidad del suelo firme que se encuentra en el estudio de suelos, el cual nos indica que a una

profundidad de 6,00 metros se encuentra el suelo firme, por otra parte la altura del muro es de 7,00 metros, se realizará el cálculo de empuje para el muro a ésta altura, tomando en cuenta hasta la profundidad de 6,00 metros se deberá realizar un mejoramiento y tomando en cuenta que la cimentación de esta estructura determinará su durabilidad se la profundizará a 1,50 metros de acuerdo a Bianchini (Defensas fluviales con gaviones metálicos), es decir, se tendrá que hincar pilotes con altura entre los 14,50 metros.

Para esto se tomará en cuenta el empuje del agua en la pantalla del muro, es decir en los 7,00 metros que están expuestos en la parte alta que idealmente se podrá concebir como una cercha en volado, lo demás deberá considerarse como parte de la cimentación, claro está que desde el nivel -6,00 metros hacia arriba se deberá armar la estructura tipo gavión para ayudar en la estabilidad de la obra, para mayor entendimiento se ha esquematizado de la siguiente manera:



**Figura 42: Esquema en corte de un muro de espigón.**  
Fuente: J. Lema

#### 4.5.1.1 Cálculo de Arrastre de Sedimentos

Para calcular el empuje primero se deberá determinar el arrastre de sólidos en el sitio, para lo cual se ha utilizado el método de la tabla de peso específico (Cuadro 19), que consiste en lo siguiente:

La parte de sedimento que llega al embalse y es depositado en un ambiente de completa sumersión es llamado sumergido en cambio los depositados arriba del nivel del vertedero están sujetos a un alternado secado y mojado denominados aireados.

| TAMAÑO DE LOS GRANOS            | PESO ESPECÍFICO EN KG/ m3 |             |
|---------------------------------|---------------------------|-------------|
|                                 | SUMERGIDO                 | AIREADO     |
| Arcilla                         | 480-960                   | 960 - 1280  |
| Limo                            | 880-1200                  | 1200 - 1360 |
| Mezcla arcilla - limo *         | 640-1040                  | 1040 - 1360 |
| Mezcla limo arena *             | 1200-1520                 | 1520 - 1760 |
| Mezcla Arcilla - Limo - Arena * | 800 - 1200                | 1280 - 1600 |
| Arena                           | 1360 - 1600               | 1360 - 1600 |
| Grava                           | 1360 - 2000               | 1360 - 1600 |
| Arena mal graduada y grava      | 1520 - 2080               | 1520 - 2080 |

Cuadro 20: Peso específico promedio (sedimentos).

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2391/Capitulo1.pdf>

- Datos del estudio de suelos

| Profundidad (m ) | sondeo 1 | sondeo 2 | sondeo 3 |
|------------------|----------|----------|----------|
| 1                | relleno  | relleno  | ml       |
| 2                | relleno  | sm       | ml       |
| 3                | relleno  | sm       | ml       |
| 4                | relleno  | sm       | ml       |
| 5                | relleno  | sm       | -        |
| 6                | sm       | sm       | -        |
| 7                | ml       | ml       | -        |

Cuadro 21: Estudio de suelos.

Fuente: J. Lema

Nota: Se toma como válido el sondeo 1 que es el más crítico.

| Tipo de suelo | Peso específico Kg / m <sup>3</sup> |        | Porcentaje % |
|---------------|-------------------------------------|--------|--------------|
|               | Mínimo                              | Máximo |              |
| relleno       | 1520                                | 2080   | 0,71         |
| sl            | 1200                                | 1520   | 0,14         |
| ml            | 880                                 | 1200   | 0,14         |

**Cuadro 22: Peso específico de suelos.**  
Fuente: J. Lema

$$Wt_{min} = \Sigma (W \text{ min } x \%)$$

$$Wt_{max} = \Sigma (W \text{ max } x \%)$$

|                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| Wt min =                 | 1382,86 Kg / m <sup>3</sup>    |
| Wt máx =                 | 1874,30 Kg / m <sup>3</sup>    |
| Wt máx =                 | 0,0018743 Kg / cm <sup>3</sup> |
| Peso específico<br>agua= | 1000 kg/m <sup>3</sup>         |
| Peso específico<br>agua= | 0,001 kg/cm <sup>3</sup>       |
| peso total=              | 0,0028743 kg/cm <sup>3</sup>   |

**Cuadro 23: Peso específico de sedimentos.**  
Fuente: J. Lema

#### 4.5.1.2 Cálculo del Empuje

$$E = \frac{1}{3} \gamma H^2$$

Donde:

Peso específico =  $\gamma$

Altura del muro= H

$$E = 469,47 \text{ Kg/m/m}$$

$$E = 0,469 \text{ T/cm/cm}$$

#### 4.5.1.3 Cálculo del Momento:

Dónde:  $M = E \cdot y$

Empuje = E

Brazo de palanca desde el nivel 0 = y

$$y = \frac{1}{3} h$$

$$y = 233,33 \text{ cm}$$

$$M = 109542,614 \text{ Kg}$$

$$M = 109,542614 \text{ T/m/m}$$

$$M = \frac{1}{6} \gamma H^3$$

$$M = 164313,9213 \text{ Kg.cm}$$

$$M = 164,3139213 \text{ T.cm}$$

$$fb = \frac{F}{A}$$

Dónde:

Esfuerzo = fb  $A = \frac{F}{fb}$

Fuerza = F

$$fb = 0,60 Fy (A36)$$

Área = A

$$\begin{array}{lcl} F_y = & 2534 & \text{Kg / cm}^2 \\ f_b = & 1520,4 & \text{Kg / cm}^2 \end{array}$$

4.5.1.4 Determinación del Área:

Ancho del río = 14,00 m

Altura del muro = 7,00 m

$$A = 98,00 \text{ m}^2$$

4.5.1.5 Determinación de la Sección Requerida

Sección = S

$$S = \frac{M}{f_b}$$

Momento = M

Esfuerzo = Fb

$$S = 108,07 \text{ cm}$$

4.5.1.6 Determinación del número de Pilotes

Número de pilotes = n

$$n = \frac{b}{1,5}$$

Ancho del río = b

Separación adoptada = 1,50 m

$$n = 10$$

4.5.1.7 Sección Requerida para Módulos de 1,50 m

$$S_r = \frac{S}{n}$$

$$S_r = 10.81 \text{ cm}^3$$

#### 4.5.1.8 Cálculo de la Fuerza:

$$F = \frac{E \times \text{área cooperante}}{n}$$

$$F = 7042,03 \text{ Kg}$$

$$F = 7,04 \text{ T (por panel de 1,50m)}$$

Con estos valores se procede a realizar un diseño definitivo que será obtenido mediante la aplicación del programa SAP 2000

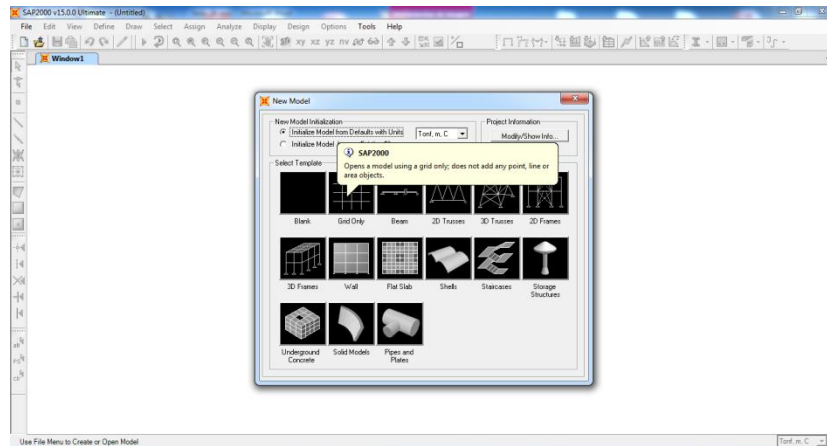
#### 4.5.2 Diseño

El SAP 2000 es un programa desarrollado en los Estados Unidos hace aproximadamente 30 años y está en continuo desarrollo, se presenta en tres versiones (Standard, Plus y Advanced). Para el ingeniero civil es una herramienta confiable, sofisticada y fácil de usar con procedimientos de modelaje, análisis y diseño estructural, cuenta con una serie de plantillas predeterminadas que permiten generar la geometría de los modelos de forma rápida y eficiente.

