

## Apéndice-5-1

Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones (Borrador)



# **Estudio Básico de la Demanda de Control de Inundaciones en la República del Perú**

## **Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones (Borrador)**

**Noviembre de 2017**

**CTI Engineering International Co., Ltd.**

# República del Perú



Mapa del Área de Estudio

# CONTENIDO

Mapa del Área de Estudio

Contenido

Lista de Abreviaciones

CONTENIDO .....	ii
Lista de Abreviaciones .....	xii
1 Introducción .....	1
1.1 Antecedentes de la Preparación de Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones .....	1
1.2 Propósitos de la Elaboración de las “Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones (Borrador)” 2	
1.3 Contenido de las Normas Técnicas (Borrador) .....	2
1.3.1 Contenido a ser incluido en las Normas Técnicas (Borrador).....	2
1.3.2 Materiales y Documentos de referencia para la preparación de las Normas Técnicas (Borrador).....	3
2 Desastres a ser considerados en la Gestión de Cuenca de Río y Políticas Básicas para la Mitigación de Desastres .....	4
2.1 Generalidades .....	4
2.2 Contramedidas básicas frente a desastres por inundación .....	5
2.3 Contramedidas básicas para desastres por sedimentos .....	6
2.4 Contramedidas básicas para desastres ocasionados por terremotos.....	7
3 Gestión Básica de Riesgos de Desastres en Cuencas de Río.....	8
3.1 Prevención de la Inundación (Planificación de la Gestión en el Río) .....	8
3.1.1 Diseño del Punto de Referencia .....	9
3.1.2 Determinando la escala de diseño.....	9
3.1.3 Precipitación Objeto de Estudio.....	10
(1) Determinando la cantidad de precipitación objeto de estudio .....	10
(2) Revisión de inundaciones anteriores.....	10
(3) Duración de la precipitación objeto de estudio .....	10
(4) Determinación del tiempo y el área de distribución de la precipitación objeto de estudio .....	11
(5) Ajuste entre la duración de la precipitación real y la duración de la precipitación objeto de estudio .....	11
3.1.4 Método para determinar la inundación de diseño .....	11
(1) Determinando la inundación de diseño .....	12
(2) Conversión de precipitaciones objeto de estudio a descarga de flujos.....	12
(3) Determinación de constantes para el modelo de escorrentía de inundación .....	13
(4) Consideración de las aguas internas de drenaje (drenaje urbano).....	13
3.1.5 Diseño de la descarga de inundación.....	13
(1) Elementos a ser examinados al determinar el diseño de la descarga del flujo de inundación .....	14
(2) Medidas contra las inundaciones excesivas .....	14

3.2 Aspectos básicos del uso apropiado de los ríos y mantenimiento de las funciones normales del río .....	14
3.2.1 Descarga de Flujo Normal.....	15
(1) Descarga del flujo de mantenimiento .....	15
(2) Determinación de la descarga de flujo para utilización del agua .....	16
3.2.2 Aspectos básicos de la mejora y conservación del ambiente del río.....	16
(1) Restauración y Conservación de un ambiente saludable para plantas y animales.....	16
(2) Mantenimiento y Mejoramiento del Paisaje.....	16
(3) Mantenimiento y creación de espacios para actividades que acerquen al hombre al contacto con el río.....	16
(4) Preservación de la calidad del Agua.....	17
3.3 Planificación de gestión de sedimentos .....	17
3.3.1 Planes Maestros para la Gestión de Sedimentos y Erosión en Cuencas de Río.....	18
(1) Elementos básicos asociados a la gestión de sedimentos y erosión del sistema del río.....	19
(2) Aspectos básicos relacionados al control del flujo de escombros.....	24
(3) Elementos básicos asociados a la prevención de escombros leñosos grandes.....	27
(4) Elementos básicos asociados al control de sedimentos volcánicos y de la erosión .....	28
(5) Prevención de desastres de sedimentos anómalos .....	28
3.3.2 Plan de prevención de deslizamientos de tierra.....	29
(1) Elementos básicos asociados a la prevención de deslizamientos de tierra .....	30
(2) Principios básicos de las contramedidas.....	30
3.3.3 Plan de prevención de fallas en pendientes pronunciadas método de pila caisson.....	30
(1) Elementos básicos asociados a medidas preventivas para fallas en pendientes pronunciadas.....	31
(2) Principios Básicos de las contramedidas.....	31
3.3.4 Plan de Prevención de Avalanchas.....	31
(1) Elementos básicos asociados a las medidas de prevención de avalanchas.....	32
(2) Principios de contramedidas básicas.....	32
3.3.5 Plan de Prevención Integral de Desastres por Sedimentos.....	32
(1) Los elementos de la prevención integral de desastres por sedimentos .....	32
(2) Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña .....	33
3.3.6 Consideración del Ambiente Natural.....	35
3.4 Planificación de la conservación de costas marítimas .....	35
4 Concepto Básico de Planificación para el control de Riesgo y Mitigación de Inundaciones.....	36
4.1 Canal y Estructuras del Río .....	36
4.1.1 Planificación del Canal del Río.....	36
(1) Aspectos básicos de la planificación del canal del río .....	36
(2) Procedimiento para establecer un Plan de Canal de Río .....	38
(3) Nivel Máximo de Agua de Diseño .....	39
(4) Formas plana, longitudinal y transversal del canal de un río.....	40
(5) Actividades de Mantenimiento del Canal del Río .....	45
(6) Planificación de Estuario .....	46

4.1.2	Canal de corte y canal de descarga .....	46
(1)	Planificación de canal de corte y canal de descarga.....	46
(2)	Estructuras de túnel para el río .....	47
4.1.3	Reservorio (embalse).....	48
(1)	Plan de control de inundaciones para Embalses.....	48
(2)	Planificación para el Control de entrada de Sedimentos .....	49
(3)	Planificación para la prevención de deslizamientos de tierra alrededor del embalse.....	49
(4)	Planificación para la prevención de filtraciones alrededor del embalse. ....	50
(5)	Planificación para la generación hidroeléctrica privada .....	50
(6)	Consideraciones medio ambientales.....	50
4.1.4	Cuencas de Retardo .....	50
(1)	Selección de ubicación para cuencas de retardo .....	51
(2)	Planificación para Control de inundaciones en cuencas de retardo .....	51
4.1.5	Vertederos, Compuertas y esclusas.....	52
	Escalas para peces en vertederos .....	52
4.1.6	Proyectos en ríos para el ajuste del régimen de flujos .....	52
4.1.7	Instalaciones para el control del canal.....	53
(1)	Terraplén (dique).....	53
(2)	Planificación del Revestimiento.....	54
(3)	Planificación de Espigones.....	54
(4)	Planificación de trabajos de Consolidación.....	54
4.1.8	Mejoramiento de la Desembocadura de río .....	55
4.2	Instalaciones de drenaje para aguas internas.....	55
4.2.1	Método de determinación de drenaje de aguas internas .....	56
4.2.2	Selección de aguas internas para su análisis.....	58
4.2.3	Determinación del Método de Evaluación de Probabilidad.....	58
4.2.4	Determinación de la escala de las instalaciones para el drenaje de aguas internas .....	58
4.3	Plan de establecimiento de instalaciones para el control de sedimentos y erosión .....	59
4.3.1	Plan para establecer las instalaciones para el control de sedimentos y erosión.....	59
(1)	Plan para establecer las instalaciones para el control de la generación de sedimentos .....	60
(2)	Planificación de instalaciones para el transporte de sedimentos .....	67
(3)	Planificación de instalaciones para el control de desechos leñosos .....	71
(4)	Planificación de instalaciones para el control de erosión y sedimentos de origen volcánico .....	73
4.3.2	Planificación de instalaciones para el control de deslizamientos de tierra.....	75
(1)	Aspectos básicos de la planificación para el control de deslizamientos de tierra.....	75
(2)	Selección de Métodos de construcción.....	75
(3)	Obras de Control del Deslizamientos de tierras .....	76
(4)	Obras de prevención de deslizamientos.....	77
4.3.3	Planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas .....	78
(1)	Aspectos básicos de la planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas .....	78

(2) Determinación de los métodos de construcción.....	79
4.3.4 Planificación de instalaciones para el control de Avalanchas.....	79
(1) Aspectos básicos del plan para el control de avalanchas.....	79
(2) Selección de los métodos de construcción de instalaciones para el control de avalanchas.....	79
(3) Obras de Prevención.....	80
(4) Obras de Protección.....	80
4.3.5 Planificación de instalaciones integrales para el control de desastres por sedimentos.....	80
4.3.6 Planificación de instalaciones de protección costera.....	81
5 Conceptos básicos del diseño de estructuras de río para el control y mitigación del riesgo de inundaciones.....	82
5.1 Dique/ Revestimiento.....	82
5.1.1 Diseño de Dique.....	82
(1) Aspectos básicos del diseño de un dique.....	82
(2) Sección transversal de un Dique.....	83
(3) Política de diseño de diques.....	87
(4) Diseño del Dique.....	91
5.1.2 Diseño de Revestimiento.....	93
(1) Aspectos básicos de diseño del revestimiento.....	93
(2) Profundidad de empotrado del revestimiento.....	94
(3) Diseño del Revestimiento.....	95
5.2 Puente.....	103
5.2.1 Conceptos Básicos de la Planificación de un Puente.....	103
5.2.2 Consideraciones para la Planificación, Diseño y Construcción de Puentes en relación al Control de Inundaciones.....	104
(1) Elevación de Puentes.....	104
(2) Estribos.....	105
(3) Pilar.....	105
(4) Otras Consideraciones.....	107
5.3 Espigón.....	107
5.3.1 Propósito de la Instalación de un Espigón.....	107
5.3.2 Diseño de Espigón.....	108
(1) Clasificación de Espigón.....	108
(2) Diseño del Espigón.....	109
5.4 Solera (Estructura de Protección del Lecho).....	110
5.4.1 Propósito de Construcción de Soleras.....	110
5.4.2 Diseño de Soleras.....	110
(1) Tipos de Soleras.....	110
(2) Formación de Solera Tipo Concreto.....	111
(3) Notas sobre el diseño de Soleras.....	112

5.5	Otras Estructuras en la Parte baja de la Cuenca del Rio .....	115
5.5.1	Esclusas .....	115
(1)	La Estructura de una Esclusa.....	116
(2)	Puntos a ser Recordados al Diseñar una Esclusa .....	117
5.5.2	Compuerta de Rio .....	117
5.5.3	Estación de Bombeo de Drenaje.....	118
6	Evaluación de Proyectos para Protección contra Inundaciones .....	120
6.1	Aspectos Básicos de la Evaluación de Proyectos Públicos en el Perú.....	120
6.2	Aspectos básicos de la evaluación de Proyectos para el Control de Inundaciones.....	121
6.2.1	Lineamientos para la Formulación de Proyectos para el Control de Inundaciones por el MEF.....	121
6.2.2	Contenidos de la RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 006-2014-EF/63.01.....	121
(1)	Definición del CME25 .....	121
(2)	Aspectos Basicos de la Planificación del Control de Inundaciones.....	122
(3)	Agencias que pueden implementar Proyectos de Control de Inundaciones .....	122
(4)	Nivel Objetivo del Plan de Control de Inundaciones.....	122
(5)	Clasificación Actual del Riesgo de Danos por Inundación .....	122
(6)	Esquema del proyecto para el control de Inundaciones.....	122
(7)	Evaluación del Proyecto en Términos de los Aspectos Técnicos y de Ingeniería. ....	123
(8)	Evaluación del Proyecto .....	124
6.2.3	Descripción de la Metodología de Evaluación Económica de Proyectos para el control de Inundaciones. ....	125
(1)	Metodología para Estimar los Beneficios de un proyecto de Control de Inundaciones.....	126
(2)	Índices para la evaluación de Proyectos .....	126
(3)	Análisis de Sensibilidad.....	127
(4)	Estimación del Costo por Danos de la Inundación.....	127
6.2.4	Otras ventajas a considerar de los Proyectos de Control de Inundaciones.....	131
(1)	Evaluación de la Contribución al Desarrollo mayor como una sumatoria de efectos a partir de los Proyectos de Control de Inundaciones .....	131
(2)	Costos de Vida Humana .....	131
(3)	Evaluación de la “Prima de Riesgo” de Desastres de Inundación .....	132
	Anexo Estudio de Casos sobre Diseño Preliminar de Estructuras para el Control de Inundaciones .....	133
	Anexo 1. Introducción a las cuatro (4) Medidas Estructurales para el Control de Inundaciones Aplicadas en el Estudio	133
	Anexo 1.1 Prodedimiento del estudio General para el Diseño de Obras para el Control de Inudaciones en Rios (Diques y Revestimientos).....	133
(1)	Dique.....	133
(2)	Revestimiento.....	135
	Anexo 1.2 Procedimientos para el estudio Inicial para Cuencas de Retardo.....	136
(1)	Suitable Location and Area of Retarding Basin Locacion Indicada y Area para Cuenca de Retardo. ....	136
(2)	Planificación de Mitigación de Inundación con Cuenca de Retardo en el Caso del Rio Biabo.....	137

Anexo 1.3 Procedimientos del Estudio Inicial para el Cambio de Operación de la Presa para el Control de Inundaciones	141
(1) Método de Estimación del Volumen de Agua Requerido por el cambio de Operación de la Presa para reducir la Descarga de Diseño (Procedimiento Simplificado)	142
(2) Ejemplos para la Estimación del Volumen Requerido (En el caso del río Mantaro)	142
Anexo 2. Introducción de Metodos de Diseño de “Espigon”	145
Anexo 2.1 Puntos de Atención en la Clasificación de Tipos de Espigon y Diseño de Espigon	145
Anexo 2.2 Metodología de Diseño de espigón para Protección de Revestimientos y Base de Diques	145
(1) Diseño de Espigon para el Cambio de Dirección del Flujo a lo largo del Segmento-1	146
(2) Diseño de espigon para Cambio de Dirección de Flujo en los Tramos del Segmento II y III	147

## Figuras

Figura 2.1.1 Desastres Naturales a ser mitigados por un Apropiado Manejo de Cuenca	4
Figura 2.2.1 Ejemplo real de desastres por Inundación	5
Figura 2.2.2 Medidas para el control o mitigación de desastres por inundación	5
Figura 2.3.1 Tres (3) típicos desastres por sedimentos	6
Figura 2.4.1 Damaged Dike by Earthquake	7
Figura 3.1.1 Ejemplo de Diseño de Punto(s) de Referencia	9
Figura 3.3.1 Medidas de Mitigación y Prevención	18
Figura 3.3.2 Diagrama conceptual del Plan Sabo para el sistema integral del río	20
Figura 3.3.3 Puntos de control de diseño en un plan maestro de gestión de sedimentos y erosión	21
Figura 3.3.4 Diagrama conceptual de flujo de escombros e Inundación	25
Figura 3.3.5 Efectos de contramedidas estructurales contra flujo de escombros	26
Figura 3.3.6 Métodos básicos de contramedidas de pila caissons estructurales contra deslizamientos de tierras	30
Figura 3.3.7 Tres (3) enfoques básicos para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas	31
Figura 3.3.8 Concepto Básico de “Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en Base de Montaña” en Japón	33
Figura 3.3.9 Locación del Proyecto “ Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en Base de Montaña” en Japón	34
Figura 4.1.1 Clasificación de segmentos de río y sus características en el Japón	37
Figura 4.1.2 Ejemplos reales de mejoramiento de cauces de río	38
Figura 4.1.3 Rol del sistema de dique y Sección Transversal Estándar de Diseño de Dique (Estudio Preparatorio Sobre El Programa de Protección De Valles Y Poblaciones Rurales Y Vulnerables Ante Inundaciones En La República Del Perú (2013))	41
Figura 4.1.4 Conceptos básicos sobre el sistema de diques en Anillos y el Sistema de Levantamiento de Altura del Terreno	41
Figura 4.1.5 Concepto básico de Líneas de Protección de Dique	43
Figura 4.1.6 Tipos de Sección Transversal de Canal de Río	44

Figura 4.1.7	Sección transversal típico de una zona de bosque ribereño a lo largo de un dique .....	44
Figura 4.1.8	Ejemplo real de la construcción de un canal de desvío en el Japón .....	47
Figura 4.1.9	Concepto básico de la reducción de aguas de inundación utilizando cuencas de retardo .....	51
Figura 4.1.10	Ejemplo de un muelle en Japón .....	55
Figura 4.2.1	Clasificación de drenaje de aguas internas .....	57
Figura 4.2.2	Típico proceso del estudio para el mejoramiento del drenaje de aguas internas (drenaje urbano) .	57
Figura 4.3.1	Obras en laderas de Japón.....	62
Figura 4.3.2	Role del Dique de Control de Erosión (1) .....	63
Figura 4.3.3	Rol del dique de control (2) .....	64
Figura 4.3.4	Ejemplos reales de diques de control de erosión en Japón .....	64
Figura 4.3.5	Ejemplo de obras de preservación de torrente en Japón.....	66
Figura 4.3.6	Ejemplo de Diseño de un muelle para el control del a erosion y sedimentos en Japon.....	68
Figura 4.3.7	Ejemplos de la instalación de espigones aguas arriba en ríos de Japón .....	69
Figura 4.3.8	Imagen de obras de Cuenca de retardo de arena .....	69
Figura 4.3.9	Ejemplos de dique de encaminamiento con estructuras anexas en el Japón .....	70
Figura 4.3.10	Ejemplos de Slit Dam.....	72
Figura 5.1.1	Componente de un dique (en general).....	82
Figura 5.1.2	Terraplén extra para la consolidación y otros factores .....	84
Figura 5.1.3	“Banqueta” a lo largo de la pendiente del dique.....	85
Figura 5.1.4	Dique especial (con Parapeto).....	86
Figura 5.1.5	Dique especial (Dique de Pared Vertical Auto estable).....	86
Figura 5.1.6	Ejemplo de Resistencia a la permeabilidad (membrana impermeable).....	87
Figura 5.1.7	Ejemplo de Resistencia a la Permeabilidad (Capa de aislación en el suelo de Cimentación).....	88
Figura 5.1.8	Canalización de arenas/ Fenómenos de burbujeo de arena alrededor de un dique .....	90
Figura 5.1.9	Profundidad Adecuada de Empotrado del Revestimiento.....	95
Figura 5.1.10	Típica Instalación de Revestimiento Monolítico.....	96
Figura 5.1.11	Típica Instalación de revestimiento Compuesto.....	97
Figura 5.1.12	Fenómeno de Volteo del Revestimiento en la Sección del Extremo Superior .....	98
Figura 5.1.13	Típico Corte de Sección Transversal de Revestimiento de Instalación Compuesta (Combinación débil).....	99
Figura 5.1.14	Típico Corte de Sección Transversal de Revestimiento de Instalación Compuesta (Combinación Fuerte).....	100
Figura 5.1.15	Típica sección transversal de un revestimiento tipo Gavión .....	100
Figura 5.1.16	Tipo de formas de Protección de Pie.....	102
Figura 5.3.1	Relación entre la Dirección del Espigón y la Sedimentación/Socavación Resultante.....	108
Figura 5.4.1	Ejemplos de Soleras en Japón .....	110
Figura 5.4.2	Solera Típico.....	112
Figura 5.4.3	Diversos Tipos de caída en Soleras.....	112
Figura 5.4.4	Diseño de Protección del Lecho de Rio Aguas Abajo.....	114
Figura 5.4.5	Diseño de salto Hidráulico forzado por Soleras en la sección final y pilares deflectores .....	115

Figura 5.4.6	Ejemplos de Bloques de Concreto instalados en aguas abajo para protección del lecho del Rio .	115
Figura 5.5.1	Roles de la Esclusa.....	116
Figura 5.5.2	Esquema y Sección longitudinal de una Esclusa .....	116
Figura 5.5.3	Ejemplo de esclusas en el Japón (para el Drenaje).....	117
Figura 5.5.4	Ejemplos de Compuertas de Rio en el Japón .....	118
Figura 5.5.5	Esquemas de Compuerta de Rio .....	118
Figura 5.5.6	Ejemplo de sección Longitudinal de estación de Bombeo en el Japón .....	119
Figura 6.1.1	Esquema conceptual del ciclo de Proyecto según SNIP.....	120
Figura A1.1	Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 100 años).....	138
Figura A1.2	Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 50 años).....	138
Figura A1.3	Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 25años).....	139
Figura A1.4	Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 10 años).....	139
Figura A1.5	Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 5 años).....	140
Figura A1.6	Procedimiento para la Estimación de el Volumen de agua Requerido para Reducir la Descarga de Diseño de un Rio al Cambiar la Operación de la Presa.....	142
Figura A1.7	Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 50 a 100 años).....	142
Figura A1.8	Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 25 a 50 años).....	143
Figura A1.9	Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 10 a 25 años).....	143
Figura A1.10	Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 5 a 10 años).....	144
Figura A1.11	Rio Mantaro (Periodo de Retorno de Inudacion de 2 a 5 Años) .....	144
Figura A2.1	Clasificación de segmentos de rio y sus características en el Japón.....	146
Figura A2.2	Relacion entre la Longitud del Epigon, Dirección del Flujo del Rio y Extension del Impacto Aguasabajo basados en el Resultado experimental .....	147
Figura A2.3	Ejemplos reales de Espigones construidos en el Segmento-II los cuales fueron construidos hace mas de 200 años en el Japon (Rio Sendai).....	148

## Tablas

Tabla 3.1.1	Coficiente de Escorrentía y Tiempo de Entrada para el Método Racional.....	13
Tabla 4.1.1	Tipos de Vertederos.....	52
Tabla 4.2.1	Esquema de las Contramedidas y Elementos a ser considerados en la determinación de drenaje aguas internas.....	56
Tabla 4.3.1	Tipo de obras para las instalaciones de control de la erosión y sedimentos .....	60
Tabla 4.3.2	Tipo de Diques para el control de la erosión .....	64
Tabla 4.3.3	Tipo de instalaciones para el control de desechos leñosos .....	71
Tabla 4.3.4	Tipos de instalaciones de trampa de escombros leñosos .....	72
Tabla 4.3.5	Factores que causan o inducen desastres de deslizamiento de tierras.....	76

Tabla 4.3.6	Conceptos acerca instalaciones para el control de deslizamientos de tierra.....	76
Tabla 4.3.7	Aspectos básicos de la planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas .....	78
Tabla 4.3.8	Métodos de construcción de los distintos tipos de instalaciones para el control de avalanchas.....	79
Tabla 4.3.9	Elementos a Considerar y Confirmar para una apropiada selección de instalaciones para el control de avalanchas .....	80
Tabla 5.1.1	Fuerzas externas sobre la estabilidad del dique.....	82
Tabla 5.1.2	Borde Libre Mínimo Requerido del Dique.....	83
Tabla 5.1.3	Anchos Mínimos de la Cresta .....	84
Tabla 5.1.4	Método de diseño de seguridad contra filtraciones y el Factor de seguridad necesario .....	92
Tabla 5.1.5	Método de Diseño de Seguridad de Dique contra Filtraciones y el Factor de Seguridad Necesario.....	92
Tabla 5.1.6	Condiciones a ser consideradas para el diseño de revestimientos .....	93
Tabla 5.1.7	Método de Diseño de Estructuras de Revestimiento y Protección del Pie.....	95
Tabla 5.1.8	Tipos de Mecanismos de Colapso para Estructuras de Revestimiento y Protección de Pie .....	95
Tabla 5.1.9	Valores de Factores de Diseño para estructuras de revestimiento y de protección de Pie.....	102
Tabla 5.3.1	Relación entre los propósitos de Instalación y el Tipo de Espigón a ser Escogido.....	109
Tabla 5.4.1	Relación entre el Propósito de la Instalación y el Tipo de Espigón a ser Seleccionado .....	113
Tabla 6.2.1	Nivel Objetivo del Proyecto de Control de Inundaciones.....	122
Tabla 6.2.2	K1 and K2 for Theory of Simons y Albertson.....	123
Tabla 6.2.3	Ejemplo de la estimación del Costo medio Anual de Reducción de Daños .....	126
Tabla 6.2.4	Característica de los Índices y Formulas para su Computación.....	126
Tabla 6.2.5	Requisitos Mínimos para el Análisis de la Sensibilidad en la Evaluación de un Proyecto .....	127
Tabla 6.2.6	Ítems de Costo de Daños Directos a ser considerados por la Estimación de Beneficios de un Proyecto de Control de Inundaciones (Borrador).....	127
Tabla 6.2.7	Ratio de daños en casas/edificios por profundidad de inundación (borrador) .....	128
Tabla 6.2.8	Ratios de daños a enseres domésticos por Profundidad de Inundación (Borrador).....	129
Tabla 6.2.9	Ratio de daño para estimar el Costo de daños a Negocios y servicios (borrador) .....	129
Tabla 6.2.10	Siembra y ventas de los principales cultivos (Tabla referencial) .....	129
Tabla 6.2.11	Tabla referencial para la estimación de danos agrícolas basados en la relación entre la profundidad de la inundación y los días de duración de esta.....	130
Tabla 6.2.12	Proporcion (%) de Costo de Danos a Infraestructura Publica a el Costo del Dano a Propiedades en General .....	131
Tabla A.1	Diseño Mínimo estándar de Dique (Correspondiente a Nivel de Perfil en el Peru) .....	134
Tabla A.2	Diseño de Dique para 6 Cuencas de Rio priorizadas Seleccionadas en el Estudio (Corresponden a un Periodo de Retorno de 50 años frente a Inudaciones) .....	134
Tabla A.3	Diametros Necesarios de las Rocas Naturales para el Revestimiento en los 6 Rios Priorizados Seleccionados en el Estudio. Necessary (Corresponden a un Periodo de Retorno de 50 años frente a Inudaciones) .....	136
Tabla A.4	Información Referencial de Cuencas Representativas del Japón para la Determinación de la Extensión de La Cuenca de Retardo .....	137

Tabla A.5	Estimación del Volumen de Almacenaje Necesario para Cuencas de Retardo.....	141
Tabla A.6	Resumen del Volumen de Almacenaje Requerido en Presas para el Control de Inundación .....	144

## Lista de Abreviaciones

Siglas	Denominación oficial (Inglés en el renglón de arriba y <i>Español en el renglón de abajo (letra en itálica)</i> )
<b>AAA</b>	<i>Autoridad Administrativa del Agua</i>
<b>ACC</b>	<i>Adaptación al cambio climático</i>
<b>ALA</b>	<i>Autoridad Local del Agua</i>
<b>ANA</b>	<i>Autoridad Nacional del Agua</i>
<b>ANP</b>	<i>Áreas Naturales Protegidas</i>
<b>BM</b>	WB
<b>CENEPRED</b>	<i>Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres</i>
<b>CEPIG</b>	<i>Centro de Procesamiento de Información Geoespacial</i>
<b>CEPLAN</b>	<i>El Centro Nacional de Planeamiento Estratégico</i>
<b>CONAGERD</b>	<i>El Consejo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres</i>
<b>COP</b>	Conference of Parties
<b>C/P</b>	Counterpart
<b>CPS</b>	Country Partnership Strategy
<b>CRHC</b>	<i>Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca</i>
<b>CSP</b>	Country Strategy Paper
<b>DB</b>	Database
<b>DDO</b>	Deferred Drawdown Option
<b>DEE</b>	<i>Declaratoria de Estado de Emergencia</i>
<b>DesInventar</b>	<i>Sistema de Inventario de Desastres</i>
<b>DGAAA</b>	<i>Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios</i>
<b>DGIAR</b>	<i>Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego</i>
<b>DGIP</b>	<i>Dirección General de Inversión Pública</i>
<b>DGOT</b>	<i>Dirección General de Ordenamiento Ambiental</i>
<b>DHN</b>	Directorate of Hydrography and Navigation <i>Dirección de Hidrografía y Navegación</i>
<b>DS</b>	<i>Decreto Supremo</i>
<b>DSE</b>	<i>Declaratoria de Situación de Emergencia</i>
<b>ENFEN</b>	<i>Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”</i>
<b>GDP</b>	Gross Domestic Product
<b>PBI</b>	<i>Producto Bruto Interno</i>
<b>GIS</b>	Geographic Information System
<b>GLCC</b>	Global Land Cover Characterization, USGS
<b>GNI</b>	Gross National Income
<b>GOES</b>	Geostationary Operational Environmental Satellite
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSMaP</b>	Global Satellite Mapping of Precipitation
<b>IGP</b>	Peru’s Geophysical Institute <i>Instituto Geofísico del Perú</i>
<b>INDECI</b>	<i>Instituto Nacional de Defensa Civil</i>
<b>INEI</b>	<i>Instituto Nacional de Estadística e Informática</i>
<b>INGEMMET</b>	<i>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico</i>
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>JAXA</b>	Japan Aerospace Exploration Agency
<b>JICA</b>	Japan International Cooperation Agency
<b>MEF</b>	<i>Ministerio de Economía y Finanzas</i>
<b>MEM</b>	<i>Ministerio de Energía y Minas</i>
<b>MINAGRI</b>	<i>Ministerio de Agricultura y Riego</i>
<b>MINAM</b>	<i>Ministerio del Ambiente</i>
<b>NHC</b>	National Hurricane Center
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OPP</b>	<i>Oficina de Planificación y Presupuesto</i>

Siglas	Denominación oficial (Inglés en el renglón de arriba y Español en el renglón de abajo (letra en itálica))
<b>OSITRAN</b>	<i>Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público</i>
<b>OSSO</b>	<i>Observatorio Sismológico del Sur Occidente</i>
<b>PBI</b>	<i>GDP Producto Bruto Interno</i>
<b>PCM</b>	<i>Presidencia del Consejo de Ministros</i>
<b>PDO</b>	<i>Planes de desarrollo concertado</i>
<b>PERPEC</b>	<i>Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructura de Captación</i>
<b>PIP</b>	<i>Proyectos de Inversión Pública</i>
<b>PLANAGERD</b>	<i>Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres</i>
<b>PLANGRACC-A</b>	<i>Plan de Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático el Sector Agrario, Período 2012-2021</i>
<b>PNRH</b>	<i>Plan Nacional de Recursos Hídricos</i>
<b>PNUD</b>	UNDP
<b>POA</b>	<i>Planes Operativos Anuales</i>
<b>POT</b>	<i>Plan de Ordenamiento Territorial</i>
<b>PPRRD</b>	<i>Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres</i>
<b>PREVAED</b>	<i>Programa de reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencia y desastres</i>
<b>PRONAMACHIS</b>	<i>Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos</i>
<b>PSI</b>	<i>Programa Subsectorial de Irrigaciones</i>
<b>PVC</b>	Pacific Vision Co.Ltd.
<b>SENACE</b>	<i>Servicio Nacional de Certificación Ambiental</i>
<b>SENAMHI</b>	<i>Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología</i>
<b>SERFOR</b>	<i>Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre</i>
<b>SERNANP</b>	<i>Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas</i>
<b>SINANPE</b>	<i>Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado</i>
<b>SINPAD</b>	<i>Sistema de Información para la Prevención y Atención de Desastres</i>
<b>SNIP</b>	<i>Sistema Nacional de Inversión</i>
<b>SNIRH</b>	<i>Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos</i>
<b>UN</b>	United Nations
<b>UNDP</b>	United Nations Development Programme
<b>PNUD</b>	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo</i>
<b>UNESCO</b>	UN Educational, Scientific and Cultural Organization
<b>URL</b>	Uniform Resource Locator
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>WB</b>	World Bank
<b>BM</b>	<i>Banco Mundial. .</i>
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization
<b>OMM</b>	<i>Organisation Météorologique Mondiale</i>
<b>WRF</b>	Weather Research and Forecasting Model
<b>W/S</b>	Workshop

# 1 Introducción

---

## 1.1 Antecedentes de la Preparación de Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones

Perú es un país diverso y complejo, por su variedad ambiental que comprende sectores montañosos, áreas litorales y selvas húmedas susceptibles a desastres naturales como ser sismos, tsunamis, inundaciones y corrimiento de tierra, tales así que, las medidas contra estos riesgos es uno de los temas más apremiantes que enfrenta el gobierno peruano. Entre los cuales los daños causados por inundaciones son los que se presentan con mayor frecuencia en el país con una ocurrencia de más de 200 inundaciones al año durante el periodo 2003 - 2011 que afectaron a miles y millones de personas. En particular, la probabilidad de inundaciones de grandes magnitudes es mucho mayor durante el año en que ocurre el fenómeno de “El Niño”, provocando daños humanos y económicos que ascienden a varios miles de millones de dólares. En el caso más reciente, el gobierno peruano declaró el estado de emergencia en el mes de julio de 2015 como medida preventiva ante posibles desastres naturales que puedan ocurrir por la presencia del fuerte fenómeno El Niño en el 2016, que coincidió con el desarrollo del presente Estudio.

A partir de dichos antecedentes, el gobierno de Perú ha venido trabajando en el mejoramiento de la vulnerabilidad ante inundaciones y de fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres, con el fin de mitigar el impacto negativo provocado por el fenómeno de El Niño y de lograr además un crecimiento constante y sostenible de la economía peruana. Un ejemplo específico es la ayuda financiera (con una inversión total de 126 millones de dólares durante el periodo 1999-2009) destinada a los Gobiernos Locales a través del “Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructura de Captación-PERPEC”, elaborado con el fin de que el Ministerio de Agricultura del Perú (modificado a Ministerio de Agricultura y Riego en el 2013) a cargo de la gestión de los recursos hídricos del país, pueda proteger las zonas inundables de los riegos de inundaciones. Sin embargo, el proceso de descentralización impulsada durante la década del 2000 ha traído como consecuencia la transferencia de poderes del Gobierno Central hacia los Gobiernos Locales que albergan los ríos inundables en materia de planificación, diseño e implementación de planes y programas acerca de las medidas contra inundaciones, dando lugar a un sistema de programas de prevención de inundaciones por unidad de cuenca. Este hecho hace difícil de que se lleve a cabo una planificación y ejecución de medidas preventivas y mitigadoras contra inundaciones que aborden de manera panorámica la totalidad de las cuencas hidrográficas del país.

Esta situación dio lugar en el 2008 a la creación de la Autoridad Nacional del Agua (en adelante “ANA”) con la ayuda del Banco Mundial que tiene por finalidad el de realizar y promover las acciones necesarias para el aprovechamiento integral de los recursos hídricos. La ANA ha iniciado la gestión de las 159 cuencas hidrográficas distribuidas en todo el país juntamente con las 14 Autoridades Administrativas del Agua-AAA, las Administraciones Locales del Agua-ALA subordinadas a la AAA, así como con el Consejo de Recursos

Hídricos de Cuenca-CRHC órgano de línea de la AAA y tomador de decisiones de los lineamientos, políticas y proyectos planteados en cada una de las cuencas hidrográficas.

Bajo estas circunstancias, la ANA ha comenzado a recolectar los datos y materiales básicos para la planificación y diseño de estructuras de control de inundaciones, así como ha empezado un estudio básico para la evaluación del riesgo en áreas propensas a inundaciones en varias de las cuencas seleccionadas. Basado en la información recogida, se requieren de manera urgente un plan para el control de las inundaciones y el diseño de las estructuras fluviales para el control y mitigación de las inundaciones.

Actualmente, la ANA ha diseñado estructuras fluviales específicas para los proyectos ejecutados referentes al control de inundaciones, debido a que no existen directrices o manuales para la capacitación del personal en el área de control de inundaciones y de diseño de estructuras fluviales.

## **1.2 Propósitos de la Elaboración de las “Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones (Borrador)”**

“Normas Técnicas para Proyectos de Prevención de Inundaciones (Borrador)” (de aquí en adelante referidas como “las Normas Técnicas (Borrador)”) ha sido desarrollado como uno de los principales resultados del “Estudio Básico de la Demanda de Control de Inundaciones en la República del Perú” (de aquí en adelante referido como “el Estudio”).

En el Estudio, se muestran los conceptos del control de inundaciones con medidas estructurales, costos estimados y periodos de construcción para las cinco (5) cuencas priorizadas y las cuencas modelo seleccionadas de las 159 cuencas existentes en el Perú tomando en cuenta características topográficas y otras condiciones naturales así como características regionales. Sin embargo, es muy difícil poder determinar medidas para la mitigación de las inundaciones así como el tipo de estructuras fluviales a ser recomendadas sin tener los lineamientos o manuales para la planificación y diseño de estructuras para el control de inundaciones y para evaluar los conceptos de control de inundaciones propuesto en el Estudio.

En relación a esto, las Normas técnicas (Borrador) han sido preparadas con el propósito de estandarizar la planificación y diseño de estructuras, en particular, estructuras fluviales destinadas a medidas de control y mitigación de las inundaciones.

## **1.3 Contenido de las Normas Técnicas (Borrador)**

### **1.3.1 Contenido a ser incluido en las Normas Técnicas (Borrador)**

El contenido en la norma técnica es el siguiente:

- Desastres a ser considerados en el manejo de la Cuenca y políticas básicas para la mitigación de desastres
- Gestión básica de riesgo de desastres en Cuencas de Rio
- Control básico de riesgo de inundación y mitigación

- Conceptos básicos de diseño de estructuras fluviales para el control de riesgo de inundación y mitigación
- Evaluación de Proyectos para el control del riesgo de inundación y mitigación

En adelante, cada contenido arriba mencionado ha sido establecido como un capítulo dentro de las Normas Técnicas (Borrador) y se ha sido descrito y explicado los conceptos básicos de la planificación y diseño de estructuras fluviales para el control de riesgo de inundación y mitigación. Adicionalmente al riesgo por inundación, desastres ocasionados por los sedimentos son uno de los principales causantes de desastres Hidro - meteorológicos más comunes en las áreas altas de las cuencas en el Perú. Además, los desastres ocasionados por los sedimentos en las partes altas deben de ser considerados como uno de una serie de desastres que ocurren en una cuenca conjuntamente con los desastres originados por las inundaciones en las partes media y baja de la cuenca. Los desastres originados por la inundación y sedimentos deben de estar armonizados y coordinados en la cuenca de un río. Consecuentemente, han sido descritos en el Capítulo 3 los conceptos básicos de control y mitigación contra desastres de sedimentos, gestión del riesgo de desastres en cuencas de río y en el Capítulo 4 se describe el control básico de riesgo de inundación y mitigación así como conceptos básicos del control del riesgo de inundación y mitigación.

### **1.3.2 Materiales y Documentos de referencia para la preparación de las Normas Técnicas (Borrador)**

Las Normas Técnicas (Borrador) han sido desarrolladas basadas en las siguientes directrices:

- Japan: the Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT): Technical Criteria for River Works (Guía Práctica para la Planificación y Guía Práctica para el Diseño)

Adicionalmente, las Normas Técnicas (Borrador) han sido preparadas en referencia a los siguientes documentos y materiales:

- Perú: ANA: Curso sobre Defensa Ribereña
- Perú: ANA: 8.5 Enrocado.xls
- Perú: MEF: Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas
- Perú: MEF : Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Protección de Unidades Productoras de Bienes y Servicios Públicos Frente a Inundaciones, a Nivel de Perfil
- Perú: MEF : Anexo CME 25: Contenidos Mínimos Específicos De Estudios de Pre inversión A Nivel De Perfil de Proyectos de Inversión Pública de Servicios de Protección Frente A Inundaciones
- Japan: Government Ordinance for Structural Standards for River Administration Facilities (Ordenanza estructural)
- JICA: Estudio Preparatorio Sobre El Programa De Protección De Valles Y Poblaciones Rurales Y Vulnerables Ante Inundaciones En La República Del Perú (2013)
- JICA: El Estudio de Plan Maestro sobre El Proyecto de Prevención de Desastres en La Cuenca del Río Rímac (1988)

## 2 Desastres a ser considerados en la Gestión de Cuenca de Rio y Políticas Básicas para la Mitigación de Desastres

### 2.1 Generalidades

Las medidas contra los desastres en la Cuenca de un río deben de ser implementadas de manera sistemática y desde un punto de vista a largo plazo para garantizar la seguridad en la frágil tierra, así como para el desarrollo de una sociedad sostenible así como para realizar un uso eficiente del suelo y la conservación del medio ambiente.

La planificación de medidas contra los desastres no solo tiene que tratar de prevenir desastres ocasionados por fuerzas externas de cierta magnitud, sino que también tienen que minimizar los daños si se exceden estas magnitudes.

Los “Desastres” a ser considerados en una cuenca de río son: Inundaciones, Desastres por Sedimentos (Deslizamiento y Movimiento de Masa y Huayco /Flujo), Erosión en área Costera, terremotos, Avalancha y GLOF (Glacial Lake Overburst Flood), Sequía se muestran en la figura a continuación:



Fuente : Equipo de Estudio de la JICA

#### Figura 2.1.1 Desastres Naturales a ser mitigados por un Apropiado Manejo de Cuenca

En particular, los tipos significativos de desastres con daños que pueden ser mitigados a través de los trabajos de mejoramiento en el río y actividades de manejo de la cuenca son tres (3):

- Desastres por Inundación
- Desastres por sedimentos
- Desastres por terremotos en estructuras fluviales construidas para el control de inundaciones y sedimentos

En estas Normas Técnicas (Borrador) se describen principalmente el control de riesgo y/o medidas de mitigación contra desastres de inundación.

Se explica a continuación los conceptos básicos y las ideas que deben adoptarse contra estos tres (3) tipos de desastres (Inundación, sedimentos y terremoto) en el marco de gestión de Cuenca:

## 2.2 Contramedidas básicas frente a desastres por inundación

Un desastre de inundación puede ser definido como el daño a la vida humana, sus propiedades y a las actividades económicas y sociales causadas por una avenida o una marejada.

La planificación de contramedidas ante posibles desastres por inundaciones debería de estar basadas primordialmente alrededor de la prevención y mitigación de desastres por inundación de cierta magnitud ocasionados por fuerzas externas como precipitaciones y tiene que tomar en consideración la minimización del daño en caso de que ocurriese un fenómeno que exceda cierta magnitud.

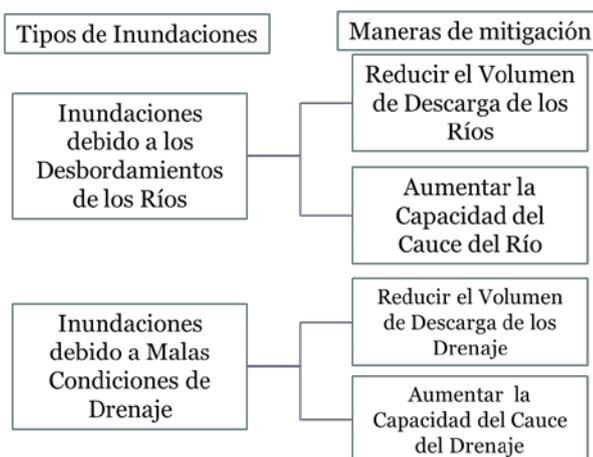
También es importante en el tema de las contramedidas ante desastres por inundación tomar en consideración las características del río y de la inundación, la forma del desastre de inundación y la situación en el área adyacente al río, con el fin de lograr el balance integral del sistema hídrico, incluyendo el balance entre la parte alta y baja de la cuenca con el río principal y los tributarios.



Fuente : Equipo de Estudio de la JICA

**Figura 2.2.1 Ejemplo real de desastres por Inundación**

En términos de ingeniería fluvial hay dos tipos de desastre de inundación: inundaciones causadas por el desborde del río principal e inundaciones causadas por el desborde de los tributarios o aguas de lluvia que no ha sido drenadas al río principal y se estancan en las áreas bajas. Ambos tipos de inundación deben de ser tratados de manera respectiva por las distintas medidas que se muestran en la figura de abajo, ya que las causas que originan la inundación son muy diferentes entre si.



Fuente : Equipo de Estudio de la JICA

**Figura 2.2.2 Medidas para el control o mitigación de desastres por inundación**

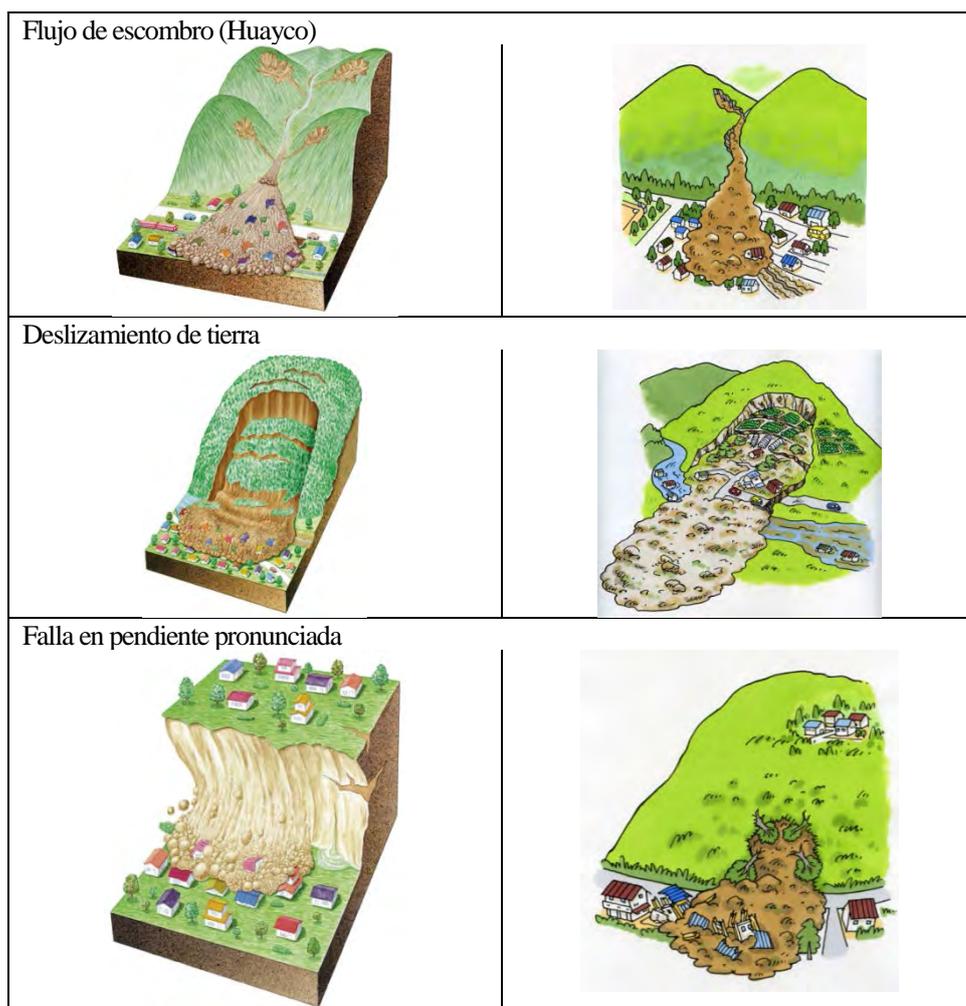
### 2.3 Contramedidas básicas para desastres por sedimentos

Desastres por sedimentos pueden ser definidos como daños a la vida humana e instalaciones públicas a través del movimiento de sedimentos tales como deslizamientos de tierra y erosión de laderas de montañas o superficies de pendientes, flujo de sedimentos.

Las contramedidas para los desastres de sedimentos deben de ser implementadas de manera eficiente y efectiva basándose en el conocimiento de los mecanismos de movimientos de sedimentos y la ocurrencia de desastres. De manera apropiada deben combinar medidas estructurales tales como la construcción de instalaciones y medidas blandas como el establecimiento de sistemas de alertas y de evacuación. Estas medidas deberían también tomar en consideración tan como sea posible y donde sea requerido, el balance de movimiento de sedimentos sobre la totalidad del sistema del transporte de sedimentos, incluyendo las áreas costeras.

Adicionalmente, la implementación de contramedidas para desastres por sedimentos necesita de estar orientadas no solo a prevenir desastres de la escala proyectada sino que también deben de minimizar, si es que ocurriera, los daños de un desastre a escala mayor.

Los tres (3) desastres por sedimentos más frecuentes en una cuenca de río son ilustrados en las siguientes figuras:



Fuente : NPO Sediment Disaster Prevention Publicity Center (SPC)

**Figura 2.3.1 Tres (3) típicos desastres por sedimentos**

## 2.4 Contramedidas básicas para desastres ocasionados por terremotos

El propósito de una contramedida para un desastre ocasionado por un terremoto es el de proteger las instalaciones de gestión de ríos, las instalaciones de control de erosión y las instalaciones de protección costera de los desastres que pueda causar un movimiento sísmico; prevenir y mitigar los desastres secundarios resultantes, tales como desastres por inundación y sedimentos, así como prevenir y mitigar los desastres causados por un tsunami.

Para la protección contra el movimiento sísmico, la performance sísmica necesaria deberá de ser determinada basándose en las características de los ríos y de las instalaciones de protección costera y control de erosión. Para la protección contra tsunamis, contramedidas que incluyan la protección costera deberían de ser implementadas.



Fuente: Foto Lado Izquierdo ): Public Works Research Institute (PWRI) of the MLIT:

<https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/webmag/wm023/kenkyu.html>

Foto (Lado Derecho): Kanto Regional Development Bureau of the MLIT:

<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h24giken/program/kadai/pdf/shitei/shi2-03.pdf>

**Figura 2.4.1 Damaged Dike by Earthquake**

## 3 Gestión Básica de Riesgos de Desastres en Cuencas de Río

---

### 3.1 Prevención de la Inundación (Planificación de la Gestión en el Río)

El objetivo de la planificación de la gestión en el río debería de ser el armonizar el balance entre el control de las inundaciones, la utilización del agua y la función medioambiental así como también debería de contemplar un manejo integral de los sedimentos. La planificación de la gestión en el río también debe de considerar la calidad de la diversa data utilizada, como ser data hidrológica, incluyendo la tasa de precipitación y de flujo, y la data medioambiental

Un plan de prevención de inundaciones primero necesita adoptar un hidrograma de inundación (de aquí en adelante referido como el diseño de inundación). Este diseño de inundación es la base del plan en los puntos de control de diseño y es adoptado con el objetivo de asegurar la modificación deseada en el comportamiento de la inundación para prevenir o mitigar desastres causados por las inundaciones fluviales.

Por este motivo, el plan de prevención de inundaciones debería de ser preparado de tal manera que las instalaciones a ser construidas utilizando el diseño de inundación, estén técnica y económicamente bien balanceadas a lo largo del sistema fluvial, de tal manera que se logre el nivel de funcionalidad deseado.

En la preparación de un plan de prevención de inundaciones, es necesario examinar de manera integral las funciones del sistema fluvial, incluyendo el control de inundaciones, el uso de agua y las funciones medio ambientales. Debe de ser notado que el objetivo del plan no es el controlar la máxima inundación posible en un determinado río. El objetivo del plan es el no solamente controlar el diseño de inundación, sino que también el de ser capaz de manejar un evento de inundación que exceda el diseño de inundación (de aquí en adelante referido como el exceso de inundación) donde sea necesario.

La política principal de la gestión del río deberá especificar el flujo pico del diseño de inundación en los puntos de control de diseño, despliegue de canales de río e instalaciones para el control de inundaciones así como el diseño para descarga de inundaciones en locaciones principales.

El plan de mejoras del río debe especificar los años fijados como objetivo para alcanzar las metas por etapas y deberá de estar orientado a prevenir las inundaciones de cierta magnitud y donde sea necesario mitigar los daños ocasionados por las inundaciones que excedan el diseño de inundación. También, el plan debe de enfatizar el uso eficiente de las instalaciones existentes y de las medidas no estructurales así como considerar contramedidas a ser implementadas por las comunidades en la cuenca del río.

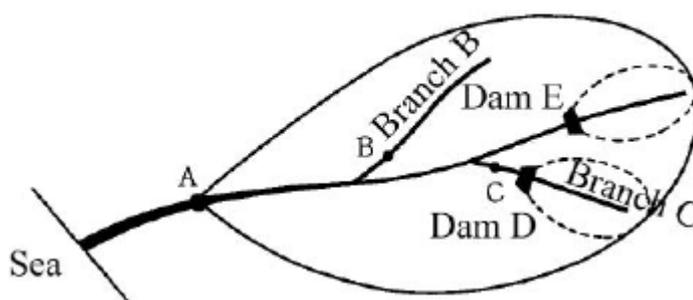
### 3.1.1 Diseño del Punto de Referencia

Los puntos de control de diseño deben de ser escogidos para tener suficientes datos hidrológicos, deben de servir como locaciones para conducir análisis hidrológicos e hidráulicos y tiene que estar estrechamente ligados al plan general. Estos puntos deben de ser establecidos siempre que sean necesarios para el plan.

Explicación :

Los puntos de control de diseño son usados como puntos en donde se evalúan las metas de los niveles de seguridad. Locaciones adecuadas son estaciones de medición en ríos ó embalses ó en otra infraestructura existente para el control de inundaciones y otros puntos inmediato aguas arriba en áreas protegidas por proyectos de control de inundaciones que puedan servir como bases para el análisis hidrológico.

La escala de la precipitación objeto de estudio puede variar de punto a punto y de haber instalaciones diferentes sujetas al plan en una misma locación, puede ser que el valor de las precipitaciones pueda variar entre cada una.



Puntos "A", "B" y "C" son Puntos de referencia de diseño

Fuente : Technical Criteria for River Works (Practical Guide for Planning), the MLIT, Japan

**Figura 3.1.1 Ejemplo de Diseño de Punto(s) de Referencia**

### 3.1.2 Determinando la escala de diseño

Para determinar la escala de la planificación, la importancia del río a ser estudiado tiene que ser enfatizada y deberán de ser tomados en consideración los daños causados por las inundaciones pasadas, los efectos económicos y otros factores relacionados.

Explicación :

Las escalas de diseño recomendadas para proyectos de control de inundaciones en el Perú han sido descritas en la sub sección 6.2.2 del capítulo 6 de estas Normas Técnicas (Borrador)

Cuando se establecen planes de prevención de inundaciones dentro un mismo sistema fluvial, se debe de tener la suficiente consideración para mantener la consistencia entre las áreas aguas arriba y las áreas aguas abajo con respecto a la escala de la planificación, así como entre el río principal y tributarios.

### **3.1.3 Precipitación Objeto de Estudio**

La precipitación objeto de estudio es seleccionada para cada punto de control diseñado. La precipitación objeto está compuesta por tres elementos: La cantidad de precipitación, la distribución temporal de la precipitación y la distribución regional de la precipitación.

#### **(1) Determinando la cantidad de precipitación objeto de estudio**

La cantidad de precipitación objeto de estudio debe de ser determinada estableciendo la escala de planificación con lo estipulado en la Sección 3.2.1 de este capítulo y en la sub sección 6.2.2 del capítulo 6, y también estableciendo la duración de la lluvia.

Explicación :

Ejemplos reales para determinar la cantidad de precipitaciones objeto son descritos en la parte final del reporte del Estudio para las cuencas priorizadas y de modelos.

#### **(2) Revision de inundaciones anteriores**

La revisión de inundaciones pasadas deberá de incluir las características, duración y distribución espacial de las cantidades de lluvia que las origino; sus niveles de agua y los datos hidráulicos e hidrológicos tales como tasa de descargas, situación de la inundación y los daños reales, etc.

#### **(3) Duración de la precipitación objeto de estudio**

Al determinar la duración de la precipitación objeto de estudio es necesario considerar el tamaño de la Cuenca del río, las propiedades la precipitación, los patrones de la escorrentía superficial, el tipo de instalación del proyecto y cualquier otra dificultad para poder acceder a data histórica, etc.

**(4) Determinación del tiempo y el área de distribución de la precipitación objeto de estudio**

La distribución espacial y temporal de la precipitación objeto de estudio debe de ser determinada para un número considerable de tal manera que cada precipitación objeto de estudio tenga un valor equivalente de precipitación a la determinada en la escala de planificación en la sección 3.2.1 de este capítulo.

Deberá de ser corregida si es que emergen inconsistencias significativas al simplemente extender las distribuciones.

**(5) Ajuste entre la duración de la precipitación real y la duración de la precipitación objeto de estudio**

Si la duración de la precipitación real seleccionada en la sección 3.1.4 (3) y (4) difiere de la duración de la precipitación objeto de estudio, el siguiente ajuste deberá ser hecho, dependiendo de la duración:

1. Cuando la duración de la precipitación real es menor a la duración de la precipitación objeto

Dejar la duración de la precipitación real tal como esta y extienda solamente la cantidad de precipitación a la cantidad de la precipitación objeto de estudio. En este caso, sin embargo, de haber alguna inconsistencia tal y como se describe en la sección 3.1.4 (4), la corrección del caso debería de ser hecha dentro de ese rango.

2. Cuando la duración de la precipitación real es mayor a la duración de la precipitación objeto de estudio.

Como regla, se deberá adoptar la solución descrita arriba en 1. Sin embargo, si las cantidades de precipitación luego de la extensión son significativamente grandes en comparación con la cantidad de la precipitación objeto, entonces y como regla, extender la cantidad de precipitación durante un tiempo equivalente a la duración de la precipitación objeto solamente y use la precipitación real para cualquier otra precipitación antes de ese tiempo.

**3.1.4 Método para determinar la inundación de diseño**

Aunque existen varios métodos diferentes para determinar la inundación de diseño, el más común y el que de debería de ser utilizado como estándar está basado en el análisis de las precipitaciones. La inundación de diseño deberá de ser establecido para cada uno de los puntos de control diseñado.

### (1) Determinando la inundación de diseño

La inundación de diseño debe de estar determinado a partir del hidrograma de inundación planteado para las precipitaciones objeto de estudio seleccionadas en la Sección 3.1.4 de este Capítulo. Un modelo de escorrentía de inundación apropiado será utilizado, y se harán las consideraciones integrales de las características de inundaciones pasadas, instalaciones de proyectos, etc.

Explicación :

Ejemplos reales para la determinación de la inundación de diseño están descritos en el reporte final del estudio para las cuencas priorizadas y modelo.

### (2) Conversión de precipitaciones objeto de estudio a descarga de flujos

Se deberá utilizar un método de cálculo de escorrentía que sea el más indicado para las características del río en cuestión para convertir la precipitación objeto de estudio a descarga de flujo. El método racional puede ser utilizado para ríos en donde el almacenamiento de la inundación no tiene que ser tomado en consideración.

Explicación :

El Método de la Formula Racional es un método conveniente para la estimación de la descarga máxima de inundación. Se utiliza ampliamente en ríos en donde no hay que contemplar el fenómeno de almacenamiento. Este método considera la forma del área de captación como rectangular que es simétrica al curso del río y considera que las precipitaciones fluyen por la pendiente del área de captación a una velocidad constante hacia el curso del río.

La descarga máxima del flujo está dada por la siguiente formula racional:

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r \cdot A \cdot (1 + \alpha)$$

Donde:

Q: Descarga de inundación máximo (m<sup>3</sup>/s)

f: Coeficiente de escorrentía adimensional

r: Intensidad de la lluvia durante el tiempo de concentración de la inundación (mm/h)

A: Área de captación (km<sup>2</sup>)

$\alpha$ : Tasa de mezcla con sedimento (por lo general,  $\alpha$  es un despreciable.)

### (3) Determinación de constantes para el modelo de escorrentía de inundación

Quando se determinen las constantes para el modelo de escorrentía de inundación que se use para convertir la precipitación objeto de estudio a descarga de flujo, los siguientes factores deben de ser considerados:

1. Diferencias posibles entre las escalas reales y de diseño de inundación.
2. Cambios posibles en las condiciones de la cuenca debido a la inundación (uso del suelo, deforestación ó reforestación, etc.).

Explicación:

Ejemplos reales para la determinación de constantes para el modelo de escorrentía de inundación son descritos en el reporte final del Estudio para las cuencas priorizadas y cuencas modelo. En el Estudio, el modelo RRI ha sido el adoptado para estimar las descargas de inundación. En el modelo RRI, los parámetros para la escorrentía de inundación son obtenidos de manera automática basada en datos históricos.

Los siguientes valores predeterminados pueden ser utilizados para el coeficiente de escorrentía cuando se usa el método racional y un tiempo de entrada puede ser usado para el cálculo del tiempo de concentración (tiempo que le toma a la inundación de viajar desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto del canal del río bajo consideración).

**Tabla 3.1.1 Coeficiente de Escorrentía y Tiempo de Entrada para el Método Racional**

Coeficiente escorrentía		Tiempo de entrada	
Área densamente construida	0.9	Cuencas de ríos montañosos	2km <sup>2</sup> : 30 min
Área construcción general	0.8	Cuencas con pendientes pronunciadas	2km <sup>2</sup> : 20 min
Campos y planicies	0.6	Áreas con sistemas de desagüe	2km <sup>2</sup> : 30 min
Campo de arroz	0.7		
Montaña	0.7		

Fuente : Technical Criteria for River Works (Practical Guide for Planning), the MLIT, Japan

### (4) Consideración de las aguas internas de drenaje (drenaje urbano)

Quando se considere que las aguas a ser drenados van a tener una gran influencia, esta deberá de ser tomada en consideración.

#### 3.1.5 Diseño de la descarga de inundación.

En la planificación de protección contra inundaciones, la descarga de aguas altas, a ser usada como base para el canal del río y la planificación de embalses para locaciones principales, deberá ser determinada mediante el encausamiento racional de la inundación de diseño a través del cauce del río, canales, presas, etc. A esto se le conoce como el diseño de descargas de inundación.

**(1) Elementos a ser examinados al determinar el diseño de la descarga del flujo de inundación**

Al establecer el diseño de la descarga del flujo para el cauce de un río, embalse, cuenca de control de inundaciones, etc., es importante considerar ampliamente cada uno de los siguientes puntos:

1. Estudio de las instalaciones de control, tales como presas, reservorios de regulación y cuencas de control de inundación desde los puntos de vista técnicos, económicos, sociales y de conservación medioambiental.
2. Estudio sobre el mejoramiento de los cauces del río y la distribución a los canales de desvío, canales de descarga y tributarios, etc. desde los puntos de vista técnicos, económicos, sociales y de conservación medioambiental
3. Temas concernientes a las coordinaciones presentes y futuras sobre planes de desarrollo regional a lo largo del río así como cualquier otro proyecto relacionado al río.
4. Perspectivas y políticas sobre estrategias para contrarrestar el incremento de la descarga a futuro debido al incremento de la urbanización.
5. Medidas técnicas, económicas y sociales para manejar el tema de la inundación excesiva.
6. Evaluación en cada una de las fases de la implementación del proyecto.
7. La dificultad para la operación y mantenimiento de las instalaciones específicas.

**(2) Medidas contra las inundaciones excesivas**

Para ríos donde se anticipan daños serios debido a que las inundaciones excedan el nivel diseñado, se deben de planificar las medidas para mitigar los efectos de estos excesos.

**3.2 Aspectos básicos del uso apropiado de los ríos y mantenimiento de las funciones normales del río**

Los elementos básicos asociados al uso apropiado de los ríos y el mantenimiento de las funciones normales del río deben de ser el objetivo del manejo apropiado del río. Deben de ser la base para determinar el flujo de descarga necesario para mantener un normal funcionamiento de las aguas del río así como para establecer la política para asegurar esta descarga de flujo y que se tenga consistencia con las funciones del control de inundaciones.

### 3.2.1 Descarga de Flujo Normal

Hay dos tipos de descargas de flujo que tienen que ser determinadas. La primera es la descarga de flujo determinada con total consideración de las funciones del agua tales como navegación, pesca, turismo; mantenimiento del agua limpia en los ríos, prevención de daños por sal, prevención de atoramiento de la desembocadura del río; protección de las instalaciones de gestión del río; mantenimiento de los niveles del agua subterránea; valores paisajísticos y ecosistemas; y el asegurar las oportunidades de interacción humana con el río. Esta descarga entonces será referida de aquí en adelante como “descarga de flujo de mantenimiento”

Lo segundo es la descarga de flujo necesaria para la utilización de agua corriente abajo el cual es determinado por la descarga del flujo de mantenimiento (de aquí en adelante referido como “descarga de flujo para utilización del agua”); esta descarga es determinada en el punto que sirve como referencia para el manejo apropiado del río.

La descarga del flujo normal, de ser necesaria, se debe determinar para tramo del río que representa fluctuaciones anuales en las descargas de flujo de mantenimiento y las descargas de utilización de agua.

#### (1) Descarga del flujo de mantenimiento

La descarga del flujo de mantenimiento deberá de ser determinado para cada una de las diferentes secciones del río, divididas tomando en cuenta las semejanzas de sus propiedades.

La descarga del flujo de mantenimiento, de ser necesario, deberá de ser determinada para cada tramo de los ríos.

Explicación :

Los siguientes elementos deben de ser tomados en consideración al determinar la descarga del flujo de mantenimiento:

1. Navegación fluvial
2. Pesca
3. Mantenimiento de agua limpia del río
4. Prevención de daños por salinización
5. Prevención de atoramiento del estuario.
6. Protección de las instalaciones de gestión del río
7. Mantenimiento del nivel de aguas subterráneas
8. Paisaje
9. Status del ecosistema

**(2) Determinación de la descarga de flujo para utilización del agua**

La descarga de flujo para utilización del agua deberá de ser determinada para cada una de las locaciones seleccionadas como apropiadas para la condición actual de utilización del agua del río. La descarga deberá de ser establecida para cada una de las secciones determinadas por tramo del río teniendo en consideración los patrones anuales de uso de agua.

**3.2.2 Aspectos básicos de la mejora y conservación del ambiente del río**

Los aspectos fundamentales de la mejora y conservación del ambiente del río incluyen: la conservación y restauración de hábitat de plantas y animales; el mantenimiento y mejora del paisaje; la creación y mantenimiento de espacios para la interacción del hombre con el río; y la conservación de la calidad del agua.

**(1) Restauración y Conservación de un ambiente saludable para plantas y animales**

Para el manejo y mejoramiento del río, se deben realizar los esfuerzos para mantener las comunidades bióticas y hábitats que beneficiaran al río en el futuro, tomando en consideración el estado presente y los cambios que han sucedido en el pasado con las comunidades bióticas como en hábitat del río.

**(2) Mantenimiento y Mejoramiento del Paisaje**

En el mantenimiento y manejo de los ríos, se deben hacer esfuerzos para el mantenimiento y mejora de los paisajes formados alrededor del río, tomando en consideración los atributos naturales del paisaje fluvial así como los antecedentes históricos y culturales de la región.

**(3) Mantenimiento y creación de espacios para actividades que acerquen al hombre al contacto con el río**

En el mantenimiento, mejora y manejo del río, se deben de hacer esfuerzos para conservar el ambiente riveroño así como para mantener y mejorar los espacios en donde las personas puedan entrar en contacto cercano con el ambiente del río.

#### **(4) Preservación de la calidad del Agua**

En la mejorara y manejo del rio, se deben hacer esfuerzos para preservar la calidad del agua de tal manera que sea utilizada de manera propicia, y mantener la función normal del rio y del medio ambiente acuático.

### **3.3 Planificación de gestión de sedimentos**

La planificación de gestión de sedimentos es el proceso de preparación de planes maestros que apunten a prevenir o mitigar desastres relacionados con los sedimentos. Tales planes incluyen: Planes de prevención de deslizamientos; Planes para la prevención de fallas en pendientes empinadas; Planes de control y mitigación de avalanchas; y Planes integrales de prevención y mitigación de impactos de desastres por sedimentos que contemple la combinación de flujo de escombros, deslizamientos de tierra, y fallas en pendientes empinadas.

Explicación :

Lo siguiente es una lista de temas a ser tomados en consideración en la planificación de la gestión de sedimentos y erosión.

- Ambiente social, incluyendo el uso del suelo en la Cuenca del rio, etc.
- Historial de desastres y proyectos.
- El nivel de seguridad a ser asegurado contra desastres por sedimentos
- Manejo integral de sedimentos en la totalidad del sistema sedimentario
- Conservación y restauración de un buen ambiente natural
- Construcción y mantenimiento de un buen paisaje
- Utilización de las cuencas de los ríos, etc.

### 3.3.1 Planes Maestros para la Gestión de Sedimentos y Erosión en Cuencas de Río

Los Planes Maestros para la gestión de sedimentos y erosión en cuencas de río deben de ser diseñados de tal manera que sedimentos peligrosos puedan ser manejados de manera racional y efectiva dentro del área diseñada para prevenir y mitigar la producción de sedimentos en la cuenca objeto de estudio y los desastres producidos por sus descargas.

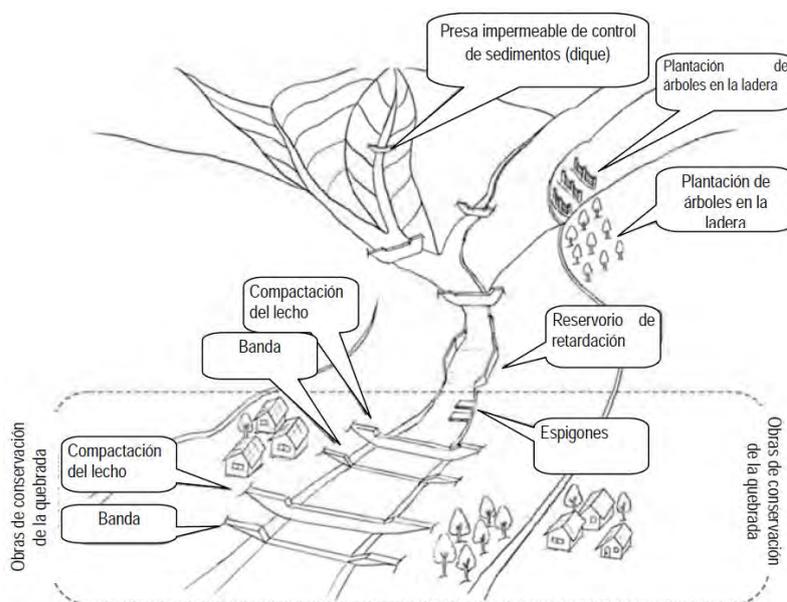
Los Planes Maestros para la gestión de sedimentos y erosión en cuencas de río son como sigue:

- Planes maestros para la gestión de sedimentos y erosión en sistemas fluviales,
- Planes de control para el flujo de escombros,
- Planes de prevención para residuos leñosos grandes
- Planes de control para erosión y sedimentos volcánicos, y
- Planes de prevención de desastres por sedimentos anormales como deslizamiento desde depósitos naturales de sedimentos concentrados en los bordes de los ríos.

Estos planes serán desarrollados e implementados de acuerdo a los fenómenos de desastres y las razones por la que se toman las contramedidas.

Explicación :

Varios planes pueden ser preparados para estas cinco categorías de manera simultánea para la misma región; dependiendo del tipo de fenómeno y el propósito de las contramedidas. En tales casos, los planes deberán de ser preparados de manera separada para cada uno de los fenómenos que originen desastres y es necesario ajustar cada plan para mantener la consistencia entre los planes.



Fuente: Figura 4.3.2.2-1 Obras de control de sedimentos Informe Final Estudio Preparatorio sobre El Programa de Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables Ante Inundaciones

**Figura 3.3.1 Medidas de Mitigación y Prevención**

(1) **Elementos básicos asociados a la gestión de sedimentos y erosión del sistema del río**

Un plan de manejo de sedimentos y erosión en un sistema fluvial debe de ser establecido con el propósito de asegurar las funciones de control de inundaciones y utilización del agua del río. También debería de apuntar a conservar el medio ambiente a través de la prevención y mitigación de desastres por sedimentos controlando el movimiento de sedimentos peligrosos al sistema fluvial desde las áreas montañosas, donde son producidas y entran a los torrentes y eventualmente pueden llegar al río.

Como parte del plan de gestión de sedimentos y la erosión en un sistema fluvial, un plan de gestión de sedimentos peligrosos racional y efectivo deberá de ser diseñado basado en el diseño de descarga de sedimentos, etc.

En un sistema fluvial en donde son evidentes los problemas relacionados con el movimiento de sedimentos, el plan debe de ser establecido teniendo en consideración la promoción de una gestión integral de sedimentos.

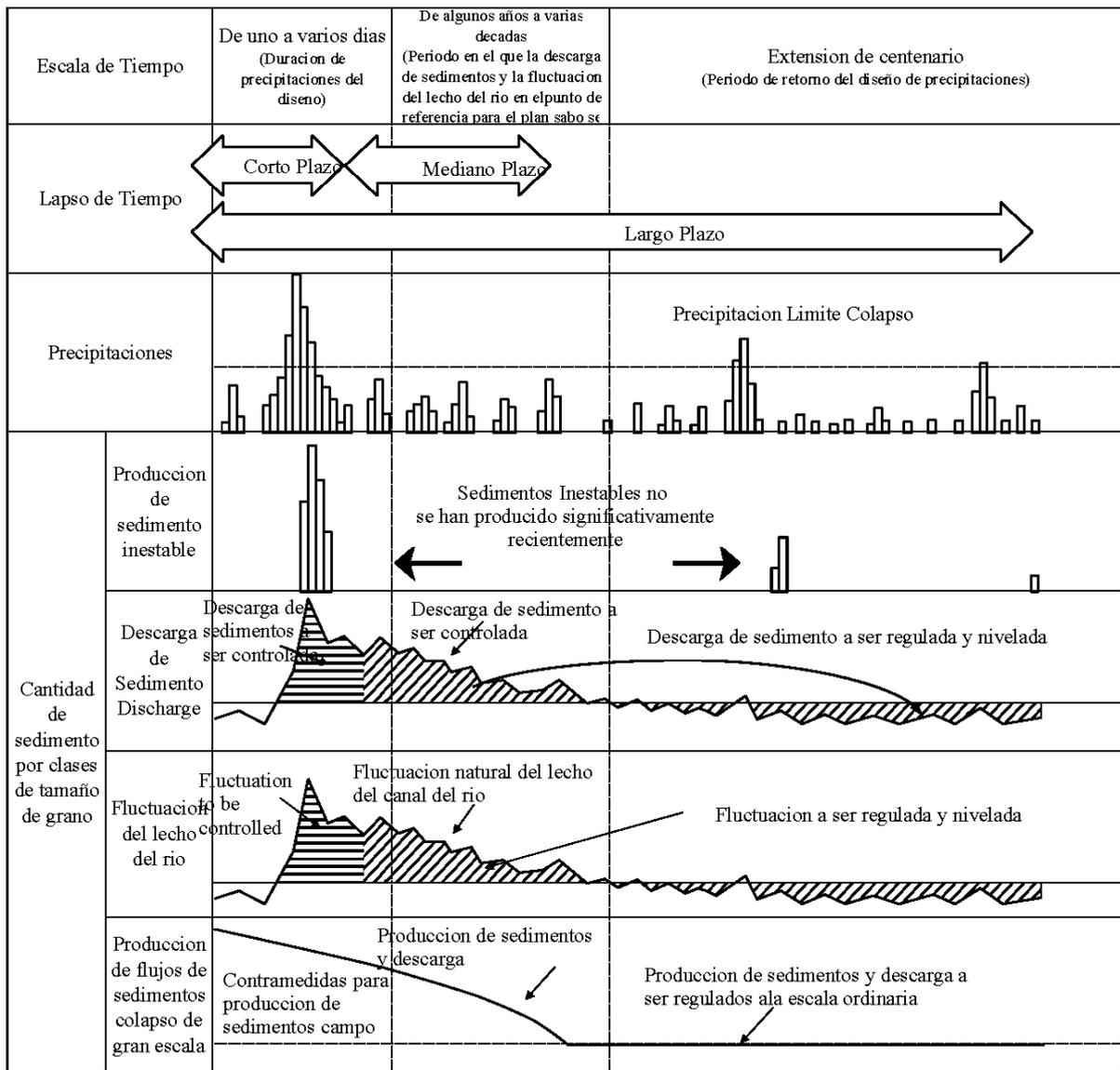
Explicación :

Al diseñar un plan de gestión de sedimentos y erosión en un sistema fluvial, los siguientes tres elementos deberán de ser considerados:

- Descarga de sedimentos;
- Calidad del sedimento (tamaño del grano); y
- La escala de tiempo del movimiento del sedimento.

Un diagrama conceptual del movimiento de sedimentos en un plan de gestión de sedimentos y erosión para un sistema fluvial formado por estos tres elementos se muestran en la figura de abajo.

Ya que un plan de gestión de sedimentos y erosión en un sistema fluvial debe de estar basado en el entendimiento del proceso que ocurre dentro del sistema y de la data acumulada al respecto, **es necesario realizar un monitoreo de sedimentos.**



Fuente : Technical Criteria for River Works (Practical Guide for Planning), the MLIT, Japan

**Figura 3.3.2 Diagrama conceptual del Plan Sabo para el sistema integral del rio**

**(a) Escala de diseño**

La escala de diseño, para un plan de gestión de sedimentos y erosión de un sistema fluvial, deberá de ser generalmente determinada a partir de la evaluación de la probabilidad de que la precipitación objeto de estudio pueda exceder la precipitación anual, al mismo tiempo se tomará en consideración una serie de factores como eventos de desastres en cada sistema fluvial, la importancia, beneficios y efectos adversos de la planificación, etc.

(b) **Puntos de control de diseño en un plan maestro de gestión de sedimento y erosión**

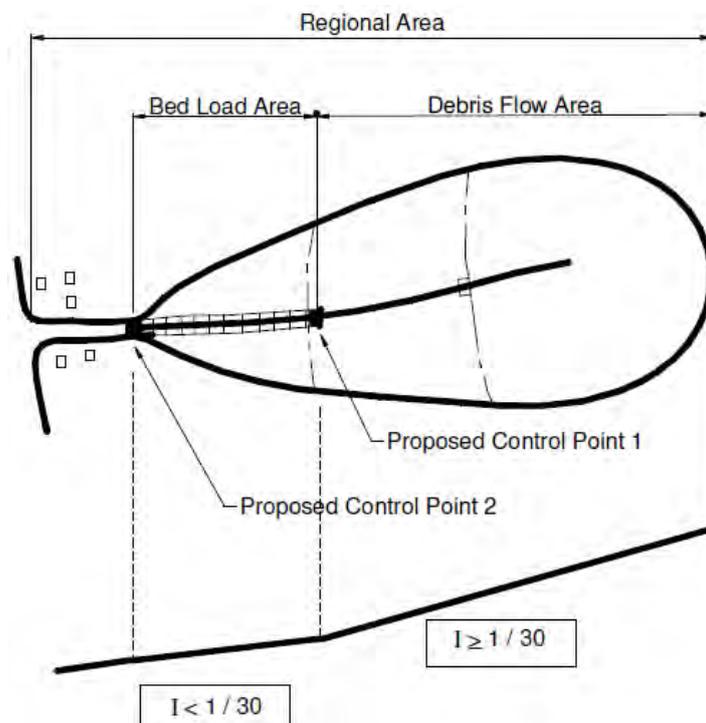
Los puntos de control de diseño son los puntos en donde se establecen objetivos para el volumen de sedimentos. Los puntos de control de diseño serán establecidos en el tramo más bajo del área objetivo, en locaciones asociados a la planificación del río, en tramos superiores que son objeto de conservación y en los tramos más bajas en donde los sedimentos probablemente se asentaran, entre otros.

Los puntos auxiliares de referencia serán determinados de ser necesario para determinar movimientos de sedimentos en algún lugar en donde el patrón de movimiento de sedimentos cambie, por ejemplo en tramos superiores de un tributario que es objeto de conservación o en la confluencia de un tributario con el cauce principal.

Explicación :

Básicamente, los puntos de control de diseño en un plan maestro de gestión de sedimentos y erosión deberán de ser establecido de la siguiente manera:

- El punto más bajo en donde el huayco/flujo de escombros se pueda generar. (Pendiente media del lecho del río: 1/30)
- El punto en el tramo superior de un área de conservación o donde la pendiente media del lecho del río esta casi 1/100.



Fuente: Technical Standards and Guidelines for Planning and Design (Vol.III: Sabo (Erosion and Sediment Movement Control) Works, March 2002, Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH, JICA

**Figura 3.3.3 Puntos de control de diseño en un plan maestro de gestión de sedimentos y erosión**

(c) **Volumen de sedimento de diseño**

- Generación de sedimento de diseño,
- Descarga de sedimento de diseño, y
- Descarga tolerable de sedimento de diseño

Deberán de ser determinados como el volumen de sedimento diseñado necesario para el desarrollo del plan de gestión de sedimentos como parte del plan de gestión de sedimentos y erosión del sistema fluvial.

Explicación :

La generación de sedimentos de diseño incluye sedimentos de erosiones recientes procedentes de las montañas o del colapso de áreas ribereñas, sedimentos provenientes de la expansión de colapsos anteriores, y sedimentos residuales de colapsos antiguos que probablemente serán descargados al momento de ocurrir un colapso o se acumulan en el lecho del río y se convierte en parte de una erosión secundaria. La generación de sedimentos de diseño será determinado a partir de data generada por estudios del estado actual, así como de evaluaciones de desastres anteriores, evaluaciones de áreas similares, etc.

La descarga de sedimento de diseño es parte de la generación de sedimentos de diseño que es transportada por la fuerza de tracción del flujo de escombros o escorrentía a escala de precipitaciones de diseño que alcance los puntos de control diseñados. Se lo debe determinar en consideración a las descargas de sedimentos del pasado, la topografía de la cuenca, la capacidad de ajuste del cauce del río, etc.

Al computar la fuerza de tracción, es deseable usar la tasa de flujo de escorrentía calculado teniendo en consideración las características de los cursos de aguas de las montañas.

La descarga de sedimento tolerable de diseño es el volumen de sedimento que no representa peligro alguno para el punto de control del diseño, para el área de aguas abajo o para el área costera. Este sedimento debe de ser transportado y es determinado en consideración a la fuerza de tracción del flujo de agua, granulometría del sedimento de descarga, el estado actual del cauce del río, la planificación del cauce del río, etc. En sistemas fluviales en donde los problemas con movimiento de sedimentos son evidentes, la descarga de sedimentos tolerables de diseño debe de ser determinado teniendo en consideración la gestión integral de sedimentos.

Es conveniente que la generación de sedimentos de diseño, la descarga de sedimentos de diseño y la descarga tolerable de sedimentos de diseño estén representados por la cantidad y calidad (tamaño del grano), dependiendo de la variable temporal del movimiento de sedimentos. Deberán de hacerse los esfuerzos por determinar la generación de sedimentos de diseño, tomando en consideración no solo la calidad (tamaño) y cantidad de sedimentos sino que también los patrones de generación de sedimentos, lugar de generación y tiempos de ocurrencias.

(d) **Plan de gestión de sedimentos**

El plan de gestión de sedimentos apunta a manejar de manera racional y efectiva el volumen de sedimentos, el cual es la diferencia entre el sedimento tolerable de diseño y el de descarga de sedimento de diseño; este es sujeto de gestión de sedimentos en los puntos de control diseñados.

El plan de gestión de sedimentos consiste de dos planes ambos interrelacionados:

- Plan de control de producción de sedimentos
- Plan de control de transporte de sedimentos

Explicación :

Al desarrollar un plan de gestión de sedimentos, el volumen de control de generación de sedimentos de diseño (que es necesario para el plan de control de sedimentos) junto al control de volumen de descarga de sedimentos de diseño y el volumen de ajuste de sedimentos de descarga de diseño (necesario para preparar el plan de control de transporte de sedimentos), necesitan ser determinados para los puntos de control de diseño relevantes (puntos de referencia auxiliares). Deberían estos de satisfacer la siguiente fórmula:

$$E = (Q + A - B) (1 - \alpha) - C - D$$

E: Volumen tolerable de descarga de sedimentos de diseño

Q: Volumen de descarga de sedimentos de diseño en los puntos auxiliares de referencia inmediatamente aguas arriba del punto de control diseñado (o punto de referencia auxiliar)

A: volumen de generación de sedimentos de diseño

B: Volumen de control de generación de sedimentos de diseño

$\alpha$ : Ratio del volumen de sedimentos, el cual será ajustado en el cauce del río y no fluye aguas abajo por debajo del punto de control diseñado (o puntos auxiliares de referencia), contra (Q+A-B)

C: Volumen de control de descarga de sedimentos de diseño

D: Volumen de ajuste de descarga de sedimentos de diseño

$\alpha$  se determina considerando las condiciones de la cuenca del río. Referirse a la Sección 7 de este Capítulo para las consideraciones respecto al medio ambiente y paisajes naturales.

(e) **Plan de control de generación de sedimentos**

Un plan de control de la generación de sedimentos apunta a rehabilitar aéreas de producción de sedimentos, prevenir la aparición de nuevas fuentes de sedimentos, suprimir la generación peligrosa de sedimentos al controlar fallas en pendientes, deslizamientos de tierra y erosión tanto en los lechos del río como en las riberas.

Al diseñar el plan, el sedimento generado de diseño debe de estar racionalmente dividida entre **trabajos en laderas, diques de control de erosión**, etc. tomando en consideración las condiciones del area de producción de sedimentos, el patrón de producción de sedimentos, el patrón de descarga de sedimentos, los elementos que requieren protección, etc.

(f) **Plan de control del transporte de sedimentos**

Los planes de control de transporte de sedimentos apuntan a controlar las descargas de sedimentos peligrosos con instalaciones que tengan capacidad funcional de captura y ajuste, etc y permitir que los sedimentos no peligrosos necesarios en las partes bajas puedan viajar aguas debajo de manera segura.

Al diseñar el plan, el volumen de descarga de sedimento de diseño y el volumen de descarga de ajuste de sedimento de diseño necesitan ser racionalmente distribuidos a los diques de control de erosión, etc., tomando en consideración el patrón de generación de sedimento, el volumen de los sedimentos y su granulometría, instalaciones sujeto de protección, geografía, pendiente del cauce, estado actual del cauce, etc.

(2) **Aspectos básicos relacionados al control del flujo de escombros**

El propósito de un plan de control de escombros es el de proteger la vida humana, propiedades, tanto públicas como privadas del flujo de escombros.

Explicación :

El flujo de escombros es un fenómeno natural que involucra el flujo fluido de tierra, rocas, vegetación etc., producido a partir de una fracturación de la ladera de un cerro, usualmente a lo largo de arroyos montañosos, con el flujo tendiendo a concentrarse dentro del cauce del arroyo donde material adicional será añadido a la masa en movimiento del cauce del arroyo o de sus lados.

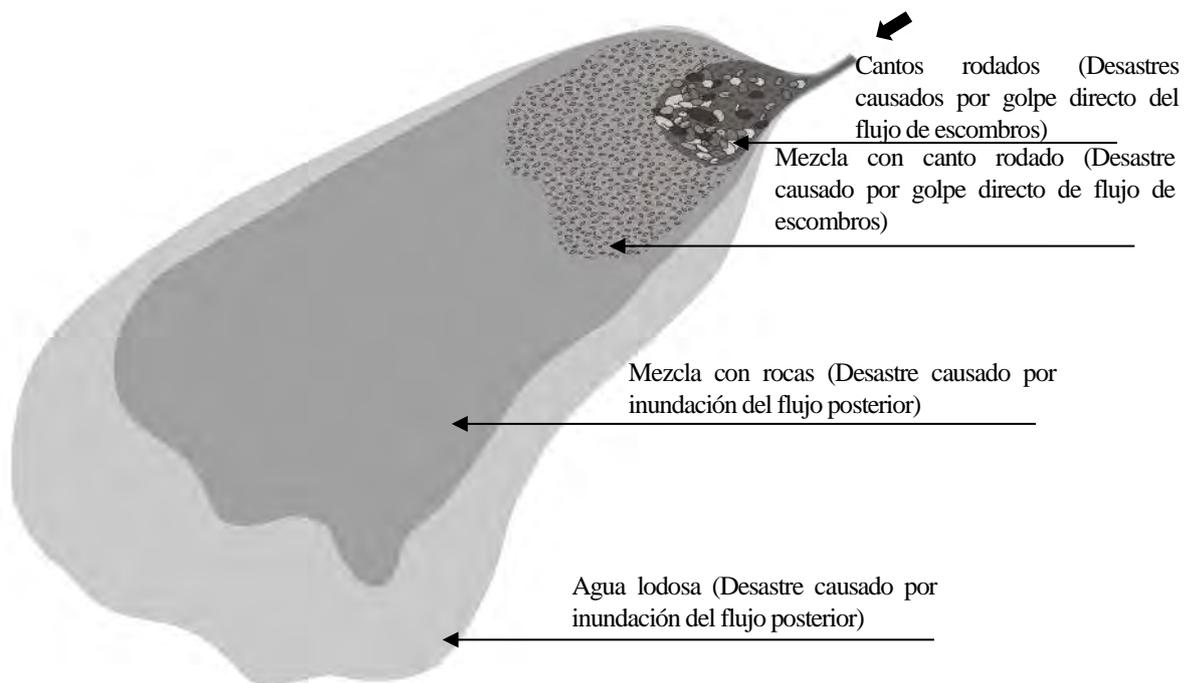
Los desastres causados por el flujo de escombros están divididos en dos categorías: 1) desastres causados por el golpe directo del flujo de escombros y 2) desastres causados por la inundación seguida del flujo de escombros, etc.

Los desastres asociados a los impactos directos del flujo de escombros son causados por cantos rodados ,los cuales viajan a la cabeza del flujo, colisionando de manera directa con las estructuras hechas por el hombre incluyendo sus viviendas.

Desastres causados por el flujo de inundación posterior al flujo de escombros ocurren por la acumulación de aguas de inundación detrás de la punta del flujo de escombros.

Un típico ejemplo del patrón de descarga de un flujo de escombros a gran escala se muestra a continuación:

\\\\\\



Fuente : Technical Criteria for River Works (Practical Guide for Planning), the MLIT, Japan

**Figura 3.3.4 Diagrama conceptual de flujo de escombros e Inundación**

(a) **Escala de Diseño de un flujo de escombros.**

La escala de diseño de un plan de control de escombros deberá ser determinado teniendo en cuenta varios factores, tales como las características de la Cuenca, los beneficios y potenciales impactos adversos del proyecto, etc. Se determina generalmente evaluando el volumen probable de descarga de sedimento a partir del flujo de escombros y el periodo de retorno de la precipitación objeto de estudio.

(b) **Puntos de control de Diseño**

El punto de control diseñado es el punto en donde se va a determinar el volumen de sedimentos establecido en el plan de control de flujo de escombros. Generalmente los puntos de control de diseño se establecen aguas arriba, por encima de los sujetos a ser protegidos. Cuando es necesario captar el estado del movimiento de sedimentos en los puntos en donde el patrón de movimiento de sedimentos cambia, se deben establecer puntos de referencia auxiliares.

Explicación :

Como está ilustrado en la Figura 3.3.3, los puntos de control de diseño generalmente serán establecidos de la siguiente manera:

- El punto más bajo en donde el huayco/flujo de escombros se pueda generar. (pendiente media del cauce del río: 1/30)
- El punto aguas arriba del área de conservación o donde la pendiente media del cauce del río esta a 1/100

(c) **Aspectos básicos relacionados a las contramedidas**

Un plan de control de flujo de escombros apunta a prevenir o mitigar los desastres causados por flujos de escombros. Deberá de consistir de medidas integrales combinando medidas estructurales para suprimir la ocurrencia de flujo de escombros y controlar las descargas (tales como la construcción y mejora de instalaciones para la gestión de sedimentos y erosiones, etc.) con medidas no estructurales (tales como el establecimiento de un sistema de alerta y evacuación, control del uso de la tierra, etc.)

Explicación :

Los efectos de contramedidas estructurales basados en el plan de control de flujo de escombros se explican en la figura 3.35 que se muestra abajo.



Fuente : Ohsumi Work Office, Kyushu Regional Development Bureau, MLIT  
<http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/contents/jigyo/sand/prevention/equipment.html>

**Figura 3.3.5 Efectos de contramedidas estructurales contra flujo de escombros**

**(3) Elementos básicos asociados a la prevención de escombros leñosos grandes.**

Los planes de prevención para escombros leñosos grandes de cuencas de ríos, donde troncos flotantes y tributarios de gran tamaño son característicos, apunta a proteger la vida y la propiedad de la población general así como las instalaciones públicas, etc. de los desastres asociados a la descarga de escombros leñosos con sedimentos.

**(a) Escala del diseño de un plan de prevención contra escombros leñosos grandes.**

La escala del diseño de un plan de prevención contra escombros leñosos grandes deberá de ser determinado teniendo en consideración una serie de factores tales como las características propias de la Cuenca, el volumen del material leñoso descargado a los puntos de control diseñados, etc.

**(b) Puntos de control de Diseño**

Generalmente, los puntos de control diseñados, etc. deberán de ser establecidos aguas arriba del área donde se localizan los sujetos a ser protegidos. Deben de ser idénticos a los puntos de control diseñados en los planes de control de sedimentos y erosión, en los planes de control de flujo de escombros, etc.

Explicación :

Como lo muestra la ilustración 3.3.3, los puntos de control diseñados generalmente serán establecidos de la siguiente manera:

- El punto más bajo en donde el huayco/flujo de escombros se pueda generar. (pendiente media del cauce del río: 1/30)
- El punto aguas arriba del área de conservación o donde la pendiente media del cauce del río esta a 1/100

**(c) Elementos básicos asociados con las contramedidas**

A partir del volumen de sedimento de diseño determinado en los planes de sedimentos y erosión del sistema fluvial, planes de prevención de flujo de escombros, etc.; un plan de prevención para escombros leñosos grandes deberá de ser establecido de tal manera que sea consistente con el plan de gestión de sedimentos, y que las instalaciones de gestión de sedimentos y erosión estén adecuadamente localizadas y que el sedimento sea razonable y efectivamente controlado.

**(4) Elementos básicos asociados al control de sedimentos volcánicos y de la erosión**

Un plan de control de sedimentos volcánicos y de la erosión apunta principalmente a proteger las vidas humanas, las propiedades, instalaciones públicas, etc. de los desastres de sedimentos causados por eventos de precipitación y actividad volcánica.

**(a) Fenómenos objeto de estudio**

Los fenómenos objeto de un plan de gestión de sedimentos y erosión volcánica incluyen flujo de escombros y flujos de lodo volcánico causado por precipitaciones y eventos de origen volcánico incluyendo flujos de lava, etc. en un área de erosión volcánica y de gestión de sedimentos.

La escala de diseño para el fenómeno de movimiento de sedimentos objetivo deberá de ser determinado teniendo en consideración varios factores, tales como las características sociales y naturales del área a ser controlada, actividad y desastres volcánicos del pasado, efectos positivos y adversos del proyecto, etc.

Los puntos de control de diseño, etc., deberán de ser determinados de acuerdo a lo establecido en la Sección 3.3.1 (1)-(b) de este capítulo.

**(b) Elementos básicos asociados a las contramedidas**

Un plan de gestión de sedimentos y erosión volcánica deberá establecer medidas integrales que de manera apropiada combinen medidas estructurales (tales como el mejoramiento de instalaciones para la gestión de sedimentos y erosión) con medidas no estructurales (tales como el establecimiento de sistemas de alerta y evacuación, control del uso de suelos, etc.). En este caso deberá de ser de establecido de acuerdo a la Sección 3.31 (1)-(C) de este capítulo.

Un plan para los flujos de lava, etc. ante la ocurrencia de una erupción volcánica deberá de ser establecido de considerarse necesario a partir de actividad volcánica pasada.

**(5) Prevención de desastres de sedimentos anómalos**

Los planes para la prevención de desastres por sedimentos anómalos deben de estar orientados a proteger la vida humana, propiedades e instalaciones públicas contra desastres de sedimentos tales como la formación y colapso de depósitos naturales de sedimentos u otro tipo de evento anómalo o de rara frecuencia.

**(a) Fenómenos objeto de estudio**

Los fenómenos objetivos en un plan para prevenir desastres de sedimentos anómalos incluyen: la sumersión potencial de los elementos que requieran protección aguas arriba de una presa que tiene sedimentos formada en el canal del río debido a una precipitación fuerte o de un terremoto; flujo de escombros de gran escala creada por la ruptura de una presa de sedimentos; flujo de escombros creada por fallas de gran escala debido a terremotos.

La escala objetivo del fenómeno de movimiento de sedimentos en el plan deberá de ser determinada teniendo en consideración una serie de factores tales como el fenómeno de escorrentía de sedimentos agua abajo causada por el colapso de presas de origen natural con sedimentos.

Los puntos de control diseñados, etc. deberán de ser determinados de acuerdo a la Seccion3.3.1 (1)-(b) de este capítulo.

**(b) Elementos básicos asociados a las contramedidas.**

Un plan de prevención de desastres anómalos por sedimentos deberá de apuntar a prevenir o mitigar el daño probable que pueda causar. Debería de ser un plan integral que combine medidas estructurales (tales como la construcción y mejoramiento de instalaciones para la gestión de sedimentos y erosión, incluyendo canales de drenaje para drenar la inundación causada por las presas de origen natural) con medidas de carácter no estructural (tales como la determinación de áreas de expansión peligrosas, monitoreo de presas de origen natural, etc.)

Explicación :

**3.3.2 Plan de prevención de deslizamientos de tierra**

El objetivo de un plan de prevención de deslizamientos de tierra es el de proteger la vida humana, las propiedades y las instalaciones públicas contra deslizamientos de tierra.

**(1) Elementos básicos asociados a la prevención de deslizamientos de tierra**

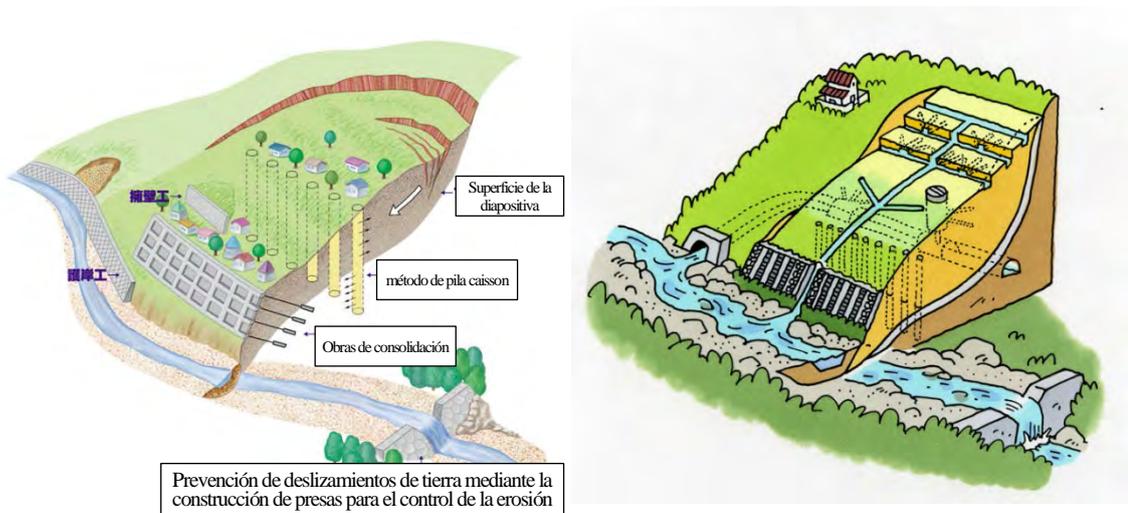
El fenómeno objeto en un plan de prevención de deslizamientos de tierra es el deslizamiento de partes específicas de tierra como resultado del flujo de aguas subterráneas o el movimiento resultante de la tierra. La escala objetivo de la planificación deberá de ser determinada tomando en consideración varios factores, tales como, el fenómeno de deslizamiento como tal, la importancia de los sujetos que requieren protección, la urgencia del proyecto y los efectos benéficos y adversos del proyecto, etc.

**(2) Principios básicos de las contramedidas**

Un plan de prevención de deslizamientos de tierra necesita de medidas integrales que combinen medidas estructurales y no estructurales tales como el establecimiento de un sistema de alerta y evacuación así como el control del uso de la tierra, etc.

Explicación :

El esquema de las contramedidas estructurales contra un deslizamiento de tierra se presenta en la figura 3.3.6 que se muestra abajo.



Fuente : NPO Sediment Disaster Prevention Publicity Center (SPC)

**Figura 3.3.6 Métodos básicos de contramedidas estructurales contra deslizamientos de tierras**

**3.3.3 Plan de prevención de fallas en pendientes pronunciadas método de pila caisson**

Un plan de prevención de fallas en pendientes pronunciadas debería de ser establecido con el propósito de proteger vidas humanas y propiedades de los desastres causados por fallas en estas pendientes.

**(1) Elementos básicos asociados a medidas preventivas para fallas en pendientes pronunciadas**

El fenómeno objetivo en un plan de prevención de falla en pendiente pronunciada son las fracturas de estas pendientes como resultado de fenómenos naturales tales como las precipitaciones o eventos sísmicos.

La escala de la planificación deberá de ser determina tomando en consideración a varios factores, incluyendo, el presunto fenómeno de fractura de la pendiente pronunciada, la importancia de los sujetos que requieren ser protegidos, la urgencia del proyecto y los efectos benéficos y adversos del proyecto, etc.

**(2) Principios Básicos de las contramedidas.**

Un plan de prevención de falla de pendientes pronunciadas necesita de contramedidas integrales que combinen medidas estructurales como la construcción y mejora de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas, y medidas no estructurales como el establecimiento de un sistema de alerta y evacuación, control del uso de la tierra, etc.

Explicación : Las contramedidas estructurales para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas están básicamente divididas en tres (3) métodos como se muestra en la figura 3.3.7 de abajo.

<p>Prevención contra falla en pendiente pronunciada A: Muro de contención con bloques de concreto + Método de cobertura vegetal de la pendiente</p>	<p>Prevención contra falla en pendiente pronunciada B: Celdas de concreto (obras para pendientes con celdas)</p>	<p>Prevención contra falla en pendiente pronunciada C: Método Muro de contención</p>

Fuente : NPO Sediment Disaster Prevention Publicity Center (SPC)

**Figura 3.3.7 Tres (3) enfoques básicos para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas**

**3.3.4 Plan de Prevención de Avalanchas**

Un plan de prevención de avalanchas debe de ser establecido con el propósito de proteger las vidas humanas de un desastre asociado con avalanchas

**(1) Elementos básicos asociados a las medidas de prevención de avalanchas**

El fenómeno específico en un plan de prevención de avalanchas son las avalanchas superficiales y las avalanchas que vienen de todas las capas del terreno así como el movimiento de la capa de nieve (arrastre o planeo) sobre las pendientes. La escala del diseño deberá de estar determinada tomando en consideración una serie de factores tales como, la predictibilidad del fenómeno de avalanchas, la importancia de los sujetos que requieran protección, la urgencia del proyecto, los efectos benéficos y adversos del proyecto, etc.

**(2) Principios de contramedidas básicas**

Un plan de prevención de avalanchas deberá de contar con medidas integrales que combinen de manera apropiada las medidas estructurales, para construir y/o mejorar las instalaciones para la prevención de avalanchas, con medidas no estructurales como el establecimiento de un sistema de alerta y evacuación.

**3.3.5 Plan de Prevención Integral de Desastres por Sedimentos**

El objetivo de un plan de prevención de desastres por sedimentos es el de prevenir o mitigar desastres de sedimentos complejos causados por desastres múltiples, tales como los causados por la generación de sedimentos y escorrentía en una Cuenca, deslizamientos de tierras, fracturas de pendientes pronunciadas, etc. y deberá de ser establecido combinando medidas estructurales y no estructurales.

**(1) Los elementos de la prevención integral de desastres por sedimentos**

La prevención integral de desastres por sedimentos debería de ser planificada determinando el fenómeno específico, su escala y extensión tomando en cuenta las características regionales y el estado del uso de la tierra. Deberá de combinar medidas estructurales con medidas no estructurales como el establecimiento de un sistema de alerta y evacuación

## (2) Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña

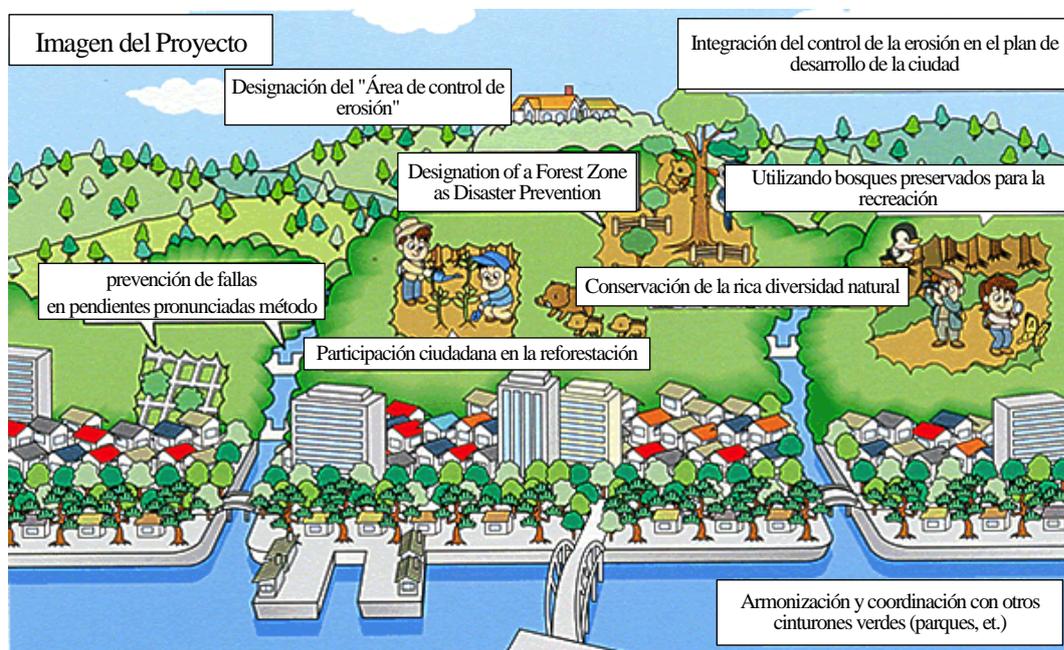
### (a) Concepto del Plan

Se refiere al desarrollo de áreas verdes en las pendientes e integrado por una serie de bosques plantados en las laderas, en las áreas riverenas de arroyos y en la base de la montaña anexo a las áreas urbanizadas con el propósito de prevenir y mitigar desastres por sedimentos. Estas áreas verdes también tienen el propósito de ayudar a obtener un ambiente urbano bueno y de vista agradable con la idea de conservar el ecosistema en periferias urbanas montañosas que podría ser susceptible a desastre de sedimentos.

Este Plan debido a sus propósitos, son establecidos por los gobiernos municipales como planes maestros integrales que estipulan las funciones básicas y medidas para los futuros desarrollo de áreas verdes y urbanización en la base de montaña en cooperación con las organizaciones relevantes coordinando los controles de uso de tierra, etc. basados en leyes y reglamentos relacionados. Estos planes maestros incorporan las áreas verdes en extensivas zonas de prevención de desastres.

Explicación :

En el Japón, las partes altas de las áreas protegidas de desastre de sedimentos han sido mejoradas para reducir la probabilidad de ocurrencia de estos desastres. Este método mejorado es llamado “Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña” en Japón. El concepto de este plan es ilustrado en la siguiente Figura 3.3.8 de abajo:



Fuente : Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

[http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/yosan/gaiyou/yosan/h14budget/010829p25.html](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/yosan/gaiyou/yosan/h14budget/010829p25.html)

**Figura 3.3.8 Concepto Básico de “Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en Base de Montaña” en Japón**

(b) Aspectos básicos de un Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en Base de Montaña

Este Plan debe ser realizado como un plan maestro integral de desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña. Debe de apuntar a desarrollar una región resistente a los desastres por sedimentos, manteniendo la consistencia con los planes regionales, etc. y haciendo uso de las varias funciones y efectos de los árboles.

También deberá de manera propicia combinar medidas estructurales (como la construcción o mejoramientos de instalaciones de control de erosión y sedimentos, instalaciones para la prevención de deslizamientos de tierra, instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas, etc.) con medidas no estructurales como controles en el uso de la tierra.