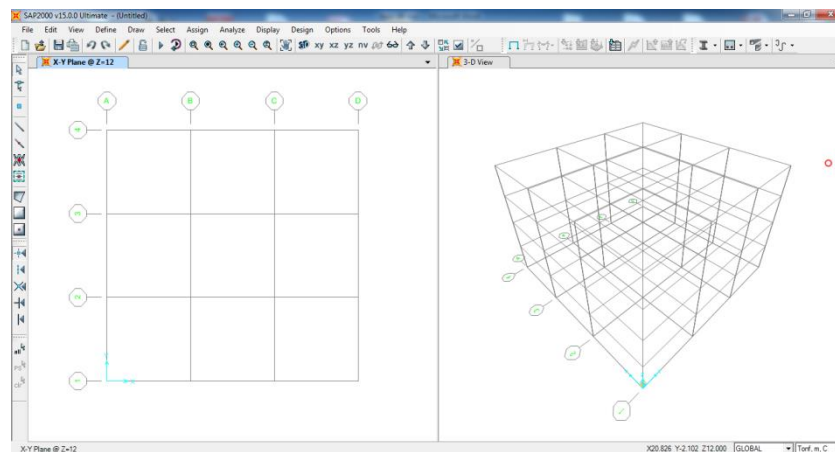
Por otra parte, maneja un sistema espacial de líneas de referencia (GridLines) asociadas a un determinado sistema de coordenadas (cartesiano o cilíndrico), que sirven de guía para establecer cada uno de los elementos que conforman el modelo.

El programa a través del método de elementos finitos da respuesta en términos de fuerzas, esfuerzos y deformadas en los elementos de área y sólidos, presentando una salida gráfica y por tablas, haciéndolo la herramienta predilecta para las estructuras

A continuación se detalla los pasos a seguir para el diseño aplicado en esta investigación:

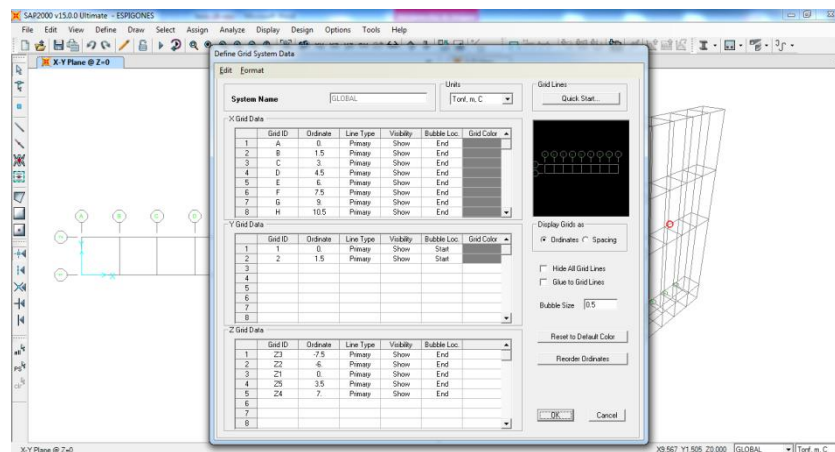


**Figura 43: Selección de grilla para inicio de proyecto en SAP2000**  
Fuente: J. Lema



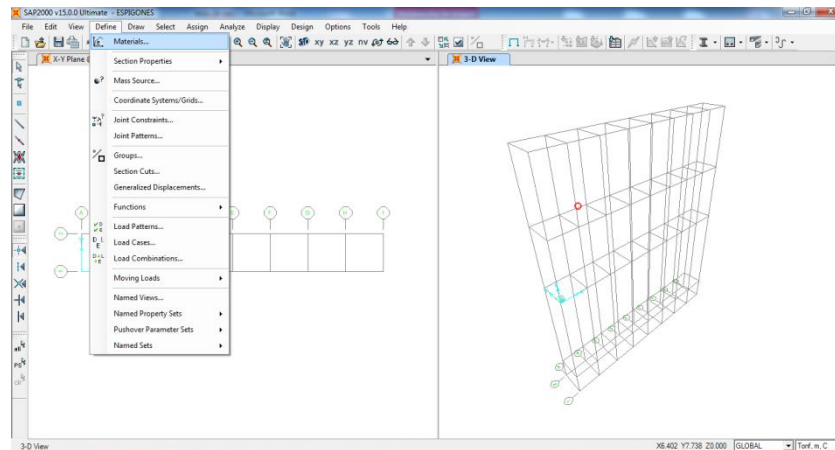
**Figura 44: Verificación de grilla de espaciamientos**  
Fuente: J. Lema

Se edita la grilla de acuerdo a los dimensionamientos

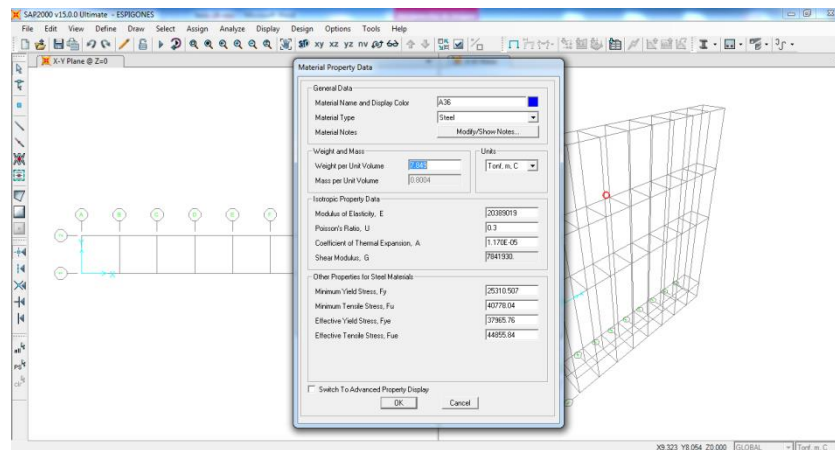


**Figura 45: Edición de grilla de espaciamientos**  
Fuente: J. Lema

Asignamos el material, en este caso acero A36

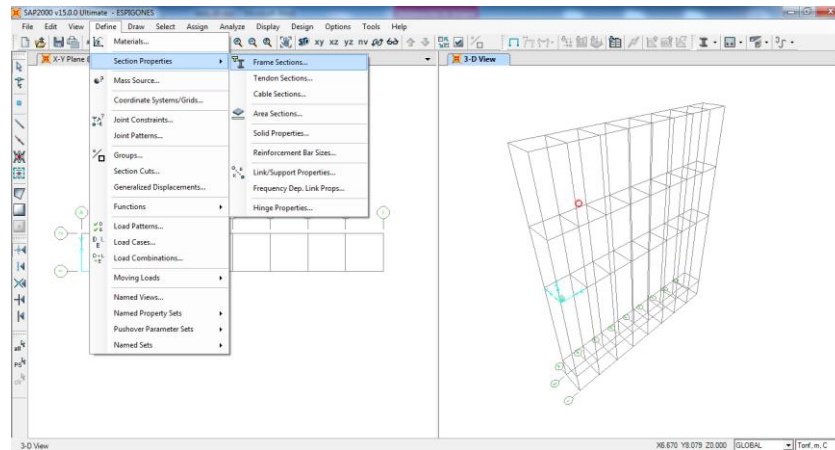


**Figura 46: Asignación de material**  
**Fuente: J. Lema**

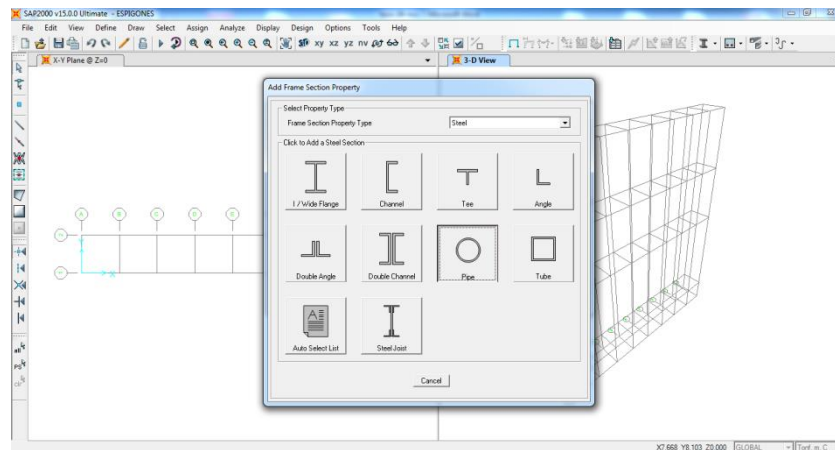


**Figura 47: Asignación de material acero A36**  
**Fuente: J. Lema**

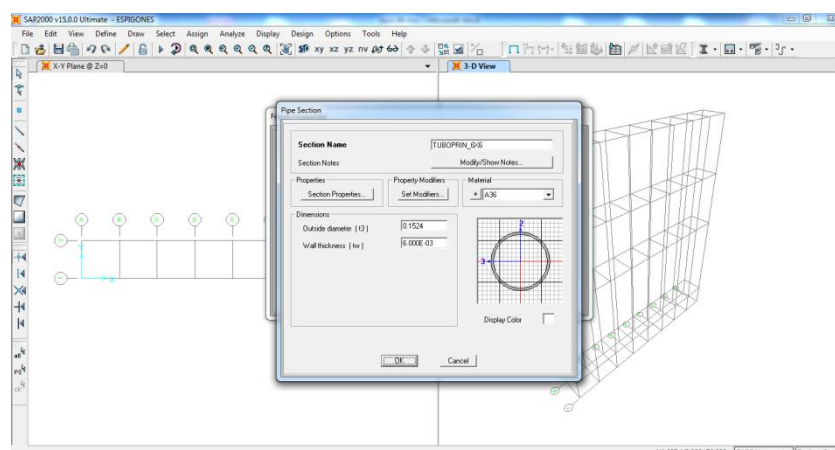
Seleccionamos las secciones de los materiales que se utilizarán en el diseño, para nuestro caso los tubos principales que son de 6 pulgadas y 6 mm de espesor, travesaños de 4 pulgadas y espesor de 6 mm



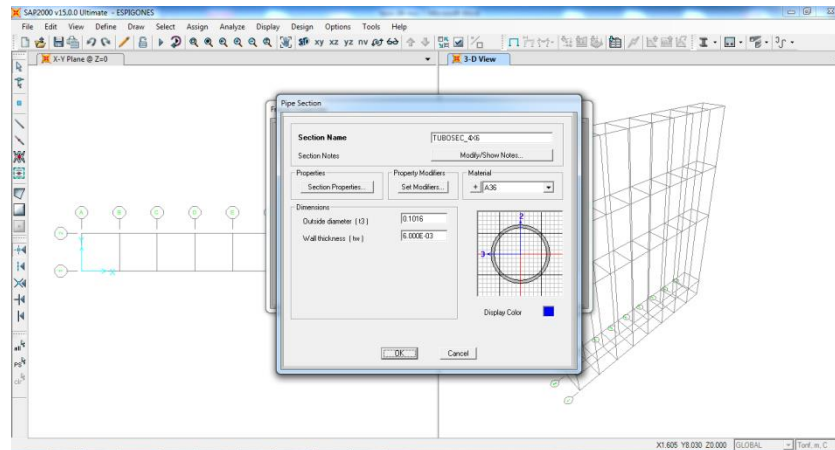
**Figura 48: Selección del tipo de material**  
Fuente: J. Lema



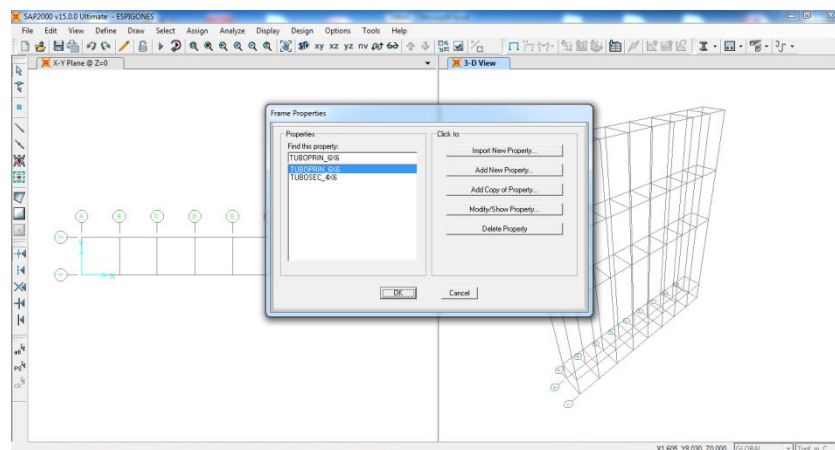
**Figura 49: Selección de las propiedades del material**  
Fuente: J. Lema



**Figura 50: Selección del elemento (principal)**  
Fuente: J. Lema

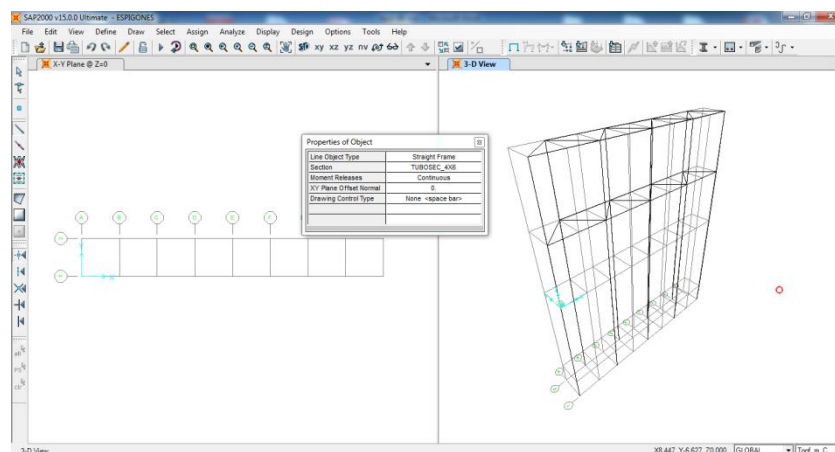


**Figura 51: Selección del elemento (travesaños)**  
Fuente: J. Lema

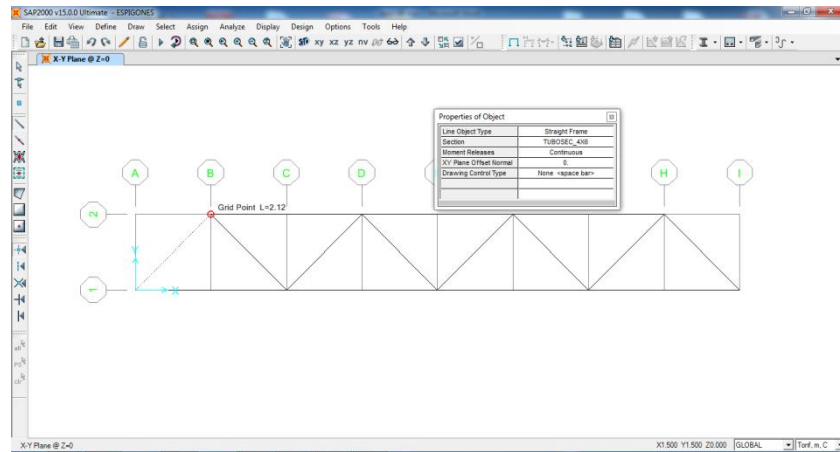


**Figura 52: Obtención de dos elementos para el diseño**  
Fuente: J. Lema

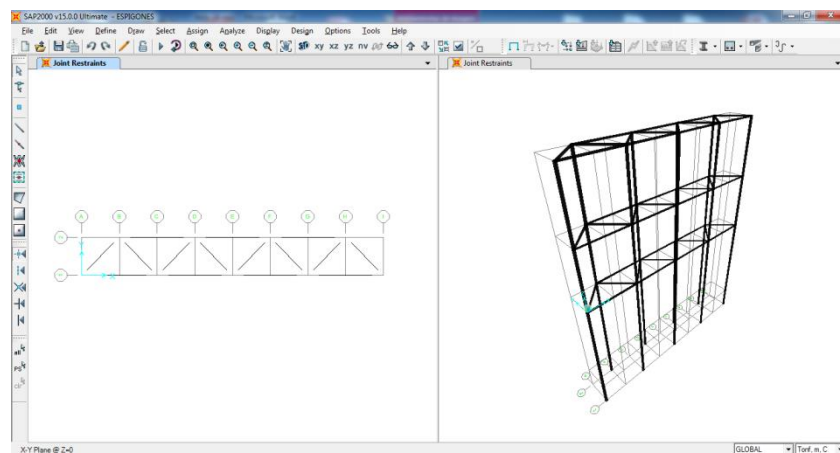
Se asigna los materiales ente tubería principal y travesaños dando la figura geométrica solicitada