Un Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña debe de estar establecido de tal manera que se implementen la conservación del bosque y los cultivos y el mejoramiento de la estructura del bosque para mantener y mejore su función de controlar la generación y descarga de sedimentos debido a la erosión de la superficie, etc. El plan también debería ser diseñado para crear y conservar espacios para la prevención de desastres a través de la implementación de medidas tales como la construcción o mejoramiento de instalaciones para el control de erosión y sedimentos, etc. Es especialmente importante que este Plan sea coordinado con otros proyectos y controles de uso de tierra basados en las leyes y regulaciones relevantes para prevenir una urbanización descontrolada y asegurar la seguridad en la región intervenida. Al desarrollar el Plan, la suficiente consideración debe ser otorgada a la construcción de un buen ambiente urbano, la creación de paisajes y vistas, la conservación del eco sistema, la provisión para lugares de sana recreación, etc.

Explicación :

La locación(es) del proyecto para el “Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en la Base de Montaña” en Japón son designadas como se muestra en la figura 3.3.9 de abajo



Fuente : Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/050331\\_3/05.pdf](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/050331_3/05.pdf)

**Figura 3.3.9** Locación del Proyecto “ Plan de Desarrollo de Áreas Verdes y Urbanización en Base de Montaña” en Japón

### **3.3.6 Consideración del Ambiente Natural**

Al establecer un plan maestro de control de sedimentos y erosión, plan de prevención de deslizamientos de tierras, plan de prevención de falla en pendientes pronunciadas, plan de prevención de avalanchas o un plan integral de prevención de desastres por sedimentos, la suficiente consideración se le debe de otorgar al espacio natural y paisaje alrededor del área del diseño.

### **3.4 Planificación de la conservación de costas marítimas**

Un plan de conservación de costas marítimas apunta a conservar, restaurar y mejorar las funciones del área costera de tal manera que se mejore y se conserve la protección de la costa y del ambiente costero, asegurar el apropiado uso público del lugar y armonizar el espacio costero.

## 4 Concepto Básico de Planificación para el control de Riesgo y Mitigación de Inundaciones

---

### 4.1 Canal y Estructuras del Rio

Las contramedidas abajo indicadas deberán de ser consideradas para reducir o controlar los riesgos de inundación.

- Mejoramiento del Rio
  - Ensanchamiento del canal del rio;
  - Construcción de diques de protección contra inundaciones (Diques continuos a lo largo del rio/ diques en anillos);
  - Dragado del canal del rio/Excavación
- Canal de desvío y Canal de descarga
- Reservorio (Embalse)
- Cuencas de retardo (lagunas/estanques), etc.

Las siguientes son estructuras fluviales que son imperativas para que las contramedidas arriba mencionadas funcionen bien.

- Vertederos, compuertas y esclusas
- Diques y/o revestimientos
- Espigones
- Fundaciones, y
- Otras estructuras de gestión del rio (puentes, etc)

Los conceptos básicos para la planificación de contramedidas y el diseño de estructuras en ríos para la reducción del riesgo de inundaciones se describen a continuación:

#### 4.1.1 Planificación del Canal del Rio

##### (1) Aspectos básicos de la planificación del canal del rio

Un plan para el canal del rio debe ser establecido con el propósito de asegurar el flujo aguas abajo y que este por debajo de la descarga de agua máxima de diseño y en consideración a la conservación del medio ambiente del rio.

Durante el proceso del desarrollo del plan deben de considerarse no solo es estado del uso actual de las áreas ribereñas sino que también la gestión integral de sedimentos.

Explicación :

La planificación del canal del rio debe de desarrollarse tomando en consideración la condición del clima, la topografía y geología como principales parámetros de la planificación. En este contexto, la siguiente formula

es determinada:

$$Y_i = f_i (Q_m, d_R, I_b)$$

Donde:

Y<sub>i</sub>: Elemento(s) de las características del río

Q<sub>m</sub>: Media máxima anual de descarga

d<sub>R</sub>: Tamaño representativo de la granulometría del lecho del río

I<sub>b</sub>: Pendiente longitudinal el lecho del río

Por otra parte, en caso de que la fórmula básica anteriormente mencionada sea verdadera, el tramo del río con características similares se lo denomina “segmento”. En Japón, la clasificación de “segmento” del canal de un río es esencial cuando se formulan planes de canal de río. “La clasificación de Segmentos de Ríos” se introduce aquí como un método de evaluación para determinar las características de un río. Cada segmento del río es clasificado por la gradiente del lecho del río y tiene sus propias características. Las características están relacionadas al material del lecho del río, fuerza de tracción del flujo durante la inundación, ancho y profundidad del río durante una inundación ordinaria, etc. En el mismo segmento la rugosidad del flujo y el material del lecho son casi siempre las mismas. Esto significa que la velocidad de flujo y el fenómeno de socavamiento son casi del mismo rango dentro del mismo segmento. Es muy útil realizar la planificación del río y el diseño de estructuras si el segmento de río o tramo objetivo para mejoramiento ha sido identificado. La disponibilidad de planes pasados o de diseño de estructuras fluviales en el mismo segmento son referencias muy útiles. Un sistema fluvial es la suma de varios segmentos como esta mostrado en la figura 4.1.1

Características	Segmento M	Segmento 1	Segmento 2		Segmento 3
			2-1	2-2	
División Fisiográfica					
Typical Size of Riverbed Material dR (60%)	Amplia Variedad	more than 2cm	3cm~1cm	3cm~0.3mm	equal to or less than 0.3mm
Material of River Slope	Outcrop of Rock on River bank and riverbed	Same materials with Riverbed Surface: Sand or silt	mixed with Fine sand, silt and clay		Silt and Clay
Longitudinal Gradient	Amplia Variedad	1/60~1/400	1/400~1/5 000		1/5 000 ~ Flat
Meandering	Amplia Variedad	Less	Meandering Belt Series of eights or development of sanbar		Amplia Variedad
Erosion of River bank	Extremely Eroded	Heavily Eroded	Erosion Intensity is medium. It depends on size of riverbed materials.		Weak Almost no move
Average Depth of Low Water Channel	Amplia Variedad	0.5~3m	2~8m		3~8m

**Figura 4.1.1 Clasificación de segmentos de río y sus características en el Japón**

Parece que esta clasificación podría también ser útil en la planificación del canal de ríos en el Perú. Sin embargo, se recomienda que una clasificación original sea establecida por el ANA basado en la experiencia e investigaciones del pasado y del futuro.



**Figura 4.1.2 Ejemplos reales de mejoramiento de cauces de río.**

**(2) Procedimiento para establecer un Plan de Canal de Río**

Al establecer un Plan para el canal de río, el siguiente procedimiento será seguido para hacer una revisión detallada considerando las condiciones actuales asociadas con el cauce, el status del área periférica, el medio ambiente natural de la localidad, el ambiente social así como la transición histórica.

1. Determinar el nivel máximo de agua de diseño.
2. Determinar las secciones del proyecto, dependiendo de las razones para la mejora.
3. Establecer el análisis de estudios de casos diversos con relación a la línea planificada del canal y de las formas longitudinal y transversal del canal del río.
4. Establecer los planes para la construcción de obras fluviales, etc.
5. Evaluar de manera integral los posibles efectos e impactos en el control de inundaciones, uso del agua y el medio ambiente.

Basados en esta evaluación integral, se harán las correcciones necesarias al plan hasta que se encuentre bien balanceado.

### **(3) Nivel Máximo de Agua de Diseño**

#### **(a) Aspectos básicos en la Determinación del Nivel Máximo de Agua de Diseño**

Al revisar el plan del canal de un río para el que su nivel máximo de agua de diseño ya ha sido determinado, como regla general, el nivel revisado no deberá de exceder el nivel máximo de agua de diseño existente. En los casos donde el aumento parcial del nivel de agua máximo de diseño sea inevitable, el área de su aplicación debe de ser mantenida al mínimo; es recomendable que el diseño de nivel máximo de agua de diseño sea mantenido por debajo del nivel más alto de aguas alcanzado por inundaciones pasadas, de ser esto posible. Cuando se establezca un nuevo nivel máximo de agua de diseño para un río en donde tal nivel no ha sido establecido (por ejemplo, en el caso de la construcción de un nuevo curso, como un canal de desvío o un canal de descarga, o para un río en donde obras de mejoramiento integral serán implementadas), el nivel máximo de aguas de diseño deberá de ser determinado de tal manera que la altura que excede al nivel del suelo de la orilla sea minimizada, en consideración al nivel máximo de aguas de diseño de los ríos tributarios y las características regionales, etc. Especialmente en ríos en donde la escala de diseño es pequeña y para el cual se puede asegurar un buen gradiente superficial considerando las condiciones del cauce aguas abajo, el nivel máximo de aguas de diseño deberá de ser establecido a nivel del suelo.

#### **(b) Niveles máximos de agua de diseño de tributarios dentro de remansadas del cauce principal.**

Los niveles máximos de agua de diseño de tributarios en un remanso del cauce principal deberá de ser determinado en base a los niveles de agua descritos en los siguientes puntos 1 o 2, el que sea el más alto:

1. El nivel de agua que se obtenga del cálculo del remanso cuando el volumen del nivel máximo de agua de diseño está fluyendo al cauce principal y el volumen combinado correspondiente al máximo de descarga del cauce principal este fluyendo a los tributarios.
2. El nivel de agua obtenido del cálculo del remanso usando como el nivel inicial de agua, el nivel del agua del cauce principal correspondiente al flujo del volumen del cauce principal cuando la descarga máxima de agua de diseño de los tributarios ingresa al cauce principal.

En casos en donde la proporción del nivel máximo de aguas de diseño de los tributarios y los del cauce principal sean relativamente pequeños, el nivel de agua obtenido por cálculo de flujo uniforme para la descarga máxima de aguas de diseño de los tributarios puede ser utilizada en lugar del nivel de agua obtenida en 2.

**(c) Nivel de agua máximo en estuarios**

El nivel máximo de agua de diseño en estuarios debe de ser determinado a partir de las características hidráulicas y meteorológicas de las áreas del río y mar que bordean el estuario y tomando en consideración las características del cauce del río en y alrededor del estuario, así como con las medidas a futuro de mejoras del estuario.

**(4) Formas plana, longitudinal y transversal del canal de un río.**

**(a) Aspectos básicos de la forma plana de un río**

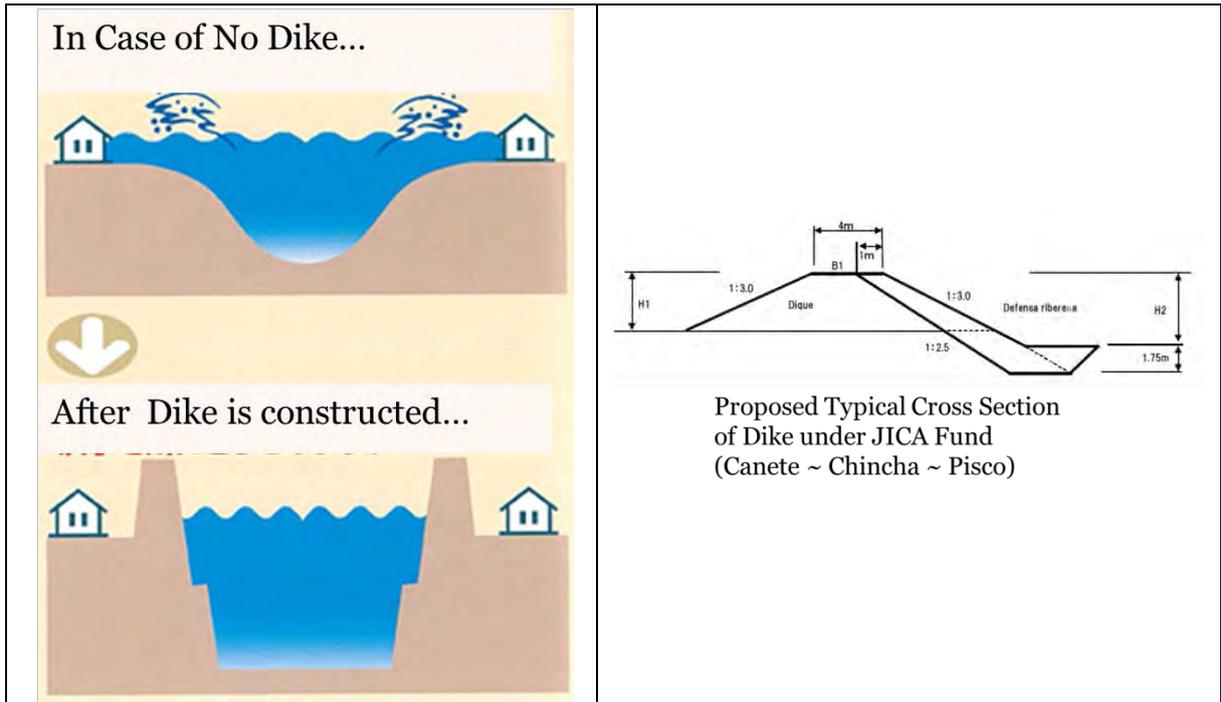
La forma plana de la sección del proyecto que requiere una mejora será determinada inicialmente a partir de la forma plana del canal actual y de acuerdo a las direcciones en términos de control de inundaciones, uso de aguas y conservación del medio ambiente. Los canales de descarga y canales de desvío deberán de ser diseñados para tener forma plana apropiados en consideración con los efectos que puedan tener con el medio ambiente circundante.

**(b) Alineación normal del dique**

La alineación normal del dique (incluyendo secciones excavadas del canal del río) deberán de ser determinadas de tal manera que el ancho del río este asegurado desde varios puntos de vista, incluyendo, el descarga máxima de agua de diseño, uso del área ribereña, medio ambiente, régimen de flujos en tiempo de inundaciones, canal actual del río, mantenimiento del canal a futuro, eficiencia económica, etc.

Explicación :

Deberán ser planificadas básicamente los diques cuyas alturas en ambas orillas (derecha e izquierda) sean longitudinalmente iguales a las áreas protegidas de las aguas de inundación. Con el propósito de proteger áreas de manera justa, un sistema de diques continuos en paralelo y en ambas orillas del cauce del río deberá también de ser planificado. La adopción de un sistema de diques en anillos para la protección de un área específica deberá de ser cuidadosamente considerada como un plan alternativo.



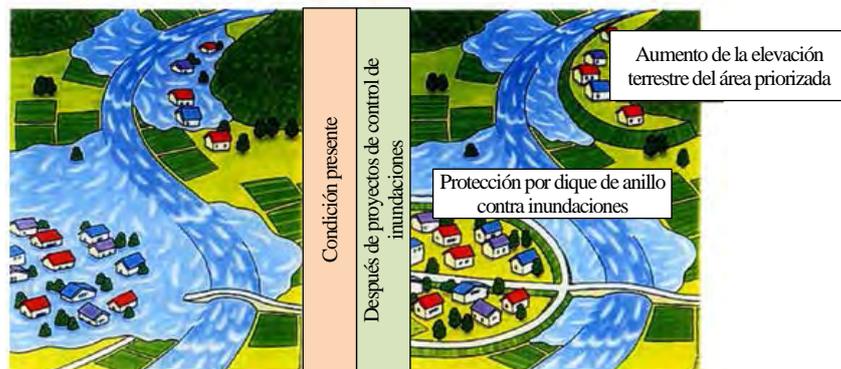
**Figura 4.1.3 Rol del sistema de dique y Sección Transversal Estándar de Diseño de Dique (Estudio Preparatorio Sobre El Programa de Protección De Valles Y Poblaciones Rurales Y Vulnerables Ante Inundaciones En La República Del Perú (2013))**

En el caso de que se aplique el método de dique en anillos, los siguientes aspectos deberán de ser confirmados:

- Deberán ser claramente identificadas las áreas a ser protegidas (áreas residenciales, áreas agrícolas, propiedad privada) o a no ser protegidas (área de bosques, áreas pantanosas y/o áreas desérticas).

Adicionalmente al sistema de diques en anillos, deberá también ser considerada el aumentar la elevación del terreno para proteger las áreas de las inundaciones.

El punto de vista económico es también un factor a la hora de decidir por el sistema de diques en anillos o el de elevar el terreno en áreas a ser protegidas.



Fuente : Nobeoka City, Miyazaki Prefecture, (<http://www.city.nobeoka.miyazaki.jp/contents/toshi/kenchiku/kikenkuiki/>)

**Figura 4.1.4 Conceptos básicos sobre el sistema de diques en Anillos y el Sistema de Levantamiento de Altura del Terreno**

**(c) Forma de la confluencia de un tributario**

La forma de la confluencia de un tributario, como regla general, debe de ser la que permita al tributario fluir de manera suave al cauce principal, y será determinada teniendo en consideración el régimen de flujo así como la corrosión y el estado de deposición de la confluencia. Sin embargo, este no es el caso si la descarga máxima de agua de diseño del tributario es mucho más pequeña que la del cauce principal, dejando por ende un efecto insignificante en la confluencia. Al determinar la forma longitudinal de la confluencia, se debe de prestar la consideración suficiente para la libre migración de la biota acuática.

**(d) Forma longitudinal del canal del río**

La forma longitudinal del canal del río deberá ser determinada en relación a la línea normal del dique y la forma transversal del canal, considerando también el nivel del suelo de la rivera, el medio ambiente del río, la estabilidad del lecho del río, la eficiencia económica, etc. En general, la forma longitudinal del canal actual del río se deberá de usar como determinante primario. Para ríos comunes, la pendiente del lecho del río va de pronunciada a suave desde aguas arriba hacia aguas abajo, también se considerará al nivel de aguas subterráneas, el nivel de tomas de aguas de servicios, y las alturas de la fundación de existentes estructuras importantes, etc.

**Explicación :**

Con el propósito de angostar el canal de diseño del río, no es recomendable un plan de dragado excesivo o excavación del lecho del río porque la forma del canal no es estable ni sostenible. Adicionalmente a esto, el ahondamiento excesivo del canal del río puede afectar la estabilidad de áreas protegidas a lo largo del canal del río. Lo que se recomienda es que la elevación del lecho del río sea diseñada de acuerdo a la elevación longitudinal actual, excepto en el caso de que represas u otras instalaciones fluviales hayan sido planificadas aguas arriba.

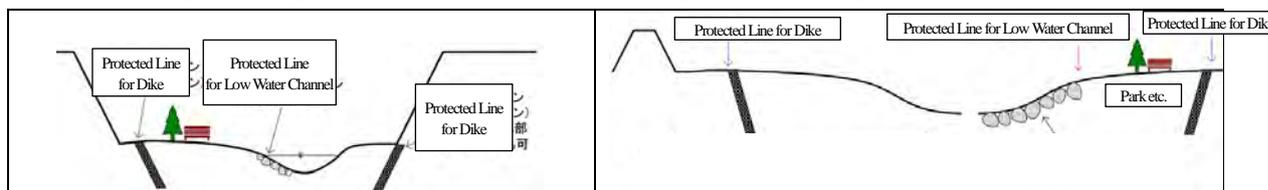
(e) **Forma transversal del canal del río.**

La forma transversal del canal del río debe de ser determinada tomando en consideración una serie de factores tales como, la forma longitudinal del canal y la topografía, la geología, medio ambiente fluvial (incluyendo el hábitat de plantas y animales) y la utilización de las tierras adyacentes a la ribera así como la deformación a largo plazo del lecho.

Si hay un canal de aguas bajas, el diseño de la posición del banco para el canal de aguas bajas deberá de ser determinado basado en la ubicación del banco del canal de aguas bajas que necesita la protección del dique (dique/líneas de protección) y de ser necesario, la ubicación del banco de canal de aguas bajas que se necesita para la utilización del canal de aguas altas (gestión de líneas para bancos de aguas bajas)

Explicación :

El concepto básico para la determinación de las líneas de protección del dique se ilustra a continuación



Fuente : Flood Control Division, Yamashi Prefecture, Japan (<https://www.pref.yamanashi.jp/chisui/documents/5syoun.pdf>)

**Figura 4.1.5 Concepto básico de Líneas de Protección de Dique**

(f) **Ancho del canal de aguas baja y altura del canal de aguas altas**

El ancho del canal de aguas bajas y la altura del canal de aguas altas deberá de ser determinada teniendo en consideración el mantenimiento del canal del río, frecuencia de inundación del canal de aguas altas, conservación del hábitat de plantas y animales, etc.

Explicación :

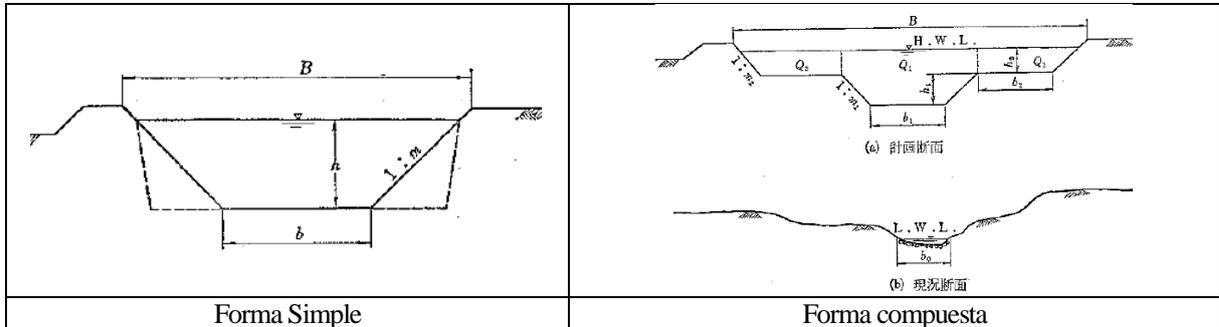
Las condiciones del flujo abajo mencionadas en un canal de un río son diferentes durante tiempo de inundaciones o en tiempo normal

- Ancho del flujo;
- Nivel de agua;
- Velocidad del flujo;
- Materiales del lecho del río/ sedimento

Por consiguiente, se hace dificultoso mantener el canal del río. Para hacerle frente a este problema en un río grande, donde es grande la proporción entre el nivel de inundación de diseño y el nivel del agua ordinario, la sección transversal de diseño (de un curso de agua) deberá de ser una sección transversal compuesta. El tipo de sección transversal compuesto es el que típicamente se utiliza en la mayoría de los ríos grandes del Japón. Sin

embargo, la forma natural de los canales de río en las áreas de las costa y sierra del Perú son del tipo de sección transversal simple.

La forma de la sección transversal de un río deberá de ser diseñada bajo el concepto de “Segmentos” explicados en la sección 4.1.1 (1) y el diseño más adecuado deberá de ser elegido.



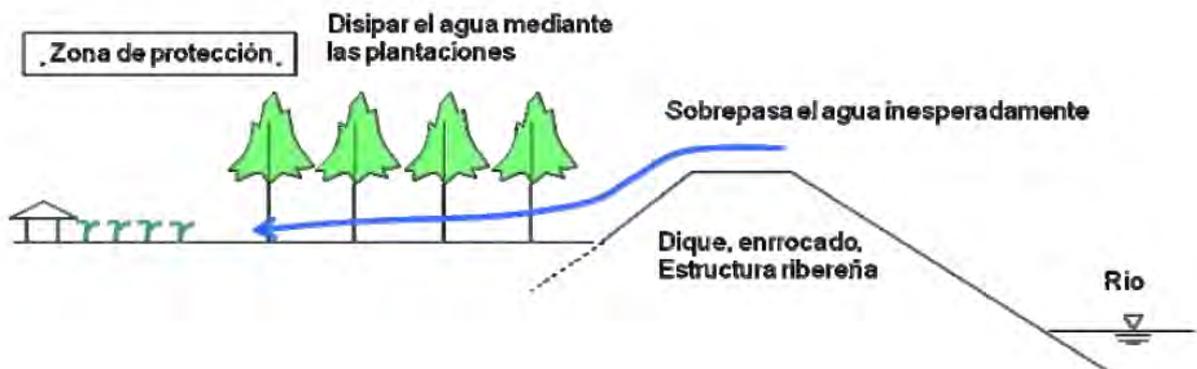
**Figura 4.1.6 Tipos de Sección Transversal de Canal de Río**

**(g) Instalación de una zona boscosa al lado del dique.**

Una zona de bosque ribereño al lado del dique deberá de ser instalada de ser necesaria en una sección que presente un posible peligro de tener daños severos en caso del rompimiento del dique o inundación.

Explicación :

En el Estudio Preparatorio Sobre el Programa de Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables ante Inundaciones en la República Del Perú (2013) por JICA, se han diseñado zonas para bosques ribereños a lo largo de los diques diseñados para los ríos Cañete, Chincha y Pisco. El propósito de establecer una zona de bosques de ribera al lado del dique es el de mitigar el daño a las propiedades por el desbordamiento del agua del río en caso de que inundaciones que excedan el nivel diseñado. Se muestra a continuación una sección transversal típica de una zona de bosques ribereños diseñada por el referido Estudio Preparatorio en el 2013.



Fuente: Figura 4.3.2.1-1 Diagrama Conceptual, Estudio Preparatorio Sobre el Programa de Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables ante Inundaciones en la República Del Perú (2013)

**Figura 4.1.7 Sección transversal típica de una zona de bosque ribereño a lo largo de un dique**

## (5) Actividades de Mantenimiento del Canal del Rio

Con el propósito de asegurar la sección transversal diseñada del río, deberán ser realizados estudios periódicos longitudinales y de sección transversal así como inspecciones de las estructuras fluviales. Basados en los resultados del monitoreo de la fluctuación de la capacidad de flujo y de la seguridad/eficacia de las estructuras fluviales, se deberán de llevar a cabo los trabajos de mantenimiento. Adicionalmente a las actividades de monitoreo periódico, se debe de llevar a cabo un monitoreo justo después de que haya ocurrido una gran inundación.

### Explicación:

El canal de los ríos se ha formado a partir de efectos múltiples entre el agua, los sedimentos y la vegetación. En la naturaleza, las formas y alineaciones del río fluctúan fácilmente por las inundaciones y otros factores. Por lo tanto, es esencial tomar en consideración las fluctuaciones del canal del río así como las características de respuesta a la excavación del lecho para el estudio de un plan de mantenimiento del canal del río.

Durante el proceso de la planificación del canal, es importante para la factibilidad del proyecto considerar no solamente el costo inicial de la implementación del proyecto sino que también debe de considerar los costos de mantenimiento del mismo luego de su implementación. En la planificación del mantenimiento se debe de dar la consideración apropiada a las causas de la fluctuación del cauce en determinadas secciones del río de tal manera que no se necesiten cuidados de mantenimiento a corto plazo.

#### ➤ Contramedidas para los sedimentos en el lecho del río.

La sedimentación en el lecho de un río genera una serie de problemas, como la reducción de la capacidad de flujo así como la erosión excesiva de la cimentación del dique y/o estructuras importantes del río. Con relación a esto, las fluctuaciones del canal del río deben de ser recabadas periódicamente o por medio de estudios realizados de la sección transversal luego de un evento de inundación. Basados en el resultado del estudio y actividades de monitoreo, las contramedidas requeridas deberán de ser implementadas. Adicionalmente a esto, las áreas que necesiten de un monitoreo cuidadoso, tales como puntos con cambios abruptos en la gradiente del cauce, deben de ser confirmados basado en actividades periódicas de monitoreo así como de monitoreo inmediatamente después de algún fenómeno de inundación. La acumulación de resultados de monitoreo es esencial para el plan de mejoramiento del cauce.

#### ➤ Contramedidas para la erosión y degradación del lecho.

Según sea la variación en la descarga de sedimentos procedentes del área de aguas arriba, en un desastre de inundación puede suceder la degradación del lecho del río o su descenso alrededor de importantes estructuras del río. Por lo tanto, una degradación extraordinaria o descenso del lecho del río debe de ser detectado de manera temprana y trabajos de mantenimiento deben de ser también implementados cuando fenómenos extraordinarios puedan afectar importantes estructuras del río. En la degradación del lecho del

rio o fenómeno de descenso existen dos tipos, descenso del lecho del rio en la totalidad del tramo o descenso local del lecho. Los conceptos y métodos de contramedidas para cada uno de estos tipos de descenso del lecho del rio son diferentes. En el caso del descenso del lecho del rio en la totalidad del tramo, trabajos de protección de la cimentación podrían no ser los indicados como contramedidas para mejorar la estabilidad de una determinada estructura fluvial. De ser este el caso, se requiere revisar la planificación del rio.

#### **(6) Planificación de Estuario**

Al desarrollar los planes para un estuario, la forma transversal y longitudinal deben de ser determinadas tomando en consideración las condiciones tanto del rio como del mar de tal manera que se cumplan las siguientes condiciones.

1. Están en la capacidad de lidiar con la descarga máxima de aguas así como los oleajes anómalos y tsunamis en caso de que estos eventos ocurran.
2. El Mantenimiento a futuro es fácil.
3. No interfieren con el uso del agua alrededor del estuario en épocas de estiaje.
4. Se le da la consideración debida al ambiente natural alrededor del estuario

#### **4.1.2 Canal de corte y canal de descarga**

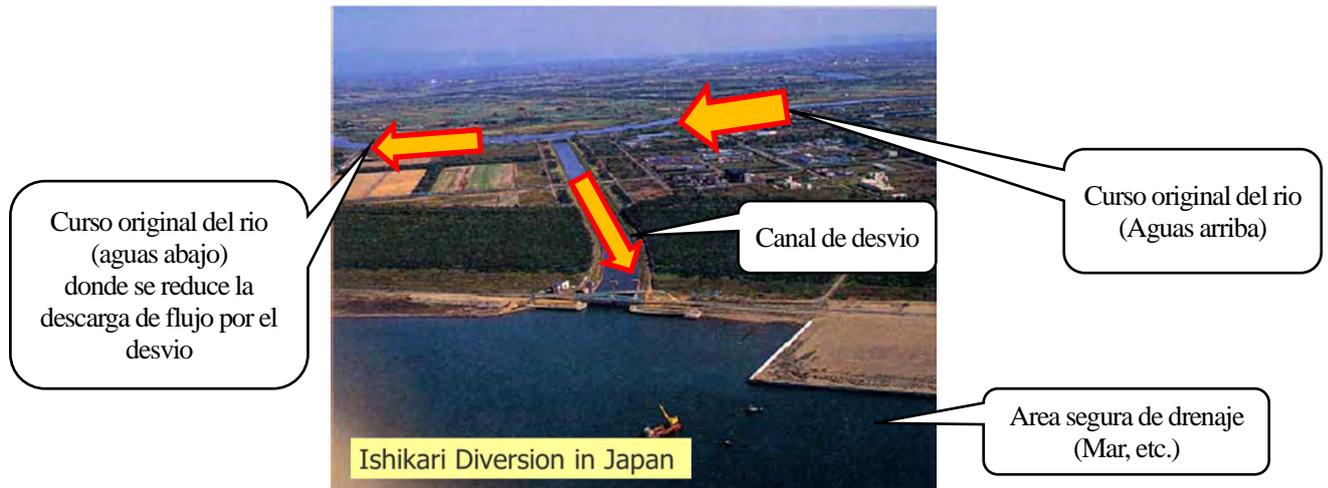
##### **(1) Planificación de canal de corte y canal de descarga**

Un canal de corte (o atajo) es un curso de agua construido para cortar el circuito tormentoso del curso de un rio.

Un canal de descarga (o canal de desvío) es un curso de agua que ramifica parte o la totalidad de la inundación de un rio y la descarga en otro o directamente al mar. Al planificar la construcción de un nuevo cauce como un canal de corte o un canal de descarga se debe de establecer un plan apropiado que asegure un flujo seguro del torrente, tomando en consideración varios factores tales como, el medio ambiente en y alrededor del nuevo canal, el presente y futuro del ambiente social, los niveles del agua subterránea en las áreas circundantes, la calidad del agua subterránea, sistemas de canales de drenaje y/o irrigación, drenaje de aguas terrestres, así como el mantenimiento post construcción del cauce del rio, así como también el impacto ambiental en las aguas de rio de origen y en las de aguas del rio de destino.

Explicación :

Ejemplos reales sobre la construcción de un canal de corte (canal de atajo) se muestran a continuación.



Fuente: MLIT

**Figura 4.1.8 Ejemplo real de la construcción de un canal de desvío en el Japón**

## (2) Estructuras de túnel para el río

### (a) Aspectos básicos de su planificación

Una estructura de túnel para río no deberá de instalada salvo que sea algo inevitable debido a las características topografías del terreno o por alguna otra razón especial. La ruta deberá de ser determinada por el estudio de las condiciones topográficas y geológicas, uso de la tierra, las instalaciones subterráneas y usos, etc. La alineación de la estructura de túnel de río no deberá de ser extremadamente sinuosa o no serlo del todo si es posible.

El curso actual del río deberá de ser mantenido, excepto en casos donde sea inevitable

### (b) Sección Transversal y Pendiente Longitudinal

La sección transversal del túnel debe de ser lo suficientemente grande para incluir, como regla, un área vacante suficiente adicionalmente al área necesaria para el flujo diseñado.

La pendiente longitudinal del túnel deberá de ser la más apropiada desde el punto de vista de la seguridad de la función del control del flujo, estabilidad hidráulica y mantenimiento.

### 4.1.3 Reservorio (embalse)

#### (1) Plan de control de inundaciones para Embalses

##### (a) Descarga máxima de aguas de diseño para embalses

Si el hidrograma de la locación del embalse (correspondiente a la inundación de diseño determinado en 3.1.4 del capítulo 3) y la locación misma del embalse, son puntos de control de diseño, la descarga máxima de aguas de diseño del embalse debe de ser determinado de manera racional a través del examen de la descarga máxima en el hidrograma y la capacidad de control de inundación de la locación de la presa.

##### (b) Método de control de inundación

El método de control de inundación basado en embalses debe de ser seleccionado de entre los métodos que puedan asegurar la efectividad del control de inundación esperado en los puntos de control de diseño aguas abajo teniendo en consideración a las características del flujo de escorrentía, control de la eficiencia, la seguridad de la operación, la facilidad del mantenimiento, etc.

Explicación:

Métodos de control de inundaciones basados en embalses incluyen los siguientes:

##### 1. Método de la Descarga a tasa Constante

Cuando la afluencia excede el volumen de flujo de inicio de control de inundación, este método descarga una tasa fija de afluencia hasta que se alcanza el nivel máximo, y se tiene un volumen fijo luego de alcanzar el flujo máximo. Un gran efecto de control se puede esperar para el control de inundaciones pequeñas y medianas. Generalmente este método es el indicado para ríos en donde la descarga de flujos aguas debajo del embalse constituye una parte substancial de la descarga de flujos en el punto de control diseñado aguas abajo, o para ríos cuyos cauces dejan mucho por mejorar.

##### 2. Método de Descarga Constante

Un gran efecto de control se puede esperar de este método debido a que es un método de corte de pico que descarga una cantidad fija de flujo de inundación independientemente del hidrograma de inundación, etc.,. Este es el caso especialmente en ríos en donde sus canales han sido mejorados a un nivel considerable, sin embargo el efecto de control de este método para inundaciones pequeñas y medianas es relativamente débil.

##### 3. Método de Regulación Natural

Este método no suele utilizar una compuerta de control de inundaciones, aun cuando utilice una, la apertura de la compuerta se mantiene fija y no opera para el control de la descarga. Aunque se necesitara la capacidad de control para grandes inundaciones, al no requerir este método operación humana alguna

se hace fácil de administrar y se usa especialmente para embalses de pequeña escala con liberación rápida.

4. Método de Tasa de Liberación Adaptable

Este método se adopta cuando existe un lapso de tiempo de descarga entre la ubicación del embalse y el sector aguas abajo, y se requiere el control, especialmente durante las primeras y últimas partes de la inundación o cuando haya la necesidad de almacenar un flujo máximo.

(c) **Capacidad de control de Inundaciones**

La capacidad de almacenaje para el control de inundaciones (capacidad de control de inundaciones) deberá de ser determinado teniendo como base los hidrogramas y los métodos de control aplicables a la planificación de control de inundaciones. Aproximadamente un margen de capacidad de 20% deberá de ser incluido.

(2) **Planificación para el Control de entrada de Sedimentos**

Un plan para el control de flujos de sedimentos deberá de ser establecido para el mantenimiento de las funciones de los embalses, que debe incluir la gestión integral de sedimentos y la conservación y mejora del medioambiente, etc., de la manera más apropiada.

Explicación :

Al establecer un plan de control de sedimentos hay que tomar en consideración los impactos en el medio ambiente río así como el costo de vida útil del embalse.

Las principales medidas se mencionan a continuación:

- Control de entrada de sedimentos a los embalses (instalación de una presa trampa de sedimentos inmediatamente aguas arriba del embalse, estabilización de taludes alrededor del embalse, etc.);
- Dragado y remoción de sedimentos en el embalse.
- Instalación de una tubería de descarga de arena, compuerta de trampa de arena o un bypass de descarga de arena

(3) **Planificación para la prevención de deslizamientos de tierra alrededor del embalse**

De ser necesario, trabajos de prevención de deslizamientos en tierras adyacentes al embalse deberán de ser planificados para prevenir los deslizamientos ocasionados por flujos de agua.

**(4) Planificación para la prevención de filtraciones alrededor del embalse.**

De ser necesario trabajos para la prevención de fugas en tierras adyacentes al embalse deberán de ser planificados para proteger las funciones del reservorio contra fugas.

**(5) Planificación para la generación hidroeléctrica privada**

La instalación de una planta hidroeléctrica privada debe de ser examinada para la racionalización de la gestión del embalse y la adecuada utilización de los recursos de energía hidráulica del embalse.

**(6) Consideraciones medio ambientales**

En la planificación de un embalse se tiene que dar la consideración necesaria a factores medioambientales como los regímenes de agua y suelos, hábitats saludables para plantas y animales, actividades que traigan al ser humano al contacto con el río y las cargas al medio ambiente. Especialmente, es necesario examinar de manera cuidadosa como los cambios en el régimen del flujo luego de la construcción de la presa afectaran las partes bajas del río.

Adicionalmente, sobre la base del ambiente natural y social de la cuenca, se deberán prevenir o reducir los

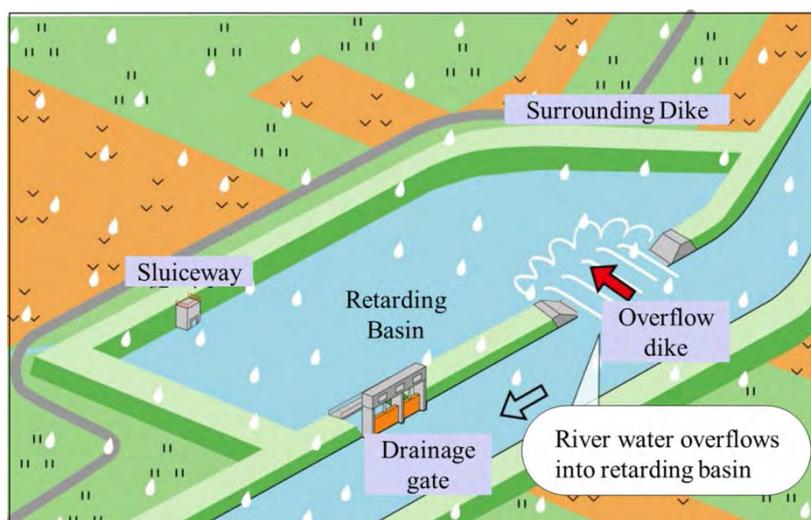
**4.1.4 Cuencas de Retardo**

Cuencas de retardo, etc. son instaladas mayormente no solo para disminuir el punto máximo de escorrentía aguas abajo al almacenar parte de las aguas de inundación sino también, en áreas planas, para actuar en cierta medida como lugar de tratamiento de agua o efluente antes de ser descargadas en el canal de recepción.

La planificación de cuencas de retardo, etc. debe de considerar la forma del terreno de locación, el uso de la tierra, el nivel de aguas subterráneas, la situación del río, el medio ambiente, la condición de regulación del caudal del río, la frecuencia de los desbordamientos, eficiencia económica, mantenimiento, etc.

Explicación :

Los distintos tipos de cuencas de retardación incluyen aquellas que rodean al embalse con un dique, un dique de desborde tomando ventajas de la forma natural del terreno; las que aseguran la función de almacenamiento mediante la excavación de la tierra y las que aseguran su función de almacenamientos en espacios subterráneos.



Fuente: MLIT

**Figura 4.1.9 Concepto básico de la reducción de aguas de inundación utilizando cuencas de retardo**

**(1) Selección de ubicación para cuencas de retardo**

Las cuencas de retardo, etc. deberán de ser establecidas en lugares donde el control de inundaciones en el lugar de interés es seguro y la capacidad de almacenaje esta fácilmente asegurada.

**(2) Planificación para Control de inundaciones en cuencas de retardo**

**(a) Planificación de instalaciones para el control de inundaciones**

Instalaciones de control tales como cuencas de retardo deberán de ser planificadas para contar el control suficiente para diferentes efectos y propósitos.

Explicación :

Los elementos a ser considerados inicialmente en la planificación de las instalaciones para el control de inundaciones tales como cuencas de retardo se mencionan a continuación:

1. Altura y longitud del dique de rebose
2. Planificación de río cerca a un dique de rebose

**(b) Flujo al inicio del control**

El flujo al inicio de control deberá de ser determinado de tal manera que se aseguren los efectos deseados teniendo en consideración el efecto de control y las características de la esorrentía.

#### 4.1.5 Vertederos, Compuertas y esclusas

El establecimiento de ubicaciones de vertederos, compuertas y esclusas (de aquí en adelante referidos como vertederos) deben de ser seleccionadas de acuerdo a sus propios propósitos. Curvas en ríos, lugares con sección transversal pequeño y lugares con regímenes fluviales irregulares deberán de ser evitados en la medida que sea posible, en consideración integral a los aspectos del control de flujos, buen uso del agua y del medio ambiente. También estas estructuras deberán de estar unificadas cuando sea posible, de tal manera que se reduzca el número de locaciones necesarias

Explicación :

Los vertederos están clasificados en varios tipos, de acuerdo a los propósitos con los que fueron establecidos y sus estructuras. Los vertederos pueden ser clasificados de acuerdo a la siguiente tabla por propósito y por tipo de estructura.

**Tabla 4.1.1 Tipos de Vertederos**

Clasificación	Tipos de Vertederos
Propósito	Vertederos de desvío
	Vertederos de control de mareas
	Vertederos de toma
Estructura	Vertederos fijos
	Vertederos móviles
	Combinación vertederos de tipo fijos y móviles

Compuertas y esclusas son instalaciones con funciones de dique que se establecen a lo largo de un río.

#### Escalas para peces en vertederos

Cuando existe la preocupación de que la instalación del vertedero pudiera impedir el movimiento de peces a lo largo del cauce, una escala para peces deberá de ser establecida.

#### 4.1.6 Proyectos en ríos para el ajuste del régimen de flujos

Los ríos que requieran un ajuste del régimen del flujo deberán de estar conectados a dos o más ríos. Estos ajustes pueden ser necesarios para el tratamiento de inundaciones; para transportar aguas y mantener los flujos al usar las descargas mutuas residuales de los ríos; para el desarrollo de nuevos usos para el agua; para el transporte de agua desarrollada por otras instalaciones. Para el diseño de proyectos apropiados se requiere que la planificación examine los efectos en el medio ambiente en las locaciones de donde viene y a dónde va el agua. También deberá considerar el medio ambiente dentro del nuevo río y alrededor del mismo, el ambiente social presente y futuro, el nivel y calidad de las aguas subterráneas circundantes, el sistema de drenaje e irrigación, y el control de las aguas de drenaje.

#### 4.1.7 Instalaciones para el control del canal

En la planificación de instalaciones para controlar la erosión del dique o terraplén y socavación del cauce o sedimentación, se deben decidir el tipo de instalación, la línea normal del dique a ser establecido y el lugar y su longitud, dándole la suficiente consideración a las variaciones locales o de largo plazo del lecho del río. Estas decisiones deberán de estar basadas en los perfiles longitudinales y transversales del cauce, las características del canal, las condiciones del flujo tales como niveles de inundaciones, propiedades del suelo, medio ambiente fluviales etc.

##### (1) Terraplén (dique)

En la determinación del ancho del río (canal de aguas bajas/canal de aguas altas) y terraplén, etc, se necesitan considerar las variaciones de las características del río tales como la erosión, la socavación y la sedimentación basados en perfiles longitudinales y transversales, condiciones de flujo (ej. durante las inundaciones) y otras propiedades que se necesiten del canal en la sección de interés.

Explicación :

Las instalaciones de control del canal necesarias para el mantenimiento de los ríos y terraplenes incluyen los siguientes;

- Revestimientos
- Espigones
- Trabajos de consolidación
- Otros

## (2) Planificación del Revestimiento

Los revestimientos se establecen con el propósito de proteger diques, etc. (áreas de deslizamientos en caso de cauces excavados) de la erosión causada por el flujo del agua que fluye por las llanuras de inundación y objetos estructurales. Para la instalación de revestimientos, se deberá especificar su necesidad (y las locaciones para su instalación) así como su línea normal y extensión con un buen entendimiento del perfil de corte transversal del cauce, incluyendo el ancho de la planicie inundable, las condiciones del flujo a la hora de la inundación, variaciones en el curso del agua, etc. También como la protección del banco está fuertemente asociada con la mejora del medioambiente fluvial, la instalación de revestimientos deberá de considerar la restauración y conservación de un buen hábitat y ambiente de desarrollo para la biota así como la formación y mantenimiento del paisaje así como las áreas para que el hombre entre en contacto con el río

Explicación :

Los revestimientos, usualmente son construidos en concreto o rocas, son establecidos cuando es necesario prevenir la erosión en diques debido al flujo del agua.

Conceptos básicos del diseño de revestimientos son explicados en la sección 5.1 del Capítulo 5

## (3) Planificación de Espigones

Los espigones son construidos a lo largo de las planicies de inundación y objetos estructurales para proteger el dique (áreas de deslizamientos, en el caso de canales excavados) de la erosión por el flujo del agua. También, algunas veces se lo establecen con el propósito de asegurar una ruta navegable o para mejorar y conservar el medio ambiente fluvial. La planificación de espigones deberá de darle la suficiente consideración a sus efectos sobre el hábitat y el crecimiento de plantas y animales; el paisaje; la capacidad de flujo; las áreas de aguas arriba y aguas abajo y en lados opuestos de cada espigón, sobre la base de los perfiles longitudinales y transversales del río, las características del cauce y el medio ambiente fluvial.

Explicación :

Conceptos básicos del diseño de espigones se explican en la sección 5.3 del Capítulo 5.

## (4) Planificación de trabajos de Consolidación

Trabajos de consolidación, los cuales se realizan cuando son indispensables para la estabilidad del lecho del río, deberán de ser planificados teniendo en cuenta la suficiente consideración de sus efectos en los alrededores de las orillas y las instalaciones del control del río así como al mantenimiento y las escalas para

Explicación :

Cuando existe la preocupación de que la construcción de fajas en el lecho tendrá un efecto significativo en el

movimiento de los peces, una escala para peces deberá de ser establecida.

Conceptos básicos del diseño de obras de consolidación se explican en la sección 5.4 del Capítulo 5.

#### 4.1.8 Mejoramiento de la Desembocadura de río

La planificación de la desembocadura de un río debe de mantener un balance con la naturaleza, considerando de manera suficiente tanto las condiciones del río como las del mar, permitiendo que los flujos de inundación fluyan de manera segura contra los cierres en la desembocadura, etc. previniendo los desastres que puedan ser causados por las mareas de inundación.

Al especificar un plan de mejora de estuario los siguientes puntos deberán de ser considerados:

1. Balance económico y funcional del plan integral del canal.
2. Evitar perturbar la navegación, etc.
3. Mantenimiento a futuro al mínimo.
4. Evitar danos secundarios debido a la pérdida del balance natural entre el estuario y el mar (debido a la provisión de sedimentos del río a las costas marinas)
5. Evitar daños al hábitat y medio ambiente hogar de plantas y animales en el estuario o en el area del mar

Explicación :

Los métodos usados para la mejora de la desembocadura de un río deberán de ser determinados teniendo en consideración las características del río tales como el cambio de flujos, características del mar adyacente tales como el flujo de las mareas y arena, el medio ambiente natural en la desembocadura, la eficiencia económica, mantenimiento a futuro, etc.



Fuente: Kisogawa karyu River Office, MLIT <http://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/kisomaps/win/023/map.html>

**Figura 4.1.10 Ejemplo de un muelle en Japón**

#### 4.2 Instalaciones de drenaje para aguas internas

Un plan de drenaje para aguas internas deberá de ser establecido de acuerdo a las características del agua terrestre en la cuenca de interés así como el historial de desastres pasados causado por aguas terrestres.

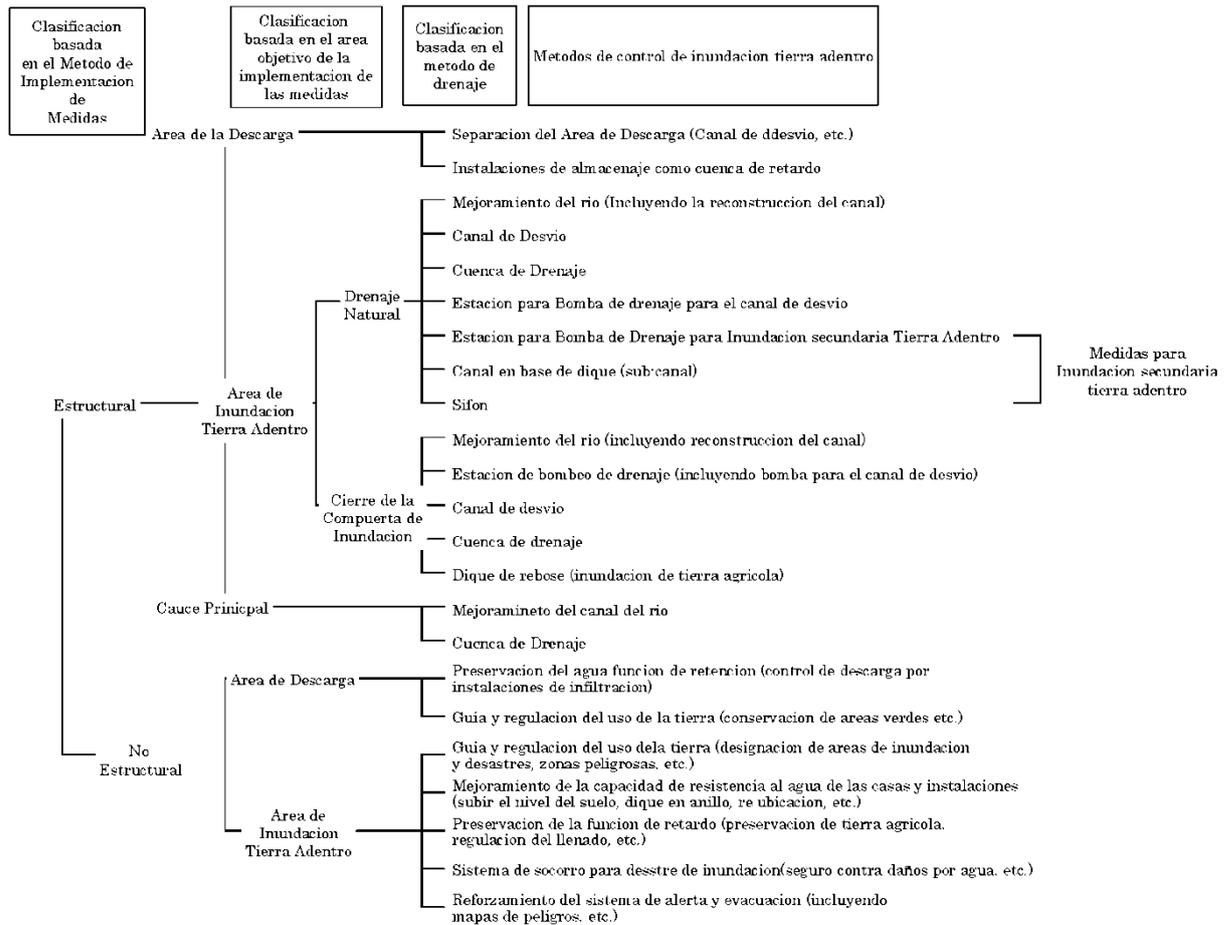
#### 4.2.1 Método de determinación de drenaje de aguas internas

El método de drenaje de aguas internas deberá de ser elegido de entre las alternativas que son económica y socialmente factibles.

Explicación :

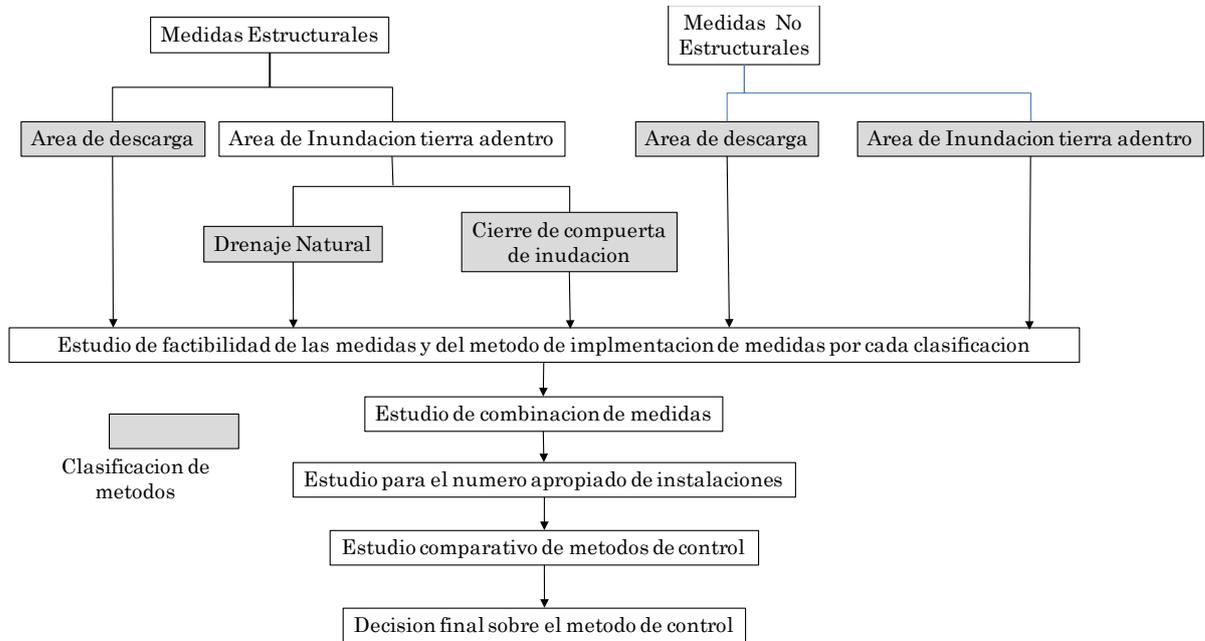
**Tabla 4.2.1 Esquema de las Contramedidas y Elementos a ser considerados en la determinación de drenaje aguas internas**

Elemento		Detalle
Elementos a ser considerados al determinar el método de descarga de aguas internas		Proporción de la Cuenca del río en zona montañosa
		Pendiente del terreno de drenaje
		Distancia al río destino
		Capacidad de descarga del río destino
		Uso de tierra, profundidad del agua y tiempo de embalse del area presuntamente inundable
Métodos de drenaje de aguas internas	Clasificación basada en el método de implementación de medidas	Medidas estructurales
		Medidas no estructurales
	Clasificación basada en implementación de medidas en el área objetivo	Medidas para la Cuenca de descarga
		Medidas para el área de aguas internas
		Medidas para el cauce principal
	Clasificación basada en el método de drenaje	Canal de descarga regional
		Método de cierre de esclusas



Fuente: MLIT, Japan

**Figura 4.2.1 Clasificación de drenaje de aguas internas**



Nota 1. Algunos elementos de la clasificación de arriba pueden no ser aplicables, dependerá del río objeto del análisis.

Note2. Estas medidas podrán lograr los resultados esperados por si solas o en combinación con otras medidas.

Fuente: MLIT, Japan

**Figura 4.2.2 Típico proceso del estudio para el mejoramiento del drenaje de aguas internas (drenaje urbano)**

#### **4.2.2 Selección de aguas internas para su análisis**

Se escogerán varias muestras de aguas internas (drenaje urbano) para ser analizadas tomando en consideración la precipitación histórica, nivel de aguas externas e inundaciones, daños en el pasado y la disponibilidad de data hidrográfica. Estos deberán incluir el evento que causo el daño más extenso que se haya registrado.

#### **4.2.3 Determinación del Método de Evaluación de Probabilidad**

El método para la evaluación de la probabilidad de la escala en un plan de drenaje de aguas internas deberá ser seleccionado en consideración de las características de las aguas internas en el área objeto del análisis. Dependiendo de la disponibilidad de data hidrológica, se lo deberá escoger de uno de los siguientes métodos basados en el entendimiento de las características de cada uno:

1. Evaluación de la probabilidad basado en la cantidad de lluvia en la cuenca de aguas internas
2. Evaluación de la probabilidad basada en la cantidad de lluvia durante el periodo de ocurrencia de aguas internas
3. Evaluación de la probabilidad basada en la cantidad de agua sumergida

#### **4.2.4 Determinación de la escala de las instalaciones para el drenaje de aguas internas**

La escala del diseño del drenaje de aguas internas deberá de ser determinado a partir de la consideración de varios factores tales como, la importancia del área de aguas internas, el daño que hayan ocasionado en el pasado las aguas internas, el balance en comparación con la escala del proyecto del cauce principal y el balance en comparación con la escala del proyecto con las áreas de aguas internas vecinas, etc. Se determinará una escala para las instalaciones que garantice un grado de seguridad contra inundaciones en el área de aguas internas.

Sin embargo, la escala de bombeo del drenaje, como regla, deberá de ser determinada basada en una evaluación costo-beneficio.

### **4.3 Plan de establecimiento de instalaciones para el control de sedimentos y erosión**

El plan de instalación para instalaciones del río, consiste en la planificación de instalaciones para el río, instalaciones para el control de sedimentos y erosión (diseñadas a partir del plan maestro de control de sedimentos y erosión), instalaciones para prevención de deslizamientos (diseñadas a partir del plan maestro de prevención de deslizamientos), instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas (diseñadas a partir del plan maestro de prevención de fallas en pendientes pronunciadas), instalaciones para el control de avalanchas (diseñadas a partir del plan maestro para el control de avalanchas) e instalaciones para el control de desastres integrales por sedimentos (diseñadas a partir del plan maestro para el control de desastres integrales por sedimentos)

La elaboración de planes para las instalaciones implica la consideración sobre los efectos que estas causarían sobre el medio ambiente incluyendo el paisaje. En una cuenca con obvios problemas asociados al movimiento de sedimentos, este tipo de planes necesitan de ser elaborados adicionalmente desde el punto de vista del tratamiento integral de los sedimentos para todo el sistema sedimentario.

#### **4.3.1 Plan para establecer las instalaciones para el control de sedimentos y erosión**

El plan de instalación para el control de la erosión y sedimentos (basadas en el plan maestro para el control de la erosión y sedimentos) consiste en los siguientes planes de instalación: instalaciones para el control de generación de sedimentos, instalaciones para el control de transporte de sedimentos, instalaciones para el control de escombros leñosos e instalaciones para el control de sedimentos y erosión de origen volcánico.

El plan de instalación para establecer las instalaciones para el control de erosión y sedimentos está basado en el plan de control de sedimentos y erosión del sistema del río y está en combinación con el plan de establecimiento de instalaciones para el control de transporte de sedimentos

Explicación :

Los principales planes de instalaciones para el control de la erosión y sedimentos incluyendo el tipo de obras se resumen en el siguiente cuadro

**Tabla 4.3.1 Tipo de obras para las instalaciones de control de la erosión y sedimentos**

Clasificación de los planes de instalaciones para el control de erosión y sedimentos basado en los planes de control de erosión y sedimentos y prevención de flujo de escombros del sistema fluvial	Locaciones de la generación y transporte de sedimentos	Tipo de obras
Plan para establecer instalaciones de control de generación de sedimentos	Laderas	Obras de cimentación para el control de la erosión, Reforestación, Trabajo de plantación, Obras de reforzamiento y conservación en laderas
	Lechos y riberas	Construcción de dique para el control de la erosión, Obras de consolidación, Construcción del faja en el lecho, Obras anti-erosión, Obras de preservación de caudal
Plan para establecer instalaciones de control de transporte de sedimentos	Torrentes y rios	Construcción de dique de control de erosión, Obras de consolidación, Construcción de faja en el lecho, Obras anti erosión, Construcción de espigones, Obras de preservación de caudal, Dique de acondicionamiento, Obras de retardo para arena

**(1) Plan para establecer las instalaciones para el control de la generación de sedimentos**

El plan de establecimiento de instalaciones para el control de generación de sedimentos, el cual está basado en el plan de control de erosión y sedimentos y prevención de flujo de escombros, apunta a establecer instalaciones para el control de sedimentos con el propósito de proteger laderas, orillas, lechos así como prevenir la generación de sedimentos. Se deben de tener las consideraciones necesarias de tal manera que las instalaciones para el control de la producción de sedimentos aseguren su funcionalidad de manera adecuada.

(a) **Obras de preservación de laderas**

Obras de preservación de laderas apuntan a controlar las inundaciones y las hay de dos tipos, Obras en Laderas y Obras de Preservación de Laderas. Las primeras son para estabilizar los taludes por obras de corte y relleno o trabajo de movimiento de tierras en áreas degradadas o laderas desnudas para prevenir o reducir el deterioro de la superficie debido a la erosión o a los derrumbes superficiales mediante la introducción de cobertura vegetal para mejorar su función. Las obras de preservación de laderas consisten en trabajos de cimentación contra la erosión, reforestación y obras de reforzamiento de taludes

Explicación :

“Áreas degradadas” se refiere a tierra resultante del colapso de una ladera

“laderas desnudas” se refiere a laderas en donde la vegetación ha disminuido o desaparecido total o parcialmente.

**Obras en Laderas**

Las obras en laderas se categorizan en tres tipos:

- 1) trabajos de cimentación para control de la erosión para estabilizar las laderas y /o prevenir la erosión de la ladera
- 2) Obras de siembra de plantas en las laderas para prevenir o reducir el daño de la erosión a la capa superficial a través de la cobertura vegetal en tierras degradadas o laderas deforestadas
- 3) Obras de reforzamiento de las laderas para incrementar su resistencia contra el colapso a través de bloques de concreto u hormigón armado en tierras degradadas o laderas desnudas o en alguna falla por colapsar en una ladera.

Utilizando ya sea solo una medida o una combinación de las medidas arriba mencionadas la generación de sedimentos será controlada. La topografía, geología, los suelos, la cobertura vegetal en el área objeto de análisis y sus alrededores y los efectos de las instalaciones planeadas y actuales para el control de la erosión deberán de ser investigadas con el propósito de poder determinar el tipo de obra necesaria. Esto particularmente cuando se esté decidiendo sobre el tema de la cobertura vegetal la cual debe de estar de acuerdo con el ambiente circundante.

Explicación :

1. Obras de cimentación para el control de la erosión

Obras de cimentación para el control de la erosión tienen la finalidad de estabilizar los taludes mediante:

- Cortes,
- Rellenos,
- Estableciendo pequeñas presas de verificación

y

- Obras de canalización para prevenir la erosión de la ladera debido a flujos superficiales así como

estableciendo las bases para siembras futuras en la ladera u obras de refuerzo que se consideren para el sitio.

## 2. Trabajo de siembra en laderas

El trabajo de siembra de plantas en laderas está destinado a incorporar cobertura vegetal en el area de interés, esto incluye:

- Vallas,
- Obras de terrazas con siembra
- Obras de terrazas simples

Las cuales introducen una cobertura vegetal que previene que el suelo de superficie se mueva. El tipo de vegetación deberá de ser decidida de manera cuidadosa de tal manera que se pueda integrar fácilmente con la vegetación circundante.

## 3. Obras de reforzamiento de las laderas

Tierras degradadas o laderas que están a punto de fallar, lugares en donde obras de estabilización son necesarias para un efecto inmediato o en donde el desencadenamiento o rotura de una falla no pueda ser reducido o prevenido solo con trabajos de cimentación para el control de la erosión, se pueden llevar a cabo obras de concreto o de concreto armado incrustado en laderas.



Fuente : Sabo Department, Water and Disaster Management Bureau, MLIT

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0544pdf/ks054403.pdf>

**Figura 4.3.1 Obras en laderas de Japón**

### Obras de conservación de laderas

Luego de las obras en la ladera, se deberá promover el crecimiento apropiado de la vegetación en la ladera mediante las obras de conservación con el propósito de prevenir el desencadenamiento de la erosión de la superficie o el colapso o para incrementar la función de reducción de la erosión debido a la vegetación.

La planificación de las obras en laderas debe de incluir los lineamientos para la conservación de la ladera de acuerdo a su propósito.

### (b) Diques para el control de la erosión

Un dique de control de erosión es una instalación para el control de la generación de sedimentos que apunta a:

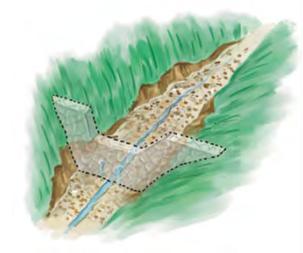
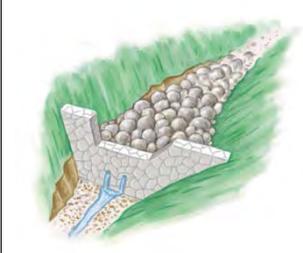
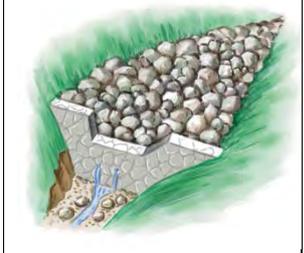
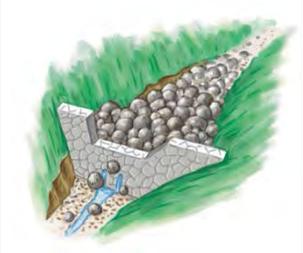
- 1) prevenir el desencadenamiento o reducir el empeoramiento del colapso de una ladera mediante obras de fijación de la base de la ladera;
- 2) prevenir o reducir la erosión longitudinal del lecho del río
- 3) prevenir o reducir la escorrentía de sedimento inestable acumulada en el lecho del río

Al planificar la construcción de las instalaciones, la escala y estructura deberán de estar seleccionados de acuerdo al propósito. Un dique de control de erosión como instalación para el control de sedimentos deberá de ser seleccionado de acuerdo a los propósitos esperados, la topografía y geología de la locación establecida para el diseño y el estado de estabilidad de los escombros.

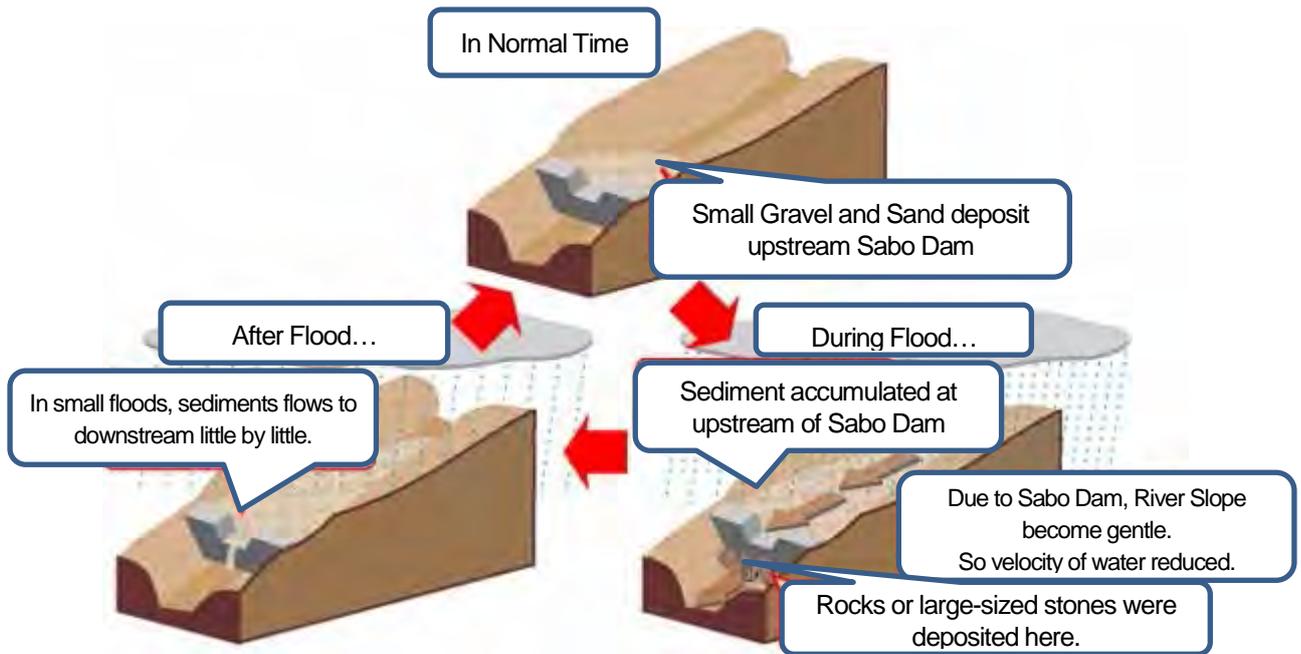
De tal manera que en principio un dique deberá de ser establecido de la siguiente manera:

- 1) en el arroyo justo debajo de la ladera al borde de la falla, para el caso 1);
- 2) justo por debajo de un área de erosión vertical, para el caso 2)
- 3) justo por debajo del sedimento inestable del lecho del río, para el caso 3)

Explanación :

			
Condición sin dique de control de erosión	Sosteniendo sedimentos de aguas arriba	Mayor Sostenimiento y acumulando sedimentos de grandes lluvias	En tiempos normales, pequeños granos de sedimentos fluyen aguas abajo gradualmente

**Figura 4.3.2 Role del Dique de Control de Erosión (1)**



Fuente : Ohsumi Work Office, Kyushu Regional Development Bureau, MLIT  
<http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/contents/jigyosand/prevention/equipment.html>

**Figura 4.3.3 Rol del dique de control (2)**

Al planificar las instalaciones para el control de la generación de sedimentos, en muchos casos se tiene que los diques de control de erosión están hechos para el control de transporte de sedimentos así como para controlar su generación

**Tabla 4.3.2 Tipo de Diques para el control de la erosión**

Tipos	Estructuras	Materiales
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Permeable</li> <li>● Impermeable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gravedad</li> <li>● Arco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Concreto</li> <li>● Acero</li> <li>● Suelo-cemento ,etc..</li> </ul>



Fuente : [http://www.wesco.co.jp/work/doboku/sec\\_kasen/data/r1259666133](http://www.wesco.co.jp/work/doboku/sec_kasen/data/r1259666133)

Dique impermeable para control de erosión hecho con marco de acero



Fuente : <http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/sand/west/page3/index04.html>

De tipo permeable (Hecho con concreto y acero)

**Figura 4.3.4 Ejemplos reales de diques de control de erosión en Japón**

**(c) Obras de Consolidación**

Obras de consolidación son instalaciones que están destinadas no solamente a estabilizar el lecho del río controlando la erosión longitudinal del lecho del río o previniendo que el sedimento del lecho se vuelva a mover otravez, sino que también para reducir o prevenir la erosión o colapso de las márgenes del río. Adicionalmente, funcionan como protectores de fundaciones al proteger y prevenir que obras anti erosión sean socavadas.

Los siguientes aspectos deberán de ser considerados al seleccionar los lugares en donde se realizarán las obras de consolidación:

1. Obras de consolidación deben de establecerse en locaciones amenazadas por la degradación del lecho del río.
2. En areas que presentan erosion en las márgenes del río, colapso y deslizamiento; las obras deberán de ser realizadas en los tramos de abajo.

Explicación :

La altura de las obras de consolidación es usualmente menos de 5 metros.

La función de las obras de consolidación es la de controlar el flujo de escombros al prevenir que el lecho del río baje debido a la fuerza de tracción y prevenir que el sedimento inestable se mueva. También previenen y reducen la erosión y el colapso de las orillas de río al prevenir la baja del lecho, haciendo más suave la pendiente de las orillas además de controlar los flujos turbulentos.

**(d) Fajas de lecho de río**

Las instalaciones de fajas de río están establecidas con el propósito de prevenir la erosión longitudinal. Se establecen aguas abajo de una obra de consolidación simple y en un lugar donde el intervalo entre las obras de consolidación es grande o en donde ya ha ocurrido la erosión longitudinal o muy probable de que ocurra. La faja del lecho del río deberá de ser planificada de tal manera que su cresta sea igual de alta como la altura del lecho del río calculada de tal manera que se elimine la brecha entre la faja y el lecho

**(e) Obras anti-erosión**

Obras anti-erosión son instalaciones para prevenir la erosión y colapso de las márgenes del río. Deben de ser establecidas en lugares con frentes de colisión de aguas, en lugares donde los colapsos y la erosión del río se han sucedido o sea evidente que puedan suceder debido al flujo de escombros, o en locaciones donde se requiera prevenir la erosión o fijar la base de una montana

(f) **Obras de preservación de torrentes**

Obras de preservación de torrentes son instalaciones que están destinadas no solamente a prevenir la erosión y colapso de las márgenes del río controlando la turbulencia del flujo o corrientes del flujo en la planicie montañosa sino que también para prevenir la erosión del lecho y bancos del río al regular la pendiente longitudinal. Las obras del torrente son una combinación de obras de consolidación, fajas de río, obras anti-erosión, espigones, etc.

Las obras de preservación de torrentes serán planificadas para instalar fajas y espigones y llevar a cabo obras de consolidación y anti-erosión que se crean necesarias, tomando ventajas de las formas naturales del terreno como ser áreas restringidas o no de tal manera que se conserven los diferentes espacios del torrente y el ecosistema y se aplique la función natural de control de sedimento.

Explicación :

La pendiente del lecho de un torrente está determinada por la descarga de flujo: esto es, la velocidad del flujo, la profundidad del agua y la resistencia del lecho. Así, el diseño de la pendiente del lecho aguas arriba de las obras de consolidación deberá de ser determinada considerando la ocurrencia de la erosión y sedimentos, adicionalmente a los factores arriba mencionados, y luego referirlos a las gradientes de equilibrio estadístico y dinámico del sedimento descargado. Por otro lado, durante la preparación de obras para la preservación del torrente, es necesario ubicar las instalaciones para la erosión y sedimentos de manera adecuada en lugares requeridos, tomando ventaja del paisaje natural.



Fuente : Joetsu Regional development Bureau, Niigata Prefectural Government  
[http://www.pref.niigata.lg.jp/jouetsu\\_sabou/sabou\\_intro2.html](http://www.pref.niigata.lg.jp/jouetsu_sabou/sabou_intro2.html)

**Figura 4.3.5 Ejemplo de obras de preservación de torrente en Japón**

## (2) Planificación de instalaciones para el transporte de sedimentos

Un plan para las instalaciones de control de transporte de sedimentos deberá de determinar la instalación de obras para el fin de controlar los sedimentos descargados en las secciones de transporte de sedimentos. Esta planificación deberá de ser hecha basada en el plan de sedimentos y erosión del sistema fluvial y las medidas de control de flujo de escombros.

En la planificación de instalaciones para el control de transporte de sedimentos, el propósito de cada una de las instalaciones deberá de estar claramente apuntado para que puedan con su función específica.

Explicación :

Estructuras específicas para el control de transporte de sedimentos son las mismas que las siguientes estructuras para el control de la generación de sedimentos.

.

- Diques de control de erosión
- Obras de consolidación
- Fajas de lecho de río
- Obras anti-erosion
- Obras de cuencas de retardo para arena
- Obras de preservación de torrentes

Las siguientes dos (2) obras no tienen funciones exclusivas de control del transporte de sedimentos sino que también lo son para el control de la generación de sedimentos.

- Espigones
- Diques de encaminamiento

### (a) Diques de control de Erosión

Los diques de control de erosión para transporte de sedimentos son instalaciones diseñadas para

- 1) controlar o regular la descarga de sedimentos; o
- 2) sostener o disipar el flujo de escombros

Los hay de dos tipos: permeables e impermeable. Durante la planificación, el tipo de instalación, su escala y estructura deberá de ser elegida de acuerdo al propósito de su instalación. Un dique de control de erosión para el transporte de sedimentos deberá de ser ubicado en un lugar efectivo, tal como un cauce que se angosta el cual es aguas arriba más ancho, o en tramo inferior justo por debajo de la confluencia del tributario. La decisión deberá estar basada en los resultados que se esperan del dique de control de erosión y la topografía del lugar seleccionado

(b) **Obras de consolidacion, fajas de lecho de rio, Obras anti-erosion, obras de preservación de torrentes**

La planificación de obras de consolidación, fajas de lecho de rio, obras anti-erosión, obras de preservación de torrentes tales como instalaciones para el control de transporte de sedimentos deben de seguir el mismo proceso que la planificación de instalaciones para el control de la generación de sedimentos

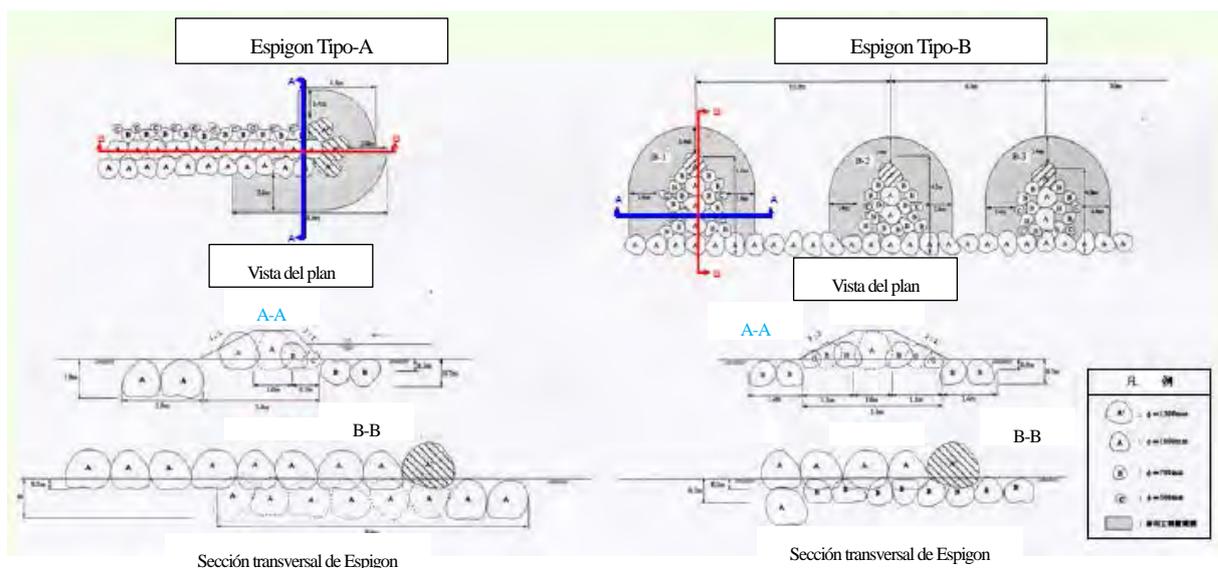
(c) **Espigones**

Espigones son instalaciones que previenen la erosión y el colapso de márgenes del rio al controlar la dirección del flujo del agua o restringiendo el ancho del canal de rio. Su función no es solamente la de acumular sedimento disipando la energía del flujo de agua sino que también proteger las márgenes del rio

En principio, los espigones deberían de ser establecidos en las secciones de flujo turbulento que no tengan una pendiente pronunciada del lecho del canal, como por ejemplo en las partes bajas del torrente, áreas de acumulación de escombros, etc. Incluso en las partes altas del torrente, sin embargo, deberán de ser establecidas en lugares como al pie de áreas con suelos degradados, o como lo demande la situación, para prevenir la extensión de un colapso debido al impacto de la escorrentía

Explicación :

Cuando se establece un espigón en uno de los lados del rio (digamos al pie de un área de tierras degradadas), hay que asegurarse de la situación en lado opuesto debido a que el lado opuesto será casi siempre el lugar donde impactara el agua.



Fuente : National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutn/tmn0580pdf/ks0580.pdf>

**Figura 4.3.6 Ejemplo de Diseño de un muelle para el control del a erosion y sedimentos en Japon**



Fuente URL: [http://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen/jiten/nihon\\_kawa/84039/84039-1\\_p1\\_1.html](http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/84039/84039-1_p1_1.html)  
<http://www.so-kei.net/kasen-suisei-ntas.html>

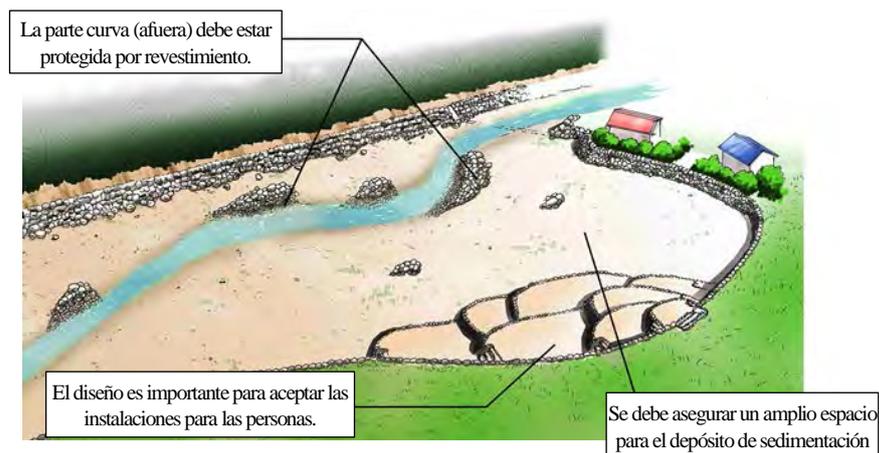
**Figura 4.3.7 Ejemplos de la instalación de espigones aguas arriba en ríos de Japón**

**(d) Obras de cuencas de retardo de arena**

Obras de cuencas de retardo de arena son instalaciones usadas para ensanchar parte del río mediante la excavación de esta manera acumular escombros para controlar el transporte de sedimentos. Comúnmente deberán ser establecidas aguas debajo de la salida de un valle, donde se pueda asegurar el espacio para la acumulación de sedimentos. Por otro lado, a pesar que deberán disponerse con un dique de control de erosión a un lado aguas arriba y de obras de consolidación aguas abajo, deben de ser combinadas de manera propia con los canales de aguas bajas, diques de encaminamiento, y áreas verdes de control de erosión, etc.

Explicación :

La imagen de una Cuenca de retardo de arena se muestra en la siguiente Figura 4.3.8.



Fuente : Kii-sanchi Sabo Office, Kinki Regional Development Bureau, MLIT  
[http://www.kkr.mlit.go.jp/kisanchi/committee/pdf/nachi\\_03\\_02.pdf](http://www.kkr.mlit.go.jp/kisanchi/committee/pdf/nachi_03_02.pdf)

**Figura 4.3.8 Imagen de obras de Cuenca de retardo de arena**

(e) **Dique de encaminamiento**

El dique de encaminamiento es una instalación para dirigir de manera segura flujos de escombros en el tramo inferior evitando que estos impacten de manera directa al área de preservación durante una inundación. En la ausencia de un dique de encaminamiento el flujo de escombros usualmente se acumula aguas arriba de la zona objetivo de preservación. Bajo condiciones topográficas más difíciles, el dique de encaminamiento deberá de ser establecido para proveer el espacio que le permita al flujo de escombros acumularse de manera segura en las partes bajas. Inicialmente, se establecerá un dique de control de erosión o una cuenca de retardo de arenas para atrapar el flujo de escombros. Luego de esto se establecerán los diques de encaminamiento como adicionales a las instalaciones previamente construidas. En principio esto es realizado por excavación con el propósito de encaminar el flujo de escombros a un espacio seguro donde pueda ser acumulado. Adicionalmente, cuando las condiciones del lugar lo hagan difícil de excavar, un canal de encaminamiento podrá ser establecido para controlar la dirección del flujo de escombros y acomodarlos de manera segura aguas abajo.

Explicación :

Se muestran ejemplos de la construcción de diques de encaminamiento con estructuras accesorias

	
Fuente : <a href="http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/hakusansabo/04outline/hard01.html">http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/hakusansabo/04outline/hard01.html</a>	Fuente : <a href="http://www.cbr.mlit.go.jp/etsumi/archive/houkai/houkai3.html">http://www.cbr.mlit.go.jp/etsumi/archive/houkai/houkai3.html</a>
Training Dike (Drop Work) in Japan (Yanagidani Drop-Type Training Dike) (Hokuriku Regional Development Bureau, MLIT)	Training Dike (Drop Work) in Japan Tokuyama Shiratani (Chubu Regional Development Bureau, MLIT)

**Figura 4.3.9 Ejemplos de dique de encaminamiento con estructuras anexas en el Japón**

### (3) Planificación de instalaciones para el control de desechos leñosos

El plan de las instalaciones para desechos leñosos, el cual esta basado en el plan de control de control de desecho leñosos, deberá de ubicar estas instalaciones de acuerdo a la cantidad estimada de desechos leñosos. El plan deberá de considerar el comportamiento de los desechos leñosos correspondiente a la ocurrencia así como su morfología de flujo en la sección en donde se forman estos desechos leñosos y en respuesta a las variaciones de generación y transporte de sedimento.

Estas instalaciones las podemos dividir las en dos, las instalaciones para el control de desechos leñosos, las cuales están destinadas a prevenir la ocurrencia y las instalaciones destinadas a atrapar estos desechos de los torrentes de tal manera que no alcancen las áreas bajas.

Adicionalmente las instalaciones para el control de desechos leñosos deberán de ser consistentes con las obras de erosión y sedimentación instaladas como parte del plan de instalaciones para el control de la generación y del plan de instalación para el control del transporte de sedimentos

#### (a) Instalaciones para el control de desechos leñosos

Las instalaciones para el control de desechos leñosos deberán de controlar y reducir los desechos leñosos que se dan con los sedimentos. Estas instalaciones ayudan a proteger las laderas, márgenes del río y lechos de ríos de tal manera a prevenir la generación de sedimentos. Deberán de estar localizadas en áreas que son fuentes potenciales de sedimentos y desechos leñosos.

Explicación :

Tipo y locaciones adecuadas para las instalaciones de control de materiales leñosos son como sigue:

**Tabla 4.3.3 Tipo de instalaciones para el control de desechos leñosos**

Tipo de Contramedida	Locación de la instalación adecuada
Obras de preservacion de laderas	Principalmente establecidas en áreas que produzcan desechos leñosos y sedimentos como ser tierras degradadas
Obras de preservacion de laderas, Diques de control de erosión, Obras de consolidación, Obras anti-erosión	Establecidas a lo largo del río en donde ocurren desechos leñosos
Obras de preservación de torrente Obras anti-erosión	Localizada en áreas del río en donde los desechos leñosos son transportados por tracción

(b) **Instalaciones trampa de desechos leñosos**

Las instalaciones para la captación de desechos leñosos las cuales atrapan los desechos leñosos que fluyen con los sedimentos deberán de ser instaladas en pendientes de laderas donde troncos caídos se han ido acumulando o en torrentes en donde este tipo de desechos fluyen aguas abajo. Adicionalmente al preparar las instalaciones para la captación de desechos leñosos, se le debe de dar la consideración al hecho de que la función de captación a lo largo del sector de flujo de escombros del rio difiere de la que se da en el sector de tracción

Explicación :

Instalaciones para la captación de escombros leñosos deberán de ser planificadas basadas en el concepto de planificación que se muestra en la siguiente Tabla 4.3.4 de abajo:

**Tabla 4.3.4 Tipos de instalaciones de trampa de escombros leñosos**

Locacion	Concepto de Trampa	Specific Countermeasures
Laderas	Atrapar desechos leñosos	Obras de barras en concreto/acero
Tramo de flujo de escombros	Atrapar escombros y desechos leñosos en una pila	Diques de control de erosión Diques de control de erosión semipermeables
Tramo de tracción	Atrapar escombros y desechos leñosos separadamente	Diques de control de erosión semipermeables Obras de barras en concreto/acero en las partes bajas de las cuencas de retardo de arena



**Figura 4.3.10 Ejemplos de Slit Dam**

#### (4) Planificación de instalaciones para el control de erosión y sedimentos de origen volcánico

La planificación de instalaciones para el control de erosión y sedimentos de origen volcánico, la cual se realiza en base al plan de control de erosión y sedimentos de origen volcánico, deberá de estar dirigida a la prevención y alivio de desastres originaos por las lluvias y acción volcánica en áreas de erosión y sedimentos de origen volcánico. La planificación deberá de especificar el tipo de obras, el método de trabajo, la escala de diseño de las instalaciones teniendo en consideración el fenómeno de movimiento de sedimentos y los planes regionales para el área específica. En términos de flujos de escombros causados por precipitaciones, etc., las instalaciones deberán de ser planificadas de acuerdo al plan de instalaciones para el control de generación de sedimentos (4.3.1(1) en esta sección), el plan para instalaciones para el control de transporte de sedimentos (4.3.1(2) y el plan para instalaciones de control de escombros leñosos (4.3.1(3)).

Un plan para las instalaciones de control de flujos de lodo volcánico deberá de ser preparado para manejar el lodo volcánico generado. Al momento de una erupción, cuando las medidas de emergencias deben ser tomadas, será necesario usar un sistema de construcción no tripulado para realizar las obras de remoción de escombros (tales como diques de control de erosión, dique de encaminamiento o una cuenca de retardo para arenas) las cuales removerán los escombros del área de sedimentos.

##### Explicación :

Las instalaciones para el control de erosión y sedimentos de origen volcánico incluyen las siguientes estructuras las cuales tienen funciones de mitigar el daño causado no solo por la erosión y sedimentos de origen volcánico sino que sirven también para otro tipo de desastres.

- Diques de control de erosión
- Obras de control de torrente
- Obras de consolidación
- Fajas de lecho de río
- Obras anti-erosion
- Obras de cuencas de retardo de arenas
- Obras en laderas

(a) **Planificación de instalaciones para el control de flujos de lodo volcánico**

Las instalaciones para el control de flujos de lodo de origen volcánico deberán de ser planificadas para el tramo en donde estos probablemente fluirán y se acumularan. En la planificación, algunas de las siguientes instalaciones deberán de ser propiamente combinadas: Instalaciones para el control de generación de sedimentos, las cuales ayudan a prevenir que se desarrollen flujos de lodo de origen volcánico a través de la erosión; instalaciones para el control de transporte de sedimentos las cuales atrapan descargas de escombros o reducen la cantidad de picos altos de flujos, y otras instalaciones que funcionan para el encaminamiento y la captación de escombros leñosos. Adicionalmente, el plan para instalaciones de control de flujo de lodos volcánicos deberá de ser establecido de acuerdo al plan para instalaciones de control de generación de sedimentos (4.3.1(1)) de esta sección, al control de transporte de sedimentos (4.3.1(2)) y al plan para instalaciones para el control de escombros leñosos (4.3.1(3))

(b) **Planificación para instalaciones del control de lava**

El plan de instalaciones para el control de flujos de lava deberá de ser establecido de acuerdo a la escala del flujo de lava, la eficacia de algún o de estos controles artificiales y su efectividad económica. De ser necesario se deberán de combinar de manera propicia diferentes tipos de instalaciones como, instalaciones de para el control de erosión y sedimentos que funcionen en el control de escorrentía, instalaciones para el control de dirección de flujos y encaminamiento de flujos de lava.

Explicacion :

El control de la escorrentía de lava significa la reducción de la cantidad de lava a través del almacenamiento de la misma. De tal manera que es necesario preparar un dique de control de erosión y sedimentación destinado al almacenamiento de flujos de lava en el rio adyacente al área en donde estos flujos se descargan. Por otro lado, una cuenca de retardo de arenas deberá de ser preparada en el tramo en donde se descarga y se acumula el flujo de lava. El control de la dirección del flujo de lava implica controlar de manera artificial su dirección. Adicionalmente el encaminamiento del flujo de lava implica direccionar estos flujos a áreas lejanas que no supongan un peligro para los residentes locales. Para el control de dirección de flujos y encaminamiento de lava, los diques de encaminamiento son los principales elementos a los que referimos.

#### 4.3.2 Planificación de instalaciones para el control de deslizamientos de tierra

El plan de las instalaciones para el control de los deslizamientos de tierra deberá de especificar las instalaciones con el propósito de mantener la seguridad ante desastres de este tipo. Deberá de estar basado en el plan de control de deslizamientos de tierra.

##### (1) Aspectos básicos de la planificación para el control de deslizamientos de tierra

El plan para establecer instalaciones para el control de deslizamientos de tierra deberá de especificar las instalaciones adecuadas para prevenir desastres por deslizamientos de tierras considerando los efectos de estas en cuanto a la escala, ocurrencia y mecanismos de los deslizamientos.

Explicación :

La escala del plan para establecer instalaciones para el control de deslizamientos de tierras, el cual es generalmente mostrado por el factor de seguridad de diseño, se calcula a través del análisis de estabilidad de cada una de las unidades de los bloques en movimientos, los cuales se suponen mueven todos como uno. Al determinar los factores de seguridad de diseño es necesario considerar de manera integral el fenómeno y la escala del deslizamiento, la significancia de conservación del área objeto, el nivel del desastre que podría ser causado por el deslizamiento, el nivel de emergencia que podría generar un deslizamiento y así sucesivamente. En muchos casos, sin embargo, los factores de seguridad del diseño son calculados sobre la base de factores de seguridad actual que son asumidos de acuerdo al estado de movimiento del deslizamiento. De tal manera debe de ser notado que los factores de seguridad de diseño representan solo los factores de seguridad que han sido mejorados mediante obras de prevención y no siempre representan la estabilidad de la ladera luego de la construcción.

##### (2) Selección de Métodos de construcción

En la planificación de las instalaciones para el control de deslizamientos de tierra, los métodos de construcción deberán de ser elegidos de acuerdo a la escala, ocurrencia y mecanismo de movimiento del deslizamiento, la situación de preservación del sitio objetivo y la eficiencia económica del método.

El plan debe de combinar de manera propicia

- Obras de control

y

- Obras de prevención

Explicación :

Los factores que causan desastres de deslizamiento de tierras y sus desencadenantes se explican a continuación en la Tabla 4.3.5 de abajo.

**Tabla 4.3.5 Factores que causan o inducen desastres de deslizamiento de tierras**

Factores causales	Desencadenantes
Topografía	Condiciones climáticas (lluvias, deshielos)
Geología	Condiciones de aguas subterráneas
Propiedades del suelo	Obras artificiales como cortes
	Terremotos

Los tipos de instalaciones para el control de deslizamientos están divididas en dos métodos, Obras de Control y Obras de Prevención como se explican en la Tabla 4.3.6 de abajo.

**Tabla 4.3.6 Conceptos acerca instalaciones para el control de deslizamientos de tierra**

Concepto de contramedidas	Perfil de las contramedidas	Observaciones en las Contramedidas Seleccionadas
Obras de Control	Dirigidas a mitigar o detener el movimiento de la ladera al cambiar las condiciones naturales como la topografía o la situación de las aguas subterráneas	1. Al planificar las obras de control y las obras de prevención, deberán de ser combinadas de manera razonable 2. Si el deslizamiento de tierras continua, en principio, obras de control no deberán de ser llevadas a cabo antes de obras de prevención, en otras palabras, nunca deberán de ser ejecutadas hasta que las obras de prevención hayan mitigado o detenido el deslizamiento
Obras de Prevención	Dirigidas a detener el deslizamiento de tierras al usar la fuerza de Resistencia de las construcciones establecidas	

### (3) Obras de Control del Deslizamientos de tierras

El plan de control de deslizamiento de tierra deberá de ser preparado de tal manera que el movimiento de tierras pueda ser controlado de manera efectiva al cambiar las condiciones naturales como la topografía, la geología y las aguas subterráneas.

Explicación :

Los tipos de Obras de Control de deslizamientos de tierra estas especificados a continuación

1. Obras de drenaje de superficie (Obras de canales y obras de control de infiltraciones)

Estos trabajos están destinados a prevenir que los deslizamientos de tierras sean inducidos por infiltraciones o re-infiltraciones en el área o fuera del área de deslizamiento, por ejemplo por lluvias, aguas superficiales, o agua de pozos, lagunas o canales.

2. Obras de drenaje de aguas poco profundas (tuberías abiertas o cerradas, trabajos de perforación horizontal)

Estas obras drenan aguas subterráneas poco profundas previniendo que se posiciones en la superficie de la ladera

3. Obras de drenaje de aguas subterráneas profundas (Obras de perforación lateral, obras de drenaje de pozos, obras de túneles de drenaje)

Estas obras drenan aguas subterráneas profundas para reducir la presión de agua en los poros (nivel freático) cerca de la superficie de deslizamiento

4. Trabajos de remoción de tierras (obras de corte)

En principio, estos trabajos se establecen en la parte alta del deslizamiento para disminuir la capacidad de la tierra de partirse (poder de deslizamiento del suelo). Es necesario prestar atención a los cambios en las condiciones topográficas para no inducir nuevos deslizamientos.

5. Obras de terraplén de Carga

En principio, estas obras deberían de ser establecidas al final del deslizamiento para incrementar la resistencia contra el poder de deslizamiento de la tierra. Así como en el caso de obras de remoción de tierra, es necesario ser cuidadoso con cambios de las condiciones topográficas para no incurrir en nuevos deslizamientos.

6. Obras de control de la erosión a través de construcciones en el río (obras de protección de taludes, diques de control de erosión y obras anti-erosión)

Estas obras tienen como objetivo prevenir la erosión y el colapso que pueda darse como resultado de la presencia de flujo de aguas (agua de ríos o lluvia) la cual pueda inducir deslizamientos. Los sedimentos atrapados en los diques de control de erosión establecidos en el tramo del río por debajo del área de deslizamientos pueden prevenir la erosión y el colapso al final del deslizamiento. El efecto esperado es el mismo que el del trabajo de un terraplén de carga.

#### **(4) Obras de prevención de deslizamientos**

Las obras de prevención de deslizamientos de tierras deberán incluir estructuras seguras contra la fuerza natural de los deslizamientos de tal manera que pueda prevenirlos y resistir su poder. Deberán de ser planificadas para tener suficiente efecto sobre movimiento de masas de tierra.

Explicación :

Los tipos de obras de prevención ante los deslizamientos de tierra se mencionan a continuación;

1. Obras con Pilotes

Estos trabajos apuntan a resistir de manera directa a la fuerza de deslizamiento de la tierra a través de la inclusión de pilotes resistentes al corte y resistentes al doblado, los cuales se insertan en suelo firme.

2. Obras con Pozos

Obras con pozos, involucra la excavación de pozos de 2.5 a 6.5 metros de diámetro que puedan alcanzar una fundación sólida. Luego un pilar de concreto se echa en el lugar. Cuando se hace difícil asegurar el factor de

seguridad de diseño debido a que el deslizamiento de tierra tiene un factor muy grande de fuerza de deslizamiento pero existe una buena y sólida fundación, en este caso estas obras deberían de ser implementadas.

### 3. Obras de anclaje

Tomando ventaja de las propiedades de los materiales de acero enclavados en suelo fijo, estas obras apuntan a resistir las fuerzas de deslizamiento. Deben de ser establecidas en lugares en donde sus efectos de detención o fijación se produzcan de manera efectiva.

#### 4.3.3 Planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas

El plan de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas deberá de ser establecido según lo planificado, con el propósito de tener seguridad contra desastres causados por fallas en pendientes pronunciadas.

##### (1) Aspectos básicos de la planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas

El plan para establecer instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas deberá de ser establecido de acuerdo a la escala del fenómeno del colapso estimado, con el propósito de prevenir los daños que la falla pudiera ocasionar.

Explicación :

Las instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas son planificadas basándose en los siguientes conceptos

**Tabla 4.3.7 Aspectos básicos de la planificación de instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas**

Tipo de Obras	Elementos de Obras a ser implementados	Comentarios y elementos a ser estudiados
Obras de construcción que son ejecutadas en laderas para aumentar el grado de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Remover terrones inestables</li> <li>● disminuir la fuerza de colapso o deslizamiento</li> <li>● aumentar la resistencia frente al colapso o deslizamiento</li> </ul>	1. Examen del grado de seguridad basado en comparaciones con la experiencia convencional, las condiciones actuales de la pendiente y la gradiente estándar de la pendiente
Obras de construcción que intentan mitigar desastres en el punto objetivo, previniendo o reduciendo los escombros producidos en el lugar aun habiéndose producido el colapso de la ladera	<ul style="list-style-type: none"> <li>● escombros que hayan caído de las laderas deben ser captados de manera segura</li> </ul>	2. Examen basado en las formas de colapso anticipado mediante investigación in-situ. 3. Examen de los niveles de seguridad mediante análisis de estabilidad

**(2) Determinación de los métodos de construcción**

El plan para establecer instalaciones para el control de fallas en pendientes pronunciadas deberá de considerar las causas, formas y escalas anticipadas de los colapsos, la situación de los objetivos a prevenir y la eficiencia económica de las obras. El plan deberá de combinar de manera propicia los métodos de construcción para controlar el colapso o deslizamiento de tierras mediante el cambio de las condiciones naturales tales como la topografía, geología y el estado de la aguas subterráneas en el sitio, así como considerar también los métodos de construcción para prevenir el colapso mediante la provisión de resistencia de elementos estructurales

**4.3.4 Planificación de instalaciones para el control de Avalanchas**

El plan para establecer instalaciones de control para avalanchas deberá de especificar las instalaciones para el control de avalanchas de tal manera que brinden seguridad en caso de un desastre de avalancha. Ello debe ser basado en el plan de control de avalanchas.

**(1) Aspectos básicos del plan para el control de avalanchas**

Al planificar las instalaciones para el control de avalanchas, estas instalaciones deberán de ser establecidas de manera propicia para prevenir desastres ocasionados por avalanchas de acuerdo a las escalas y características anticipadas de las mismas

**(2) Selección de los métodos de construcción de instalaciones para el control de avalanchas**

El plan para establecer instalaciones para el control de avalancha deberá de escoger métodos de construcción considerando las causas, formas y escala de las avalanchas, la situación del lugar a ser preservado, la eficiencia económica del método, etc. El plan debería combinar trabajos de prevención y protección.

Explicación :

Los métodos básicos de construcción de instalaciones para el control de avalanchas se explican en la Tabla 4.3.8 de abajo.

**Tabla 4.3.8 Métodos de construcción de los distintos tipos de instalaciones para el control de avalanchas**

Concepto de Control	Descripción	Propósito del método
Obras de prevención	Obras de prevención de ocurrencias	Previene el fenómeno de movimiento de nieve depositada (arrastré o planeo) de iniciar en una pendiente

Concepto de Control	Descripción	Propósito del método
	Obras de prevención de cornisas de nieve	Previene la formación de cornisas de nieve que causan avalanchas
Obras de protección	Interception works	Interceptan la avalancha en su camino al objetivo de prevención
	Obras de disipación de energía	Dispersa la energía de una avalancha para reducir su velocidad
	Obras de dirección	Cambia el curso de una avalancha

Los elementos a considerar y confirmar para una apropiada selección de método se enumeran en la Tabla 4.3.9 de abajo.

**Tabla 4.3.9 Elementos a Considerar y Confirmar para una apropiada selección de instalaciones para el control de avalanchas**

Elementos a considerar referentes a las circunstancias	Elementos a confirmar para la selección del método apropiado
Tipos de avalancha Áreas de ocurrencia Rango y alcance de las avalanchas anticipadas en base al estudio previo	Seguridad Durabilidad Instalación Posibilidad Medio ambiente circundante

**(3) Obras de Prevención**

Obras de prevención deberán de ser establecidas en áreas de ocurrencia para prevenir que las avalanchas

**(4) Obras de Protección**

Obras de protección deberán de ser establecidas en rutas de avalanchas o áreas de sedimentos para proteger áreas objetivo donde ha ocurrido la avalancha recientemente

**4.3.5 Planificación de instalaciones integrales para el control de desastres por sedimentos**

El plan para establecer las instalaciones integrales para el control de desastres por sedimentos, deberá de determinar de manera propicia la locación de las instalaciones para el tema de sedimentos y erosión, las instalaciones para la prevención de deslizamientos, las instalaciones para la prevención de fallas en pendientes pronunciadas, etc. Deberán de estar basadas en el plan integral de control de desastres por sedimentos y deberán de apuntar a prevenir y reducir los desastres por sedimentos que puedan ocurrir

El plan para las instalaciones de un cinturón verde en la zona urbanizada al pie de la montaña, deberán de localizarse de manera propicia las instalaciones de prevención de deslizamientos, las instalaciones para el control de fallas en pendientes pronunciadas, etc. para promover el desarrollo y conservación de árboles para los proyectos de cinturón verde con urbanización en la zona plana de la orilla de la montaña.

#### **4.3.6 Planificación de instalaciones de protección costera**

Los planes de instalaciones de protección costera deberán de especificar el tipo, la escala y disposición de estas en el proyecto de protección costera.

La planificación de instalaciones de protección costera deberá de cumplir los tres (3) propósitos de esta que son; protección y desarrollo del medio ambiente costero y la utilización adecuada del área costera por el público.

En la planificación de instalaciones de protección costera es esencial considerar la continuidad del borde marino en su direccionamiento desde el punto de vista integral del control de sedimentos, haciendo que esta cumpla sus funciones de protección, conservación del medio ambiente y uso.

## 5 Conceptos básicos del diseño de estructuras de río para el control y mitigación del riesgo de inundaciones

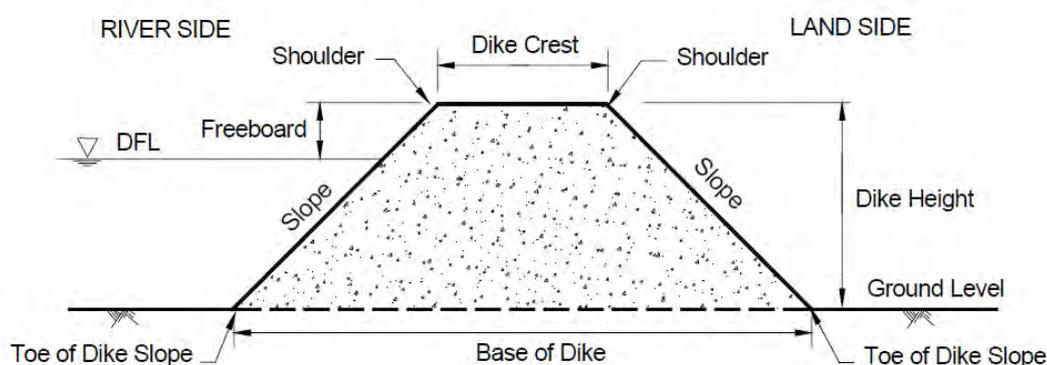
### 5.1 Dique/ Revestimiento

El dique es una estructura para prevenir inundaciones y construida de tierra u otros materiales por encima del nivel del suelo con el propósito de mantener dentro del río las descargas de inundación y prevenir que se inunde el área que protege.

Dentro de este concepto un dique “completo” deberá de cumplir con los siguientes requisitos:

- Altura/Elevación sobre el nivel máximo de aguas de diseño
- Estabilidad suficiente contra la descarga de flujo de diseño

Adicionalmente, de ser necesario el dique deberá de ser protegido por revestimientos y obras de protección de la base.