**Figura 53 Diagrama con los elementos de diseño**  
Fuente: J. Lema

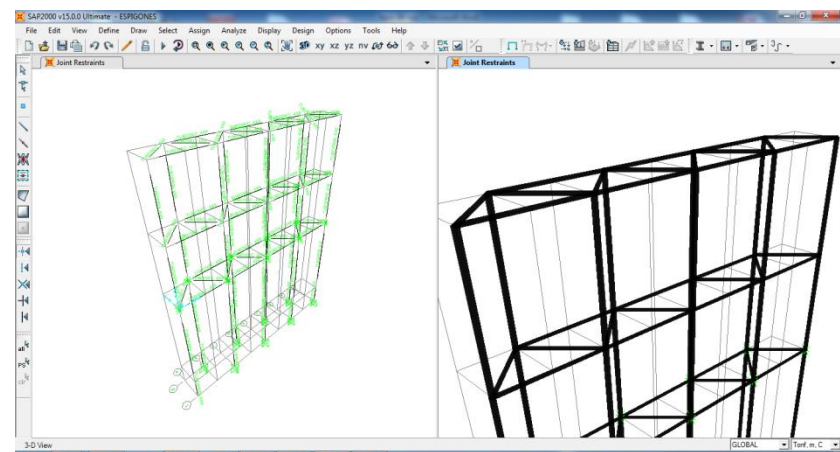


**Figura 54: Verificación de elementos**  
Fuente: J. Lema



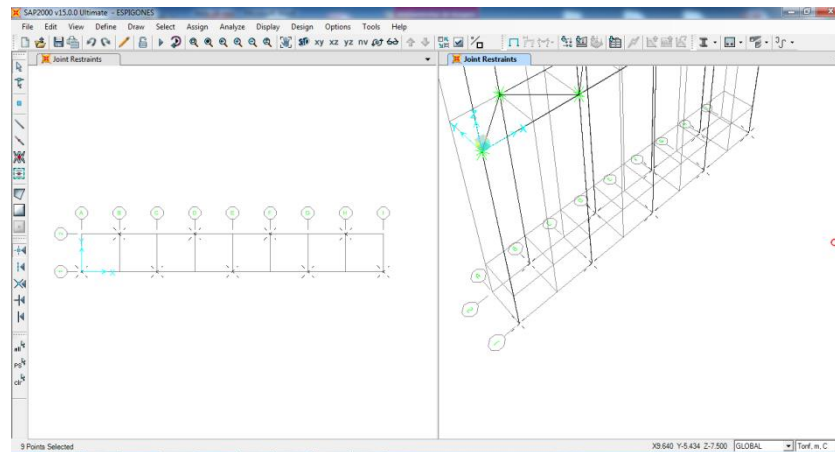
**Figura 55: Obtención del modelo gráfico**  
Fuente: J. Lema

Se comprueba las secciones de los elementos

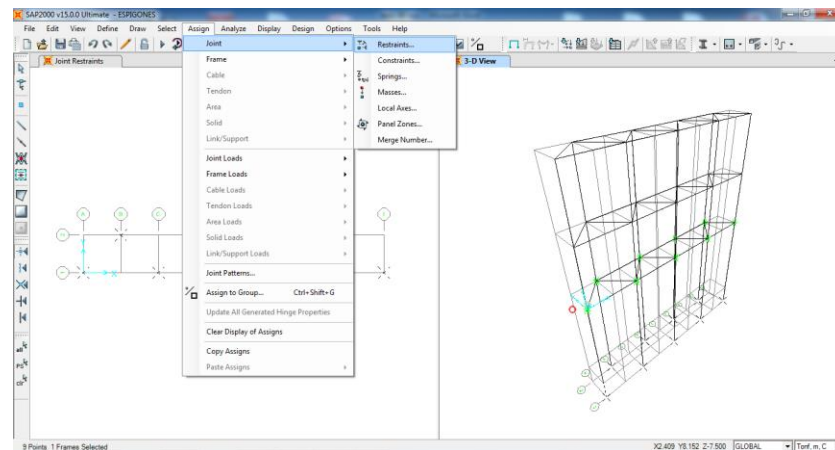


**Figura 56: Comprobación de sección de elementos**  
Fuente: J. Lema

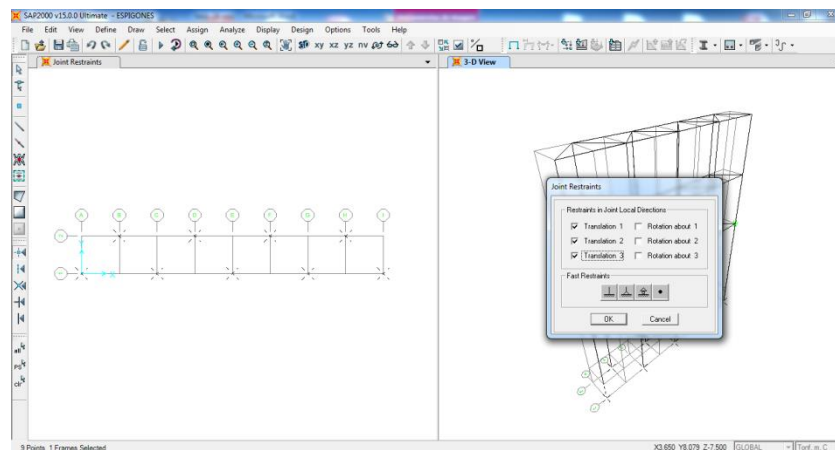
Asignamos restricciones en los dos primeros niveles



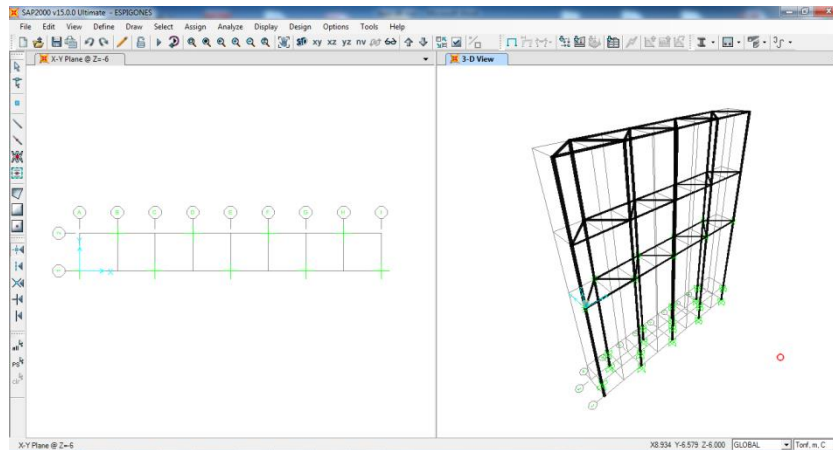
**Figura 57: Selección de puntos de restricción**  
Fuente: J. Lema



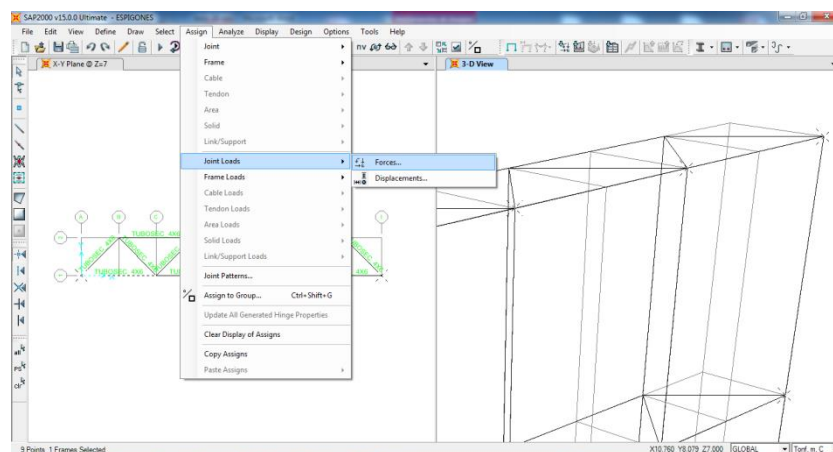
**Figura 58: Asignación de restricciones en nivel superior**  
Fuente: J. Lema



**Figura 59: Asignación de restricciones en nivel inferior**  
Fuente: J. Lema

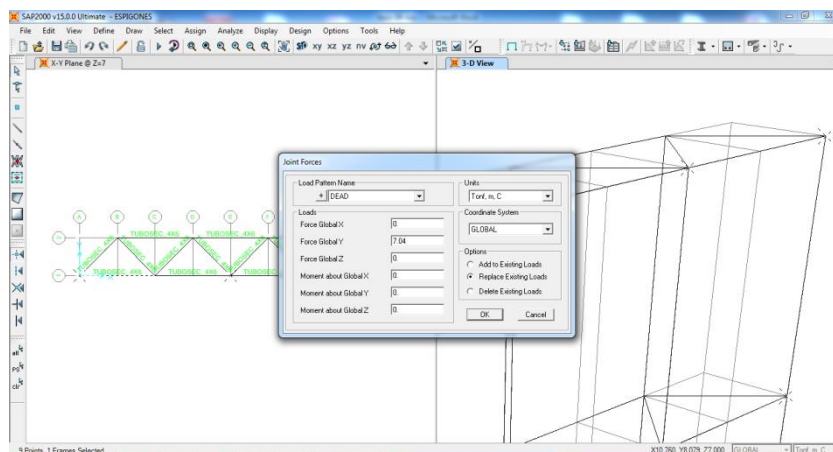


**Figura 60: Verificación de restricciones**  
Fuente: J. Lema

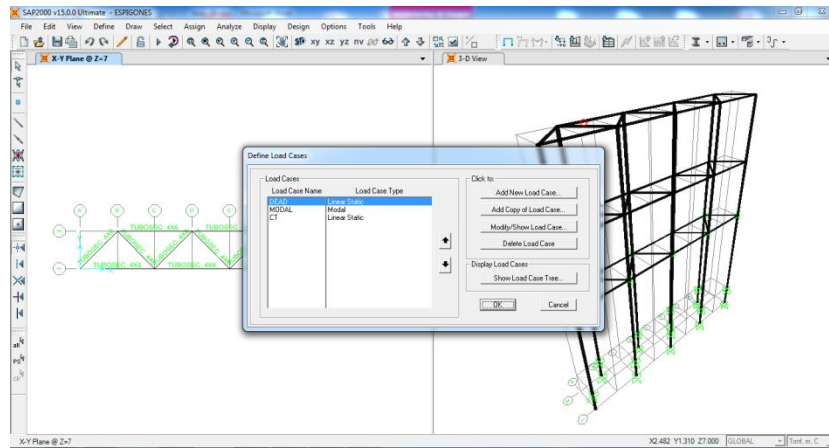


**Figura 61: Asignación de la carga obtenida en el pre diseño**  
Fuente: J. Lema

Asignamos la carga obtenida en el pre diseño, en nuestro caso de 7,04 ton

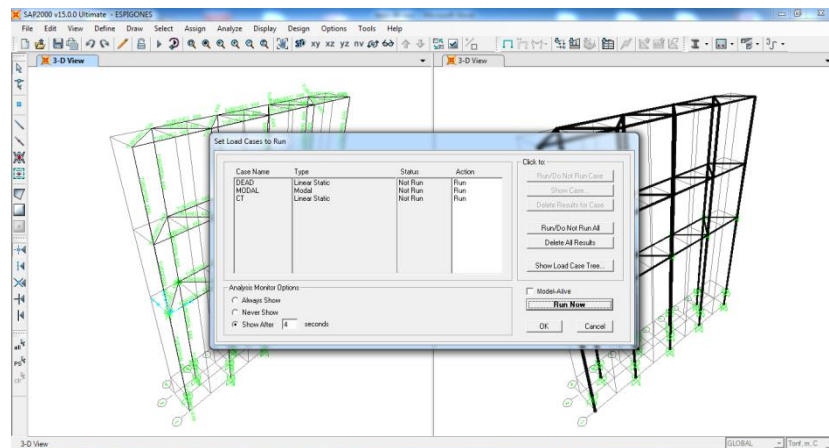


**Figura 62: Asignación de la carga obtenida en el pre diseño**  
Fuente: J. Lema

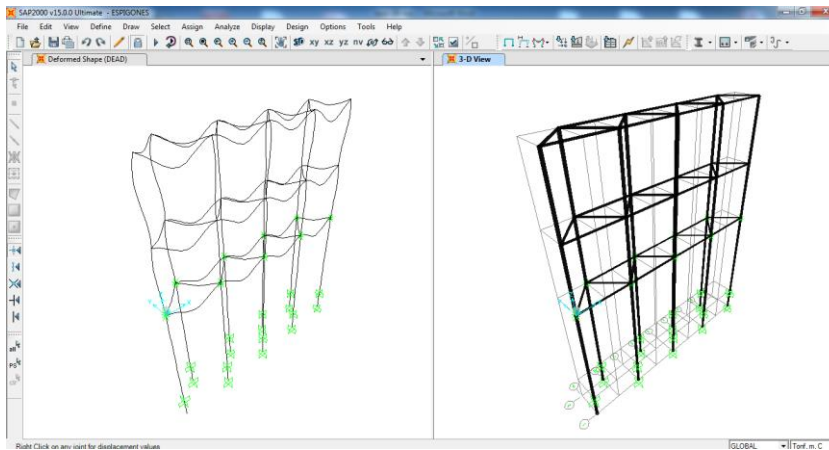


**Figura 63: Definición de cargas**  
Fuente: J. Lema

Corremos el programa

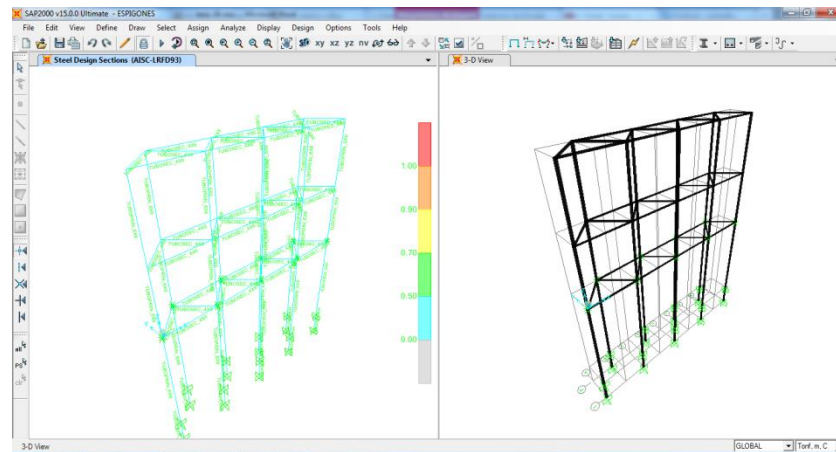


**Figura 64: Corrida de programa**  
Fuente: J. Lema



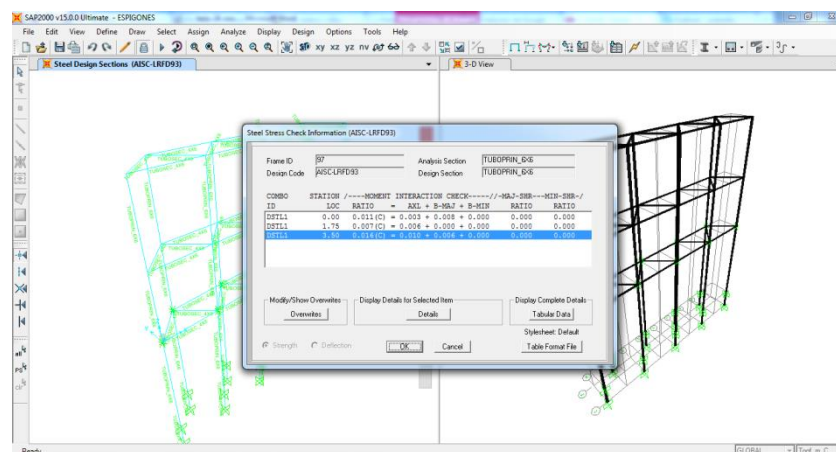
**Figura 65: Deformación de elementos**  
Fuente: J. Lema