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.1.1** Componente de un dique (en general)

#### 5.1.1 Diseño de Dique

##### (1) Aspectos básicos del diseño de un dique

El dique está planificado y diseñado para transportar de forma segura el caudal de diseño. Además, el dique deberá ser diseñado y evaluado para no causar un desastre secundario en caso de la ocurrencia de terremoto. Los aspectos más importantes para el diseño del dique se resumen a continuación:

**Tabla 5.1.1** Fuerzas externas sobre la estabilidad del dique

Acción	Funciones a ser aseguradas	Fuerzas externas relacionadas a la seguridad del dique
Lluvia y flujo de agua	Permeabilidad-Resistencia	Permeabilidad a la lluvia y flujos de agua
Flujo de agua	Resistencia a la erosión	Fuerzas hidrodinámicas de flujos de agua
Terremoto	Función asísmica de ser necesaria	Fuerzas de inercia sísmica y licuefacción

## (2) Sección transversal de un Dique

### (a) Aspectos Básicos

Como ha sido descrito líneas arriba, en principio, la sección transversal de un dique está diseñada para dar seguridad o asegurar su estabilidad contra fuerzas externas (precipitaciones/ flujos de agua/ terremotos). Los siguientes son requisitos mínimos (desde (b) hasta (f)) que deben de ser considerados al diseñar un dique.

### (b) Calidad de los materiales de construcción de un dique

Los diques generalmente consisten de tierra y arena. Las ventajas de usar tierra y arena son las siguientes:

- 1) Costos razonables debido a la disponibilidad de materiales
- 2) Casi sin deterioros por un largo tiempo (durara más de cien años)
- 3) Puede ser fácilmente mezclado con la cimentación del suelo
- 4) También sigue a la transformación (e hundimiento) del suelo.
- 5) Cuando se necesite mejorar el plan de control de inundaciones es fácil de aumentarlo
- 6) Cuando el dique es destruido por un terremoto u otro desastre es fácil de recomponerlo.
- 7) Por consideraciones medio ambientales

Sin embargo, el dique de tierra es a veces muy difícil o no adecuado debido a problemas de adquisición de tierras, considerando el hecho de la existencia de instalaciones importantes detrás del área, o el uso de los bancos del margen como zonas de carga, etc. En tales casos se adopta un dique tipo muro de retención de concreto. Este tipo de dique con paredes de concreto deberá de ser diseñado con estructuras anti-sísmicas y debe de ser lo suficientemente resistente más allá del flujo de diseño establecido, debido a que los costos de construcción y obras de reconstrucción en este tipo de diques son grandes y toman tiempo.

### (c) Elevación de la cresta del dique

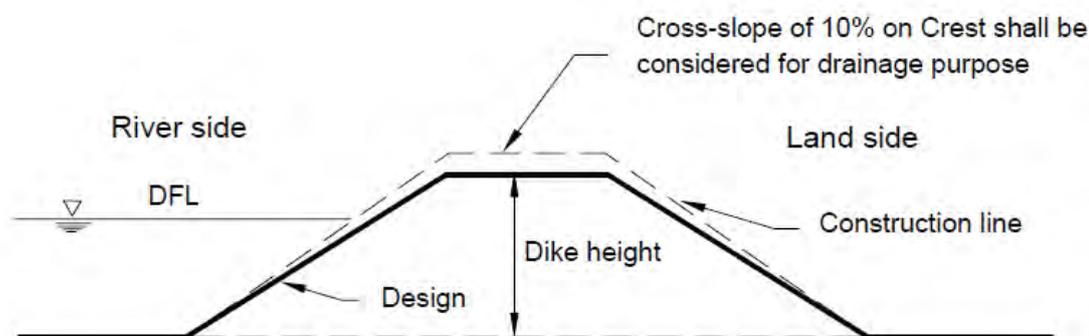
La elevación de la cresta del dique deberá de ser medida desde el nivel de inundación de diseño hasta el borde libre que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.1.2 Borde Libre Mínimo Requerido del Dique**

Descarga de diseño (m <sup>3</sup> /s)	Menos que 200	De 200 hasta 500	De 500 hasta 2,000	De 2,000 hasta 5,000	De 5,000 hasta 10,000	De 10,000 a mas
Borde libre (m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0

El estándar arriba mencionado se propone de acuerdo al estándar para diseño de diques del “*Government Ordinance for Structural Standards for River Administration Facilities*” (ordenanza gubernamental de estándares estructurales para instalaciones en la administración fluvial) del Japón. Los mínimos del borde libre requeridos para el dique son empíricamente descritos a través de todo el historial del control y lucha contra las inundaciones en el Japón. Los diques hechos de terraplenes de tierra y/o con muro de concreto son extremadamente vulnerables a las fuerzas de las aguas desbordadas. De tal manera que el diseño (elevación) del dique deberá de ser establecida teniendo en cuenta la elevación temporaria del agua en la que no se ha llevado a cabo el análisis para fijar el nivel

máximo de agua, como los casos de olas formadas por el viento en momentos de inundación, subida y descenso y saltos hidráulicos. El borde libre mínimo requerido mencionado en la tabla 5.1.2 es descrito como la altura adicional a ser considerada por encima del nivel máximo de aguas del diseño en el proceso de diseño de diques. Además, el borde libre deberá garantizar la seguridad en las actividades de inspección para la observación y lucha contra la inundación durante un evento. También, el borde libre deberá garantizar la seguridad contra materiales que fluyen en el agua como restos de madera y otros objetos. En este sentido, el borde libre deberá contar con una altura que asegure que las aguas no lo sobrepasen, incluyendo niveles que consideren errores en el cálculo. El borde libre no incluye la subida del agua debido al aumento de la altura del lecho del río, la subida de aguas en zonas curvas del río y/o errores de cálculo hidráulico. Estas subidas del nivel de agua deberán de ser considerados al diseñar el dique. Por otra parte, los diques construidos se establecerán con la consolidación del terreno de cimentación y el terraplén del dique. Estas consolidaciones deberán de ser consideradas a parte del borde libre.



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.1.2 Terraplén extra para la consolidación y otros factores**

El borde libre deberá de ser diseñado y establecido con el conocimiento adquirido de las experiencias de la ANA en el futuro.

**(d) Ancho de la cresta del dique**

El ancho de la cresta del dique podrá no tener una importancia especial si es que se ha provisto de un amplio borde libre y pendientes. Sin embargo, un ancho adecuado en la cresta pueda ser requerido, que permita el tránsito para el transporte de materiales y la inspección durante las etapas de operación de construcción y mantenimiento. Empíricamente el ancho del cresta del dique estará dado por los valores que se muestran en la tabla de debajo de acuerdo al flujo de descarga diseñado.

**Tabla 5.1.3 Anchos Mínimos de la Cresta**

Descarga de flujo del diseño (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de la cresta (m)
Menos de 500	3
Desde 500 hasta 2,000	4
Desde 2,000 hasta 5,000	5
Desde 5,000 hasta 10,000	6
De 10,000 a mas	7

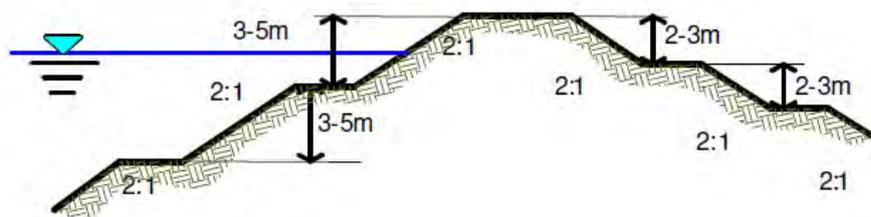
Este estándar propuesto para el ancho mínimo de cresta está citado del estándar en el Japón. Tal como en el caso de la altura de la cresta del dique, el ancho de la cresta deberá de ser establecido también basado en las características del tramo del río, tales como su importancia, los materiales del dique, duración de la inundación, etc. Por otro lado ANA, AAA y las ALA deberán de considerar el impacto psicológico en los habitantes que puedan tener las diferentes alturas del dique así como el ancho de su cresta para cada uno de los ríos y los diseños respectivos. Con respecto a esto es necesario establecer las siguientes actividades como requisitos mínimos al diseñar un dique.

- Caminos de mantenimiento para actividades operativas y de mantenimiento;
- Caminos de inspección para actividades de observación de inundaciones

#### (e) Pendiente

En principio, la pendiente de un dique deberá de ser más suave que 2 (horizontal): 1(vertical). Cuando la altura de la cresta desde el lecho del río es más de seis (6) metros o cuatro (4) metros desde el nivel del suelo existente la pendiente del dique deberá de ser más suave que 3:1

En el Japón las “banquetas” o repisas entre pendientes fueron establecidas inicialmente en el pasado para las reparaciones y mantenimiento. Sin embargo estas banquetas alentaron la permeabilidad del dique, lo que puede resultar en su desestabilización. En relación a esto, la planificación de “banquetas” no es recomendable por el estándar de diseño actual en el Japón. De tal manera que las bermas a lo largo de las pendientes en el dique deberán de ser examinadas de manera cuidadosa y su diseño debe de ser mantenido al mínimo requerido.



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

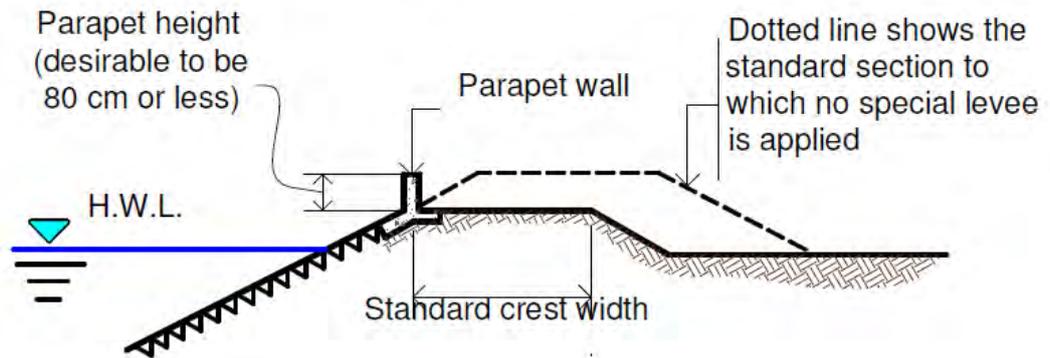
**Figura 5.1.3 “Banqueta” a lo largo de la pendiente del dique**

Tal como se describe arriba la pendiente de un dique en principio deberá de ser más suave que 2 (horizontal): 1(vertical), excepto por los diques hechos de concreto en casos especiales o en diques en donde su pendiente está protegida con un revestimiento de concreto. Todos los diques hechos con terraplén de tierra y hechos con concreto deberán de ser diseñados teniendo en consideración las condiciones y aspectos mencionados en la Tabla 5.1.1.

#### (f) Diques especiales

De acuerdo a las condiciones topográficas y las circunstancias locales, diques especiales como los que se describen a continuación pueden ser establecidos al margen de las especificaciones previamente descritas en (e) en caso de que sea difícil adoptar la forma estándar de diques.

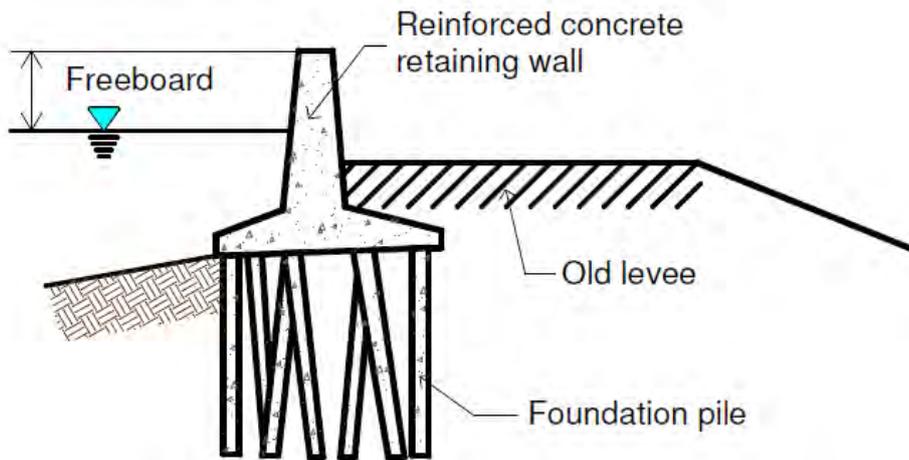
1. Pared parapeto de concreto para borde libre con terraplén de tierra;



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.1.4 Dique especial (con Parapeto)**

2. Dique de pared vertical de hormigón con tablestaca



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.1.5 Dique especial (Dique de Pared Vertical Auto estable)**

Un dique especial deberá de ser diseñado con el propósito de asegurar su función y estabilidad y se deberá de escoger la mejor forma de la sección transversal tomando en consideración la morfología del río, topografía, geología así como otros factores.

En términos de costos, el dique tipo pared vertical que se menciona arriba es bastante caro. Los tipos de diques especiales pueden ser construidos en áreas limitadas de la siguiente manera:

- Diques que pasan por áreas altamente urbanizadas, tales como los que están en Lima u otras áreas metropolitanas,
- Areas portuarias en rios

### (3) Política de diseño de diques

#### (a) Política de diseño y Concepto

La forma estructural de los diques deberá de ser diseñada teniendo en consideración el registro histórico de daños ocasionados por desastres en el pasado, las condiciones y situación del suelo actual y situación de las áreas protegidas basados en los requisitos mínimos en cuanto a dimensiones descritos arriba en 5.1.1 (2). Por tal motivo un análisis o evaluación de la estabilidad deberá de ser llevado a cabo, como ser estabilidad frente a la erosión, socavamiento, fuerzas sísmicas y de licuefacción.

##### 1. Diseño resistente a la erosión

El dique deberá de ser diseñado como una estructura estable, resistente a las fuerzas hidrodinámicas del flujo de agua con “canal de inundación”, “revestimiento”, “protección de cimentación” y otras estructuras. Basado en la alineación del río, el perfil longitudinal y las secciones transversal de acuerdo a la planificación del río descrita en la sub sección 4.1.1, los revestimientos, las protecciones a la cimentación y espigones deberán de ser también planificados para la “resistencia a la erosión” del dique tomando en consideración las condiciones de flujo del agua del río así como el nivel actual de erosión de los bancos del río. En particular, un análisis de resistencia a la erosión deberá de ser cuidadosamente estudiado para ríos con aguas torrenciales o ríos con un canal de sección transversal de tipo simple (referirse a la Figura 4.1.6).

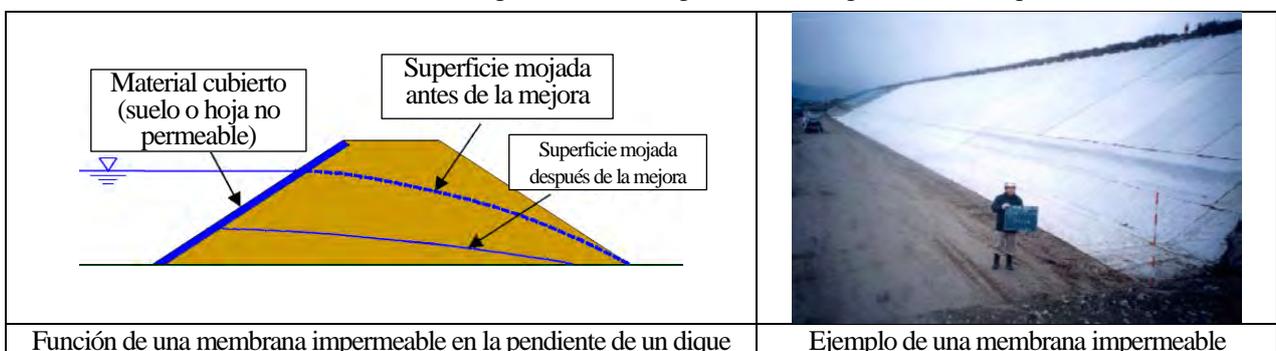
Generalmente, la pendiente y su base en el dique deberán de ser protegidas por césped de pasto, revestimientos y/o espigones. Los materiales para las estructuras resistentes a la erosión deberán de ser determinados por la velocidad de diseño en el cálculo de probabilidad de inundación.

##### 2. Diseño resistentes a la permeabilización

###### (i) Control de la permeabilidad del flujo de agua y precipitaciones en un dique

Los siguientes son considerados como métodos de control para prevenir la permeabilidad del agua al dique:

- Instalación de tierra cohesiva suficientemente compactada en la pendiente del dique;
- Pavimentación de la pendiente del dique con materiales impermeable; y
- Instalación de una geo membrana impermeable en la pendiente del dique



Fuente: Tokushima River Office, MLIT

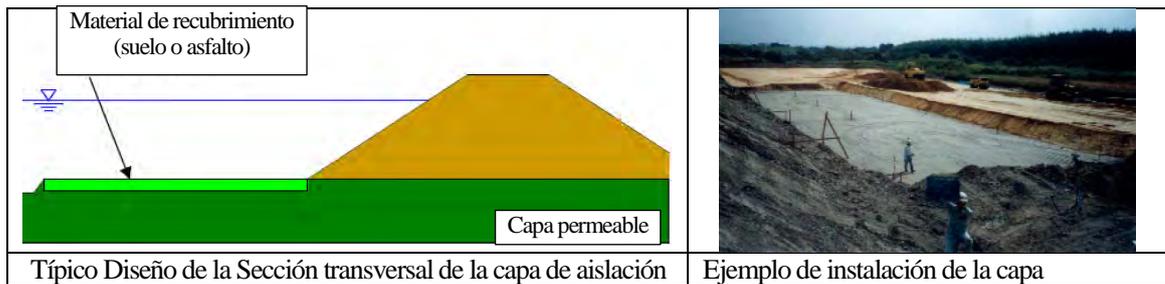
[http://www.skr.mlit.go.jp/tokushima/river/yoriyoi/yoriyoikawa/teibou/tei050817/tei050817\\_5.pdf](http://www.skr.mlit.go.jp/tokushima/river/yoriyoi/yoriyoikawa/teibou/tei050817/tei050817_5.pdf)

**Figura 5.1.6 Ejemplo de Resistencia a la permeabilidad (membrana impermeable)**

En cuanto al método para controlar la permeabilidad del agua en suelo de cimentación debajo del dique, se consideran los siguientes:

- Detener el flujo de agua mediante tablestaca; y
- Detener la permeabilidad mediante una capa de aislación

En cuanto al método de la tablestaca, tablestacas de acero se usan de manera regular como resistencia a la permeabilidad en el Japón. En cuanto al método de la capa de aislación, se tiene que diseñar la capa con materiales que sirvan para este fin. Suelos cohesivos (arcilla o limo) o asfalto se usan regularmente teniendo en consideración temas medio ambientales



Fuente: Tokushima River Office, MLIT

[http://www.skr.mlit.go.jp/tokushima/river/yoriyoi/yoriyoikawa/teibou/tei050817/tei050817\\_5.pdf](http://www.skr.mlit.go.jp/tokushima/river/yoriyoi/yoriyoikawa/teibou/tei050817/tei050817_5.pdf)

**Figura 5.1.7 Ejemplo de Resistencia a la Permeabilidad (Capa de aislación en el suelo de Cimentación)**

(ii) Control del drenaje rápido de agua fuera del dique

El flujo de agua o agua de lluvia que penetra dentro del dique lo desestabiliza. Por lo tanto, cualquier agua que este ingresando al interior del dique deberá de ser drenada inmediatamente. Para un fácil drenado del agua dentro del dique, es recomendable el instalar obras de drenaje con piedra de grava al pie de la pendiente de la parte externa del dique. Sin embargo obras de drenaje al pie de la pendiente no tendrán sentido en caso de que el material del dique sea principalmente grava y arena gruesa, en cuyo caso la instalación de un pozo de alivio o la construcción de una fosa permeable deberá de ser considerada.

3. Diseño para la función anti sísmica

Ejemplos reales de los daños causados en diques por terremotos se deben principalmente a la licuefacción. De tal manera que se deben de adoptar tipos de estructuras de diques que prevengan a estos de sufrir por la licuefacción asegurando su función antisísmica. Como contramedidas para licuefacción, se consideran los siguientes métodos:

- Método de construcción compactada;
- Método de solidificación del suelo;
- Método de drenaje

Adicionalmente a esto, las siguientes son contramedidas para la prevención de la deformación del dique debido a la licuefacción

- Método de relleno de Contrapeso

- Preparación de canal de inundación; y
- Instalación de tablaestaca

**(b) Selección de materiales para terraplén**

La selección de los materiales adecuados para el dique es una consideración básica a tener en cuenta para la economía del proyecto, la versatilidad con la que puedan ser trabajados y la estabilidad que le otorguen al dique. Por lo tanto, se deben de seleccionar los materiales adecuados. En el caso en donde materiales inadecuados tengan que ser usados debido a las condiciones propias del lugar, una serie de contramedidas tendrán que ser consideradas. Materiales adecuados se refiere a los siguientes elementos;

1. Materiales estables tanto para condiciones húmedas y secas;
2. Materiales que no contengan sustratos orgánicos;
3. Materiales de fácil compactación; con distribución de la granulometría adecuada y alta resistencia al corte;
- y
4. Materiales altamente impermeable

En caso de que sea difícil obtener materiales apropiados y adecuados para el terraplén del dique, son aplicables el mejoramiento del suelo o mezcla de dos tipos.

En el caso de los ríos que pasan por la zona pacifico en el Perú, la mayoría de los materiales de terraplenes son gravas. Ello significa que los diques a lo largo de los ríos en el área del Pacifico son vulnerables a la permeación. En este sentido, será considerado en el proceso de diseño utilizar el método para crear resistencia a la permeación.

**(c) Revestimiento**

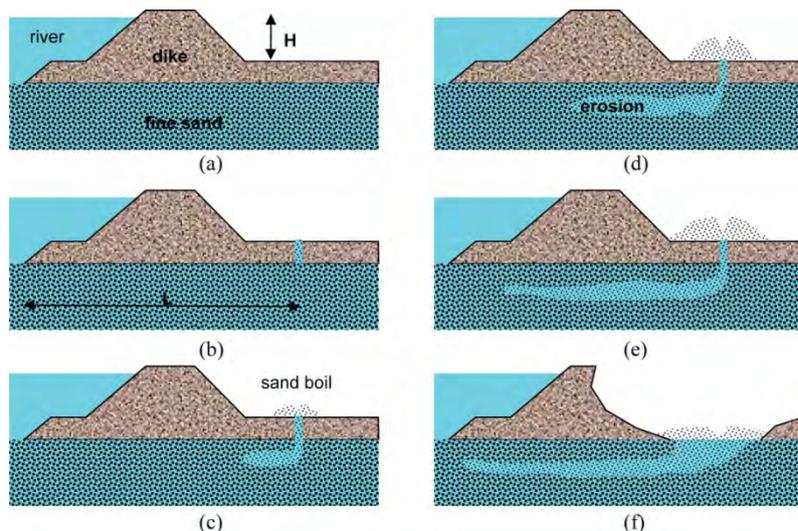
El factor principal en la erosión de los bancos es la velocidad del río. La fuerza externa de la erosión depende de la velocidad del flujo del río. Por lo tanto, la determinación de proveer un revestimiento deberá de hacerse dependiendo de la velocidad del flujo del río, materiales del terraplén, condiciones topográficas, morfológicas y geológicas de los bancos del río, la dirección del flujo, etc., con las consideraciones necesarias para el tipo apropiado de revestimiento para las condiciones propias del lugar. Por otro lado tenemos que los revestimientos deberán de ser diseñados para resistir las fuerzas laterales en caso de un flujo de alta velocidad, la zona de ataque del flujo, condiciones geológicas débiles del banco del río y materiales pobres usados en la construcción del terraplén.

Los tipos de revestimiento, ya sean de cobertura con césped o revestimientos duros, deberán de ser elegidos teniendo en consideración la velocidad del flujo, la pendiente de los bancos, disponibilidad de los materiales de construcción cercanos a la obra, economía, etc.

**(d) Método de prevención de fugas en la construcción de Dique**

El dique deberá de estar protegido por medio de las contramedidas apropiadas y necesarias contra fugas, arenas movedizas y fenómenos de canalización del material interno del dique. Por lo general las siguientes actividades y/o contramedidas serán consideradas;

1. Los materiales para el dique deberán de ser escogido por tener un alto grado de impermeabilidad para poder resistir los niveles máximos de agua durante una inundación. En el caso de que suelos arenosos sean escogidos para un terraplén, materiales de grano fino o materiales impermeables deberán de ser colocados en la superficie de la pendiente del dique mediante un suficiente trabajo de compactación.
2. La forma de la sección transversal mínima requerida, no se selecciona de manera automática. Se necesita de conducir un estudio detallado para el mismo.
3. Básicamente las características de ingeniería de los materiales de tierra son mejorados con la compactación. El dique es hecho de materiales de tierra y su compactación es una actividad indispensable para garantizar su seguridad. Por lo tanto, resulta importante tener en el diseño la especificación para el compactado.
4. La permeabilidad de la cimentación puede causar la ruptura del dique, y esto puede deberse a los efectos de la filtración en los cimientos, el burbujeo debido a la presión y el fenómeno de canalización que se da en el pie lateral interno del dique (lado opuesto al río). Para evitar estos daños, se debe de considerar el drenaje al pie de la pendiente parte lateral interna (lado opuesto al río);
5. La permeabilidad de la cimentación puede causar la ruptura del dique, y esto puede deberse a los efectos de la filtración en los cimientos, el burbujeo debido a la presión y el fenómeno de canalización que se da en el pie lateral interno del dique (lado opuesto al río). Para evitar los daños arriba mencionados, se debería de considerar una capa en frente al pie de la pendiente del lado del río;
6. La permeabilidad de la cimentación puede causar la ruptura del dique y esto puede deberse a los efectos de la filtración en los cimientos, el burbujeo debido a la presión y el fenómeno de canalización que se da en el pie lateral interno del dique (lado opuesto al río). Para evitar los daños arriba mencionados, se deberá de considerar la instalación de un pozo de alivio para reducir la línea de infiltración.



Fuente: Some Comments on the Entropy-Based Criteria for Piping  
 Emöke Imre, Laszlo Nagy, Janos Lőrincz, Negar Rahemi, Tom Schanz, Vijay P. Singh and Stephen Fityus  
<http://www.mdpi.com/1099-4300/17/4/2281/htm>

**Figura 5.1.8 Canalización de arenas/ Fenómenos de burbujeo de arena alrededor de un dique**

#### (e) Obras de drenaje

Con el propósito de poder drenar de manera segura el agua que ha penetrado un dique y/o al piso de la cimentación, las siguientes obras de drenaje deberán de ser instaladas según la necesidad. Los propósitos de estas obras se mencionan a continuación:

- Para drenar de manera segura y rápida el agua desde dentro del dique o desde el piso de la cimentación; y
- Para reforzar la estabilidad estructural del dique al pie de la pendiente lado interno (opuesto al río).

Las obras de drenaje deben de ser instaladas, particularmente en diques hechos de materiales arenosos. Obras de drenaje no son aplicables a diques hechos de materiales cohesivos (arcillas y/o limos) o de tierras de gravas.

#### (4) Diseño del Dique

##### (a) Seguridad contra de la Erosión

La verificación de la seguridad del dique contra la erosión deberá de ser conducida tomando en consideración el estado actual de la erosión de los bancos del río, las condiciones hidráulicas alrededor del dique a ser construido y la estabilidad de los revestimientos y espigones a ser instalados. Es recomendable estandarizar el diseño de la seguridad del dique contra erosión basado en la investigación y experiencias desde el punto de vista de la ingeniería para los ríos en el Perú. Por lo general, los revestimientos fuertes son instalados cuando la velocidad del flujo supera los 2.0 m/s alrededor del pie del dique (lado río).

El proceso de diseño ha sido explicado en detalle en la Sub-sección 5.1.2 en detalle.

##### (b) Seguridad contra la permeación/infiltraciones

El chequeo y verificación de la estabilidad de un dique contra las filtraciones deberá de ser llevada a cabo teniendo en consideración el nivel del agua, las precipitaciones, los materiales del terraplén, las condiciones del suelo de cimentación, etc.

El procedimiento para el diseño de seguridad contra la permeabilidad/ filtraciones es el siguiente:

1. Determinar las dimensiones del modelo para el cálculo.

El dimensionamiento más crítico de un dique es el que se establece para el diseño de la seguridad para el tema de las filtraciones

2. Establecer parámetros iniciales

El patrón de lluvias y el nivel de aguas subterráneas son establecidos como parámetros iniciales para las condiciones del cálculo.

3. Establecer parámetros dimensionales y condiciones

Los parámetros y condiciones de las constantes para los materiales del dique son establecidas.

4. Establecer las fuerzas externas

Hidrograma (curva tiempo-nivel de agua) y el Hietograma se determinan como fuerzas externas.

5. Evaluación de la seguridad

La verificación de la seguridad contra la permeación/filtración deberá de ser confirmada basada en los resultados del análisis de falla de pendiente y el análisis de ocurrencias de canalizaciones. En cuanto al tema de la falla de pendiente, el método circular de falla es el que deberá de ser adoptado. En cuanto a la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de canalización (piping) se deberá adoptar el método de análisis de aguas subterráneas. Los factores de seguridad del colapso de pendientes, en el análisis del método circular de falla y del análisis de aguas subterráneas, deberán de ser diseñados para la seguridad del dique como se mencionan abajo respectivamente.

**Tabla 5.1.4 Método de diseño de seguridad contra filtraciones y el Factor de seguridad necesario**

Verificación Necesaria	Método de Calculo	Factor de seguridad necesario
Falla de Pendiente	Análisis Circular de Falla	$F > 1.2$
Fenómeno de canalización en el suelo de la cimentación	Análisis de aguas subterráneas	$i < 0.5$ ( i: gradiente hidráulico local al pie de la pendiente interna del dique)

**(c) Seguridad para la Fuerza de Inercia Sísmica y Licuefacción**

En el Japón, los diques diseñados en línea de los requisitos mínimos han sido verificados en su función antisísmica basados en las experiencias de daños a diques por terremotos en el pasado. La dimensión de la sección transversal de los diques ha sido reforzada en caso de que la estabilidad del dique no sea la suficiente requerida para su seguridad.

En el Japón, el coeficiente sísmico horizontal se aplica a  $K_h=0.2$  para la fuerza de inercia y  $K_h=0.18$  para la licuefacción en zonas altamente sísmicas.

El método de diseño para la seguridad contra la de fuerza de inercia sísmica y licuefacción es el siguiente:

1. Dique hecho con Terraplén de Tierra

El costo de construcción de un dique, con diseño sismo resistente con el cual la estructura del dique nunca será dañada por un terremoto, es sumamente caro. Por otro lado, la recuperación y reconstrucción de un dique dañado por un terremoto no es tan caro como recuperar una estructura hecha de concreto y/o ladrillos. Por lo tanto en el Japón, las políticas de diseño de terraplenes de diques contra fuerzas sísmicas dependen de la locación y de la situación del dique a ser construido, como ser temas como la importancia de las áreas protegidas, y la elevación del nivel máximo de agua de diseño. El Análisis Circular de Falla utilizando el método de coeficiente/intensidad sísmica ha sido usualmente aplicado para el diseño del dimensionamiento de diques contra fuerzas sísmicas. Los resultados de los análisis han sido evaluados basados en la siguiente tabla de relación entre el factor de seguridad calculado y el asentamiento asumido del terraplén.

**Tabla 5.1.5 Método de Diseño de Seguridad de Dique contra Filtraciones y el Factor de Seguridad Necesario**

Factor de Seguridad Calculado mediante el Análisis Circular de Falla		Asentamiento del Terraplén (Máximo valor asumido)
FSD(kh)	FSD( $\Delta u$ )	
$1.0 < \text{FSD}$		0
$0.8 < \text{FSD} < 1.0$		La altura de dique asentará en Max 25%.
$\text{FSD} < 0.8$	$0.6 < \text{FSD} < 0.8$	La altura de dique asentará en Max.50%.
-	$\text{FSD} < 0.6$	La altura de dique asentará en Max.75%.

Donde,

FSD(kh): El factor de seguridad calculado por el análisis circular de falla tomando en consideración solo la fuerza de inercia sísmica.

FSD( $\Delta u$ ): El factor de seguridad calculado por el análisis circular de falla tomando en consideración solo el exceso de la presión de agua generada dentro del dique

## 2. Dique especial (Pared vertical - auto estable)

Obras para recuperar diques especiales o diques de pared vertical auto estable dañados por un terremoto son muy dificultosos. Su costo es muy elevado en comparación con un dique de tierra. En este sentido, el diseño de un dique especial debe de ser concebido inicialmente para mantenerse estable ante las fuerzas de inercia sísmica y el fenómeno de licuefacción.

### 5.1.2 Diseño de Revestimiento

#### (1) Aspectos básicos de diseño del revestimiento

El revestimiento es una estructura para el control de inundaciones que protege los bancos del río del colapso causado por la erosión, socavación y degradación del lecho del río, junto a espigones, protecciones a la cimentación y canal inundación.

Las políticas básicas de diseño del revestimiento se mencionan en la siguiente tabla.

**Tabla 5.1.6 Condiciones a ser consideradas para el diseño de revestimientos**

Política básica	Condiciones y factores a ser Considerados durante el Proceso de diseño
Seguridad del dique y desarrollo de la Zona adyacente (a la espalda del dique)	<ul style="list-style-type: none"><li>● Fuerzas externas por flujo de agua y presión de tierra</li><li>● Fluctuaciones del lecho antes y después de las inundaciones</li><li>● Deterioro, Danos y Desgastes por flujo de sedimentos e impactos del flujo de grava</li><li>● Succión de los materiales del dique debido al fenómeno de infiltración debido al flujo de agua y precipitaciones</li></ul>
Asegurando las funciones del dique	<ul style="list-style-type: none"><li>● Prevención y mitigación de erosión y socavación</li><li>● Conservación y desarrollo del ambiente fluvial</li></ul>
Racionalización del diseño	Operabilidad y eficiencia economica

En el Perú los estándares de diseño para revestimiento deberán de ser preparados y desarrollados basados en el conocimiento adquirido y las lecciones aprendidas tomando en consideración la relación entre la seguridad del dique y las estructuras de revestimiento y sus costos de construcción.

En particular, conforme se va acumulando el conocimiento, es esencial el desarrollo de estándares para la recolección de información relacionada a los daños en diques y revestimientos, la categorización de estos daños en tipos por causas y efectos por tipo de estructura fluvial y entender los efectos de estas características en las estructuras.

Las siguientes son características de los daños en partes principales de los revestimientos.

#### (a) Daños en la parte del pie del revestimiento causados por erosión del lecho del río

Los daños a la parte del pie de un revestimiento son los danos más comunes en estas estructuras. En la parte

inicial del fenómeno se da la erosión del lecho del río en frente al pie del revestimiento seguida del colapso por deslizamiento del revestimiento

Como contramedida para este fenómeno, se adopta y se instala una “Estructura de Protección del pie”.

**(b) Daños en la sección del extremo superior causados por el flujo de agua**

Las secciones del extremo superior del revestimiento son frecuentemente dañadas por las fuerzas del flujo de aguas. Como una contramedida para este fenómeno, los revestimientos instalados en el extremo superior deberán de ser diseñada como una estructura independiente la cual es adecuadamente estable frente a las fuerzas del flujo de agua. Adicionalmente a esto, el coeficiente de rugosidad del material del revestimiento debe de ir progresivamente cambiado al coeficiente de rugosidad de los materiales originales del banco del río.

**(c) Daños en las partes principales del revestimiento causados por la fuerza de flujo de agua**

El flujo de aguas genera una fuerza de levantamiento sobre el revestimiento. El colapso del revestimiento que se genera cuando la fuerza de levantamiento generada excede la sumatoria de la carga muerta y la fuerza adhesiva, se lo conoce como ‘volteo’.

En cuanto a otros fenómenos dañinos, es la aparición de huecos en el terraplén y/o el suelo de la cimentación debajo del revestimiento debido al fenómeno de succión de los materiales de tierra por permeación/infiltración de agua. Logo de la aparición de huecos en el suelo debajo del revestimiento (socavación), éste colapsa debido a la deformación ó deslizamiento por su propio peso.

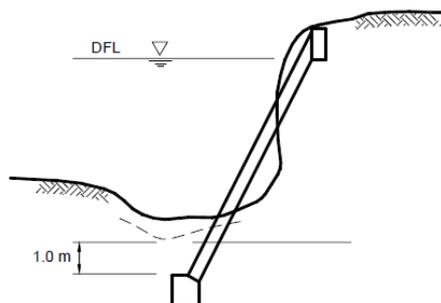
Como una contramedida para este fenómeno, se requiere diseñar de manera propicia de acuerdo a los estándares. Además, se considerara la instalación de una capa de material que pueda prevenir la succión.

**(2) Profundidad de empotrado del revestimiento**

Se determina la profundidad mínima necesaria del empotrado de un revestimiento de la siguiente manera:

- De 1 a 1.5 metros por debajo de la elevación menor del nivel de diseño del lecho del río o del nivel más profundo del lecho existente en el punto de instalación del revestimiento.
- En caso de que se hayan implementado las apropiadas obras de protección de pie, es posible subir la profundidad del empotrado del revestimiento.

Para otros casos que no sean de erosión de los bancos, tales como socavación o degradación del lecho del río debido a la disminución de los volúmenes de sedimentos a partir de la construcción de un embalse aguas arriba, u otro razón, se necesitara de un estudio minucioso para determinar la profundidad del empotrado del revestimiento. Se deberá de restablecer un apropiado plan de mejoras para el río.



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.1.9 Profundidad Adecuada de Empotrado del Revestimiento**

### (3) Diseño del Revestimiento

#### (a) Método de Diseño para Revestimiento y Obras de Protección del Pie

La verificación de la estabilidad de estructuras de revestimiento y obras de protección de pie, deberá de ser ejecutada tomando en consideración los efectos del flujo de aguas, presiones de la tierra, fenómeno de fluctuación de lecho de río, entre otros aspectos de haberlos.

Basados en la gradiente de la pendiente para la instalación, son dos métodos los que se aplican para las estructuras de revestimiento y protección de pie, como se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 5.1.7 Método de Diseño de Estructuras de Revestimiento y Protección del Pie**

Gradiente de la pendiente del revestimiento	Método de diseño
1:1.5 o más pronunciada	Análisis de estabilidad contra Presión de tierra y/o Presión de agua del Lado terrestre
Menos que 1:1.5	Análisis de Estabilidad contra fuerzas de Flujo de Agua

#### (b) Explicación del Método de Diseño para Revestimientos y Obras de Protección de Pie con gradiente de pendiente menor a 1:1.5

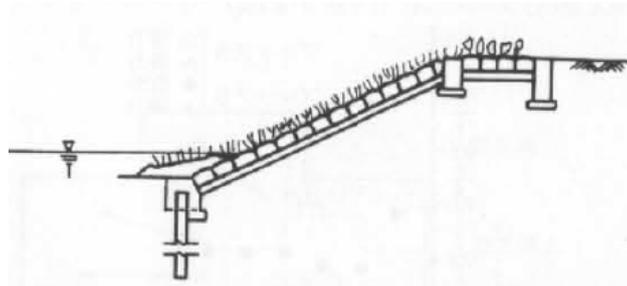
Los revestimientos y estructuras de protección de pie, instaladas en una pendiente con gradiente menor a 1:1.5 deberán de ser diseñadas de acuerdo a su mecanismo de colapso el cual está clasificado en 5 tipos como se muestra a continuación.

**Tabla 5.1.8 Tipos de Mecanismos de Colapso para Estructuras de Revestimiento y Protección de Pie**

Tipo de estructura	Tipo de colapso	Condición de la instalación	Estructura representativa	Método de cálculo para el diseño
Revestimiento	Deslizamiento	Instalación monolítica	Obras de mampostería de concreto/piedra seco	Ver "Tipo 1"
		Instalación compuesta	Obras de albañilería en concreto, etc.	Ver "Tipo 2"
	Volteo	Cuerpo Monolítico	Parte del extremo superior	Ver "Tipo 3"
	Desmoronado	Instalación compuesta (combinación débil)	Obras con escombros de piedra seco	Ver "Tipo 4"
		Instalación compuesta (combinación fuerte)	Obras con piedra seca combinadas	Ver "Tipo 5"
		Tipo Gavión	Gavión	Ver "Tipo 6"

Tipo de estructura	Tipo de colapso	Condición de la instalación	Estructura representativa	Método de cálculo para el diseño
Protección de Pie	Deslizamiento o rodamiento	Instalación por capas	Parte del extremo superior de bloques de concretos apilados ordenadamente	Ver "Tipo 7"
		Instalación aleatoria	Parte del extremo superior de bloques de concretos apilados al azar	Ver "Tipo 8"
	Desmoronado	Instalación aleatoria	Tipo escollera (riprap)	Ver "Tipo 9"
		Tipo Gavión	Tipo Gavión	Ver "Tipo 10"
		Instalación en cuadro enmarcado	Piedras combinadas dentro de un cuadro enmarcado	Ver "Tipo 11"

Type-1: Diseño de Instalación Monolítica de Revestimiento Contra Deslizamiento



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.10 Típica Instalación de Revestimiento Monolítico**

Los materiales deberán de ser estables de manera independiente frente a las fuerzas del flujo de agua respectivo sin un mecanismo de combinación.

Este tipo de estructuras deberá de ser diseñado y calculado bajo la siguiente formula de deslizamiento para recabar el peso necesario del revestimiento frente a las fuerzas del flujo de agua:

$$\mu (W_w \cos \theta - L) \geq ((W_w \sin \theta)^2 + D^2)^{1/2}$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_L A_b V_d^2$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_D V_d^2$$

Donde,

$\mu$ : Coeficiente de fricción (por lo general,  $\mu = 0.65$ )

$W_w$ : Peso del Revestimiento Sumergido

$\theta$ : Gradiente de la pendiente

$\rho_w$ : Densidad del Agua

$L$ : Fuerza de Levantamiento

$D$ : Fuerza de Arrastre

$C_L$ : Coeficiente de arrastre del Revestimiento

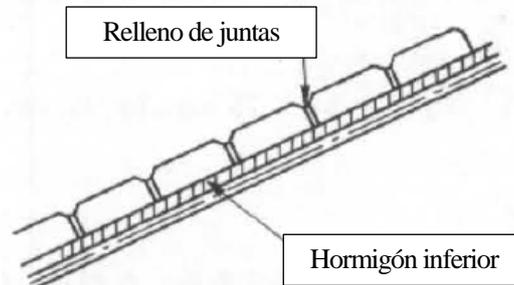
$C_D$ : Coeficiente de Levantamiento del Revestimiento

Ab: Área proyectada del Revestimiento (desde arriba)

A<sub>D</sub>: Área proyectada del Revestimiento (desde la dirección del flujo)

V<sub>d</sub>: Velocidad del agua cerca del Revestimiento

Tipo-2: Diseño de Revestimiento de Instalación Compuesta frente a deslizamientos



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.11 Típica Instalación de revestimiento Compuesto**

Las partes del revestimiento conectadas con mortero de concreto ó encadenado deberán de ser diseñados bajo la siguiente formula requiriendo el necesario y apropiado peso para no mover el revestimiento (deslizamiento):

$$\mu (W_w \cos \theta - L) \geq ((W_w \sin \theta)^2 + D^2)^{1/2}$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_L A_g V_d^2$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_D V_d^2$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de Fricción (Por lo general  $\mu = 0.65$ )

W<sub>w</sub>: Peso del Revestimiento sumergido

$\theta$ : Gradiente de la Pendiente

$\rho_w$ : Densidad del agua

L: Fuerza de levantamiento

D: Fuerza de Arrastre

C<sub>L</sub>: Coeficiente de arrastre del Revestimiento

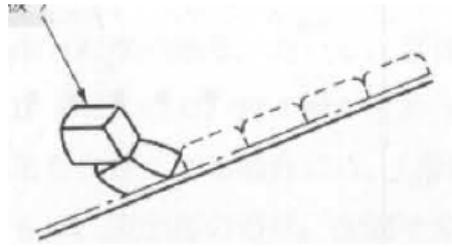
C<sub>D</sub>: Coeficiente de Levantamiento del Revestimiento

Ab: Área proyectada del revestimiento (desde arriba)

A<sub>D</sub>: Área proyectada del Revestimiento (desde la dirección del Flujo)

V<sub>d</sub>: Velocidad del Agua cerca del Revestimiento

Type-3: Diseño de Revestimiento de Cuerpo Monolítico contra Volteo



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.12 Fenómeno de Volteo del Revestimiento en la Sección del Extremo Superior**

Este tipo es aplicable al diseño de revestimientos hecho de bloques de concreto conectado mediante mortero de concreto ó cadenas en la sección del extremo superior del revestimiento. El peso requerido del revestimiento instalado en el sector del extremo superior podrá ser calculado mediante la siguiente fórmula para prevenir que alguna pieza del revestimiento se vuelque.

$$W_w \cos \theta \ l_b/2 \geq L \ l_L + D \ l_D$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_L A_b V_d^2$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_w C_D A_D V_d^2$$

Donde:

l<sub>b</sub>: Longitud (Dirección de Flujo) del Revestimiento hacia el final aguas arriba

l<sub>L</sub>: Radio de Rodaje contra la Fuerza d Levantamiento del Revestimiento en el sector final aguas arriba.

l<sub>D</sub>: Radio del Rodaje contra la fuerza de arrastre del Revestimiento en el sector final aguas arriba

θ: Gradiente de la Pendiente

ρ<sub>w</sub>: Densidad del Agua

L: Fuerza de Levantamiento

D: Fuerza d Arrastre

C<sub>L</sub>: Coeficiente de arrastre del Revestimiento

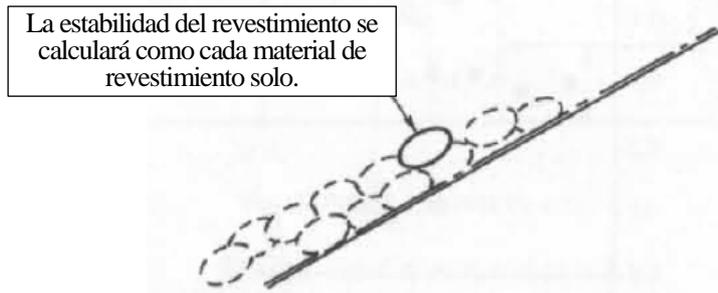
C<sub>D</sub>: Coeficiente de Levantamiento del revestimiento

A<sub>b</sub>: Área Proyectada para el revestimiento (desde arriba)

A<sub>D</sub>: Área Proyectada para el revestimiento (desde la dirección del Flujo)

V<sub>d</sub>: Velocidad del Agua cerca del Revestimiento

Tipo-4: Diseño de revestimiento de Instalación Compuesta (combinación débil) contra Desmoronamiento



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.13 Típico Corte de Sección Transversal de Revestimiento de Instalación Compuesta (Combinación débil)**

Para el caso en que la integridad entre las piezas del revestimiento no es muy fuerte, este tipo de revestimiento ha sido diseñado bajo la siguiente formula. Esta fórmula está basada en investigación hecha por la *US Army Corp of Engineers*. Las bases de la siguiente formula se confirman desde la relación de expresiones entre la velocidad del agua del rio y el peso de las piedras naturales en el lecho del rio. También se toma como base el hecho de que la fuerza de tracción del flujo del rio no exceda el límite del movimiento de las piedras naturales del lecho.

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g \left[ \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right]} V_0^2 K \quad (\text{Unit: m})$$

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}}$$

Donde

Dm: Diámetro Promedio de las rocas a ser utilizadas como Revestimiento (m)

ps: Densidad de la roca

E1: Coeficiente basado en data experimental expresando la intensidad de turbulencia del flujo

Usualmente E1=1.2

En caso de que la Intensidad de turbulencia sea grande, E1 = 0.86

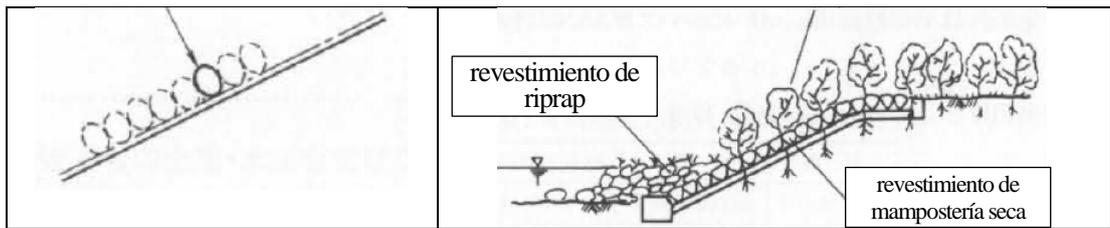
g: Aceleración de la gravedad

K: Coeficiente de la gradiente de la pendiente donde se instalaran las rocas

θ: Gradiente de la pendiente

φ: Angulo de reposo de las Rocas en el agua (en caso de rocas naturales 38°, Grava: 41°)

Tipo-5: Diseño de Revestimiento de Instalación Compuesta (Combinación Fuerte) contra Desmoronamiento



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.14 Típico Corte de Sección Transversal de Revestimiento de Instalación Compuesta (Combinación Fuerte)**

Las piezas uniformes del revestimiento se entrelazan unas a las otras y se colocan de manera ordenada. La estabilidad de este tipo de revestimiento se confirma por la relación entre la fuerza de tracción y el peso de la pieza de revestimiento. La fórmula relacionada a la fuerza de tracción crítica para confirmar la estabilidad del revestimiento es la siguiente y está basada en la formula empírica de piso horizontal por capas.

$$D_m \geq \frac{V_0^2}{\{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d/ks)\}^2 \cdot \tau_{*sd} \cdot s \cdot g} \quad (\text{Unit: } m)$$

$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}$$

Donde,

Dm: Diámetro de las piezas requeridas para el revestimiento

V0: Velocidad representativa del agua del rio.

Hd: Nivel de Agua de diseño del rio.

ks: Rugosidad equivalente (Básicamente, ks = Dm)

$\tau_{*sd}$ : Fuerza de corte adimensional en revestimiento instalado en pendiente de gradiente con ángulo  $\theta$

$\tau_{*d}$ : Fuerza de corte adimensional en revestimiento, básicamente  $\tau_{*d} = 0.05$

s: Gravedad específica del material del revestimiento en agua

g: Aceleración de la gravedad

$\varphi$ : Angulo de reposo de la Roca en el agua(En el caso de roca natural: 38°, Grava: 41°)

Tipo-6: Diseño para Revestimiento tipo gavión contra desmoronamiento



Fuente: Manual on Design of Revetment and Foot Protection, Japan Institute of Country-ology and Engineering

**Figura 5.1.15 Típica sección transversal de un revestimiento tipo Gavión**

El revestimiento es hecho con materiales casi uniformes, como rocas naturales dentro de cajas o cilindros de los gaviones. La estabilidad de este tipo de revestimiento es diseñada de acuerdo a la siguiente formula

$$D_m \geq \frac{V_0^2}{\{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d/ks)\}^2 \cdot \tau_{*sd} \cdot s \cdot g} \quad (\text{Unit: } m)$$

$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}$$

Donde:

Dm: Diámetro requerido para los Materiales del revestimiento

V0: Velocidad representativa del agua del Rio

Hd: Nivel de agua del rio del diseño

ks: Rugosidad equivalente (Básicamente, ks = 2.5 Dm)

$\tau_{*sd}$ : Fuerza de corte adimensional en revestimiento instalado en pendiente de gradiente con ángulo  $\theta$

$\tau_{*d}$ : Fuerza de corte adimensional en revestimiento, básicamente  $\tau_{*d} = 0.10$

s: Gravedad específica del material del revestimiento en agua

g: Aceleración de la gravedad

$\varphi$ : Angulo de reposo de la Roca en el agua(En el caso de roca natural: 38°, Grava: 41°)

Tipo-7: Diseño para la instalación en capas de estructuras de protección de pie contra deslizamientos o rodamientos

La parte más débil de la protección de pie está en el extremo superior. Por lo tanto, el análisis de la estabilidad de este tipo de protección de pie debe de ser conducido para la pieza de protección de pie en el extremo superior.

La protección de pie es estable debido a que el peso de la pieza de protección de la estructura es más pesado que el peso requerido contra la fuerza proporcionada por el flujo. La siguiente formula puede ser utilizada para el peso requerido

$$W > a \left( \frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \frac{\rho_b}{g^2} \left( \frac{V_d}{\beta} \right)^6 \quad (\text{Unit: kgf or N})$$

Donde:

W: Peso requerido de la pieza de protección de pie

a: Factor constante adimensional por forma de pieza de Protección de Pie.

$\rho_w$ : Densidad del agua (102kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> o 1,000kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_b$ : Densidad de la Pieza de Protección de Pie

g: Aceleración de la Gravedad

Vd: Velocidad Representativa

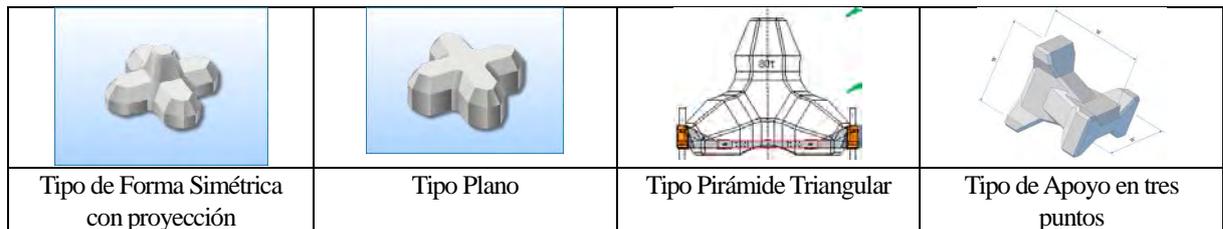
$\beta$ : Factor de Reducción debido a la dimensión de la pieza de protección de pie

Como se explicó líneas arriba, la estabilidad de la protección de pie resulta de la densidad y dimensionamiento/forma de la pieza usada. Por lo tanto, es muy importante determinar la Constante del Factor Adimensional (a) y el factor de Reducción ( $\beta$ ) debido a la forma/dimensiones de la Protección de Pie. Los siguientes valores para la constante del Factor Adimensional (a) y Factor de Reducción ( $\beta$ ) pueden

ser básicamente utilizados para el calculo.