Se observa que la estructura soporta a las solicitaciones expuestas



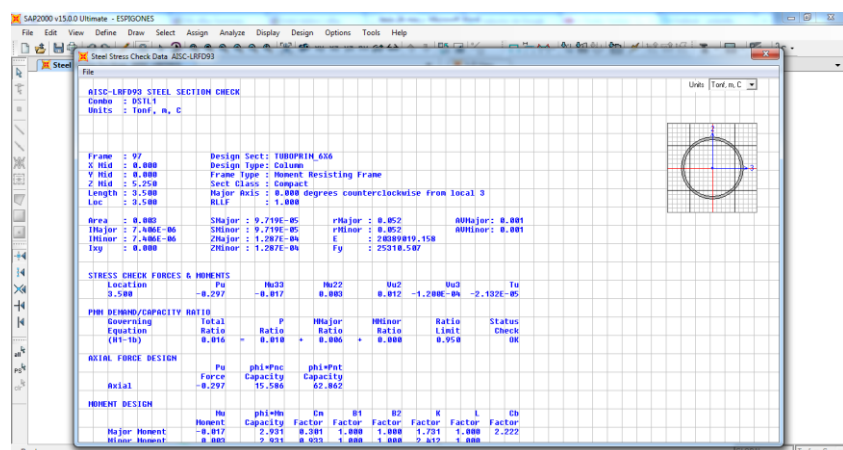
**Figura 66: Diseño definitivo**

Fuente: J. Lema



**Figura 67: Verificación de elementos**

Fuente: J. Lema



**Figura 68: Verificación de cada elementos**

Fuente: J. Lema

De acuerdo al detalle (figura 57), el material no falla, entonces se adopta las secciones de diseño definitivo:

- Tubo de acero A36 de 6 pulgadas de diámetro y 6mm de espesor para elementos verticales:
- Travesaños tubo de acero A36 de 4 pulgadas y 6 mm de espesor.

El hincado de los elementos verticales deberá ser a 7,50 metros de profundidad, para esto es necesario realizar una excavación total del suelo hasta los 6,00 metros bajo el nivel de fondo de la quebrada, tal y como se sugiere en los estudio de suelo efectuados, y se fijará los pilotes 1,50 metros más abajo, para esto se deberá construir una punta en la parte inferior que se hincará al suelo, tal como se muestra en la fotografía siguiente.



**Foto 43: Punta de pilote metálico.**  
**Fuente: Proyecto Pantallas Río Blanco KP 378 OCP**

Para este muro tipo espigón, la unión adecuado entre sus elementos es la soldadura, que deberá realizarse con la técnica de boca de pescado (destajes para inserción).



**Foto 44: Cortes tipo boca de pescado para unión.**  
**Fuente: Proyecto Pantallas Río Blanco KP 378 OCP**

A partir de los 6.00 metros de profundidad, se deberá proceder a la unión de elementos verticales con los travesaños mediante soldadura calificada, los elementos en sus paredes requieren de una malla electro soldada, la cual también debe ser soldada, esto permitirá que en el interior del muro se contengan rocas de un diámetro de 30 centímetros, se realizará el mejoramiento del suelo con sub base clase 3 hasta el nivel 0,00 metros, desde este nivel se deberá continuar armando una pantalla recta conformándose de esta manera el muro.



**Foto 45: Conformación de muro tipo espigón.**  
**Fuente: Proyecto Pantallas Río Blanco KP 378 OCP**

El presente diseño pretende disminuir el impacto de aluviones en la parte baja de la quebrada, siendo necesario tomar en cuenta la fuerza del agua y el arrastre de sólidos, entonces es importante considerar el impacto que puede producirse de manera directa en el muro diseñado, es así que para disminuir la energía con la que llegará el agua hacia la estructura del muro, se deberá conformar espigones en la quebrada aguas arriba de la ubicación del muro, estos espigones tendrán las mismas propiedades constructivas del muro, con la diferencia que deberán ser ubicados de manera inclinada e intercalada para cumplir con el objeto de disminuir el impacto sobre el muro y además proteger las orillas de la quebrada.

Los espigones deberán ser ubicados con un ángulo de 9-14 grados de acuerdo a la teoría ya revisada (Criterio Maza – Álvarez)

#### **4.5.3 Pendiente de Compensación**

Quito está ubicado al pie del macizo del Volcán Pichincha, en la Cordillera Occidental de los Andes, a una altitud entre 2800 y 3200 msnm. Un número de 85 quebradas bajan desde las laderas del volcán a la ciudad. Las diferencias de elevación desde la cumbre del denominado Rucu Pichincha (4627 msnm) hasta la parte baja de la ciudad a 2700 msnm, se presentan en distancias muy cortas comprendidas entre 1.0 hasta 10 km. Por ello resultan pendientes muy pronunciadas, entre el 30% y 60%. Las lluvias intensas producen flujos torrenciales que debido a la alta erosionabilidad de las laderas, han provocado cauces profundos.

El tramo del presente estudio obedece a una longitud de 0.5 Km o 500 metros en el cual se han dispuesto dos barreras de gaviones con una separación de 70 metros. La pendiente en este tramo se encuentra en un rango del 15%, Para la disposición de los tres tipos de barreras propuestas la distancia entre estructuras no superara los 50 metros entre ellas.

La ubicación de estas estructuras se determinara en base a sus características buscando además tramos de estabilización es decir de pendiente moderadas o de poca variación para el caso de los muros de gaviones. Para el caso de las barreras mixtas (metálicas o madera) o prefabricadas de conformidad a su altura serán propicias para cambios bruscos de pendiente provocados por el caudal que se escurre en el lecho del río.

La disposición de estas estructuras creara saltos hidráulicos, obteniéndose varias ventajas entre las cuales se pueden mencionar:

La disipación de la energía del agua escurriendo por los vertederos de las presas y otras obras hidráulicas, y evitar así la socavación aguas abajo de la obra;

Recuperar altura o levantar el nivel del agua sobre el lado aguas abajo de un canal de medida y así mantener alto el nivel del agua en un canal; Incrementar peso en la cuenca de disipación y contrarrestar así el empuje hacia arriba sobre la estructura; Incrementar la descarga de una esclusa manteniendo atrás el nivel aguas abajo, ya que la altura será reducida si se permite que el nivel aguas abajo ahogue el salto.

Para indicar condiciones especiales del flujo, tales como la existencia del flujo supercrítico o la presencia de una sección de control siempre que se pueda ubicar una estación de medida;

#### **4.5.4 Canales rectangulares horizontales**

Para un flujo supercrítico en un canal horizontal rectangular, la energía del flujo se disipa progresivamente a través de la resistencia causada por la fricción a lo largo de las paredes y del fondo del canal, resultando una disminución de velocidad y un aumento de la profundidad en la dirección del flujo. Un salto hidráulico se formará en el canal si el

número de Froude (F) del flujo, la profundidad ( $y_1$ ) y una profundidad aguas abajo ( $y_2$ ) satisfacen la ecuación:

Cada cierto tiempo estas estructuras deberán recibir un respectivo mantenimiento con la finalidad de dragar los lodos que se encuentran al interior de cada muro para ello se propone la elaboración de un manual de operaciones enfocada a los procesos de mantenimiento.

La conservación y preservación del ambiente es responsabilidad de toda la sociedad y del Estado Ecuatoriano, por lo tanto, en el área de saneamiento se hace indispensable establecer condiciones que coadyuven a armonizar las diferentes actividades con las acciones tendientes a preservar el medio ambiente.

El presente estudio en concordancia con las normas y políticas de la EPMAPS, con el objetivo primordial de cumplir con la Legislación Ambiental Ecuatoriana y las políticas de Seguridad y Salud Ocupacional, que permitan la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y control de laderas, presenta la descripción de las obras civiles, y las medidas ambientales basadas en las actividades a ser desarrolladas.

Dado que los trabajos se desarrollaran en las quebradas y sus pozos colectores y las actividades a ser ejecutadas son similares, por no decir las mismas, se creyó conveniente y técnicamente viable elaborar un Plan de Manejo Ambiental tipo; es decir, que reúna todas las medidas ambientales para la prevención, control, mitigación y protección ambiental y que deberán ser implementadas por el constructor en forma obligatoria.

El presente documento contempla todas las medidas, actividades, planes y programas que se implementarán en la construcción de obras civiles y control de quebradas.

## **4.6 MEDIDAS DE IMPACTO AMBIENTAL**

La conservación y preservación del ambiente es responsabilidad de la sociedad y del Estado Ecuatoriano, por lo tanto, en el área de saneamiento se hace indispensable establecer condiciones que coadyuven y armonicen las diferentes actividades con las acciones tendientes a preservar el medio ambiente.

El presente estudio en concordancia con las normas y políticas de la EPMAPS, con el objetivo primordial de cumplir con la Legislación Ambiental Ecuatoriana y las políticas de Seguridad y Salud Ocupacional, que permitan la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y control de laderas, presenta la descripción de las obras civiles, y las medidas ambientales basadas en las actividades a ser desarrolladas.

Dado que los trabajos se desarrollaran en quebradas y pozos colectores, las actividades a ser ejecutadas son similares, por no decir las mismas, se estima conveniente y técnicamente viable elaborar un Plan de Manejo Ambiental tipo; es decir, que reúna todas las medidas ambientales para la prevención, control, mitigación y protección ambiental y que deberán ser implementadas por el constructor en forma obligatoria.

El presente documento contempla todas las medidas, actividades, planes y programas que se implementarán en la construcción de obras civiles y control de quebradas.

### **4.6.1 Disposiciones generales**

El contratista será responsable y estará a su cargo garantizar que los estándares ambientales sean comunicados a todos los trabajadores y que se los cumpla. El programa de capacitación incluirá procedimientos escritos para la comunicación del riesgo, el uso y manejo de materiales peligrosos, la seguridad en casos de accidentes,

las respuestas para emergencias, el manejo de agua lluvia, la seguridad laboral y la salud frente a contingentes como explosión, derrames, incendios, insurgencias y/o durante el desarrollo de las diferentes actividades operativas.

Se llevarán a cabo reuniones diarias al inicio de la jornada de trabajo para tratar cuestiones relativas a manejo y protección Ambiental, Salud y Seguridad (5 a 15 min o más si lo amerita), las mismas que serán de carácter informativo y servirán para que el personal pueda discutir los problemas y recomendar otras técnicas más apropiadas para reducir el impacto.

Todos los operadores de equipo pesado serán calificados en su área de trabajo y deberán tener experiencia en el uso de su equipo. Todo el equipo pesado deberá estar dotado de mecanismos de advertencia y de respaldo. Se inspeccionará y limpiará el equipo pesado antes de que éste ingrese al área de trabajo.

Se prohíbe la persecución de la fauna silvestre o el daño intencionado o la destrucción de las áreas de anidación así como también está prohibido mantener animales en cautiverio.

Se prohíbe la posesión o introducción de mascotas u otros animales domésticos, así como la compra de fauna silvestre, para el propósito que fuere.

El uso o la posesión de drogas o alcohol constituye base legal suficiente para despido inmediato.

Se prohíbe coleccionar piezas arqueológicas o alterar los sitios en los que ellas se encuentren.

De acuerdo con la necesidad, se señalarán con banderas y se rodearán con cercas todas las zanjas y excavaciones que se hubieren dejado abiertas durante la ejecución de cualquier actividad.

Todo el personal involucrado en el proyecto deberá usar, según se requiera, equipo de protección apropiada (EPP), además deberán estar capacitados para su correcto uso y mantenimiento (cascos, guantes, fajas lumbares, gafas protectoras, protectores auditivos, botas, etc.).

#### **4.6.2 Protección de cuerpos de agua y saneamiento ambiental**

Las aguas provenientes del uso de sanitarios y duchas utilizadas por el personal encargado de la construcción, deberán ser conducidas adecuadamente hacia un sistema de alcantarillado.

Evitar el derrame de aceites, grasas, combustibles, cemento, etc., ya que afectan la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Ante eventuales derrames en el sitio del proyecto, éstos deberán ser recogidos de inmediato, retirando todo elemento vegetal o suelo que resultare contaminado.

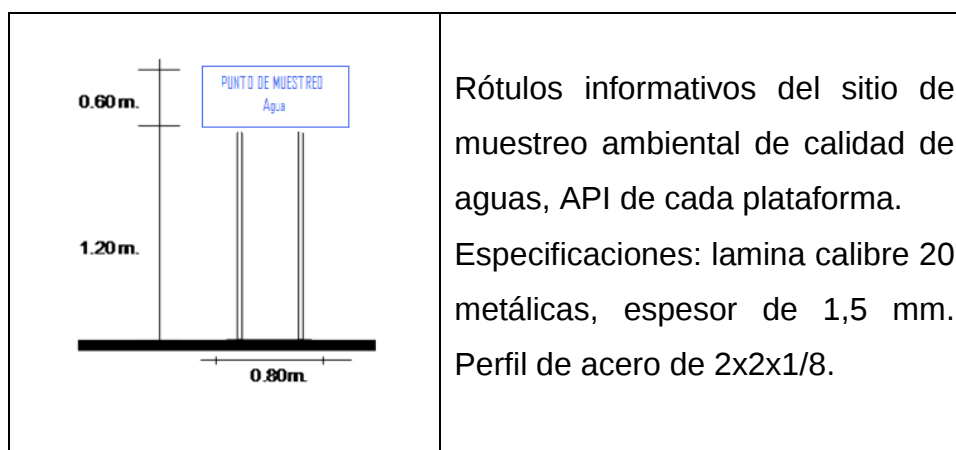
Tomar precauciones en cuanto a la operación, el mantenimiento de la maquinaria pesada y el almacenamiento de combustibles, ya que cualquier fuga de combustibles o de aceites puede contaminar el agua superficial.

Evitar el lavado o enjuague de equipos que puedan producir escurrimiento y/o derrames de contaminantes cerca de los cursos de agua.

La maquinaria no deberá atravesar los cuerpos de agua, para no obstruir o contaminar los drenajes de los mismos.

Todas las conexiones domiciliarias y de terrenos aledaños que tengan agua potable, alcantarillado, agua de regadío, conexiones telefónicas, eléctricas y otras que fuesen afectadas por el proyecto, deberán ser inmediatamente restituidas para evitar conflictos con la comunidad.

Se deberá realizar un seguimiento y análisis físico-químico (semanal) de los efluentes antes de ser descargados al ambiente, para evitar posibles cambios en la calidad de los cuerpos de agua adyacentes; como de los cuerpos receptores. Los muestreos se realizarán conforme al RAOHE, Anexo 2, Tabla 8.1, donde se establecen los parámetros a analizarse para efluentes o descargas líquidas.



**Figura 69: Rótulos de señalización**

**Fuente: J. Lema**

#### **4.6.3 Calidad del aire y emisiones de fuentes fijas o móviles**

Mantener húmedo el suelo para contrarrestar el polvo que usualmente este produce en obras de construcción.

Uso de cobertores (plásticos o lonas) para el acopio de materiales con granos finos, incluyendo arena y ripio.

Mantenimiento preventivo para el buen estado de funcionamiento de los camiones que transportan los materiales de construcción.

Se prohibirá la quema a cielo abierto para eliminación de desperdicios y desechos, llantas, cauchos, plásticos, arbustos, maleza o de otros residuos.

Controlar el uso de productos químicos tóxicos y volátiles para minimizar la emisión de contaminantes hacia la atmósfera.

Prohibir la utilización de equipos, materiales y maquinarias que produzcan emisiones objetables de gases, olores o humos a la atmósfera.

Disminuir la velocidad de los camiones, a 25 Km./h, ya que por su situación generan un exceso de contaminación del aire con polvo y partículas.

El monitoreo de emisiones gaseosas, especialmente durante la fase de operación de las facilidades instaladas en la plataforma, se realizará conforme a lo que determina el Artículo 12 del RAOHE. Respecto a la periodicidad del indicado monitoreo, éste deberá fundamentarse en lo prescrito en el Art. 12 del RAOHE, que para esta fase de desarrollo será trimestral.