**Tabla 5.1.9 Valores de Factores de Diseño para estructuras de revestimiento y de protección de Pie**

Tipo de Forma de la Protección de Pie	Peso específico de la Protección de Pie	a	$\beta$
Tipo de Forma Simétrica con proyección	$\rho_b/\rho_w = 2.22$	1.2	1.5
Tipo Plano	$\rho_b/\rho_w = 2.03$	0.54	2.0
Tipo Pirámide Triangular	$\rho_b/\rho_w = 2.35$	0.83	1.4
Tipo de Apoyo en tres puntos	$\rho_b/\rho_w = 2.25$	0.45	2.3
Tipo Rectangular	$\rho_b/\rho_w = 2.09$	0.79	2.8



**Figura 5.1.16 Tipo de formas de Protección de Pie**

**Tipo-8: Diseño de Instalación Aleatoria de Estructuras de Protección de Pie contra Deslizamiento y Rodamiento**

La parte más débil de la protección de pie instalada de manera aleatoria está también en la parte extremo superior. Por lo tanto, el análisis de estabilidad para este tipo de protección de pie será conducido de la misma manera como se hace con la protección de pie instalada de manera regular (Tipo 7). La siguiente formula puede ser utilizada para obtener el peso requerido.

$$W > a \left( \frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \frac{\rho_b}{g^2} \left( \frac{V_d}{\beta} \right)^6 \quad (\text{Unit: } kgf \text{ or } N)$$

Los parámetros y constantes a ser utilizados en la formula arriba mencionada, tales como  $\rho_b/\rho_w$  y a, pueden ser utilizados los mismos números y/o valores que el del tipo 7 excepto por  $\beta$ : Factor de reducción debido a las dimensiones de la pieza de protección de pie.  $\beta$  para este tipo de protección de pie puede ser adoptado el siguiente valor  $\beta = 1.2$

**Tipo-9: Diseño para Instalación aleatoria de Estructuras de Protección de Pie contra Desmoronamiento**

La protección de pie instalada amplia y aleatoriamente en el lecho del rio ha sido diseñada contra las fuerzas del flujo de agua del rio y contra el desmoronamiento de las piezas de protección del pie.

La fórmula aquí utilizada es básicamente la misma que en el Tipo-4, basada en investigación por el US Army Corp of Engineers.

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g \left[ \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right]} V_0^2 K \quad (\text{Unit: } m)$$

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

#### Tipo -10: Diseño Tipo Gavión para Estructura de Protección de Pie contra Desmoronamiento

La Protección de pie del tipo gavión instalada en el lecho del río ha sido diseñada bajo la condición de que las rocas u otros materiales dentro del gavión no se muevan debido a las fuerzas del flujo de agua.

Este tipo de protección ha sido también diseñada bajo la misma fórmula que el Tipo-6 y se muestra a continuación:

$$D_m \geq \frac{V_0^2}{\{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d/ks)\}^2 \cdot \tau_{*sd} \cdot s \cdot g} \quad (\text{Unit: m})$$
$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}$$

Los valores y números de los parámetros y constantes a ser utilizados en la fórmula mencionada arriba son los mismos que en el Tipo-6.

#### Tipo-11: Diseño de Estructuras de Protección de Pie con Rocas Combinadas dentro de Cuadro Enmarcado

Las piezas casi uniformes, como rocas, se encajan unas con las otras dentro de estos cuadros enmarcados, han sido diseñadas para evitar su desmoronamiento por el flujo de aguas. La estabilidad de este tipo se calcula de la misma manera que el Tipo-5 que se menciona líneas arriba. Por lo tanto, la siguiente fórmula se utiliza para el diseño de este tipo de estructuras de protección de pie.

$$D_m \geq \frac{V_0^2}{\{6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d/ks)\}^2 \cdot \tau_{*sd} \cdot s \cdot g} \quad (\text{Unit: m})$$
$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}$$

Valores y números de parámetros y constantes a ser utilizados en esta fórmula se mencionan líneas arriba y son los mismos que los del Tipo-5 (Referirse a Tipo-5).

## **5.2 Puente**

### **5.2.1 Conceptos Básicos de la Planificación de un Puente**

Un Puente es una estructura que pasa por encima de un curso de un río, ya sea para utilizarlo como camino, rieles de tren, etc. Este tipo de estructuras son generalmente planificadas y construidas por las agencias administrativas.

En relación a esto, la ANA, AAA y ALA como administradoras de los cursos de río deberán básicamente evaluar y endosar la planificación de puentes formulada por la agencia/s responsable en términos de ingeniería fluvial para el control de inundaciones.

Estribos y pilares a ser construidos dentro del área del río deberán de ser estructuras seguras contra la acción del flujo del río para un nivel de agua igual o menor que el nivel máximo de agua de diseño (o del nivel máximo de marea de diseño en la sección con marea alta)

Adicionalmente a esto, estribos y pilares a ser construidos en el área del río deben de ser estructuras que no interfieran con el flujo del río para un nivel de agua igual o menor que el nivel máximo de agua de diseño, tampoco obstaculizaran de manera severa las estructuras de las riveras de los ríos adyacentes e instalaciones administrativas, y serán diseñadas prestando la atención necesaria para evitar el socavamiento del lecho del río y al nivel máximo de agua en los estribos o pilares.

Las siguientes son directrices a ser consideradas cuando se planifican o se diseñan puentes en Japón y están basadas en una ordenanza del gobierno “*Government Ordinance for Structural Standards for River Administration Facilities (Structural Ordinance.)*”.

## **5.2.2 Consideraciones para la Planificación, Diseño y Construcción de Puentes en relación al Control de Inundaciones**

### **(1) Elevación de Puentes**

#### **(a) Espacio Libre Superior en la Sección Normal**

La altura/elevación del “espacio libre superior de un Puente” debe, en consideración a la descarga de inundación de diseño fijada por la ANA/AAA/ALA, tener un valor más alto que se consigue añadiendo un valor de la Tabla 5.1.2 al nivel máximo de agua de diseño fijado por la ANA/AAA/ALA. Además no debe ser menor al nivel máximo de marea de diseño en la sección de marea alta, y en otras secciones, no debe ser menor que la altura de la línea que conecta la cima de los taludes de los estribos en ambas márgenes en el punto en cuestión.

de acuerdo a la descarga de flujo del diseño establecida por ANA/AAA/ALA, deberá de tomar un valor mayor al del obtenido al agregar el valor de la tabla 5.1.2 al nivel de aguas altas del diseño establecido por ANA/AAA/ALA y no deberá de ser menor que el nivel de marea alta de la sección u otra sección, tampoco deberá de ser menor que la altura de la línea que conecta las cimas de las pendientes de los diques en ambos lados del río en la sección en cuestión.

#### **(b) Espacio Libre Superior en la Sección Afectada por Remanso**

La altura/elevación del “espacio libre superior de un Puente” a ser construido en una sección de remanso deberá tener un valor mayor al de las dos elevaciones indicadas a continuación, dejando de lado las provisiones del párrafo anterior si se estima que no habrá ningún perjuicio para el control de la inundación.

1. Una altura a ser obtenida al sumar el valor dado, de acuerdo a la descarga de flujo de diseño, en la columna inferior de la Tabla 5.1.2 al nivel máximo de aguas de diseño a ser fijada basada en la presunción de que no se forman remansos en el río en cuestión;

#### **(c) Espacio Libre Superior en una sección con riesgo de asentamiento de suelo**

La altura/elevación del “espacio libre superior de un Puente” a ser construido en un área donde se teme que el suelo pueda asentarse no deberá de ser más baja que la altura considerada como necesaria tomando en

consideración el posible asentamiento del suelo así como las condiciones del río teniendo que considerar las provisiones resaltadas en los párrafos anteriores.

**(d) Altura/Elevación de la superficie de un Puente**

La altura/elevación de la superficie de un Puente (la superficie de rodadura y otras partes del Puente a ser provistas por las agencias concernientes), ya sea en una sección de remanso o de marea alta, deberá de ser mas alta que la altura del dique que será cruzado por el Puente.

**(2) Estribos**

**(a) Ubicación de Estribo**

El estribo del puente se ubicará fuera del canal de río estándar. En el caso de que el estribo del puente se coloque dentro del canal de un río estándar, obstaculiza el flujo del río y puede producirse un fregado y / o erosión extrema frente a la base del estribo.

**(b) Dirección de los Estribos**

El lado de un estribo que da al río a ser construido en un dique deberá de ser paralelo a la alineación de este.

Sin embargo, esto no aplica en caso de que se tome una medida que no obstruya seriamente la estructura del dique.

**(c) Profundidad de Empotrado del Estribo**

La parte inferior del estribo a ser construido en un dique deberá de ser establecido en la cimentación del dique y más profundo que la elevación del lecho del río alrededor del pie del dique.

**(3) Pilar**

**(a) Dimension / Forma del Pilar**

La sección transversal horizontal de un pilar a ser construido en el canal de un río (excepto la cimentación del pilar, incluyendo la losa inferior y en otra parte donde no haya el temor de un ataque de flujo del río) deberá tener una forma elíptica lo más delgada y posible ó una forma similar y la dirección de su diámetro mayor deberá de estar en la misma dirección del flujo.

Básicamente, pilares de forma circular no se diseñan debido a que se generan turbulencias alrededor de estos. Los flujos turbulentos causan socavamientos y erosiones extraordinarias alrededor de los pilares.

**(b) Tasa de Interferencia aceptable del Flujo del Río por Pilares**

Condiciones Generales

Los pilares en el canal interfieren con el flujo del río y causan inesperada subida del nivel del agua y/o un flujo turbulento. De tal manera que el número de pilares construidos en una canal de río deberán de ser mantenidos en principio, al mínimo. La tasa de interferencia del flujo del río por pilares deberá de estar dentro del 5% en caso de

que ANA/AAA/ALA tengan la necesidad de aceptar la construcción de varios pilares en el área del río. En el Japón, el 5% de tasa de interferencia al flujo del río es básicamente el máximo aceptado en la construcción de puentes para caminos.

En el caso de que sean construidos pilares en el canal del río, la distancia entre las líneas centrales de dos pilares contiguos (de aquí en adelante referido como “Luz”) deberá de tomar un valor mayor al valor obtenido de la siguiente fórmula (este deberá de ser de 50 m si es que excede los 50 m), excepto en el caso en que se considere que no tendrá ninguna interferencia contra el control de inundación debido al hecho de que la locación se encuentre en un barranco u otras razones tales como las condiciones del río y la topografía.

$$L=20+0.005Q$$

En esta fórmula, L y Q deberán de tomar los siguientes valores numéricos respectivamente

L: Luz estándar (m). Q: Descarga de inundación de diseño (m<sup>3</sup>/s).

#### Excepciones Especiales

a. La luz entre pilares de un puente que se da más abajo podrá, al margen de las provisiones expuestas en el párrafo anterior, tomar un valor mayor al valor especificado en el elemento respectivo en el caso de que se determine de que no representara ninguna interferencia severa con la administración del río.

(1) 12.5 m para un puente a ser construido a través de un río con una descarga de inundación de diseño menor a 500 m<sup>3</sup>/s y un ancho menor a los 30 m.

(2) 15m para un puente a ser construido a través de un río con una descarga de inundación de diseño menor a 500 m<sup>3</sup>/s y un ancho mayor a los 30m.

(3) 20m para un puente a ser construido a través de un río con una descarga de inundación de diseño es mayor a 500 m<sup>3</sup>/s y menor que 2,000m<sup>3</sup>/s.

b. En el caso de que la luz estándar exceda los 25m, la luz de los puentes relacionada a la porción, excepto el canal de aguas bajas, podrá tomar un valor de 25m, sin tomar en cuenta las provisiones especificadas en el párrafo de “Condiciones generales”. En este caso los valores promedio de las luces de los puentes deberá de ser mayor que la luz estándar a ser establecido en estas provisiones

c. Los puntos de los nuevos muelles deben evaluarse cuidadosamente no para generar efectos adversos al flujo del río cuando existen nuevas construcciones de puentes cerca del puente. A este respecto, ANA proporcionará una nueva directriz sobre este asunto.

#### **(c) Profundidad del empotrado de los Pilares**

La parte de la cimentación de un pilar a ser construido en el canal de un río deberá de ser establecido a una profundidad mayor a 2m bajo la superficie del lecho de aguas bajas en el canal de aguas bajas (incluyendo el canal de aguas bajas del corte transversal de diseño cuando haya sido establecido.

Adicionalmente a esto, obras de protección de las bases alrededor del muelle deberán de ser establecidas para evitar erosión y socavación extraordinaria.

#### **(d) Locación de Pilares**

Los pilares deberán de ser diseñados y construidos a más de 15 metros de distancia de un dique o estribo de tal manera que no se los afecte debido al flujo de turbulencia ocasionado por ellos. Los pilares no deberían ser diseñados ni construidos en el centro del flujo del río.

#### **(4) Otras Consideraciones**

##### **(a) Revestimiento del Dique y del Canal de Aguas Bajas**

Los diques y canal del río alrededor del puente deberán de ser protegidos por un revestimiento y protección de pie debido a las diferencias en el comportamiento entre el dique y el estribo durante un terremoto o inundación, flujos de turbulencia alrededor de los pilares y daños por objetos que puedan caer del puente.

##### **(b) Introducción al Sistema de Aprobación de la Construcción de un Puente**

Como se explicó líneas arriba, la construcción de puentes tiene un efecto adverso en el flujo de aguas. En el Japón todas las agencias que estén dispuestas a construir un puente deberán obtener la aprobación del proyecto, en términos del diseño y la planificación de la construcción del puente, de las agencias locales y centrales encargadas de la administración del río.

Este tipo de sistema de aprobación es algo que se debería establecer en el Perú.

### **5.3 Espigón**

#### **5.3.1 Propósito de la Instalación de un Espigón**

Tal como se explicó en la sub sección 4.1.7 (3), los espigones se construyen a lo largo de una planicie de inundación y objetos estructurales para proteger terraplenes de la erosión y el flujo de aguas. Los objetivos principales del espigón se resumen en los puntos a continuación:

- Espigón para prevenir la socavación de los bancos
  - Espigón para cambiar la dirección del flujo del área de la planicie hacia el centro del curso del río (Redireccionando el flujo del río alejándolo de los bancos del río)
  - Espigón para reducir la velocidad del flujo del río para proteger los bancos del río
- Espigón para sostener la navegación
- Espigón para desarrollar un buen paisaje.
- Espigón para sostener las condiciones medio ambientales

De los cuatro (4) tipos de espigones mencionados líneas arriba, el diseño del “espigón para prevenir la socavación de los bancos” es el que se describe de aquí en adelante

## 5.3.2 Diseño de Espigón

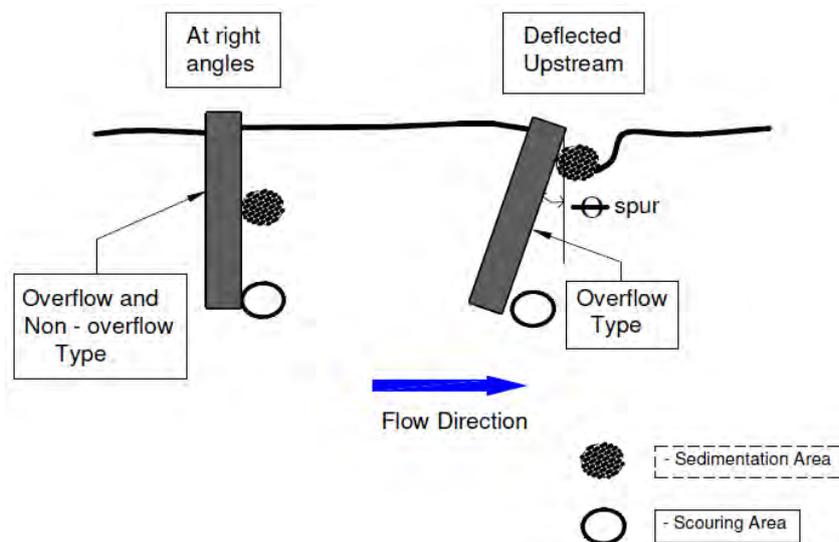
### (1) Clasificación de Espigón

#### (a) Clasificación del Espigón de acuerdo a su Dirección

Los espigones los podemos clasificar en tres (3) tipos basados en su dirección.

- Espigón con desviación hacia aguas arriba
- Espigón de Angulo recto
- Espigón con desviación hacia aguas abajo

Por lo general el espigón con desviación hacia aguas arriba y el espigón de ángulo recto pueden ser utilizados para la prevención de erosión de los bancos. La alineación/dirección de los espigones desviando aguas arriba deberán de estar en un ángulo ( $\phi_{spur}$ ) entre  $10^\circ$  to  $15^\circ$  con la línea perpendicular al banco del río en las secciones rectas y de  $0^\circ$  to  $10^\circ$  en las secciones de ataque del flujo.



Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.3.1 Relación entre la Dirección del Espigón y la Sedimentación/Socavación Resultante**

#### (b) Clasificación del Espigón de acuerdo a su Permeabilidad

Básicamente los espigones están agrupados en dos (2) tipos por su permeabilidad, estos son:

- Espigón Permeable; y
- Espigón Impermeable/semi permeable

El espigón permeable esta hecho de pilares y marcos, preferiblemente en serie. Su propósito es reducir la velocidad del flujo del río aguas abajo del dique e inducir la sedimentación. En el caso en que los pilares no puedan ser instalados debido a la presencia de rocas de gran tamaño en el lecho del río, cunas de concreto, obras de encofrado o bloques de concreto deberán de ser utilizados.

Por otro lado, espigones impermeables/semi permeables están hechos de concreto o albañilería (impermeable)

o bloques de concreto o rocas grandes sueltas (semi permeable), preferentemente en serie. Su propósito es cambiar la dirección del flujo del río alejándolo de los bancos del río.

(c) **Clasificación de la Altura de Espigones Impermeables/ semi permables**

Los espigones permeables pueden también ser divididos en dos (2) tipos:

- Tipo con Desbordamiento

Su propósito principal es el de reducir la velocidad del flujo del río. Este tipo de espigón debe de ser considerado como en una serie de espigones. La planificación deberá de considerar por lo menos tres (3) de ellos.

- Tipo sin Desbordamiento

Su propósito principal es el de cambiar la dirección del flujo alejándolo de los bancos del río. Este tipo de espigón debe de ser considerado como una estructura muy fuerte hecha de los mismos materiales que se usan en obras de protección de pie.

(2) **Diseño del Espigón**

(a) **Políticas Básicas de Diseño**

Los factores, principalmente los propósitos de la instalación, las características del río en donde se instalaran los espigones, las fuerzas externas y condiciones del flujo deberán de ser tomadas en consideración al diseñar el espigón. Adicionalmente a estos factores, las experiencias y lecciones aprendidas en otros ríos similares o ríos vecinos deberán de ser tomadas en cuenta para el diseño con el propósito de garantizar la seguridad de los bancos del río junto a los diques, revestimientos y obras de protección de pie.

El método básico para la selección del tipo de espigón se muestra a continuación.

**Tabla 5.3.1 Relación entre los propósitos de Instalación y el Tipo de Espigón a ser Escogido**

Propósito	Permeabilidad	Altura	Dirección / Alineación
Reducir la velocidad del flujo del río (protección de pie)	Tipo Permeable	—	Tipo Angulo Recto
	Tipo No Permeable	Altura baja (Tipo con Desbordamiento)	Tipo Angulo Recto
Cambia la dirección del Flujo desde el área de la planicie inundable (redirige el flujo alejándolo de los bancos del río)	Tipo No Permeable	Gran Altura (Tipo sin Desbordamiento)	Tipo Angulo recto o Desviado aguas abajo

(b) **Diseño de espigón para Reducir la Velocidad del Flujo del Río**

Las dimensiones estructurales básicas son las siguientes:

- Largo del espigón: 10% del ancho del canal del río.
- Altura: de 0.2~0.3 veces la altura del nivel máximo de aguas de diseño

En el caso de que el espigón a ser instalado en el canal del río donde el lecho del río es principalmente arena, la altura del espigón deberá de ser entre 0.5~1.0 metros por encima del nivel normal del agua.

- Intervalo entre espigones: De 2~4 veces la longitud del espigón y de 20~30 veces su altura. En el caso de ríos con meandros el intervalo será de 1.5~2 veces la longitud del espigón.
- Perfil longitudinal de la cresta de cada espigón: 1/20~1/100 de pendiente descendiente desde el banco del río al centro de este.

(c) **Diseño de espigón para Re direccionar el flujo del río lejos de los bancos de este**

Las dimensiones estructurales básicas son las siguientes:

- Tipo de espigón: Del Tipo No permeable
- Altura: Nivel máximo de agua de diseño en la parte conjunta con el dique.
- Intervalo entre espigones: 1/2~1/3 veces de la longitud del banco de arena en el curso del río.

(d) **Estabilidad del Espigón**

La estabilidad del espigón deberá de ser diseñada en línea con el diseño (peso requerido de la pieza) de las obras de protección de pie descritas en la sub sección 5.1.1

## 5.4 Solera (Estructura de Protección del Lecho)

### 5.4.1 Propósito de Construcción de Soleras

La continua degradación del lecho del río debido al rápido flujo u otras razones afectaran la estabilidad del canal del río la cual no podrá ser mantenida por obras de protección de pie. Como resultado de esto, se acelera la erosión de los bancos del río así como la perdida de tierras.

El propósito de las soleras es el de fijar la elevación del lecho del río de tal manera que se prevenga la degradación que ocurre por el socavamiento bajo las fuerzas de flujos turbulentos durante inundaciones.



**Figura 5.4.1 Ejemplos de Soleras en Japón**

### 5.4.2 Diseño de Soleras

#### (1) Tipos de Soleras

Las soleras básicamente están clasificados en dos tipos, del tipo con estructura de caída y del tipo sin caída. En estas Normas técnicas se explican los del tipo con estructura de caída.

En cuanto a los tipos de soleras clasificados por el material empleado en su construcción, los siguientes dos (2)

tipos se consideran:

- Estructura de Concreto (Tipo Concreto) y
- Estructuras por Bloques de Concreto (Tipo Bloque)

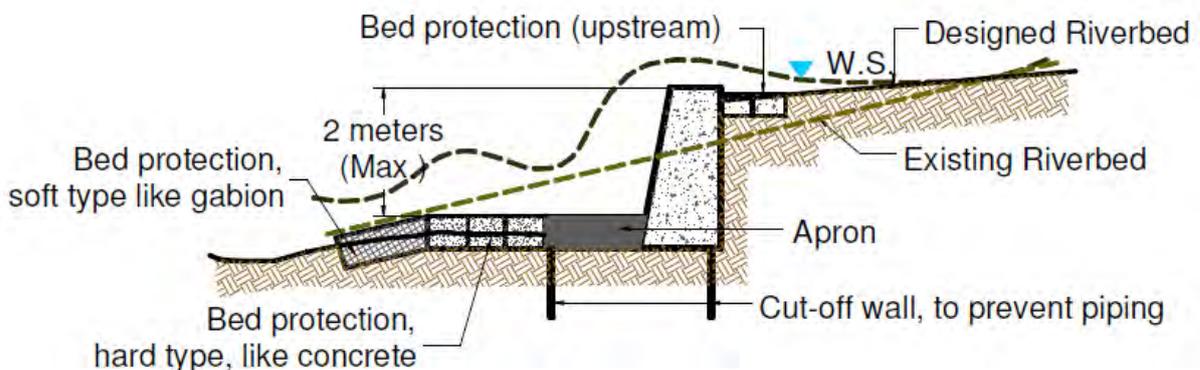
La construcción de soleras del tipo Bloque es más sencilla que la construcción con el Tipo Concreto. Sin embargo el tipo bloque tiene algunos problemas en cuanto a sostenibilidad en general. Por ello, en Japón se aplican soleras del tipo Concreto. En el caso de que se construyan soleras del tipo bloque, la estructura deberá de ser diseñada prestando mucha atención, considerando la instalación de material que pueda prevenir la succión del suelo debajo de la estructura, de tal manera que no se cause una deformación y movimiento de los bloques por el flujo del río.

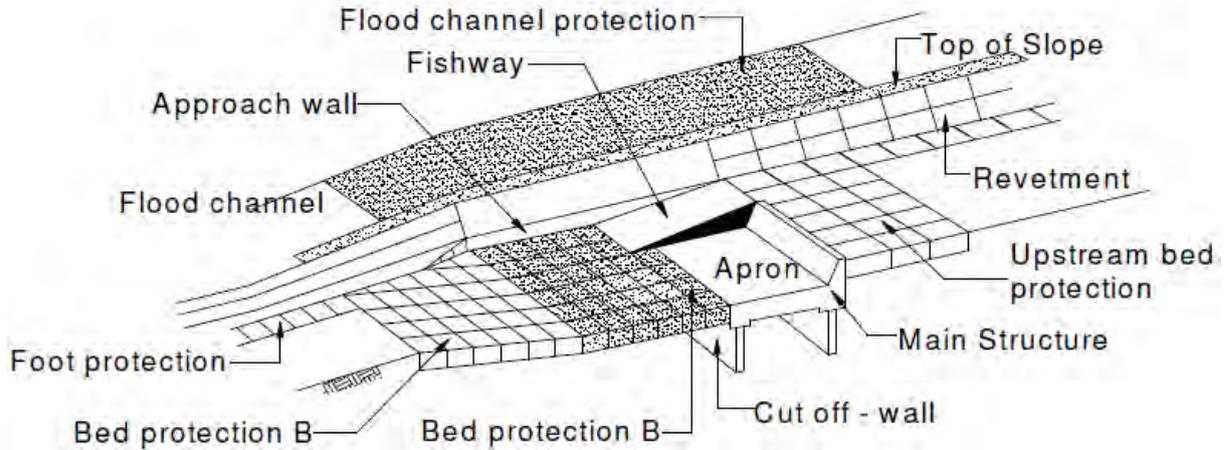
## (2) Formación de Solera Tipo Concreto

Una solera tipo concreto está compuesto de las siguientes partes desde el tramo superior

- Protección del lecho del río aguas arriba;
- Cuerpo Principal;
- Protección del lecho entre el cuerpo principal y el tramo inferior (Apron)
- Protección del lecho del río aguas abajo; y
- Obras de protección y revestimiento tanto en el banco derecho como izquierdo y diques.

La estructura del cuerpo principal así como el apron deberán de ser diseñadas y construidas como una estructura integral. La siguiente figura es un esquema de una típica solera de tipo concreto.

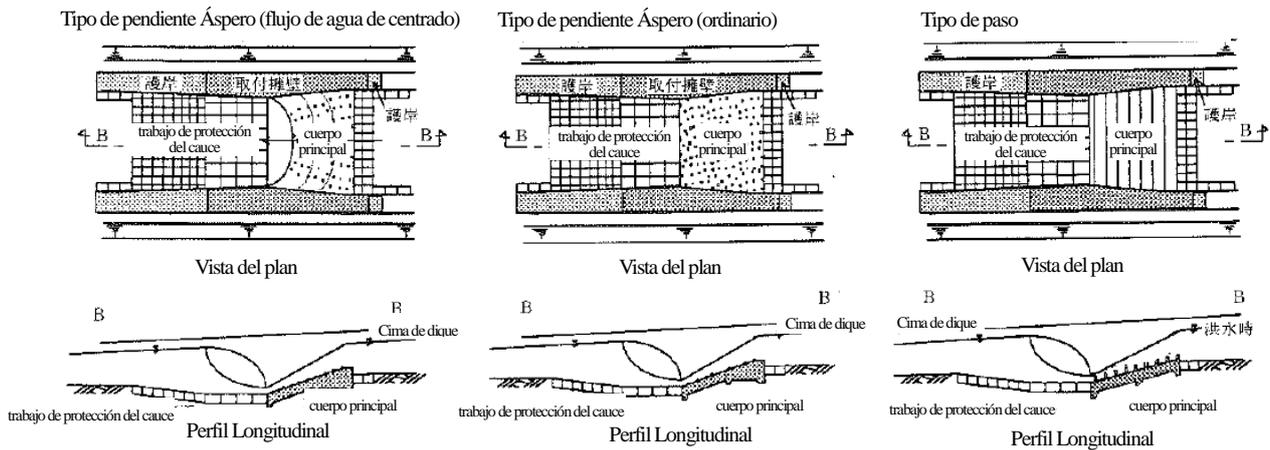




Fuente: Manual on Design of Flood Control Structures (Dike, Revetment, Spurdike and Groundsill)  
Project for the Enhancement of Capabilities in Flood Control and Sabo Engineering of the DPWH (JICA)

**Figura 5.4.2 Solera Típico**

En cuanto al tema de la altura de la caída, varios tipos de caída pueden ser considerados como se muestra en la Figura 5.4.3 de abajo en adición al tipo de caída vertical que se menciona líneas arriba.



Fuente: The Design Standard of Groundsill in Japan

**Figura 5.4.3 Diversos Tipos de caída en Soleras**

### (3) Notas sobre el diseño de Soleras

#### (a) Cuerpo Principal y Apron

La forma y dimensiones del cuerpo principal y el apron deberán de ser determinadas en línea con el perfil de diseño longitudinal y el corte de la sección transversal del canal del río.

La extensión longitudinal del apron puede ser determinada a través de la fórmula de Rand (1995) que se muestra a continuación.

$$W/D = 4.3 \left( h_c/D \right)^{0.81}$$

Donde:

W: Extension Longitudinal requerida del apron (m)

D: Altura de la caída (m)

hc: Profundidad Hidráulica Crítica del Agua (m)

Los parámetros arriba mencionados deberán de ser fijados tomando en consideración las condiciones hidráulicas que van desde normal hasta extremas.

Además de esto, las dimensiones (grosor y peso) del cuerpo principal y del apron deberán de ser diseñadas para asegurar la estabilidad contra el deslizamiento y volteo de la estructura basándose en las condiciones del suelo e hidráulica tomando en consideración las cargas y las fuerzas que se mencionan a continuación

**Tabla 5.4.1 Relación entre el Propósito de la Instalación y el Tipo de Espigón a ser Seleccionado**

Cargas y Fuerzas a ser Consideradas por el Diseño	Análisis de Estabilidad	Análisis Estructural
Peso Muerto Presión hidrostática Fuerza de Levantamiento Fuerza de Inercia debido a los terremotos Presión de la Tierra	Para asegurar la estabilidad contra el deslizamiento, vuelco y capacidad de carga del suelo	Todos los elementos estructurales deben de ser estructuras seguras contra el estrés por compresión, estrés por flexión y estrés por tensión.
	Los factores de seguridad que usualmente se usan en el Perú deberán ser utilizados	
	Factores de Seguridad en el Japón: Capacidad de carga: 3 para condiciones normales y 2 para terremotos Volcamiento: la excentricidad resultante de los elementos está dentro de la mitad del tercio de la losa de pie en condiciones normales y dentro de la mitad de los dos tercios de la losa de pie en condiciones sísmicas. Deslizamiento: Factor de seguridad es mayor a 1.5 en condiciones normales y mayor a 1.2 en condiciones sísmicas.	Los estándares actuales en el Perú pueden ser utilizados en el diseño de las soleras, incluyendo método de cálculo, factor de seguridad requerido, constantes y coeficientes, estrés permitido y capacidades.

**(b) Protección del Lecho del Río Aguas Arriba**

Las estructuras de protección del lecho del río son provistas para proteger el lecho del río contra la socavación que ocurre debido al incremento de la fuerza tractiva. En esta parte, el nivel del agua baja, por consiguiente la velocidad del flujo y la fuerza de tracción se incrementan. La extensión longitudinal requerida para la protección del lecho del río aguas arriba se diseña basada en el nivel del agua de la descarga de inundación de diseño. De acuerdo con la investigación y experiencias del pasado, la extensión longitudinal requerida podrá ser establecida igual a la profundidad del agua en la descarga de inundación de diseño.

**(c) Protección del Lecho del río Aguas Abajo.**

El propósito de las instalaciones de protección del lecho del río aguas abajo cumple dos funciones:

- Protección del lecho del río contra la socavación, desde el punto de caída de agua hasta el punto de salto hidráulico. En esta sección, se da un flujo súper crítico. Usualmente esta estructura está hecha de bloques de concreto (Tipo Duro)
- Protección contra la socavación del lecho del río, luego de la porción del salto hidráulico. Usualmente esta estructura está hecha de colchón de gaviones (Tipo Suave).

La extensión longitudinal requerida por la protección del lecho del río aguas abajo puede ser calculada con la

siguiente formula:

$$L = L1 + L2 + L3$$

$$L2 = 4.5 \sim 6 \cdot h2$$

$$L3 = 3 \sim 5 H_{d \max}$$

Donde

L: Extensión longitudinal total requerida (m) (Total del Tipo Duro y del Tipo Suave)

L1 + L2 = Longitud Requerida para el Tipo Duro

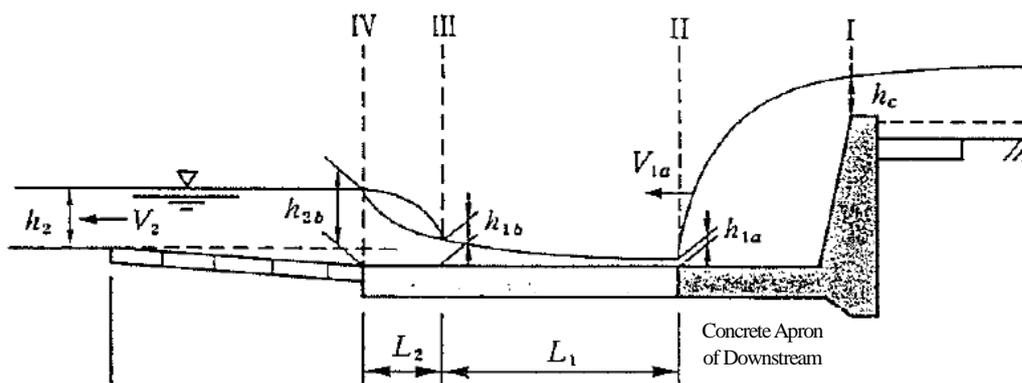
L1: Longitud del flujo súper crítico desde el Apron hasta el salto hidráulico

L2: Longitud del flujo del salto hidráulico (4.5~6 veces la profundidad del agua en la sección de aguas abajo)

L3: Longitud de Transición (Longitud del Tipo suave) (3~5 veces la profundidad del agua en la sección de aguas abajo)

h2: Profundidad del Agua en el Canal del rio Aguas Abajo

H<sub>dmax</sub>: Profundidad del Agua en el nivel máximo de agua de diseño en la sección de aguas abajo



**Figura 5.4.4 Diseño de Protección del Lecho de Río Aguas Abajo**

El método de cálculo para "L1" es el siguiente

- Cálculo de "h1a" se refiere a la profundidad de agua de desbordamiento basada en la descarga del flujo y el ancho del río;
- Cálculo de "h1b" se refiere a la profundidad conjugada del salto con la extensión necesaria de "h1a" a "h1b" como "L1" basado en la conservación de energía y el análisis de flujo no-uniforme para flujo súper crítico;

El "L1" más largo resultante del cálculo de todos los casos será el aplicado. Respecto a esto, hay algunos casos en que el "L1" calculado resulta en una extensión inaceptable debido a que el nivel de agua es muy bajo en el canal aguas abajo. En este caso, las instalaciones o estructuras que generan el salto hidráulico, tales como soleras construidas en la sección final, pilares deflectores y cuenca de amortiguación deberán de ser diseñadas y construidas.



**Figura 5.4.5 Diseño de salto Hidráulico forzado por Soleras en la sección final y pilares deflectores**

Bloques de concreto del tipo duro instalados aguas abajo para la protección del lecho del rio deberán de estar conectados unos a otros mediante cadenas o un material equivalente debido a la velocidad del flujo del rio. Las estructuras de protección del lecho del rio en aguas abajo deberán de ser diseñadas de acuerdo al mismo procedimiento de diseño de las obras de protección de pie descrita en la sub sección 5.1.2.



**Figura 5.4.6 Ejemplos de Bloques de Concreto instalados en aguas abajo para protección del lecho del Rio**

## 5.5 Otras Estructuras en la Parte baja de la Cuenca del Rio

### 5.5.1 Esclusas

Las esclusas son estructuras de control de inundaciones que conectan la alcantarilla que pasa a través de los diques y su compuerta. La construcción de esclusas y compuertas es una de las alternativas para unir o conectar un rio pequeño con uno grande. Las esclusas las podemos categorizar en dos (2) tipos de acuerdo a su propósito: uno es para drenar las aguas internas (drenaje urbano) al rio y la otra es para captar agua (una estructura de toma) del rio con propósitos agrícolas u otros.

Las funciones básicas de las esclusas son ilustradas en la Figura de abajo:

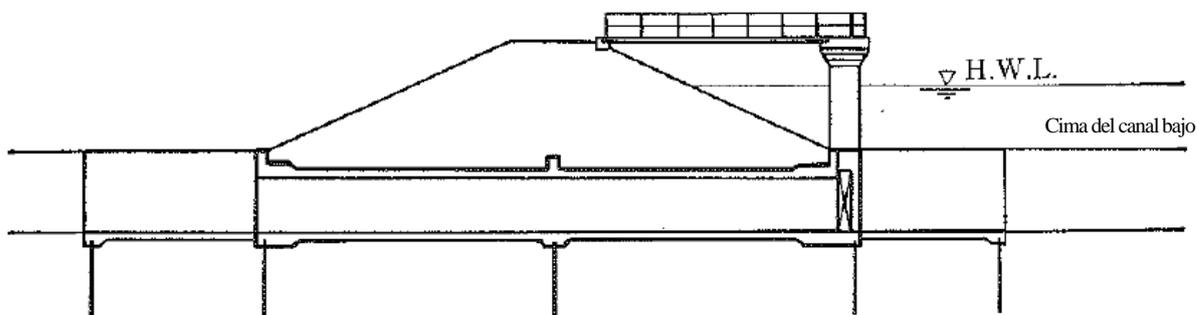
	<p>En tiempos normales (cuando el nivel del agua del río principal es menor que el del tributario) la esclusa deberá de ser mantenida abierta para descargar el agua del tributario</p>
	<p>En tiempos de inundación del río principal, la esclusa deberá de permanecer cerrada para prevenir que las áreas tierra adentro se inunden.</p>
	<p>En el caso de que la esclusa estuviera cerrada, algunas contramedidas como la instalación de estaciones de bombeo para mantener los niveles bajos del tributario serán necesarias.</p>
	<p>Luego de concluida la inundación del río principal, la esclusa se abre con el propósito de drenar las aguas del tributario a su curso natural.</p>

Fuente: MLIT in Japan [http://www.thr.mlit.go.jp/shinjyou/02\\_kasen/kanri/himon.html](http://www.thr.mlit.go.jp/shinjyou/02_kasen/kanri/himon.html)

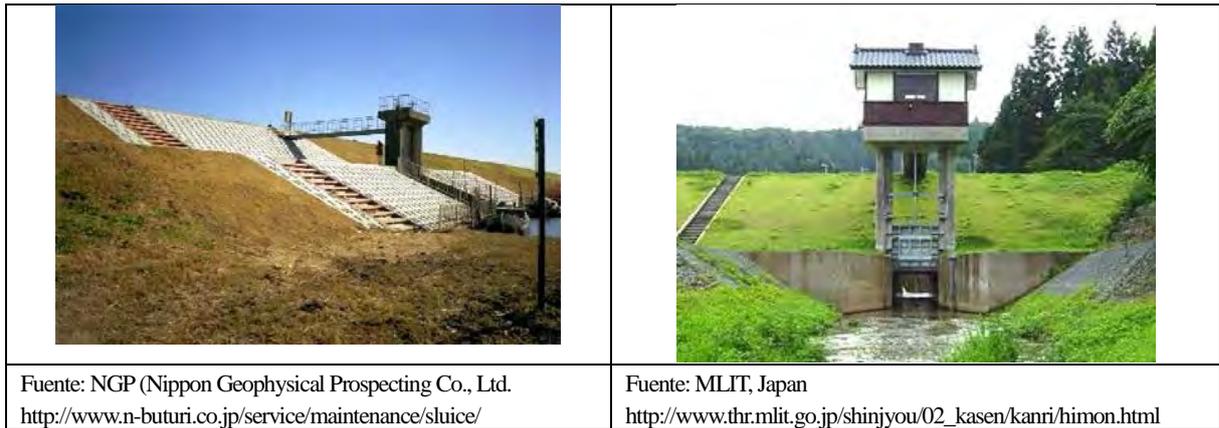
**Figura 5.5.1 Roles de la Esclusa**

**(1) La Estructura de una Esclusa**

Las partes estructurales de una esclusa deberán de ser diseñadas tomando en consideración el nivel de aguas, la descarga, topografía y las condiciones del lecho del río. Las partes estructurales de una esclusa se ilustran a continuación en la figura 5.5.2.



**Figura 5.5.2 Esquema y Sección longitudinal de una Esclusa**



**Figura 5.5.3 Ejemplo de esclusas en el Japón (para el Drenaje)**

**(2) Puntos a ser Recordados al Diseñar una Esclusa**

**(a) Funcion “como Dique”**

La función de una esclusa no es solamente la de drenar el agua del tributario, sino que también toma el rol de un dique. Con relación a esto la esclusa no deberá de ser el punto débil de la estructura del dique durante tiempos normales, de inundación o durante un terremoto.

**(b) Dimensiones Mínimas requeridas de una Esclusa**

Las dimensiones mínimas requeridas para una esclusa deberán de ser de 60cm de diámetro para el tipo tubería circular o de 60 cm por lado para tubería de tipo rectangular.

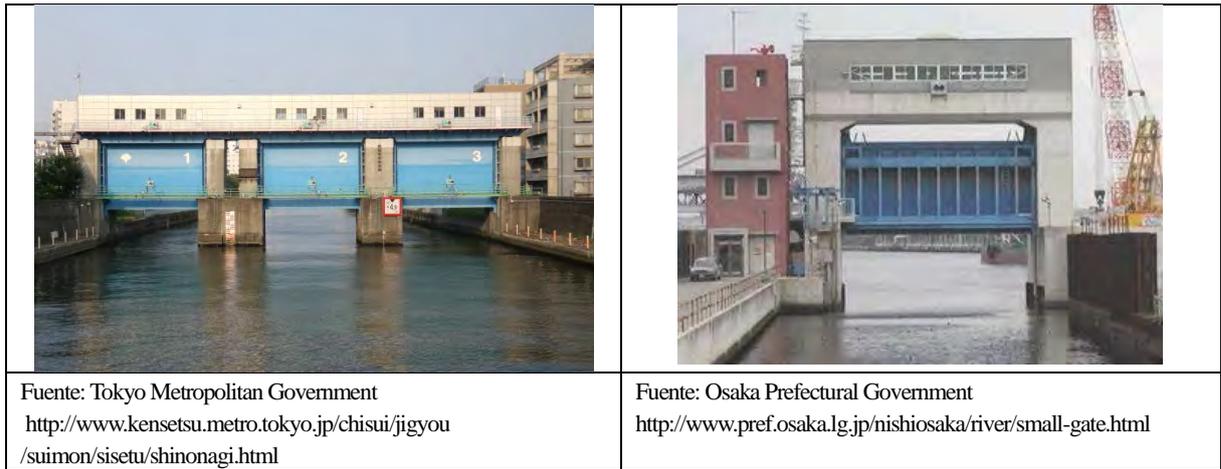
**(c) Notas para el diseño de la Esclusa**

Los mecanismos para abrir y cerrar las compuertas de la esclusa deben asegurarse con estanqueidad.

**5.5.2 Compuerta de Rio**

La compuerta de río se instala en el punto de unión de un tributario con un río grande. La función que cumple una compuerta de río es casi la misma que cumple una esclusa. La compuerta de río se refiere a una esclusa sin la estructura de dique. Por lo tanto, la elevación de la parte superior de la compuerta de río deberá estar a la misma altura de la cresta del dique.

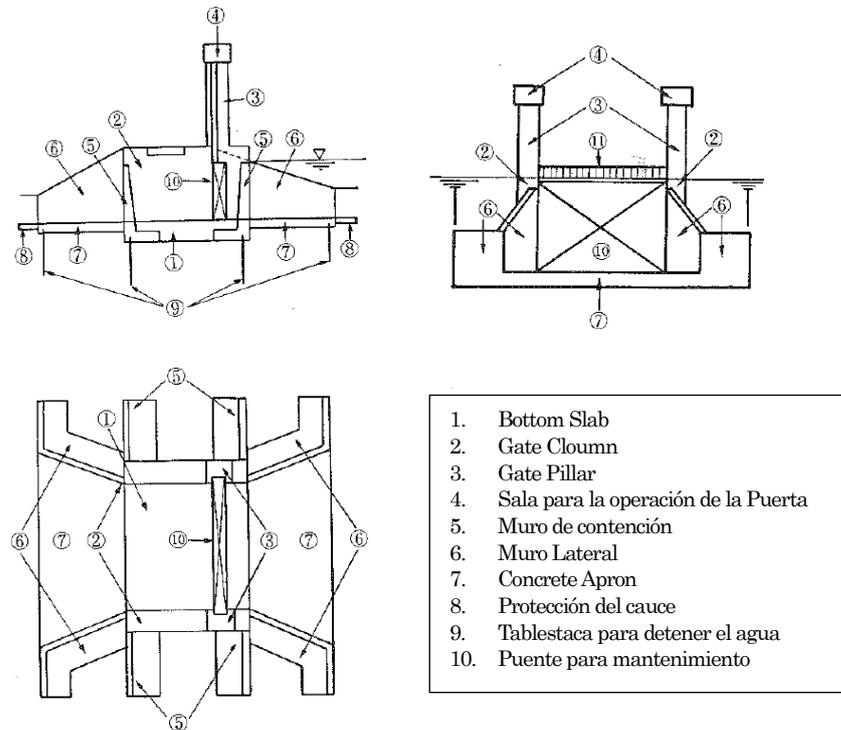
En cuanto a la selección entre esclusa o compuerta de río a ser instaladas, esto dependerá del estudio comparativo de estos dos tipos de compuerta en términos del análisis de costos de construcción. En este estudio de comparación también se deberá evaluar la situación de la unión de los ríos sin una compuerta.



**Figura 5.5.4 Ejemplos de Compuertas de Rio en el Japon**

**(a) Estructuras de Compuerta de Rio**

Estructuras típicas de compuertas de rio se ilustran a continuación en la figura 5.5.5



**Figura 5.5.5 Esquemas de Compuerta de Rio**

**(b) Compuerta**

El mecanismo de apertura y cierre de las hojas principales de la compuerta de rio deberá de ser asegurado en caso de emergencias con la función adecuada de estanqueidad

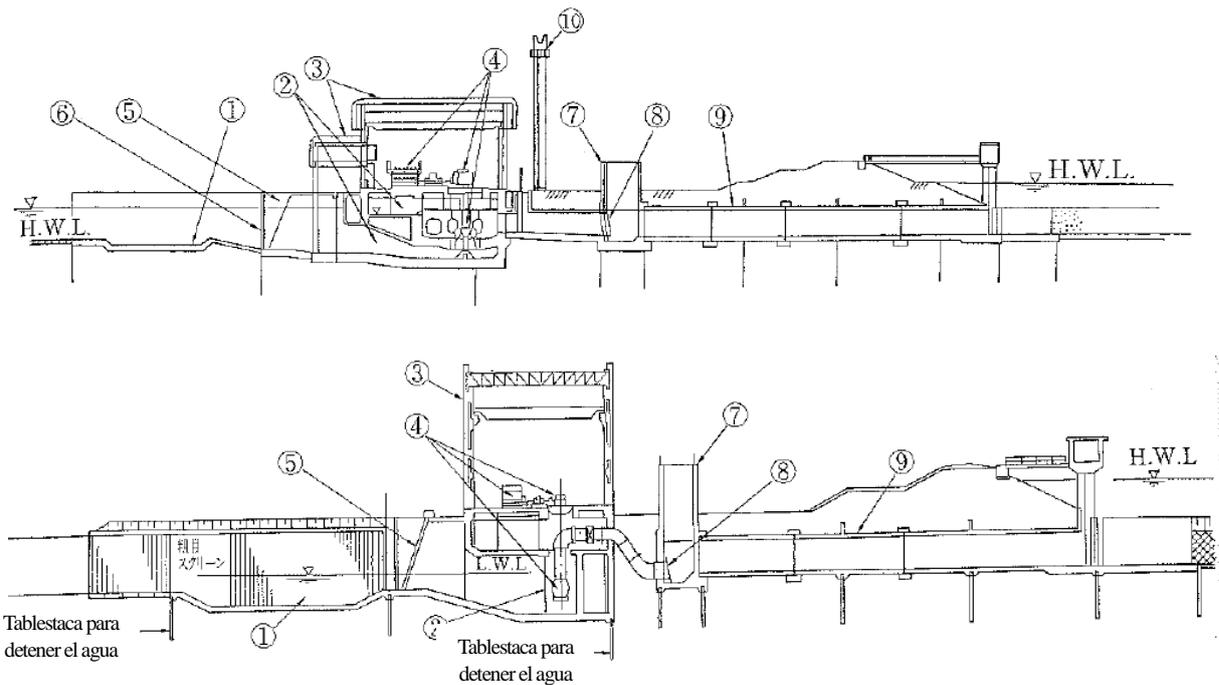
**5.5.3 Estación de Bombeo de Drenaje**

La estación de bombeo de drenaje es una instalación fluvial utilizada para drenar aguas de inundación estancadas tierra adentro (aguas internas) al cauce del rio principal para el caso en que el nivel del agua en el canal del rio sea más alto que

el del nivel del suelo. Adicionalmente a esto, una estación de bombeo deberá de ser instalada en las proximidades de la esclusa para forzar a que el agua estancada drene al canal del río principal.

Una estación de bombeo básicamente está compuesta de los siguientes elementos y equipos (ver Figura 5.5.6)

1. Pileta de sedimentación (desarenador)
2. Estructura principal
3. Oficina de control y Operaciones
4. Bombas
5. Reja para remover obstáculos
6. Puerta de Mantenimiento
7. Tanque suplementario para el drenaje
8. Válvula de retención
9. Esclusa (refiérase a la Sub- Sección 5.1.1)
10. Chimenea de escape de aire.



Fuente: Standards and Guidelines for Planning of River Structures in Japan, MLIT in Japan

**Figura 5.5.6 Ejemplo de sección Longitudinal de estación de Bombeo en el Japón**

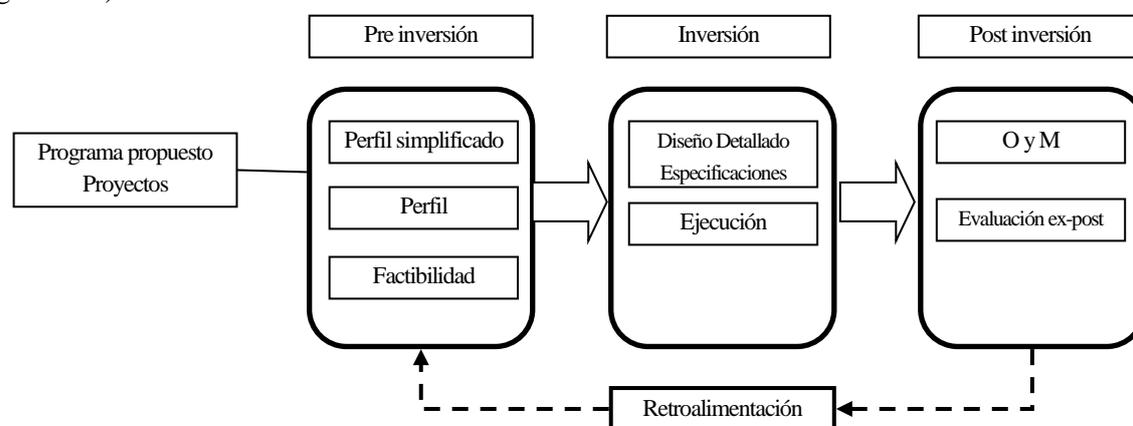
## 6 Evaluación de Proyectos para Protección contra Inundaciones

### 6.1 Aspectos Básicos de la Evaluación de Proyectos Públicos en el Perú

Es necesario evaluar cada uno de los proyectos públicos, inclusive los proyectos para el control de inundaciones para determinar si deberían o no, ser implementados, basados en un análisis de factibilidad en relación a varios factores tales como su pertinencia y la sostenibilidad de estos como una obra pública, así como su eficiencia y eficacia económica.

El Perú ha establecido Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), que es un sistema para evaluar la relevancia y la factibilidad de los proyectos de inversión pública, el cual entró en operación en enero de 2004 con base en la Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública Resolución Directoral No. 002-2009-EF/68.01 promulgada por la Ley No. 27293. Bajo el SNIP, todas las obras públicas están obligadas a someterse a una evaluación antes de su ejecución. La Ley mencionada y las directivas relacionadas establecen los principios, procesos, métodos y normativas técnicas aplicables a los planes y proyectos de inversión pública elaborados y ejecutados por los gobiernos tanto nacional como sub nacionales, a fin de garantizar el uso efectivo de los recursos públicos que se destinen a estas obras. Además de la factibilidad de las propias obras de construcción, la evaluación del SNIP cubre también la porción de la gestión, operación y mantenimiento posterior. Bajo el SNIP, los proyectos de inversión pública deben ser evaluados a nivel de Perfil, y luego a nivel de Factibilidad. De acuerdo con la magnitud de las obras, se establecen los estudios necesarios para cada etapa (EIA, etc.), y para su ejecución se requiere obtener la aprobación de la Dirección General de Inversión Pública (DGIP) (anteriormente, DGPI) del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

La Ley fue modificada en abril de 2011 (mediante la Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública Resolución Directoral No. 003-2011-EF/68.01 Anexo SNIP 07). Mediante esta modificación, el estudio de prefactibilidad que estaba en medio del perfil y factibilidad dejó de ser obligatorio. Sin embargo, se exige que en el estudio de perfil se realice, además de la recopilación de información secundaria (información existente y disponible), el estudio en campo para recoger la información primaria, incluyendo el levantamiento, el estudio del medio ambiente. En cuanto al grado de precisión requerida en las diferentes etapas casi no ha variado antes y después de la modificación. (Véase la Figura 6.1.1.)