Respecto a los Límites Máximos Permisibles para Emisiones a la Atmósfera Proveniente de Fuentes Fijas para Actividades, el ejecutor deberá dar cumplimiento estricto a lo pertinente y dispuesto en el Acuerdo Ministerial No. 071 del 4 de agosto del 2003. Se aplicará la Tabla No. 8-6 del mencionado Acuerdo Ministerial, la misma que hace referencia a los Límites Máximos Permitidos para emisiones de Generadores Eléctricos y Motores de Combustión Interna

Monitoreo de la calidad del aire, durante la etapa de operación del proyecto, la operadora deberá realizar monitoreos periódicos de la calidad de aire ambiente, tanto in-situ como en al menos 4 puntos de ubicados dentro del área de influencia directa e indirecta de la plataforma de trabajos.

Los parámetros a medirse son: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y Material Particulado 10 (PM<sub>10</sub>); y se deberá considerar los lineamientos

establecidos en el Anexo 4, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ecuador

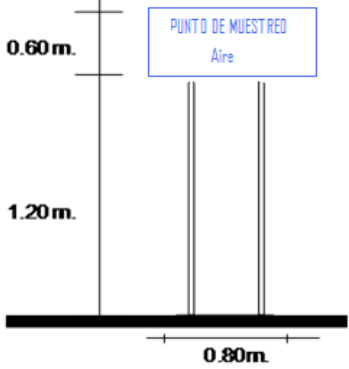
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Rótulos informativos del sitio de muestreo ambiental de emisiones gaseosas en fuentes fijas: generadores eléctricos, motores de combustión interna, mecheros.</p> <p>Especificaciones: lamina calibre 20 metálica, espesor de 1,5 mm. Perfil de acero de 2x2x1/8.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figura 70: Rótulos de señalización  
Fuente: J. Lema

#### 4.6.4 Atenuación de ruido y vibraciones

Deberá efectuarse un mantenimiento adecuado de los equipos y maquinarias que se utilicen en el proyecto.

Se deberá considerar la utilización y de silenciadores, para el caso de vehículos, maquinaria o equipo pesado y de amortiguadores para mitigar las vibraciones.

Dotar de materiales de protección auditiva al personal que labora con equipos y cerca de las maquinarias que generen ruido significativo, superior a 80 dB.

Evitar que los trabajos sean realizados por la noche, a fin de no interferir con las horas de descanso en las zonas pobladas.

Controlar el volumen de los equipos de música utilizados por los trabajadores.

Restringir la utilización de sirenas y pitos.

Prohibir la realización de festejos en el sitio de trabajo y áreas aledañas.

#### **4.6.5 Calidad del suelo**

El proyecto en su etapa de construcción prevé el movimiento de tierras en grandes cantidades.

Evitar y prevenir el derrame de combustibles utilizados por la maquinaria al suelo, u otras sustancias contaminantes, impermeabilizando y construyendo diques de contención (cubetos) en el entorno de los depósitos. Se deberá tener un estricto control de los tanques que contienen estos materiales, deberá contar con la respectiva señalización y delimitación del área destinada para el almacenamiento, estarán protegidas contra la lluvia y el viento.

Evitar la compactación de aquellos suelos donde no sea necesario el tránsito de maquinaria o acopio de materiales. Para tal efecto, los cuidados deben apuntar a reducir al mínimo estas superficies.

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

1. En el área de estudio, los deslizamientos ocurridos son como resultado del agua superficial, lo que produce debilitamiento del suelo en los taludes y orillas de la quebrada y que de acuerdo al estudio de suelo con el respectivo análisis se clasificó como arenas limosas y limos arenosos, en profundidades de 6,00 y 7,00 metros, antes de ésta profundidad se ha determinado rellenos orgánicos y materiales alterados cuya compacidad es suelta, facilitando de esta manera los diferentes deslizamientos que se pudieron apreciar en las inspecciones realizadas .
2. En épocas invernales, debido a la fuerte precipitación, las aguas superficiales que se infiltran en el suelo así como el escurrimiento en las laderas no cuentan con un correcto drenaje lo cual origina desprendimientos, reptación del suelo y formación de lodos, mismos que por gravedad se alojan en la parte baja (captación).
3. En la zona de aproximación a la captación, se ha verificado que la vegetación existente en los taludes es deficiente y al combinarse con la fuerte pendiente longitudinal de la quebrada, aceleran el arrastre de materiales, influyendo considerablemente en el impacto y el desborde del agua al momento de producirse eventos de lluvia.
4. Mediante la ordenanza 255 “Ordenamiento Territorial” el Municipio de Quito ha tratado de regularizar el tema de asentamiento de edificaciones en laderas, ésta fue publicada en

registro oficial el 28 de agosto de 2008 y su predecesora la ordenanza 172, publicada con fecha 30 de diciembre de 2011, mismas que no pueden ser aplicables en el lugar puesto que ninguna ley es retroactiva y las edificaciones tienen entre treinta y cuarenta años de emplazamiento.

5. En el área de influencia del proyecto es importante establecer medidas de protección para los tramos en los cuales se pretende emplazar obras civiles las cuales disminuirán el impacto y agilizarán el mantenimiento posterior de estas obras.
6. Se ha planteado como la mejor opción, emplazar aguas abajo de la Quebrada Caicedo un muro tipo espigón y cuatro espigones aguas arriba de la ubicación del mismo, a fin de reducir el impacto sobre el muro y el posible desbordamiento de las aguas tal y como sucedieron en eventos de lluvias intensas de los anteriores años, estos elementos deberán cimentarse a profundidades de 1,50 metros de profundidad en relación con el suelo firme que está a 6,00 metros de acuerdo al estudio de suelos, es decir a 7,50 metro desde el nivel 0+00.
7. En el diseño de espigones no se consideró el cálculo de socavación del suelo, debido a la profundidad planteada de hincado de los elementos verticales.

## **5.2. RECOMENDACIONES.**

1. En las inspecciones realizadas al sitio, se ha observado la libre circulación de personas en actividades de pastoreo, lo cual cambiaría las características del área de estudios, por lo que se propone el control de la zona y definición de áreas específicas para pastoreo.

2. El área de influencia de la Quebrada Caicedo deberá ser inspeccionada con una frecuencia no menor a quince días esto a fin de mantener un control del estado actual y la realización de mantenimientos preventivos.
3. Con el fin de conservar la estabilidad de los suelos del lugar, se requiere la forestación con vegetación nativa, la más idónea según se ha consultado las especies más aptas son el pino, chaparros y lentiscos
4. Para posteriores estudios se recomienda realizar una topografía más detallada, esto debido a que la realizada para éste estudio tiene un área reducida debido al peligro que representó al momento de realizar el trabajo.
5. Se recomienda realizar una sociabilización del tema con los habitantes del sector, esto agilizará las fases previas y de construcción de las obras propuestas en el presente trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BOWLES, J. E. "Foundation analysis and design. Mc Graw Hill. Co. 1968

KROCHIN Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Segunda edición, Editorial de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador 1986.

LINSLEY, Kohler, Paulhus, (1980), Hidrología para Ingenieros, 2da edición.

TERZAGHI, K. and PECK, R. B. - 1967 "Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd edition, New York, Wiley, 729p.

MONSALVE, G., (1995) Hidrología en la Ingeniería, Colombia.

LÓPEZ Cualla Ricardo Alfredo. “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados”, Segunda edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia 2007.

NEIRA Juan y otros. “Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q”, Primera edición, V&M Gráficas, 2009.

Peltre, P. (1989), Riesgos Naturales en Quito.

EPN, 1986. Informe Preliminar de Prefactibilidad – Área de Hidrología – Proyecto Trasvase del Rio Machangara.

BIANCHINI, A. (1956) Defensas fluviales con gaviones metálico, Barcelona

HUDSON, Norman (1982) Conservación del suelo, Barcelona - España

MAZA, J.A. (1975) Diseño de espigones, revista Recursos Hidráulicos de México Vol. 4

Aporte bibliográfico bajado del internet:

Bañón Blázquez Luis. <http://sirio.ua.es/proyectos/manual.pdf>

<http://geotecnia-sor.blogspot.com/>

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2391/Capitulo1.pdf>