Fuente: Estudio Preparatorio sobre el Programa de Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables Ante Inundaciones en la República del Perú, Figura 4.11-1 Ciclo de proyecto en SNIP, MEF-DGIP

**Figura 6.1.1 Esquema conceptual del ciclo de Proyecto según SNIP**

## **6.2 Aspectos básicos de la evaluación de Proyectos para el Control de Inundaciones**

### **6.2.1 Lineamientos para la Formulación de Proyectos para el Control de Inundaciones por el MEF**

Tal como esta descrito en la sección 6.1, todos los proyectos/obras públicas deberán de ser implementadas de acuerdo a las políticas y lineamientos establecidos por el SNIP. Dentro de este contexto, el MEF ya ha establecido o creado los lineamientos básicos para la formulación de proyectos de control de inundaciones, conocido como Anexo CME 25 **CONTENIDOS MÍNIMOS ESPECÍFICOS DE ESTUDIOS DE PREINVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA DE SERVICIOS DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES** (de aquí en adelante referida como “CME 25”).

Adicionalmente al CME 25, el MEF ha publicado otras dos (2) guías de formulación de proyectos para el control de inundaciones que son:

- Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Prpyectos de Protección de Unidades Productoras de Bienes y Servicios Públicos Frente a Inundaciones, a Nivel de Perfil (Junio de 2012)
- Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Areas Agrícolas o Urbanas (2006)

En particular, esta última, la Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Aéreas Agrícolas o Urbanas (2006) preparada por elMEF, indica como formular detalladamente un proyecto para el control de inundaciones. Por lo tanto, ANA o cualquier otra unidad ejecutara que vaya a implementar un proyecto de control de inundaciones deberá de referenciar el diseño y planificación a estos lineamientos de acuerdo a los requisitos básicos del SNIP.

### **6.2.2 Contenidos de la RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 006-2014-EF/63.01**

Tal como esta descrito en la Sección 6.1, el 3 de Setiembre del 2014, la Dirección General de Inversión Pública (DGIP) del MEF ha elaborado el Anexo CME 25 – “Contenidos mínimos específicos de estudios de pre inversión a nivel de Perfil de Proyectos de Inversión Pública de Servicios de Protección frente a inundaciones”, el cual ha sido coordinado con la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y otras entidades públicas.

CME 25 es una guía para la formulación de la planificación e implementación de proyectos para el control de las inundaciones de acuerdo a lo establecido por el SNIP.

Los lineamientos y contenidos descritos en el CME25 están resumidos a continuación.

#### **(1) Definición del CME25**

CME 25 es:

**CONTENIDOS MÍNIMOS ESPECÍFICOS DE ESTUDIOS DE PREINVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA DE SERVICIOS DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES.**

Los presentes contenidos mínimos se aplican a los estudios de preinversión a nivel de perfil de Proyectos de Inversión Pública (PIP) cuya naturaleza de intervención son los servicios de protección de Unidades Productoras (UP) de bienes y servicios públicos en riesgo frente a inundaciones.

**(2) Aspectos Basicos de la Planificacion del Control de Inundaciones**

El Plan propuesto para el control de las inundaciones deberá de ser formulado de acuerdo a lo establecido en el Tratamiento de Cauce para el Control de Inundaciones que fue básicamente preparado por ANA. En el caso de proyectos de control de inundaciones en ríos o secciones de este para los cuales ANA no haya preparado el Tratamiento de Cauce para el Control de Inundaciones, este deberá de ser preparado como el primer paso para la implementación del proyecto.

**(3) Agencias que pueden implementar Proyectos de Control de Inundaciones**

Cualquier agencia/UE (Unidad Ejecutora) puede implementar un proyecto de Control de inundaciones a condición que los conceptos, planificación y diseño de plan de control de inundaciones sea consistente con el CME 25.

**(4) Nivel Objetivo del Plan de Control de Inundaciones.**

En principio, el nivel objetivo de los proyectos para el control de inundaciones deberá de ser establecido de acuerdo a las especificaciones que se mencionan en la siguiente tabla.

**Tabla 6.2.1 Nivel Objetivo del Proyecto de Control de Inundaciones**

Área Objetivo	Nivel de Protección Objetivo
Área Urbana	Periodo de retorno de 100 años
Área Agrícola	Periodo de retorno de 50 años
Área Residencial rural	

**(5) Clasificación Actual del Riesgo de Danos por Inundación**

En los planes de control de inundaciones, los valores, cantidades o números referentes al riesgo de daños por inundación deberán de ser clarificados y estimados utilizando la siguiente información.

- El área de influencia y el área de Inundaciones;
- Bienes y servicios públicos expuestos (ubicados en el área inundable) y su propensión a sufrir daño por inundación;
- En caso exista población y/o viviendas en el área de influencia, determinar cuántas son y sus perspectivas de crecimiento, es posible que puedan constituirse como beneficiarios indirectos del PIP;

**(6) Esquema del proyecto para el control de Inundaciones**

La Unidad Formuladora (UF) deberá de identificar el esquema de las actividades y estructuras propuestas, incluyendo, Objetivos, beneficios/ efectividad, locación, elevación/altura, ancho/ dimensiones, extensión, distancias, profundidad etc., detalladamente.

Asimismo la sostenibilidad del proyecto en cuanto al fenómeno de cambio climático deberá de ser descrita en la aplicación.

**(7) Evaluación del Proyecto en Términos de los Aspectos Técnicos y de Ingeniería.**

Durante el proceso de formulación del proyecto, se deberán de considerar diversas alternativas para el plan y un estudio comparativo de estas alternativas diferentes deberá de ser elaborado para poder elegir el plan adecuado. Este estudio comparativo deberá incluir el análisis hidráulico del río, el análisis del flujo y producción de sedimentos, análisis hidrológicos y análisis topográficos y geológicos.

**(a) Hidráulica Fluvial**

En el CME25, la sostenibilidad del ancho del río esta basada en la descarga del diseño mediante la teoría de “Simons y Albertson”. La siguiente es la fórmula para el ancho de río de la teoría.

$$P = K1 \cdot Q^{0.512}$$

$$R = K2 \cdot Q^{0.361}$$

$$A = K1 \cdot K2 \cdot Q^{0.873}$$

Donde;

P: Perímetro del canal del río (metros)

R: Profundidad hidráulica del canal del río(metros)

A: Área de flujo en el canal del río (m2)

Q: Descarga de Flujo en el Canal del río (total) o Descarga del diseño (m3/s)

K1, K2: Coeficiente Fijo por material del lecho del río (Ver tabla 6.2.2 a continuación)

**Tabla 6.2.2 K1 and K2 for Theory of Simons y Albertson**

No.	Condiciones y materiales del Lecho del Río	K1	K2
1	Fondo y orillas de arena	6.30	0.41
2	Fondo de arena y orillas cohesivas	(4.74)	(0.47)
3	Fondo y orillas cohesivas	3.96	0.56
4	Fondo y orillas con material grueso no cohesivo	3.16	(0.27)
5	Igual que 2 pero con mucho transporte, 2000 < C < 8000 ppm	3.09	0.36

**(b) Transporte de Sedimentos**

El CME25, recomienda conducir estudios de análisis de producción y transporte de sedimentos durante el proceso de formulación del proyecto de control de inundaciones. Luego de los estudios se recomienda que el costo de mantenimiento anual del canal del río se estime basado en la formula empírica de Fleming

**(c) Profundidad de socavación**

El CME25, recomienda llevar a cabo estudios referentes a la profundidad de la socavación del lecho del río. Para este propósito se recomienda adoptar la teoría de L. L. Lischtvan-Lebediev.

**(d) Canteras**

El CME25, requiere que las canteras de donde se obtengan los materiales de construcción cuenten con su CIRA. Adicionalmente recomienda que el periodo de construcción vaya de Abril a Noviembre.

## **(8) Evaluación del Proyecto**

### **(a) Horizonte de evaluación del Proyecto**

Es el período en el que se estimarán los flujos de costos y beneficios del proyecto. El horizonte de evaluación considerará la fase de inversión más la fase de post inversión. La fase de post inversión comprenderá 10 años y la fase de inversión considera el tiempo establecido en el cronograma de ejecución del PIP.

### **(b) Costo del Proyecto**

Se deberá determinar los costos de inversión como los de mantenimiento de cada una de las alternativas evaluadas a precios de mercado.

El costo del proyecto deberá de ser estimado incluyendo en principio, los siguientes elementos:

- Costo directo de construcción
- Costos de estudios definitivos o expediente técnico
- Costos de Estudios de impacto ambiental
- Costos de las medidas de reducción de riesgos (MRR) del PIP
- Costos de adquisición de terrenos y/o compensación de terrenos
- Costos de preparación o habilitación del terreno
- Costo de supervisión de obra
- Costos de gestión de la fase de inversión

Por otra parte, los costos de operación y mantenimiento (costos de O&M) para las instalaciones y/o equipo construidas/adquirido por el proyecto para el control de inundaciones deberá de ser estimado e incluido en el costo. Dentro de este contexto el costo de O&M a ser considerado por la evaluación del proyecto se refiere a costos adicionales el cual difiere de los costos de O&M con proyecto y sin proyecto.

### **(c) Conversión de Costos Financieros a Costos Económicos (Costos Sociales)**

El costo total del proyecto estimado de manera financiera a precios de mercado debe de ser convertido a Costes económicos (Costos Sociales) al multiplicarlo por el coeficiente respectivo.

En el CME25, está indicado el 0.85, como el factor estándar recomendable, aplicable para proyectos de control de inundaciones

De lo contrario, tasas de intercambio serán calculadas y designadas de acuerdo al Anexo 10 - Parámetros de Evaluación, de la Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública, aprobada mediante Resolución Directoral N° 003-2011-EF/68.01, el cual también es aplicable.

### **(d) Beneficios de la Implementación de Proyectos de Control de Inundaciones.**

En el CME 25, los siguientes elementos pueden ser estimados como beneficios de los proyectos de Control de Inundaciones.

- a) Costo evitado de atención de la emergencia;

- b) Costo evitado de rehabilitación y reconstrucción de la UP;
- c) Beneficios directos no perdidos;
- d) Costo evitado por efectos indirectos de la interrupción del servicio (gastos en tratamiento de enfermedades);

Además de estos, costes relacionados a las operaciones de emergencias, recuperación temprana y servicios de emergencias médicas deberán de ser incluidos como beneficios, dentro del rubro de beneficios indirectos.

Para los proyectos de control de inundaciones, los beneficios se refieren a la reducción del costo de los danos. Los beneficios a ser considerados pueden ser computados a través de la siguiente formula basada en la lógica de la probabilidad de la ocurrencia. (Riesgo de Daño por Inundaciones)

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde;

R: Riesgo o falla o probabilidad de ocurrencia,

T: Período de retorno (50 o 100 años),

n: Vida útil del proyecto (se asume igual al horizonte del proyecto) (en el CME25, básicamente 10 años)

En el cálculo de los beneficios, “R” por “T” (periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) deberán de ser calculados y los valores sintetizados de “R” son los costos por danos. Medios anuales

#### (e) **Índices de Evaluación para Proyectos de Control de Inundaciones**

En el CME25, los siguientes dos indices son reconocidos y autorizados como índices para la evaluación económica de proyectos de control de inundaciones:

- Valor Actual Neto Social (VANS) (Net Present Value (NPV));
- Tasa Interna de Retorno Social (TIRS);

Adicionalmente, el TIRS calculado deberá de estar por delante de la Tasa de descuento Social designada por el SNIP como una obra pública avalada tomando en consideración el análisis de la sensibilidad.

#### (f) **Otras Consideraciones**

En CME25 requiere que las siguientes consideraciones sean evaluadas adicionalmente del análisis económico durante el proceso de evaluación del proyecto.

- Análisis de Sostenibilidad;
- Impacto Ambiental;
- Gestión del proyecto;
- Matriz de Marco Lógico (Project Design Matrix (PDM))
- Conclusions and Recommendations
- Others

### 6.2.3 Descripción de la Metodología de Evaluación Económica de Proyectos para el control de Inundaciones

Como es explicado en la sub sección 6.2.2, un proyecto de control de inundaciones deberá de ser evaluado

económicamente bajo los principios y conceptos básicos definidos en el CME 25. En la sub sección 6.2.3, se provee de información y conceptos suplementarios. Estos son citados del "Estudio Preparatorio Sobre El Programa De Protección De Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables Ante Inundaciones" conducido por JICA en el 2013 y el "Manual (Draft) on Economic Survey for Flood Control Project in Japan" (de aquí en adelante referido como "Manual del Japon").

**(1) Metodología para Estimar los Beneficios de un proyecto de Control de Inundaciones**

Tal como se describe en el CME 25, los beneficios de implementar un proyecto de control de inundaciones son diferentes de los costos por daños esperados por una presunta inundación en los casos con y sin proyecto. Sin embargo si los beneficios del proyecto se estimasen solo desde el punto de vista del diseño de la inundación, se estarían subestimando ya que las instalaciones que el proyecto construiría no solo estarán preparadas para el flujo máximo del diseño sino que también para aquellas por debajo de la escala del diseño. Los beneficios tomando en consideración inundaciones medianas y pequeñas pueden ser estimados utilizando la siguiente tabla.

**Tabla 6.2.3 Ejemplo de la estimación del Costo medio Anual de Reducción de Daños**

Probabilidad	Costo Daños			Reducción Daños Media	Probabilidad Esperada	Reducción Media Anual Esperada de Costos por Daños
	sin P.	con P.	Reducción de Daños			
1/1			D <sub>0</sub> =0	(D <sub>0</sub> + D <sub>1</sub> ) / 2	1 - (1/2) = 0.500	d <sub>1</sub> = (D <sub>0</sub> + D <sub>1</sub> ) / 2 x 0.500
1/2	L1	L2	D <sub>1</sub> = L1 - L2	(D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub> ) / 2	(1/2) - (1/5) = 0.300	d <sub>2</sub> = (D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub> ) / 2 x 0.300
1/5	L1	L4	D <sub>2</sub> = L1 - L4	(D <sub>2</sub> + D <sub>3</sub> ) / 2	(1/5) - (1/10) = 0.100	d <sub>3</sub> = (D <sub>2</sub> + D <sub>3</sub> ) / 2 x 0.100
1/10	L1	L6	D <sub>3</sub> = L1 - L6	(D <sub>3</sub> + D <sub>4</sub> ) / 2	(1/10) - (1/20) = 0.050	d <sub>4</sub> = (D <sub>3</sub> + D <sub>4</sub> ) / 2 x 0.050
1/20	L1	L8	D <sub>4</sub> = L1 - L8	(D <sub>4</sub> + D <sub>5</sub> ) / 2	(1/20) - (1/30) = 0.017	d <sub>5</sub> = (D <sub>4</sub> + D <sub>5</sub> ) / 2 x 0.017
1/30	L1	L10	D <sub>5</sub> = L1 - L10	(D <sub>5</sub> + D <sub>6</sub> ) / 2	(1/30) - (1/50) = 0.013	d <sub>6</sub> = (D <sub>5</sub> + D <sub>6</sub> ) / 2 x 0.013
1/50	L1	L12	D <sub>6</sub> = L1 - L12	(D <sub>6</sub> + D <sub>7</sub> ) / 2	(1/50) - (1/100) = 0.01	d <sub>7</sub> = (D <sub>6</sub> + D <sub>7</sub> ) / 2 x 0.010
1/100	L1	L14	D <sub>7</sub> = L1 - L14			
Media anual esperada de reducción de danos			d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> + d <sub>5</sub> + d <sub>6</sub> + d <sub>7</sub>			

**(2) Índices para la evaluación de Proyectos**

En el CME25, Valor Actual Neto Social (VANS) y la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) son los índices requeridos para la evaluación de proyectos. La definición del VANS y el TIRS es la siguiente:

**Tabla 6.2.4 Característica de los Índices y Formulas para su Computación**

Índices de Evaluación	Formula	Característica del Índice
Valor Actual Neto Social (VANS)	$VANS = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comparación entre Valor Neto/Precio entre Benéfico del Proyecto</li> <li>● Computando Valor dependiendo de la Tasa de descuento Social</li> </ul>

Índices de Evaluación	Formula	Característica del Índice
Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)	$\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+R)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+R)^i}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comparación de eficiencia entre costo (porcentaje) per unidad de inversión</li> </ul>
Cost-Benefit Ratio (B/C)	$B/C = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} / \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comparación con la tasa de Descuento Social</li> <li>● Valor computado dependiendo de la tasa de descuento social</li> </ul>

Donde:

Bi: Benéfico en años(i)    Ci: Costo en años (i)    r: Tasas de Descuento social    n: El numero de años para la evaluación  
R: Tasa Interna

### (3) Análisis de Sensibilidad

El CME 25, requiere que un análisis de sensibilidad sea llevado a cabo asumiendo los siguientes escenarios o condiciones.

**Tabla 6.2.5 Requisitos Mínimos para el Análisis de la Sensibilidad en la Evaluación de un Proyecto**

Ítem	Casos a ser considerados
Costos de construcción	Incremento de costos al 5% y 10%
Beneficios	Reducción al 5% y 10%
Tasa de descuento Social	Incremento de 5% y reducción de 5%

### (4) Estimación del Costo por Daños de la Inundación

En el CME25, el computo del costo de daños directos para estimar los beneficios de proyectos de control de inundaciones no ha sido descrito al detalle. En el Japón, periódicamente se han revisado y actualizado, así como publicado las tasas básicas unitarios y los ratios de daño para diferentes propiedades, actualizando también las metodologías en el manual En relación a esto, el gobierno Peruano, a través del MEF y ANA, se suponen establecer lineamientos o manuales para poder llevar a cabo la evaluación económica de proyectos de control de inundaciones con sus revisiones periódicas y actualizaciones. En la sub sección 6.2.3 (4) los rangos y tasas propuestos con la metodología de cálculo de la media anual esperada para el costo de reducción de daños por inundación se describe dado que el MEF y ANA establecerán el manual o revisaran de manera periódica los lineamientos en el futuro.

#### (a) Ítems del Costo Directo de Daños a ser Considerados

Los ítems del costo directo de daños a ser considerados al mínimo están enumerados en la tabla 6.2.6 que se muestra a continuación.

**Tabla 6.2.6 Ítems de Costo de Daños Directos a ser considerados por la Estimación de Beneficios de un Proyecto de Control de Inundaciones (Borrador)**

Clasificación Principal	Propiedad real	Descripción	Método de Estimación de Costos de daño
Propiedades en general	Casa / Edificio	Daños estructurales por inundación	Tasa base unitaria multiplicada por el ratio del daño
	Enseres domésticos	Muebles, Equipo eléctrico, vestimenta, Auto, etc.	
	Maquinaria de negocios (bienes depreciables)	Maquinas, Instalaciones, equipo de oficina, etc.	
	Propiedades de Negocios	Daños a mercancías, Productos, etc.	

	(activos en inventario)		
	Instalaciones agrícolas	Maquinaria Agrícola	
Agricultura Sembríos	Sembríos	Daños al Arroz y el Maíz, etc.	Tasa base unitaria multiplicada por el ratio del daño
Infraestructura Pública	Caminos	Daños directos a los caminos por la inundación	Porcentaje del costo total de daños de "Propiedades en general"
	Puentes	Danos directos la Puente por la inundación	
	Infraestructura Urbana. (agua y desagüe, otros)	Danos directos a la infraestructura urbana por inundación	
	Instalaciones de irrigación	Daños directos a instalaciones de irrigación por inundación	Porcentaje del costo total de daños de "Propiedades en general" o experiencias
	Tierra agrícola	Disminución de la cosecha anual debido a la pérdida de tierras y maquinaria agrícola	
Servicios Públicos	Electricidad	Costo de recuperación	Tasa base unitaria multiplicada por el ratio del daño
	Vías férreas	Costo de recuperación	
	Gas / Comunicación	Costo de recuperación	
Respuesta y recuperación Apoyo del Gobierno	Costos de rescate, Respuesta, recuperación inicial por INDECI y gobierno local		Confirmación de actividades actuales

**(b) Costos Indirectos por Daños**

El CME25, requiere, de ser posible, que los siguientes ítems sean considerados como beneficios en un proyecto de control de inundaciones:

- Costos y gastos de los servicios médicos debido al brote de enfermedades causadas por la inundación
- Costos de limpieza y gastos en casas y edificios residenciales
- Costo de daños por suspensión de negocios

**(c) Costos de daños en casas y edificios.**

Una Tasa Base unitaria para vivienda/edificio residencial deberá de ser establecida para poder estimar el costo de los daños en viviendas y edificios residenciales en el Perú. Los costes totales del daño a viviendas residenciales y edificios son estimados al multiplicar esta tasa base unitaria por la profundidad de la inundación tomando en consideración la gradiente longitudinal como se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 6.2.7 Ratio de daños en casas/edificios por profundidad de inundación (borrador)**

Gradiente topográfica	Profundidad de la Inundación (metros)					Profundidad del sedimento luego de la inundación (asumida)	
	< 0.50m	0.50~0.99m	1.00~1.99m	2.00~2.99m	>3.00m	>0.50m	< 0.50m
< 1/1,000	0.092	0.119	0.266	0.580	0.834	0.43	0.785
1/1,000~1/500	0.126	0.176	0.343	0.647	0.870		
>1/500	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888		

Los ratios de daño mencionados en la tabla anterior son citados del Manual de Japón. De tal manera que se requieren más actividades de investigación para determinar la tasa unitaria básica por casa/edificio y la relación entre la escala de la inundación y los ratios del daño.

(d) **Costos de daños a enseres domésticos**

El coste de los daños a enseres domésticos dentro de los hogares inundados deberá de ser calculado basado en precios unitarios multiplicados por los ratios de daño mencionados en la tabla continuación.

**Tabla 6.2.8 Ratios de daños a enseres domésticos por Profundidad de Inundación (Borrador)**

Location	Ítem	Profundidad de Inundación					Profundidad del sedimento luego de la inundación (asumida)	
		< 0.50m	0.50~0.99m	1.00~1.99m	2.00~2.99m	>3.00m	>0.50m	< 0.50m
Urbano	Ratio del	0.145	0.326	0.508	0.928	0.991	0.43	0.785
Rural	daño	0.014	0.03	0.05	0.1	0.1		

Los ratio de daño arriba mencionado son citados del Manual en Japón. De tal manera que es necesario que se realicen las actividades de investigación para determinar dicha relación aquí para revisar y actualizar esta información.

(e) **Costos de Danos a Negocios y Servicios**

El numero de negocios y servicios en el área protegida deberá de ser obtenido. Los costes de evaluación unitarios por negocio/servicio también deberán de ser estimados. El total de las propiedades de negocios y servicios en las áreas protegidas se calcula multiplicando el número total de negocios y servicios por los costos unitarios básicos. Los costes de daños por inundación también son computados al multiplicar el total de las propiedades por el ratio de daño determinado en relación a la profundidad de la inundación.

**Tabla 6.2.9 Ratio de daño para estimar el Costo de daños a Negocios y servicios (borrador)**

Ítem	Profundidad de la inundación (m)					Profundidad del sedimento (asumida)	
	< 0.50m	0.50~0.99m	1.00~1.99m	2.00~2.99m	>3.00m	>0.50m	< 0.50m
Bien depreciable	0.232	0.453	0.789	0.966	0.995	0.54	0.815
Bienes en inventario	0.128	0.267	0.586	0.897	0.982	0.48	0.780

Los ratios de daño mencionados en la tabla de arriba son citados del Manual del Japón. De tal manera que actividades de investigación para determinar el costo unitario básico por negocio/firma/entidad y la relación entre la escala de la inundación y los ratios de daños en estos deberán de ser llevadas a cabo.

En el Japón, precios unitarios básicos para negocios y/o servicios se establecen, confirman y actualizan.

(f) **Estimación del Costo por Danos a Productos Agrícolas causados por Inundación**

Los daños a los productos agrícolas deberán de ser estimados basados en el coste unitario de cada cosecha multiplicado por el ratio de daño. El ratio de daño deberá de ser determinado por la relación entre la profundidad de la inundación y los días que dura esta. El costo unitario base de cada cultivo esta fijado en base a la productividad que se muestra en la tabla a continuación y otras referencias.

**Tabla 6.2.10 Siembra y ventas de los principales cultivos (Tabla referencial)**

Cultivo	Variables	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
Arroz	Rendimiento unitario (kg/Ha)	9,882	9,764	9,785	9,588	9,753
	Precio unitario (\$/kg)	0.81	0.93	1.12	0.76	0.81
Plátano	Rendimiento unitario (kg/Ha)	44,406	41,787	41,608	42,453	43,984

Cultivo	Variables	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
	Precio unitario (S./kg)	0.40	0.55	0.63	0.67	0.63
Caña de Azúcar	Rendimiento unitario (kg/Ha)				138,969	139,859
	Precio unitario (S./kg)				0.07	0.07
Limón	Rendimiento unitario (kg/Ha)	31,856	42,454	38,238	31,034	31,500
	Precio unitario (S./kg)	0.36	0.43	0.64	0.46	0.58
Maíz	Rendimiento unitario (kg/Ha)	5,216	5,177	5,266	5,320	5,141
	Precio unitario (S./kg)	0.55	0.77	0.76	0.78	0.85
Mango	Rendimiento unitario (kg/Ha)	25,000	28,855	26,550	26,570	28,292
	Precio unitario (S./kg)	0.42	0.29	0.71	0.65	0.44
Frijoles	Rendimiento unitario (kg/Ha)	1,399	1,480	1,743	1,780	1,589
	Precio unitario (S./kg)	1.77	1.87	1.98	2.04	2.00
Maíz	Rendimiento unitario (kg/Ha)	7,313	7,363	6,996	7,010	7,543
	Precio unitario (S./kg)	0.64	0.68	0.80	0.84	0.82
Pasto	Rendimiento unitario (kg/Ha)	45,824	57,169	46,442	77,790	75,268
	Precio unitario (S./kg)	0.15	0.19	0.15	0.20	0.20
Prunus Mume melocotón	Rendimiento unitario (kg/Ha)	3,519	3,056	3,131	2,867	3,667
	Precio unitario (S./kg)	0.40	0.35	0.33	0.49	0.44
Total	Sup. sembrada (ha)	31,128	35,666	37,275	35,524	37,837
	Ventas (S./.)	264,515,787	373,008,615	465,716,915	362,308,113	405,029,984

Fuente: Tabla 3.1.3-2 Siembra y ventas de los principales cultivos, Estudio Preparatorio Sobre El Programa de Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables Ante Inundaciones En La República del Perú

El ratio del daño entre la profundidad de la inundación y los días de inundación se establecen en la tabla a continuación.

**Tabla 6.2.11 Tabla referencial para la estimación de danos agrícolas basados en la relación entre la profundidad de la inundación y los días de duración de esta.**

Condición		Profundidad de Inundación (m)												Con sedimento		
Profundidad de la inundación		0.5m				0.5-0.99m				> 1.0m				Depth of Sediment		
Días de Inundación		1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7	1~2	3~4	5~6	>7	<0.5	0.5~0.99	>1.0
Arrozal	Arroz	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74	70	100	
Campo de cultivo	Arroz de secano	20	34	47	60	31	40	50	60	44	60	72	82	68	81	100
	Papa	11	30	50		27	40	75	88	38	63	95	100			
	Col	42	50	70	83	58	70	83	97	47	75	100				
	Vegetales	19	33	46	59	20	44	48	75	38	44	71	84			
	Tubérculos	32	46	59	62	43	57	100		73	87	100				
	Pepinos	22	30	42	56	31	38	51	100	40	50	63	100			
	Legumbres	23	41	54	67	30	44	60	73	40	50	68	81			
	Promedio	27	42	54	67	35	48	67	74	51	67	81	91			

Los ratios de daños mencionados en la tabla de arriba son citados del Manual en Japón. De tal manera que son necesarias actividades de investigación de la relación entre la escala de la inundación y los ratios de daño a los productos agrícolas.

**(g) Método de Estimación de Danos por Inundación en Estructuras Publicas**

Es difícil poder estimar los daños a infraestructura pública de manera directa. De tal manera que el daño a estructuras publicas puede ser asumido a partir de un ratio o porcentaje del costo de danos de propiedades en general que se muestra en la tabla 6.2.6 a continuación. El ratio de daños a infraestructura pública a los costos de danos a propiedades en general se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 6.2.12 Proporción (%) de Costo de Danos a Infraestructura Publica a el Costo del Dano a**

**Propiedades en General**

Instalación	Camino	Puente	Desagüe	Instalaciones Urbanas	Otras Instalaciones Publicas	Agricultura (Cosechas)	Instalaciones Agrícolas	Total
Ratio de daño para propiedades en general	61.6	3.7	0.4	0.2	8.6	29.1	65.8	169.4

Los ratios de danos mencionados en la tabla de arriba son citados del Manual en Japon. De tal manera que se requieren actividades de investigación de la relación entre el daño a la propiedad general y la infraestructura pública.

**6.2.4 Otras ventajas a considerar de los Proyectos de Control de Inundaciones**

La evaluación económica de Proyectos de Control de Inundaciones puede ser llevada a cabo bajo las consideraciones explicadas en las sub secciones 6.2.1 a 6.2.3 arriba mencionadas. Adicionalmente a estas consideraciones, los siguientes beneficios podrán considerarse en caso de que la metodología los encuentre aceptables y razonables.

**(1) Evaluación de la Contribución al Desarrollo mayor como una sumatoria de efectos a partir de los Proyectos de Control de Inundaciones**

Los Proyectos de Control de Inundaciones contribuyen al desarrollo mayor del área protegida a partir del efecto de sumatoria debido al daño que se previene en el área objeto del proyecto. Por lo general, los efectos de las obras públicas pueden ser divididos en efectos de stock y efectos de flujo.

Por otra parte los efectos de stock están clasificados en efectos de prevención de daños en propiedades existentes y efectos de la contribución al desarrollo futuro del área protegida. Solo los efectos de la prevención de daños a propiedades existentes pueden ser calculados en los métodos de evaluación que se han explicado líneas arriba. En relación a esto, los efectos o beneficios para el desarrollo de las áreas deberán de ser considerado. Se requiere pues de una metodología apropiada para que se puedan considerar los efectos o beneficios para el desarrollo del área en cuestión.

**(2) Costos de Vida Humana**

Costos debido al daño a humanos, ya sea fallecimiento o desapariciones puede ser estimado a través de un método que evalué la perdida de beneficios. Sin embargo es muy difícil poder estimar el número de muertes debido a una inundación debido al desconocimiento de una serie de factores sociales y circunstancias, tales como la hora de la ocurrencia y la existencia de un sistema de alerta temprana o no. Por lo que la perdida de beneficios debido al sufrimiento humano no ha sido incluida en el cálculo de beneficios de proyectos de control de inundación en el Japón.

Sin embargo, los costes debido a daños a humanos podría ser incluido en el cálculo de beneficios en el Perú, dado que las entidades concernientes como el MEF y ANA estén de acuerdo en la metodología de evaluación

incluyendo el ratio de daños y demás.

En el Japón, la pérdida de beneficios no ha sido incluida en la evaluación de proyectos de control de inundaciones pero si en la evaluación de proyectos de construcción de sistemas de evacuación contra tsunamis.

### **(3) Evaluación de la “Prima de Riesgo” de Desastres de Inundación**

Los beneficios de implementar Proyectos de Control de Inundaciones no solo son la prevención o mitigación de los daños esperados tanto a humanos como a sus propiedades por un desastre de inundación, sino que también lo es la reducción de la amenaza de la incertidumbre y los gastos de preparación contra desastres. Las personas que viven en áreas sujetas al riesgo de una inundación tienen siempre que preparar sus medidas de mitigación contra la inundación inminente.

Por ejemplo las personas que viven en áreas con riesgo de inundación deben de llevar a cabo actividades de preparación, tales como comprar bolsas y arena para contruir barricadas temporales en frente a sus casas y comprar seguros para aliviar el miedo asociado a estos desastres. Los miedos de estos residentes, los cuales son erradicados a través de los proyectos del control de inundaciones deben de ser convertidos en costos beneficio a ser considerados en la evaluación económica. El beneficio de remover los miedos de los residentes a través de proyectos de control de inundación se denomina “Prima de Riesgo de proyectos de Control de Inundaciones”. Por ahora las formas o métodos de evaluación para convertir estos miedos en costos están considerados como detalles abajo y esta consideración deberá de ser introducida en la evaluación económica de proyectos de control de inundaciones en el Perú.

- Adopción de una Tasa de descuento Social más baja para Proyectos de Control de Inundaciones. y
- Adopción de una Tasa Premium luego del cálculo del costo medio anual de daños por inundación o la adopción de Higher Shadow Price para beneficios

# **Anexo Estudio de Casos sobre Diseño Preliminar de Estructuras para el Control de Inundaciones**

---

## **Anexo 1. Introducción a las cuatro (4) Medidas Estructurales para el Control de Inundaciones Aplicadas en el Estudio**

En este capítulo, se muestra el procedimiento para la preparación de medidas de control de inundación para mitigar el daño causado por estas, el cual es aplicado a las 10 cuencas modelo (12 cuencas de río en total, incluyendo las 6 cuencas prioritizadas) haciendo uso del análisis de inundación por escorrentía en el Estudio.

En el estudio básicamente se consideran las “Medidas para prevenir el desborde de aguas de inundación desde el canal del río a través de terraplén y revestimiento.

Basados en la construcción de dique arriba mencionada, las siguientes dos medidas que apuntan a reducir el volumen de flujo de inundación en la parte alta de la cuenca se consideran como planes alternativos,

- Medidas de reducción del caudal de inundación hacia el curso inferior mediante cuenca de retardo
- Medidas de reducción del caudal de inundación hacia el curso inferior mediante el cambio de reglas operacionales de las presas existentes

El proceso para establecer el tamaño de las instalaciones apropiadas y/o el corte transversal aproximado para las siguientes cuatro estructuras para el control de inundación se describe a continuación:

- Como determinar el diseño estructural del dique
- Como determinar el diseño estructural de un revestimiento
- Como determinar el diseño estructural de una cuenca de retardo
- Como determinar la capacidad de almacenaje de una presa existente al cambiar su regla de operación.

En cuanto a la “determinación para el diseño estructural de rompeolas”, un ejemplo concreto sobre el diseño de un rompeolas es referido en la sección 7.2, basado en la práctica en el Japón, ya que el diseño de las obras no están consideradas al detalle en el Estudio.

### **Anexo 1.1 Procedimiento del estudio General para el Diseño de Obras para el Control de Inundaciones en Ríos (Diques y Revestimientos)**

#### **(1) Dique**

##### **(a) Conducción del Análisis Hidráulico**

En el Estudio, los niveles de aguas del río correspondientes a cada escala de inundación son calculados usando el modelo de análisis de inundación escorrentía (el modelo RRI). Basados en el resultado de estos cálculos, las alturas y longitudes necesarias del dique para prevenir el desbalse del río son estimados de acuerdo a la siguiente ecuación.

En la estimación del nivel de aguas del río con el análisis de inundación escorrentía, se asume que el flujo de movimiento entre lo de adentro y lo de afuera del canal del río es prevenido a través de una pared virtual establecida a lo

largo de los lados del río y que no ocurre un rebalse alguno.

$$\underline{\text{Altura Necesaria del Dique} = \text{Nivel Maximo de Aguas de Río durante Inundacion} - \text{Altura del Suelo Circundante}}$$

**(b) Determinación de las Especificaciones del Dique**

Adicionalmente a la altura del dique arriba calculado, freeborad y el ancho de la corona del dique se determinan usando los resultados del cálculo de nivel de agua, la descarga de flujo y la velocidad de flujo explicadas en la sección 5.1

En cuanto a la sección transversal del dique, básicamente, deberá de ser diseñado teniendo en consideración la mencionado en la sección 5.1, teniendo en cuenta la data relacionada;

- ✓ Resistencia a la penetración de la lluvia
- ✓ Resistencia a la Erosión de aguas Corrientes.
- ✓ Función para prevenir el rebalse; y
- ✓ Capacidad antisísmica.

Sin embargo, en el Estudio, como estudio a nivel de lperfil, se decide que la especificación del corte transversal que se muestra en la siguiente tabla deberá de ser obtenido considerando un criterio a ser mantenido al mínimo.

En cuanto a la gradiente del terraplén, considerando que el diámetro de las rocas naturales a ser utilizadas para el revestimiento sean el menor posible, en referencia a casos en el Japon en el pasado, la pendiente con gradiente 1:3.0 y mas leve se requiere para mitigar la inundación y la erosión bajo las siguientes condiciones:

- Un río largo con mas de 1,000m<sup>3</sup>/s de flujo de descarga de diseño, o
- Un río con pendiente pronunciada donde la velocidad del flujo de diseño durante la inundación excede los 3.0m/s

**Tabla A.1 Diseño Mínimo estándar de Dique (Correspondiente a Nivel de Perfil en el Peru)**

Descarga de diseño (m <sup>3</sup> /s)	Borde libre (m)	Ancho de la cresta (m)	Gradiente de Pendiente de Dique
Menos que 200	0.6	3	Velocidad de Flujo es menor que 3.0m/s ; V: H = 1:2.0
De 200 hasta 500	0.8	3	
De 500 hasta 2,000	1.0	4	Velocidad de Flujo es 3.0m/s y más ; V: H = 1:3.0
De 1,000 hasta 2,000			
De 2,000 hasta 5,000	1.2	5	V : H = 1:3.0
De 5,000 hasta 10,000	1.5	6	
De 10,000 a mas	2.0	7	

Fuente : Equipo de Estudio

El diseño de diques de los 6 ríos priorizados seleccionados en el estudio para hacerle frente a una inundación con un periodo de retorno de 50 años se muestra en la tabla a continuación

**Tabla A.2 Diseño de Dique para 6 Cuencas de Río priorizadas Seleccionadas en el Estudio (Corresponden a un Periodo de Retorno de 50 años frente a Inudaciones)**

Nombre del Río	Sección (Objetivo)*1	Resultados del Analisis Hidraulico		Requerimiento de Diseño		
		Descarga de diseño (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad de Flujo (m/s)	Borde libre (m)	Ancho de la cresta (m)	Gradiente de Pendiente de Dique
Piura	Objetivo-1: Cura Mori~El Tallan	3,020	3.0m a mas	1.2	5.0	1:3.0

Nombre del Rio	Seccion (Objetivo)*1	Resultados del Analisis Hidraulico		Requerimiento de Diseño		
		Descarga de diseño (m3/s)	Velocidad de Flujo (m/s)	Borde libre (m)	Ancho de la cresta (m)	Gradiente de Pendiente de Dique
Chira	Objetivo -1: Querecotillo ~Vichayal	3,580	3.0m/s a mas	1.2	5.0	1:3.0
Rimac	Objetivo -1: San Mateo	90	3.0m/s a mas	0.6	3.0	1:3.0
	Objetivo -6: Chaclacayo	470	3.0m/s a mas	0.8	3.0	1:3.0
Ica	Objetivo -5-1: Ocucaje	520	2.4m/s	1.0	4.0	1:2.0
	Objetivo -5-8: Bautista	470	2.4m/s\	0.8	3.0	1:2.0
Huallaga	Objetivo -1: Juanjui~Picota	6,500	1.1m/s	1.5	6.0	1:3.0
	Objetivo -2: Jose Crespo y Castillo ~ Tocache	3,300	0.8m/s	1.2	5.0	1:3.0
	Objetivo -3: Awajun~Moyobamba	1,250	0.7m/s	1.0	4.0	1:3.0
	Objetivo -4: Yurimaguas~Santa Cruz	11,5000	1.5m/s	2.0	7.0	1:3.0
Mantaro	Objetivo -1: Matahuasi~Yauyos	550	2.4m/s	1.0	4.0	1:2.0
Urubamaba	Objetivo -1: Maranura~Santa Ana	1,320	3.0m/s a mas	1.0	4.0	1:3.0
	Objetivo -2: Huayllabamba~Urubamaba	420	1.1m/s	0.8	3.0	1:2.0
	Objetivo -4: Urcos	520	1.5m/s	1.0	4.0	1:2.0

Fuente : Equipo de Estudio

Nota: No toda la seccion, pero algunas areas objetivo son elejidas.

## (2) Revestimiento

En cuanto al revestimiento, tal y como se muestra en la seccion 5.1, el diametro de roca necesaria para el revestimiento se calcula en base a la velocidad de flujo del rio objetivo de acuerdo a la siguiente formula:

$$D_m = \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g \left[ \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right]} V_0^2 K \quad (\text{Unit: m})$$

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \varphi}}}$$

Donde

Dm: Diámetro Promedio de las rocas a ser utilizadas como Revestimiento (m)

ps: Densidad de la roca

E1: Coeficiente basado en data experimental expresando la intensidad de turbulencia del flujo

Usualmente E1=1.2

En caso de que la Intensidad de turbulencia sea grande, E1 = 0.86

g: Aceleración de la gravedad

K: Coeficiente de la gradiente de la pendiente donde se instalaran las rocas

θ: Gradiente de la pendiente

φ: Angulo de reposo de las Rocas en el agua (en caso de rocas naturales 38°, Grava: 41°)

Los valores calculados para los diámetros de roca natural necesarios para los revestimientos en los 6 ríos priorizados se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla A.3 Diámetros Necesarios de las Rocas Naturales para el Revestimiento en los 6 Ríos Priorizados Seleccionados en el Estudio. Necessary (Corresponden a un Periodo de Retorno de 50 años frente a Inundaciones)**

Nombre del Río	Sección (Objetivo)*1	Resultados del Análisis Hidráulico	Diseño de Corte Transversal	Resultado de Cálculo	
		Velocidad de Flujo (m/s)	Gradiente de Pendiente de Dique	Dímetro Requerido Material Revestimiento (m)	Notas
Piura	Objetivo -1: Cura Mori~El Tallan	3.0m/s a mas	3.0m/s a mas	0.9	*2
Chira	Objetivo -1: Querecotillo ~Vichayal	3.0m/s a mas	3.0m/s a mas	0.6	
Rimac	Objetivo -1: San Mateo	3.0m/s a mas	3.0m/s a mas	1.2	*2
	Objetivo -6: Chacacayo	3.0m/s a mas	3.0m/s a mas	1.7	*2
Ica	Objetivo -5-1: Ocucaje	About 2.4m/s	2.4m/s	0.4	
	Objetivo -5-8: Bautista	About 2.4m/s	2.4m/s	0.4	
Huallaga	Objetivo -1: Juanjui~Picota	About 1.1m/s	1.1m/s	0.3	
	Objetivo -2: Jose Crespo y Castillo ~ Tocache	About 0.8m/s	0.8m/s	0.3	
	Objetivo -3: Awajun~Moyobamba	About 0.7m/s	0.7m/s	0.3	
	Objetivo -4: Yurimaguas~Santa Cruz	About 1.5m/s	1.5m/s	0.3	
Mantaro	Objetivo -1: Matahuasi~Yauyos	2.4m/s Aprox.	2.4m/s	0.4	
Urubamaba	Objetivo -1: Maranura~Santa Ana	3.0m/s a mas	3.0m/s a mas	0.5	
	Objetivo -2: Huayllabamba~Urubamaba	1.1m/s Aprox.	1.1m/s	0.3	
	Objetivo -4: Urcos	1.5m/s Aprox.	1.5m/s	0.3	

Fuente : Equipo de Estudio

Note: \*1: No todas las secciones, pero se escogen algunas de las áreas objetivo

\*2: Cuando la velocidad de flujo es alta, mientras que las obras de revestimiento estén compuestas solo por la disposición de rocas naturales, el diámetro necesario de estas será muy grande. De tal manera que, al nivel de diseño actual, obras con el refuerzo de mezcla de cemento así como de ensanchamiento de río deberán de ser consideradas también.

## Anexo 1.2 Procedimientos para el estudio Inicial para Cuencas de Retardo

### (1) Suitable Location and Area of Retarding Basin Locación Indicada y Área para Cuenca de Retardo.

En el estudio, el área para el establecimiento de las cuencas de retardo es seleccionada basado en los resultados del reconocimiento de campo así como en la revisión de otra información disponible como por ejemplo la información de datos satelitales topográficos de ASTER, los datos sobre la distribución de la población y el escaneo de fotografía aérea digital provista por Google Earth, tomando en consideración los siguientes temas:

- El área localizada aguas arriba del área protegida.
- El área en donde se espera una gran cantidad de material como la confluencia de tributarios.

- El area donde se encuentra una planicie.
- El area donde hay pocas o ninguna vivienda.

Tambien tenemos que, el ratio del area de captacion en algunas de las cuencas de rio representativas en el Japon a la extensión total de las cuencas de retardo localizadas dentro es calculado como base para la detrmnacion de la extensión del área para cada una de las cuencas de rio modelo/priorizada.

Como resultado, 0.18% del área de captación en cada una de las cuencas modelo/priorizada se establece como la extensión máxima disponible para el sitio.

**Tabla A.4 Información Referencial de Cuencas Representativas del Japón para la Determinación de la Extensión de La Cuenca de Retardo**

Nombre de Rio	Área de Captación (km <sup>2</sup> )	Nombre de la Cuenca de Retardo y su Extensión	Área total de la Cuenca de retardo (ha)	Ratio de la extensión de la Cuenca de retardo al área de captación
Tone	16,842	Watarase R.B (3,300 ha) Sugao R.B (592 ha) Tanaka R.B (1,175 ha) Inatoi R.B (448 ha) Hakojima R.B (160 ha)	5675	0.0034
Ishikari	14,330	Kitamura R.B (950 ha) Chitosegawa R.B (s) (1,150 ha) Hassamugawa R.B (5.5 ha) Sunagawa R.B (180 ha)	2285.5	0.0016
Kitakami	10,150	Ichinoseki R.B (1,450 ha) Kabukurinuma R.B (582 ha) Minamiyachi R.B (256 ha)	2288	0.0023
Yodo	8,240	Ueno R.B (249 ha) Neyagawa R.B (50 ha) Onjigawa R.B (40 ha) Uchiagegawa R.B (13 ha)	352.3	0.0004
Mogami	7,040	Okubo R.B (200 ha)	200	0.0003
Ara	2,940	Arakawa (I) R.B (580 ha) Shibakawa (I) R.B (92 ha) Arakawa (VII) R.B (15 ha) Bin-numa R.B (86 ha) Uwaya-numa R.B (18 ha)	794.1	0.0027
Average				0.0018

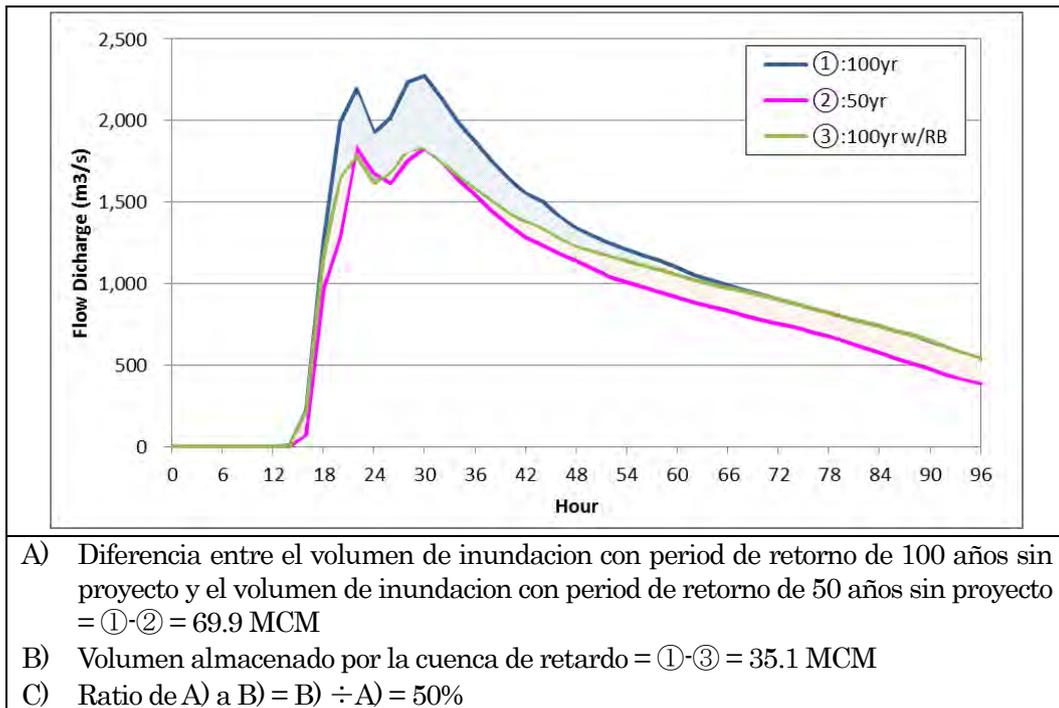
Fuente: Preparado por el Grupo de estudio de JICA basados en documentos publicados por el MLIT

## (2) Planificacion de Mitigacion de Inundacion con Cuenca de Retardo en el Caso del Rio Biabo

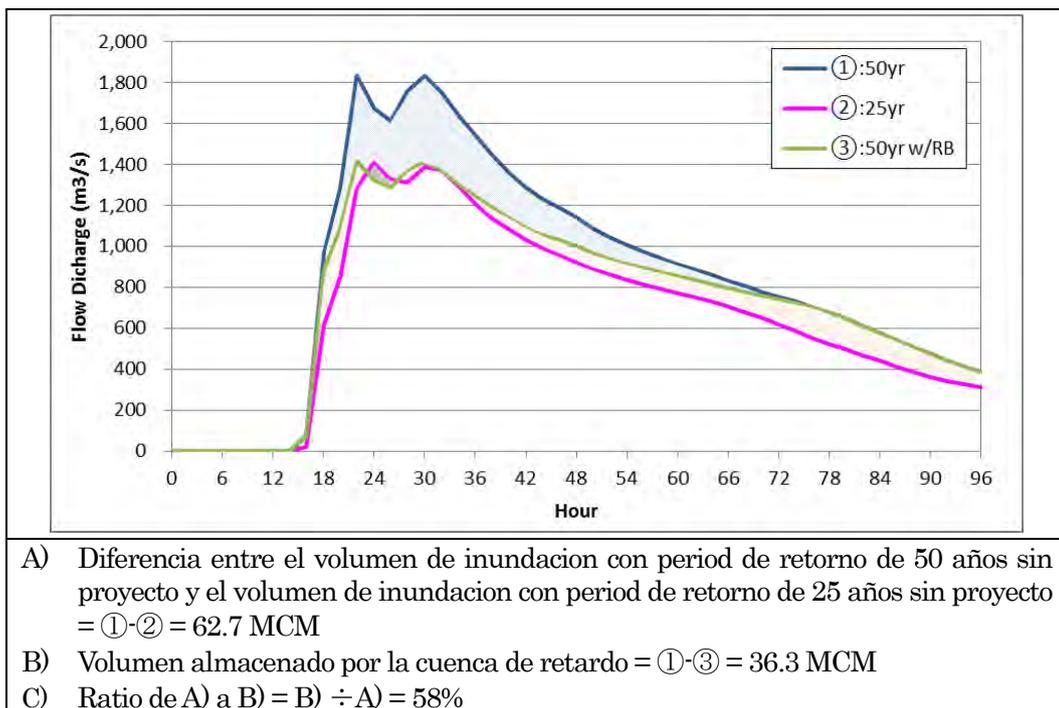
En el presente estudio, como caso de estudio, la hidrografía del rio Biabo correspondiente a cada probabilidad de presipitacion, es calculada luego de ser establecida la cuenca de retardo, a través de un análisis unidimensional de flujo inestable. Luego de esto, se calcula el ratio del volumen de flujo del rio entre hidrografías en el caso sin proyecto y el caso luego de la construcción de la cuenca de retardo.

Para el análisis de flujos unidimensional, se empleo el software MIKE11, el cual ha sido desarrollado y es mantenido por el Instituto Hidraulico de Dinamarca (DHI)

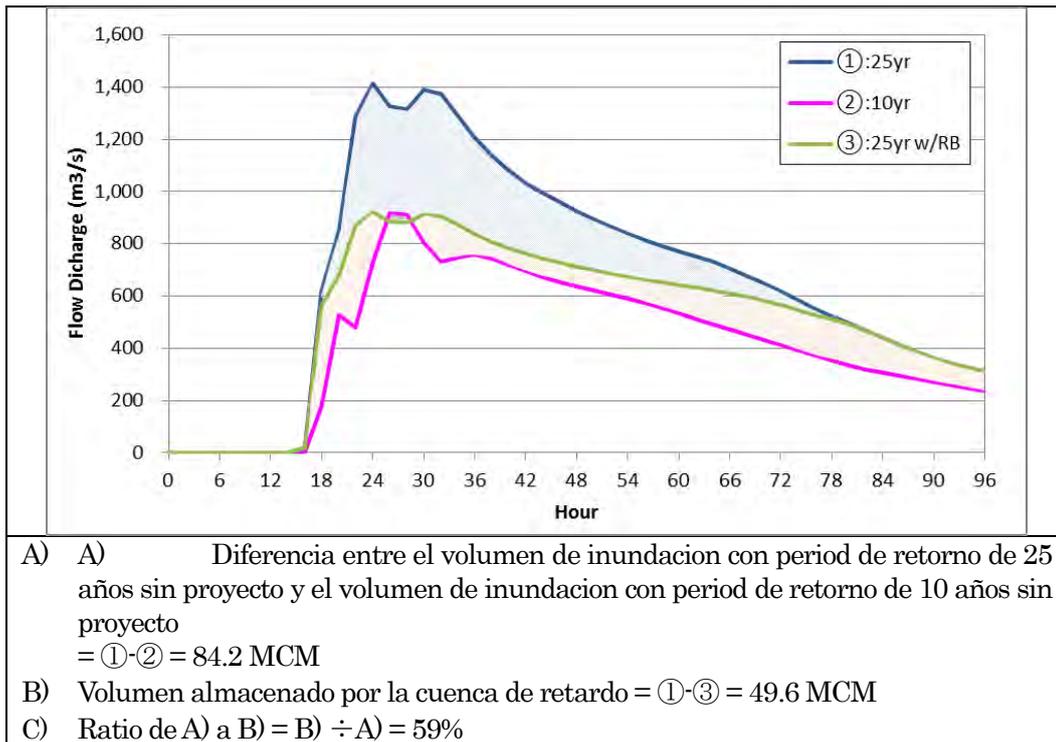
Usando el ratio mencionado arriba, el volumen necesario de almacenaje de la cuenca de retardo para reducir la escala de cada inundación se estima tal y como se muestra en la Figura A 1.1 hasta la Figura A 1.5.



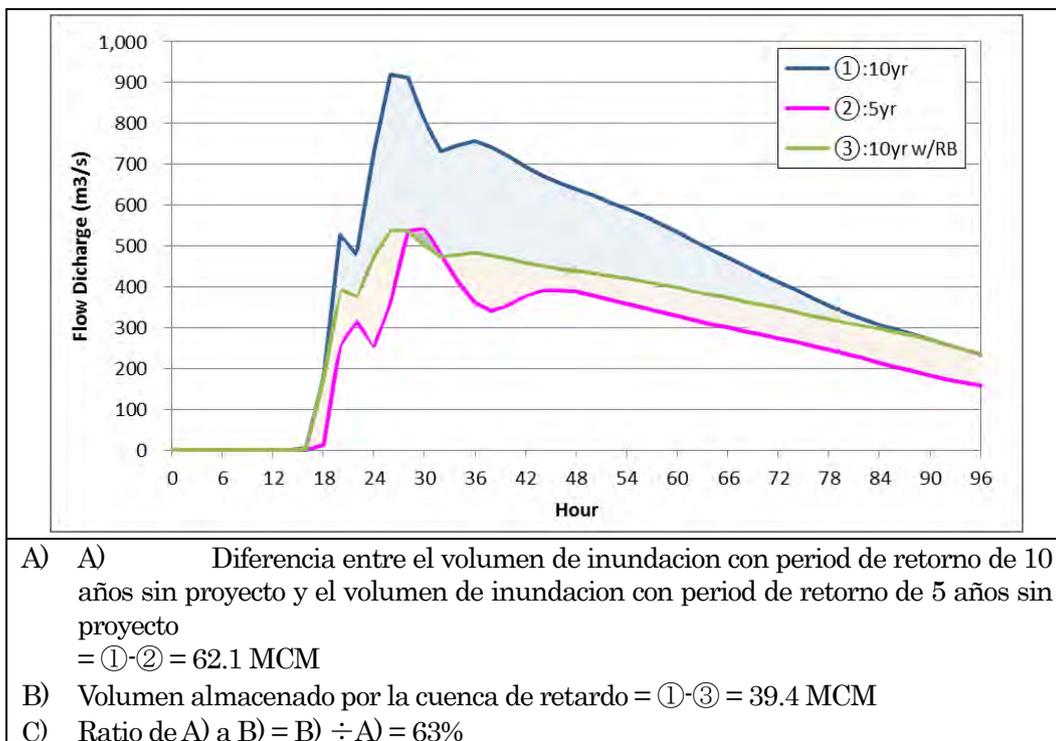
**Figura A1.1 Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 100 años)**



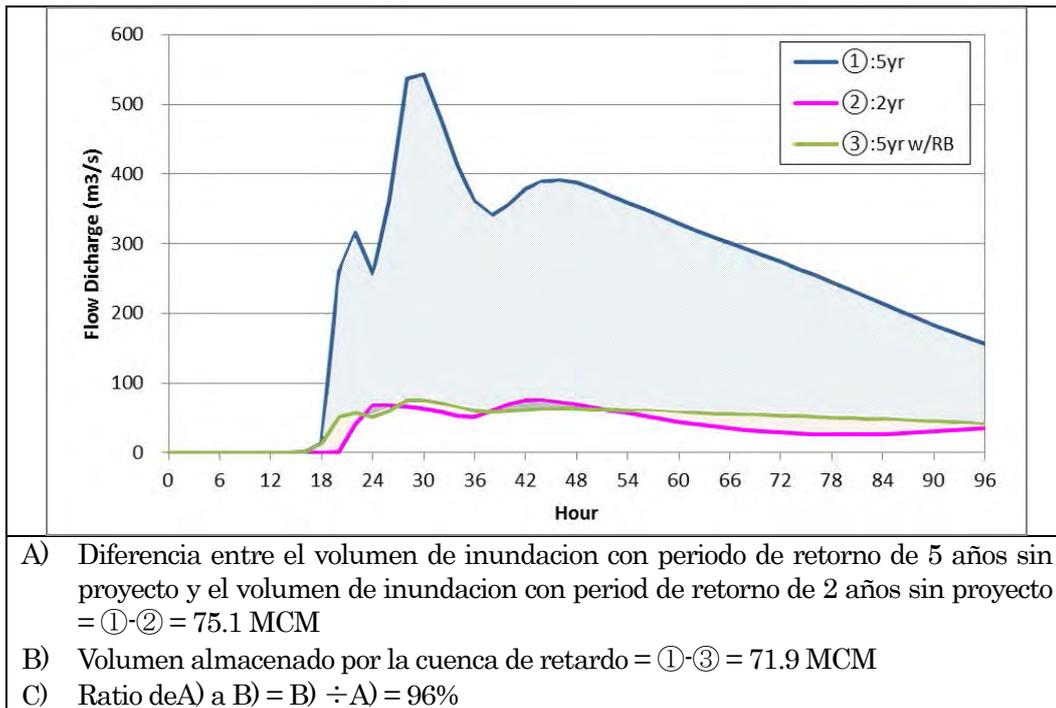
**Figura A1.2 Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 50 años)**



**Figura A1.3 Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 25años)**



**Figura A1.4 Tasa de Conversion de Volumen de Inundacion para la Estimacion del Volumen de Almacenage de la Cuenca de Retardo en el Rio Biabo (Periodo de Retorno de 10 años)**



**Figura A1.5 Tasa de Conversión de Volumen de Inundación para la Estimación del Volumen de Almacenaje de la Cuenca de Retardo en el Río Biabo (Periodo de Retorno de 5 años)**

Los Ratios del volumen de la inundación están resumidos en la Tabla A.5 por probabilidad de ocurrencia de inundación. En la tabla, se indica el ratio del volumen de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 5 años el cual es más alto que los otros. Esto significa que como la forma de la hidrógrafa es plana, el volumen de la capacidad de almacenaje para el corte máximo de la descarga del río se incrementa.

A partir de esto, se considera que la cantidad de flujo máxima de corte por unidad de capacidad de almacenaje (o unidad de área de tierra) es relativamente pequeña para inundaciones con un periodo de retorno de 5 años o menos, de tal manera que se consideran poco eficientes desde el punto de vista económico del uso del atierra.

Por lo tanto, en el Estudio se decide instalar una Cuenca de retardo para inundaciones con una escala de 10 años a más de periodo de retorno. Para periodos de retorno de 2 y 5 años, solo trabajos para la mejora del río son considerados como medidas de control de inundaciones.

Para la estimación de la profundidad para el almacenaje, la elevación de la base de las cuencas de retardo es ajustada 1m de tal manera de que no sea más baja de lo que se asume sea la profundidad del canal del río adyacente.

**Tabla A.5 Estimación del Volumen de Almacenaje Necesario para Cuencas de Retardo**

Escala de Inundación (Periodo de Retorno)	Ítems a ser calculados	Ecuación para Calculo	Condiciones para la estimación de Volumen de Almacenaje Mínimo Requerido
100	Volumen de Almacenaje necesario para reducir la escala del periodo de retorno de inundación 100 a 50 años	$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 100 años sin proyecto} \\ - \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 50 años sin proyecto} \end{array} \right] \times 0.50$	De los volúmenes calculados de almacenaje por escala de inundación que se muestran en la columna de la izquierda, el volumen máximo de almacenaje es el seleccionado.
50	Volumen de Almacenaje necesario para reducir la escala del periodo de retorno de inundación 50 a 25 años	$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 50 años sin proyecto} \\ - \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 25 años sin proyecto} \end{array} \right] \times 0.58$	
25	Volumen de Almacenaje necesario para reducir la escala del periodo de retorno de inundación 25 a 10 años	$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 25 años sin proyecto} \\ - \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 10 años sin proyecto} \end{array} \right] \times 0.59$	
10	Volumen de Almacenaje necesario para reducir la escala del periodo de retorno de inundación 10 a 5 años	$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 10 años sin proyecto} \\ - \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 5 años sin proyecto} \end{array} \right] \times 0.63$	
5	Volumen de Almacenaje necesario para reducir la escala del periodo de retorno de inundación 5 a 2 años	$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 5 años sin proyecto} \\ - \text{Volumen de Inundación para periodo de} \\ \text{retorno de 2 años sin proyecto} \end{array} \right] \times 0.96$	

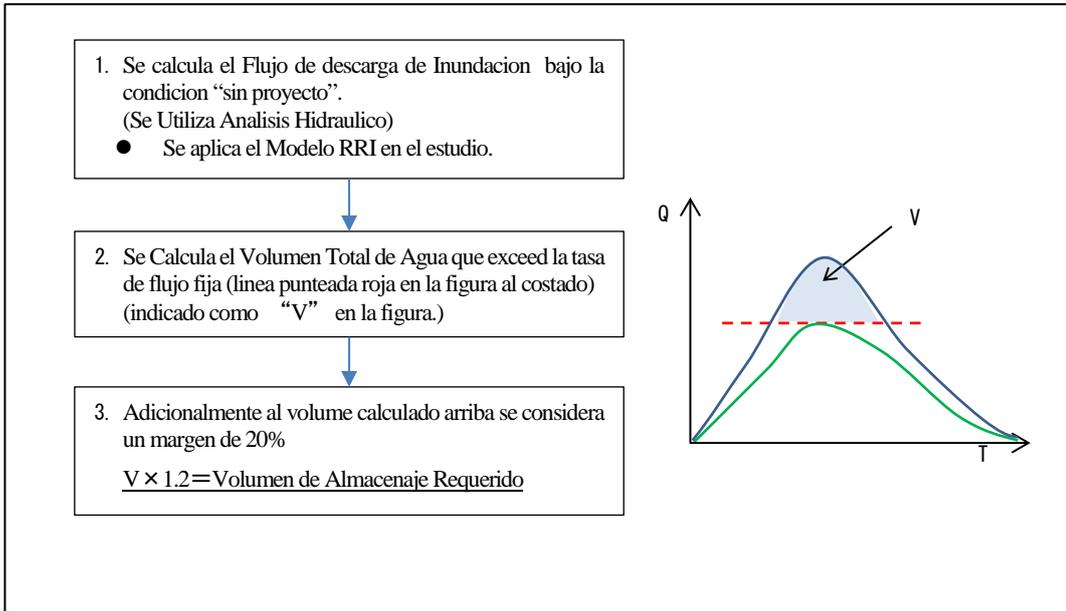
**Anexo 1.3 Procedimientos del Estudio Inicial para el Cambio de Operación de la Presa para el Control de Inundaciones**

En el Estudio, se aplica un método de corte al pico como regla de operación de presa para el control de inundación, por el cual la tasa de flujo es limitada al alcanzar cierto valor establecido.

Un método para el cálculo simple del volumen de almacenaje requerido para reducir la tasa de flujo de inundación se muestra abajo a continuación como (1). Adicionalmente, a manera de ejemplo, un caso en el Rio Mantaro, en donde se obtiene el volumen de almacenaje requerido para reducir la tasa del flujo de inundación se calcula y muestra en (2)

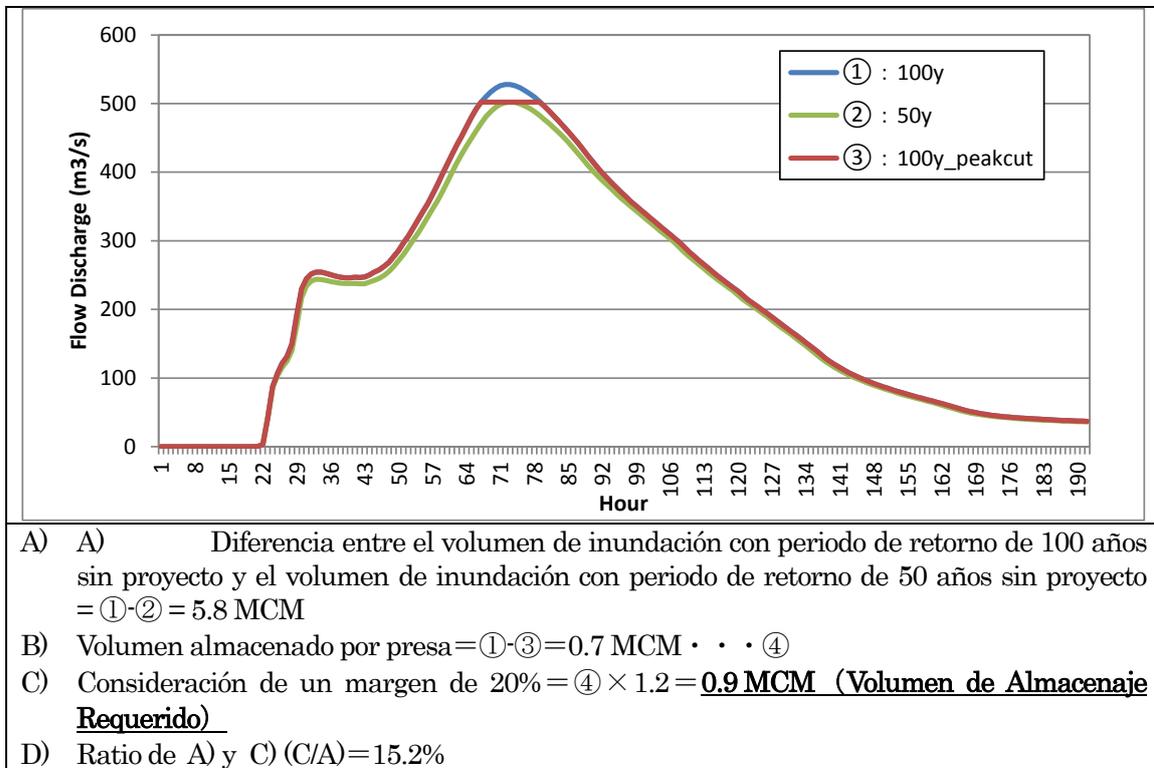
(1) **Método de Estimación del Volumen de Agua Requerido por el cambio de Operación de la Presa para reducir la Descarga de Diseño (Procedimiento Simplificado)**

El procedimiento para la estimación del volumen requerido se muestra a continuación en la siguiente Figura.

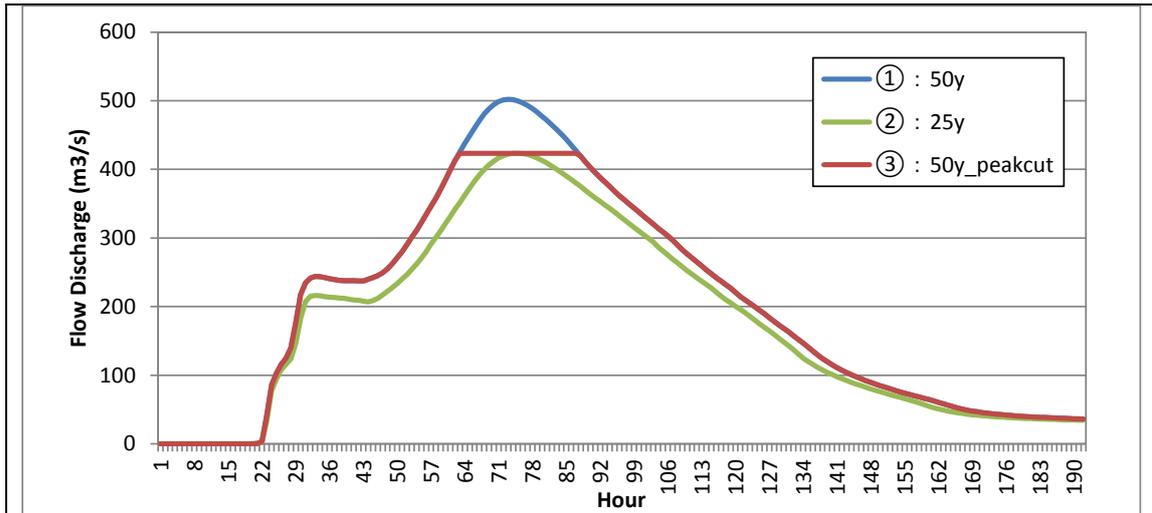


**Figura A1.6 Procedimiento para la Estimación de el Volumen de agua Requerido para Reducir la Descarga de Diseño de un Rio al Cambiar la Operación de la Presa**

(2) **Ejemplos para la Estimación del Volumen Requerido (En el caso del rio Mantaro)**

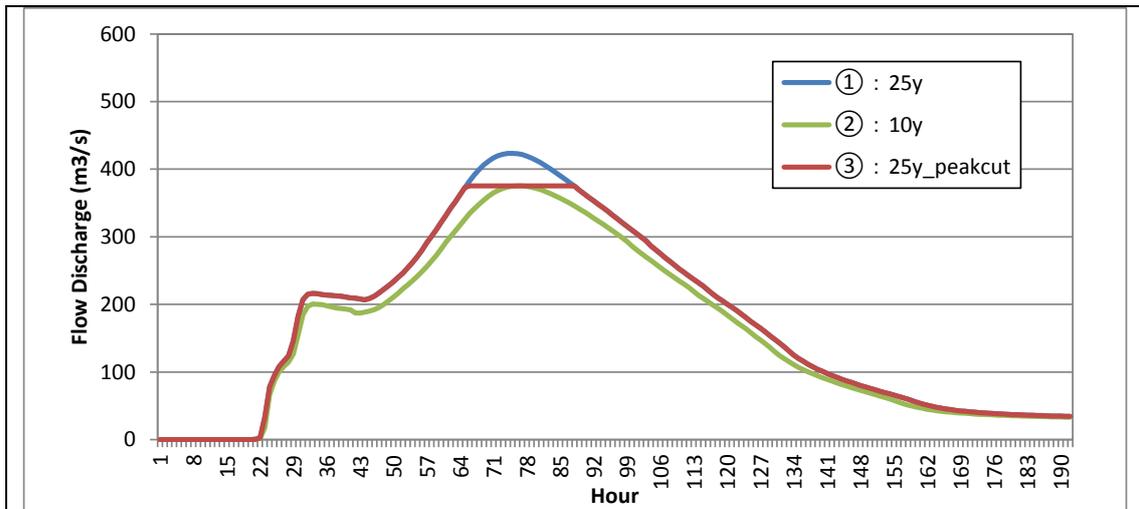


**Figura A1.7 Río Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 50 a 100 años)**



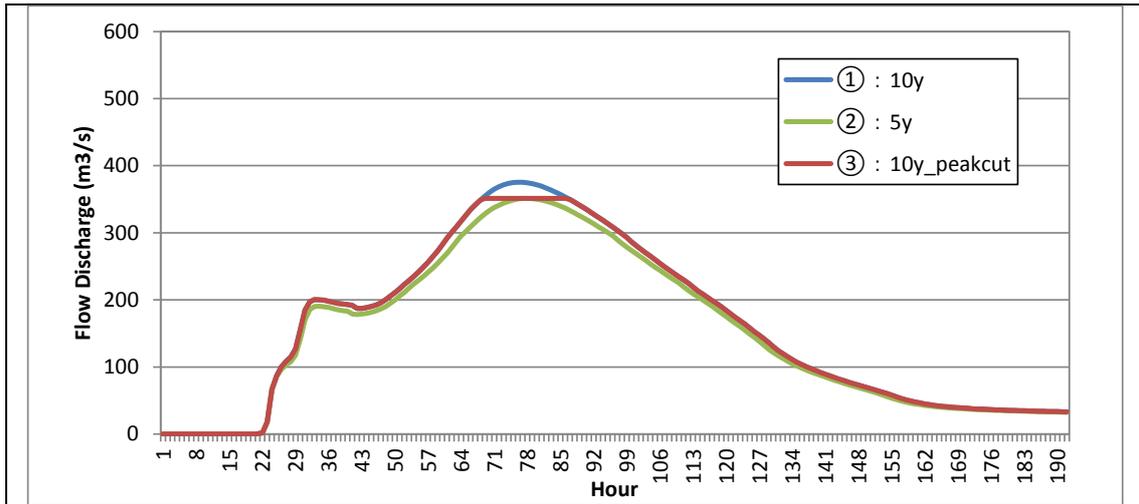
- A) Diferencia entre el volumen de inundación con periodo de retorno de 50 años sin proyecto y el volumen de inundación con periodo de retorno de 25 años sin proyecto = ①-② = 17.8 MCM
- B) Volumen almacenado por presa = ①-③ = 4.4 MCM . . . ④
- C) Consideración de un margen de 20% = ④ × 1.2 = **5.2 MCM (Volumen de Almacenaje Requerido)**
- D) Ratio de A) and C) (C/A) = 29.4%

**Figura A1.8 Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 25 a 50 años)**



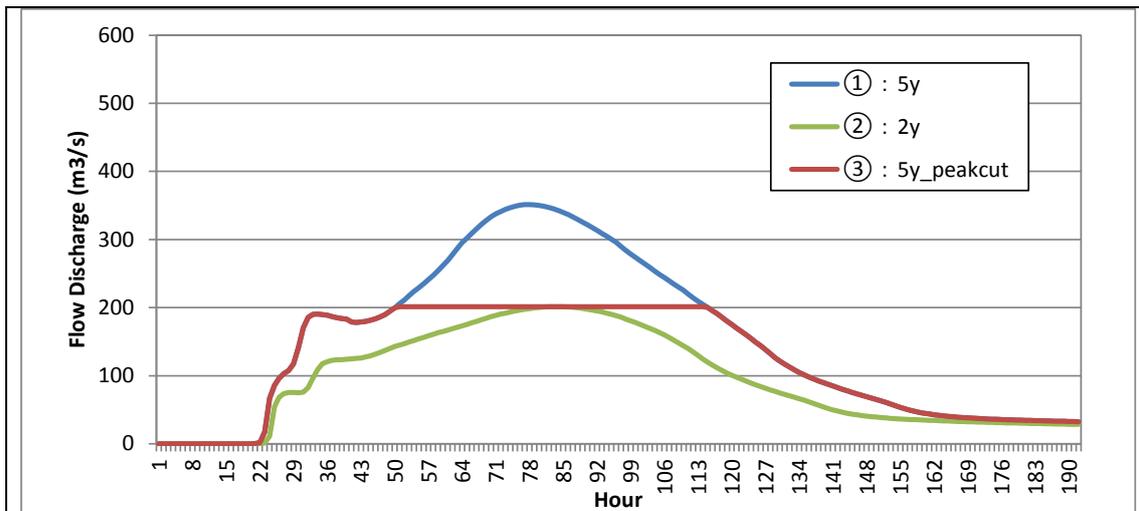
- A) Diferencia entre el volumen de inundacion con periodo de retorno de 25 años sin proyecto y el volumen de inundacion con period de retorno de 10 años sin proyecto = ①-② = 12.1 MCM
- B) Volumen almacenado por presa = ①-③ = 2.5 MCM . . . ④
- C) Consideración de un margen de 20% = ④ × 1.2 = **3.0 MCM (Volumen de Almacenaje Requerido)**
- D) Ratio de A) y C) (C/A) = 24.9%

**Figura A1.9 Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 10 a 25 años)**



- A) Diferencia entre el volumen de inundacion con periodo de retorno de 10 años sin proyecto y el volumen de inundacion con period de retorno de 5 años sin proyecto = ①-② = 6.2 MCM
- B) Volumen almacenado por presa = ①-③ = 1.0 MCM . . . ④
- C) Consideración de un margen de 20% = ④ × 1.2 = **1.2 MCM (Volumen de Almacenaje Requerido)**
- D) Ratio de A) y C) (C/A)=20.0%

**Figura A1.10 Rio Mantaro (Inundación con Periodo de Retorno de 5 a 10 años)**



- A) A) Diferencia entre el volumen de inundacion con periodo de retorno de 5 años sin proyecto y el volumen de inundacion con period de retorno de 2 años sin proyecto = ①-② = 41.0 MCM
- B) Volumen almacenado por presa = ①-③ = 20.2 MCM . . . ④
- C) Consideración de un margen de 20% = ④ × 1.2 = **24.2 MCM (Volumen de Almacenaje Requerido)**
- D) Ratio de A) y C) (C/A)=59.0%

**Figura A1.11 Rio Mantaro (Periodo de Retorno de Inudacion de 2 a 5 Años)**

**Tabla A.6 Resumen del Volumen de Almacenaje Requerido en Presas para el Control de Inundación**

Escala de Inundación	A) Diferencia Hidrografica (Sin Proyecto) (MCM)	B) Volumen Almacenado por Presa (MCM)	C) Luego de Considerar un Margen de 20% (MCM)
100-año	5.8	0.7	0.9

Escala de Inundación	A) Diferencia Hidrografica (Sin Proyecto) (MCM)	B) Volumen Almacenado por Presa (MCM)	C) Luego de Considerar un Margen de 20% (MCM)
50-año	17.8	4.4	5.2
25-año	12.1	2.5	3.0
10-año	6.2	1.0	1.2
5-año	41.0	20.2	24.2
2-año	0.0	0.0	0.0

## **Anexo 2. Introducción de Metodos de Diseño de ‘Espigon’**

En este estudio, el análisis específico y concreto para el diseño de un Espigon no se ha llevado a cabo. Por otro lado tenemos que cierto numero de espigones han sido instalados a lo largo de varios ríos en el Perú, con el propósito de mitigar la erosión y socavación de los bancos del mismo.

En esta sección, los puntos a considerara así como la metodología para el diseño de un Espigon son presentados, basados en la experiencia del Japón en cuanto a la ingeniería fluvial.

### **Anexo 2.1 Puntos de Atención en la Clasificación de Tipos de Espigon y Diseño de Espigon.**

Los Espigones con el propósito de proteger diques y prevenir la erosión y socavación de los bancos del río pueden ser clasificados en dos (2) en términos de sus funciones:

#### **A. Espigon para el Cambio de Direccion de Flujo**

Este tipo de espigon se convierte en una obstrucción al flujo del río. Como resultado de esto cambia las funciones y dirección del flujo. De tal manera que el dique y los bancos del río resultan protegidos del flujo del río. Usualmente este tipo de Espigon ha sido construido solo o construido con revestimiento para la protección de instalaciones importantes.

La altura de este tipo de Espigon se construye en relación al nivel anual máximo de inundación utilizando material impermeable.

#### **B. Espigón para la Protección de Revestimientos y Bases de Dique.**

La altura de este tipo de Espigon será como mínimo el nivel de aguas normal del canal del río. Por lo que las aguas del río fluyen sobre el espigon durante la inundación. Básicamente se instala este tipo de Espigon en grupos. La velocidad de flujo del río disminuye con un conjunto de este tipo de espigones. Como resultado de esto se mitiga la erosión de los bancos de río por efecto del espigon.

Adicionalmente, y de manera conjunta, obras de protección de bases en secciones importantes del río son instaladas.

El tipo de espigon deberá de ser cuidadosamente seleccionado ya que este dos (2) conceptos de espigon son distintos.

### **Anexo 2.2 Metodología de Diseño de espigón para Proteccionde Revestimientos y Base de Diques.**

El esquema del procedimiento y observaciones para el diseño de espigones se explican a continuación.

Lo primero en importancia para la selección y diseño del espigon. En el Japón, las características del río se clasifican tal y como se muestra en la Figura A2.1 (ver Sección 4.1 en el Capítulo 4 en estas Normas Técnicas)

Características	Segmento M	Segmento 1	Segmento 2		Segmento 3
			2-1	2-2	
División Fisiográfica					
Typical Size of Riverbed Material dR (60%)	Amplia Variedad	more than 2cm	3cm~1cm	3cm~0.3mm	equal to or less than 0.3mm
Material of River Slope	Outcrop of Rock on River bank and riverbed	Same materials with Riverbed Surface: Sand or silt	mixed with Fine sand, silt and clay		Silt and Clay
Longitudinal Gradient	Amplia Variedad	1/60~1/400	1/400~1/5 000		1/5 000 ~ Flat
Meandering	Amplia Variedad	Less	Meandering Belt Series of eights or development of sanbar		Amplia Variedad
Erosion of River bank	Extremely Eroded	Heavily Eroded	Erosion Intensity is medium.. It depends on size of riverbed materials.		Weak Almost no move
Average Depth of Low Water Channel	Amplia Variedad	0.5~3m	2~8m		3~8m

**Figura A2.1 Clasificación de segmentos de río y sus características en el Japón**

Por lo tanto, en Japon, la metodología para el diseño de espigón ha sido preparada para cada uno de los segmentos del canal de río.

**(1) Diseño de Espigón para el Cambio de Dirección del Flujo a lo largo del Segmento-1**

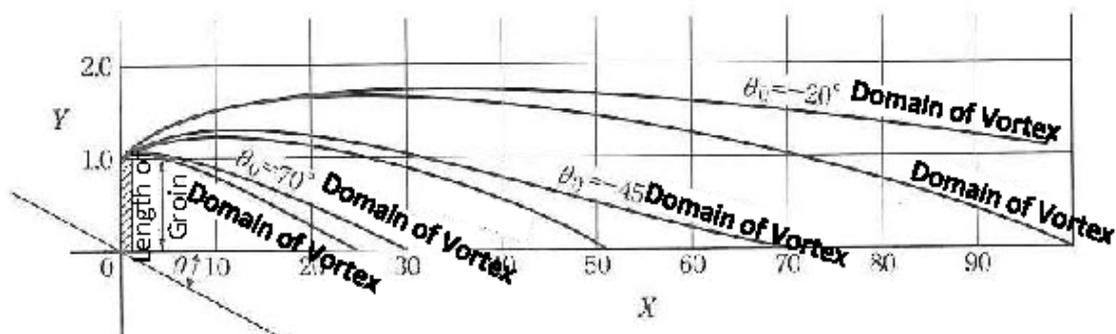
**(a) Disposición (Ubicación) del Espigón**

En el Segmento I del Canal del Río, la instalación del espigón deberá de ser considerada conjuntamente con revestimientos en secciones importantes donde áreas protegidas por diques o bancos de río son muy importantes. Usualmente la longitud del espigón se diseña más o menos al 5% del ancho del canal del río. La longitud máxima del espigón es de menos de 10% del ancho del canal del río. En Japon en espigón más largo tiene entre 20 y 30 metros.

El intervalo adecuado entre espigones se diseña basado en las características del río en el sección objetivo. Las características a ser consideradas son: 1) Longitud del espigón 2) Dirección del Flujo de Agua 3) Número Froude.

La relación entre la longitud del espigón y la dirección del flujo de agua basado en resultados experimentales en

el Japon se muestran en la Figura A 2.2 a continuacion.



Fuente: Akikusa et al (Figura 7.2 in Planning and Designing of Revetment and Espigon written by Koichi Yamamoto)

### Figura A2.2 Relación entre la Longitud del Espigón, Dirección del Flujo del Río y Extensión del Impacto Aguasabajo basados en el Resultado experimental

Como resultado del diseño, el intervalo entre espigones en el Segmento-1 debe de ser menos de 7 veces la longitud de cada espigón cuando el canal del río es recto. El intervalo debe de ser menos de 5 veces la longitud del espigón cuando el río se curva en la sección objetivo.

La dirección del espigón deberá de apuntar en dirección de aguasabajo un poco porque la profundidad del abrasivo en la parte alta del espigón es aliviada.

La altura del espigón deberá de ser diseñada tan alta como el nivel de agua alta al nivel de la base (punto de conexión con el dique). La altura mínima del espigón es mayor que la altura del nivel de agua para un periodo de retorno de inundación de 3 años

#### (b) Estructura y Estabilidad de Espigón

El espigón instalado en el Segmento I deberá de ser diseñado con una deformación suficiente tomando en consideración el flujo de escombros.

El método de diseño es el mismo que con el revestimiento y con estructuras de protección de bases descritas en el Capítulo 5. La velocidad del flujo del río a ser utilizada en el diseño del espigón para el Cambio de Dirección de Flujo es de 1.6 veces la velocidad representativa del agua del río en el estrecho en donde se instalarán los espigones.

La velocidad del flujo del río a ser utilizada en el diseño de espigones para la protección de Revestimientos y de Pie de diques es 1.5 veces la velocidad representativa del flujo del río en la sección del río en donde se instalarán los espigones. Por otro lado, la velocidad del flujo de río a ser utilizada en el diseño para el revestimiento detrás del espigón para la Protección de Revestimiento y Pie de Dique es de 0.4 veces la velocidad representativa del flujo del río en la sección donde se instalarán los espigones.

#### (2) Diseño de espigón para Cambio de Dirección de Flujo en los Tramos del Segmento II y III

Basicamente la instalación de espigones para el cambio de Dirección del Flujo estrecha el ancho del canal existente del río. Por lo que el canal del río debe de ser anchado para que la instalación de los espigones mantenga

el ancho del río. Esto significa que los costos de instalación de espigones es mas alto que la instalación de revestimientos rígidos. Por lo que la instalación de revestimientos y estructuras de protección de pie deberán de ser consideradas para la protección de los bancos de río y/o diques en lugar de la instalación de espigones en los Segmentos II y III.

La instalación de espigones deberá de ser tomada en consideración para las siguientes condiciones:

- Presupuesto limitado para cuando el gobierno local de manera urgente lleve a cabo obras de recuperacion de bancos de río; y
- El Dique y el revestimiento no pueden ser diseñados ni contruidos porque la alineación del dique no ha sido determinada ni establecida debido a que no existe un plan de mejoramiento del canal del río.

Basados en las condiciones arriba mencionadas, la instalacion de espigones deberá de ser considerada cuando los resultados de la evaluación económica sea razonable.

Las imagines que se muestran a continuacion en la Figura A 2.3 son ejemplos reales de espigones construidos mas de 200 años atras.



Fuente: Kagoshima Prefecture and Japan Society of Civil Engineers

**Figura A2.3 Ejemplos reales de Espigones construidos en el Segmento-II los cuales fueron construidos hace mas de 200 años en el Japon (Rio Sendai)**

## Apéndice-6-1

Sección transversal standard para el caso de Alternativa-1

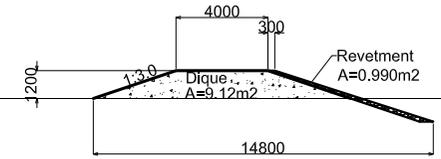
# Piura : Alternative-1

Piura: Target-1

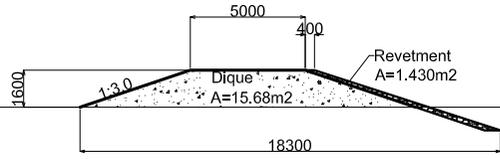
2-Year

No Need to Improve

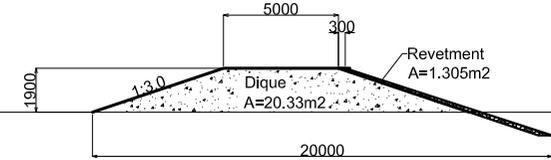
5-Year



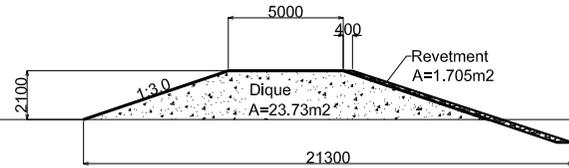
10-Year



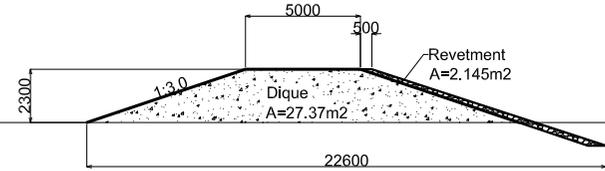
25-Year



50-Year



100-Year

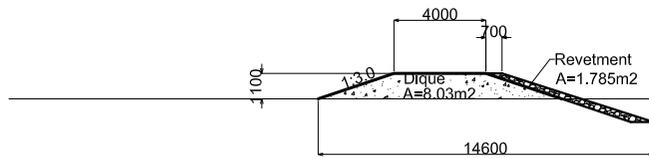


A6-2

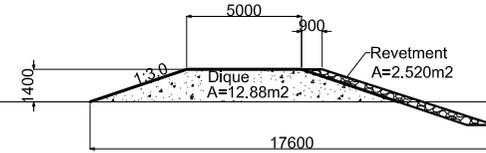
# Piura : Alternative-1

Piura: Target-2

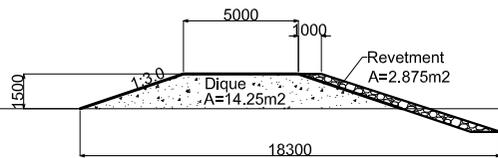
2-Year



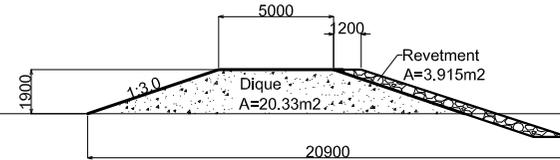
5-Year



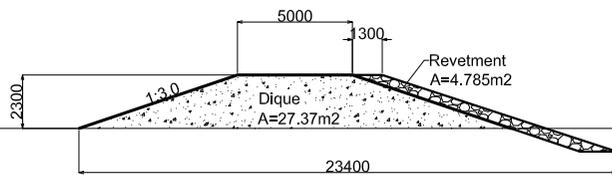
10-Year



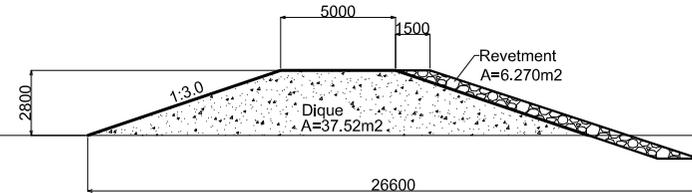
25-Year



50-Year



100-Year

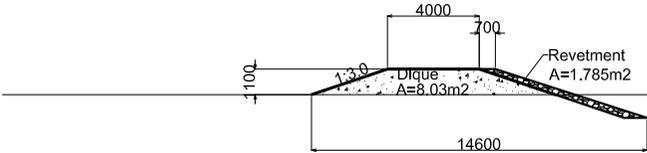


A-6-3

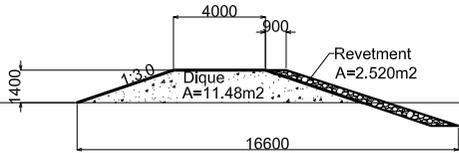
# Piura : Alternative-1

Piura: Target-3

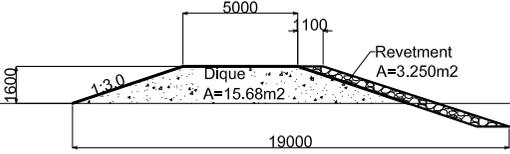
2-Year



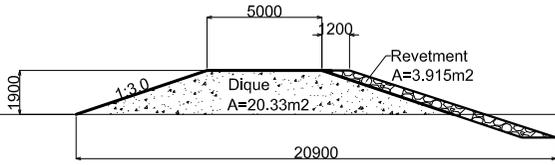
5-Year



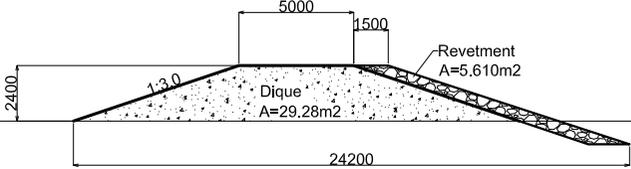
10-Year



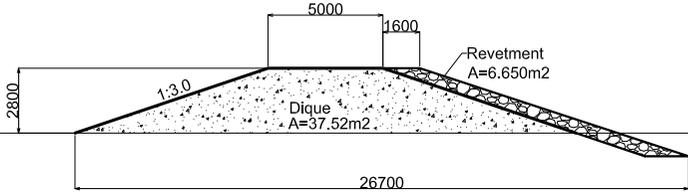
25-Year



50-Year



100-Year



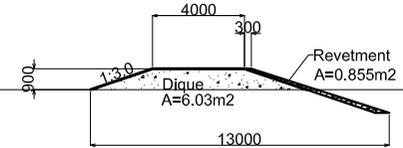
# Chira : Alternative-1

Chira: Target-1

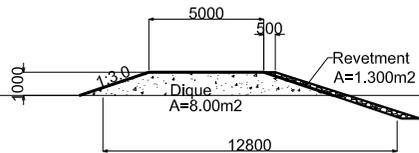
2-Year

No Need to Improve

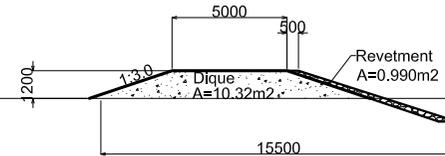
5-Year



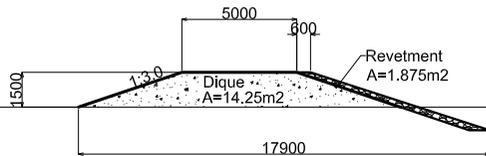
10-Year



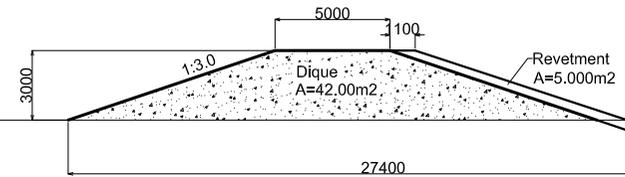
25-Year



50-Year



100-Year

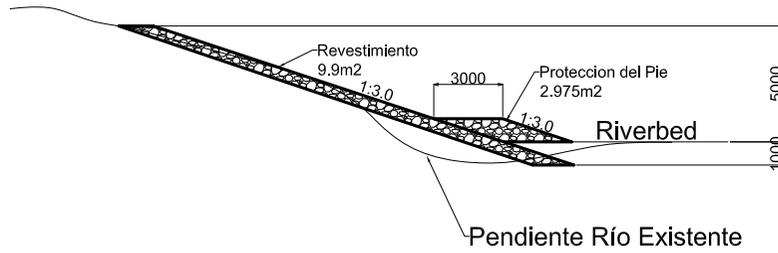


A6-5

# Chira : Alternative-1

Chira: Target-2

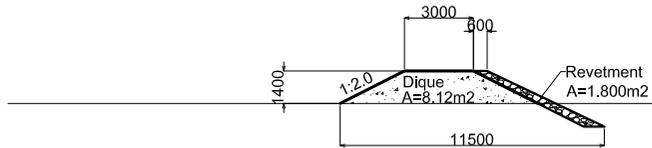
Only Slope Protection works are needed.



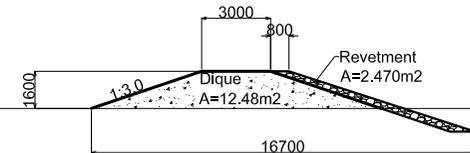
# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-1

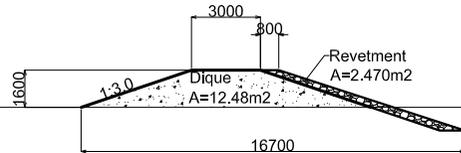
2-Year



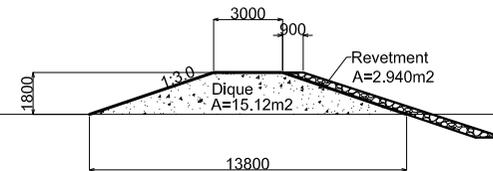
5-Year



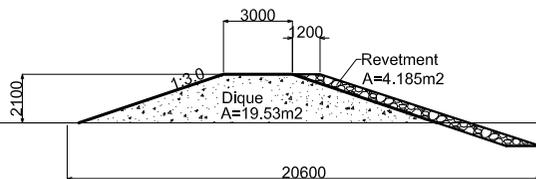
10-Year



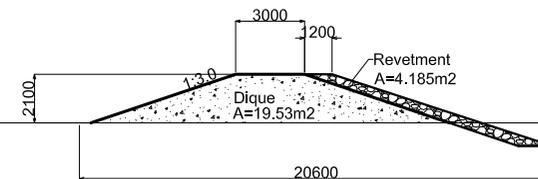
25-Year



50-Year



100-Year

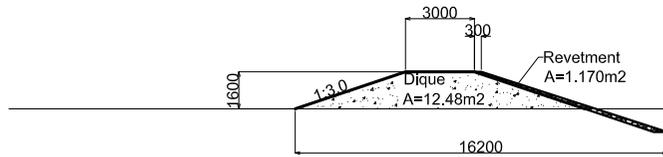


A6-7

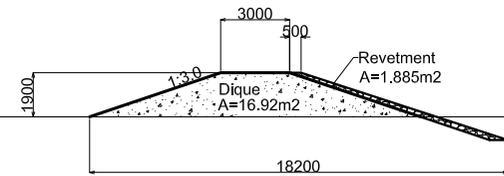
# Rimac : Alternative-1

## Rimac: Target-2

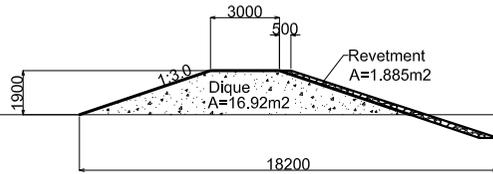
2-Year



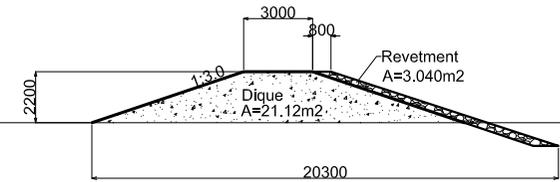
5-Year



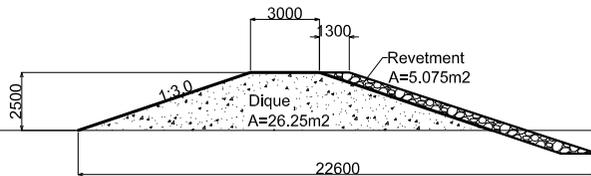
10-Year



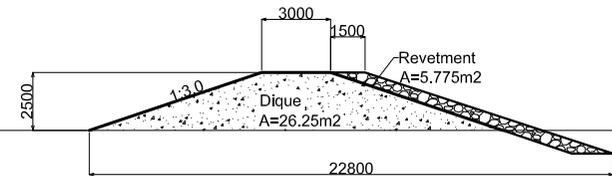
25-Year



50-Year



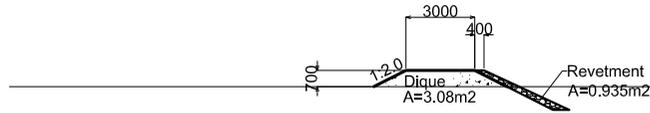
100-Year



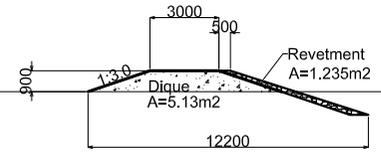
# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-3

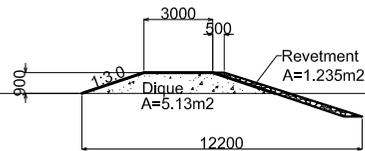
2-Year



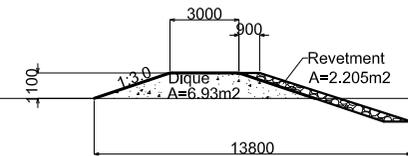
5-Year



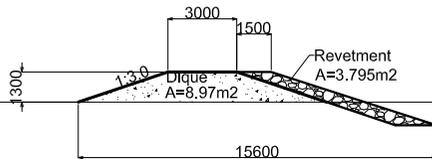
10-Year



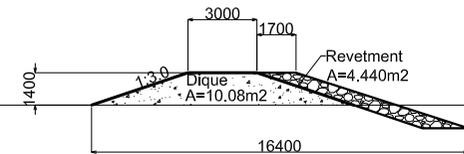
25-Year



50-Year



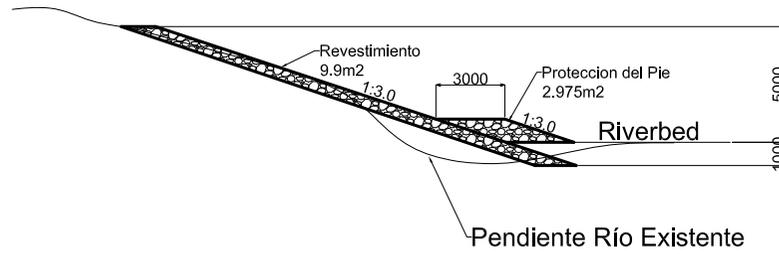
100-Year



# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-4

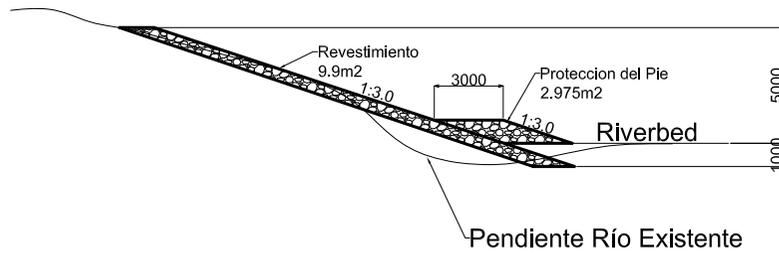
Only Slope Protection works are needed.



# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-5

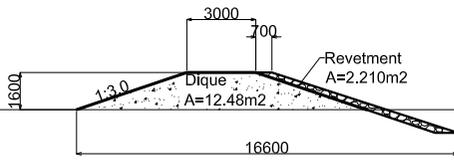
Only Slope Protection works are needed.



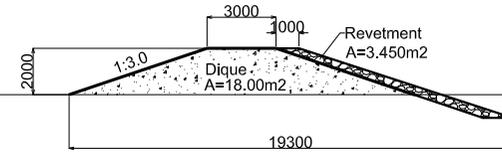
# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-6

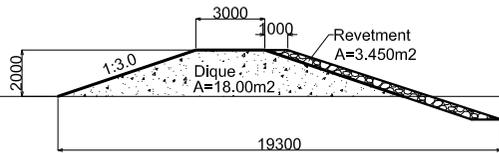
2-Year



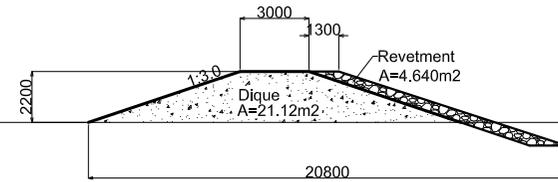
5-Year



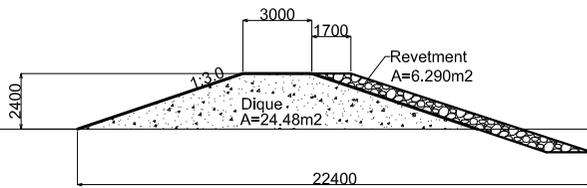
10-Year



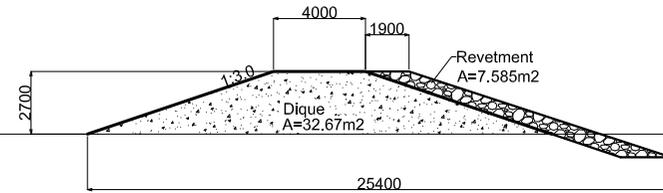
25-Year



50-Year



100-Year

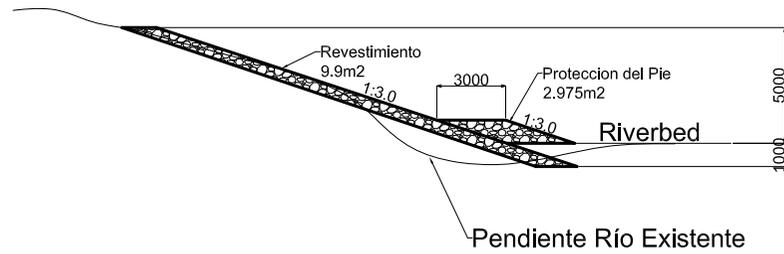


A6-I-12

# Rimac : Alternative-1

Rimac: Target-7

Only Slope Protection works are needed.



# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-1

2-Year

No Need to Improve

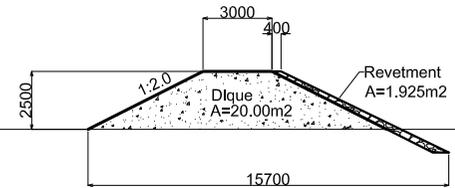
5-Year

No Need to Improve

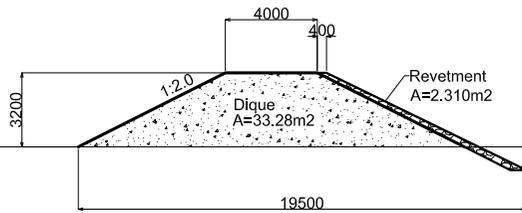
10-Year

No Need to Improve

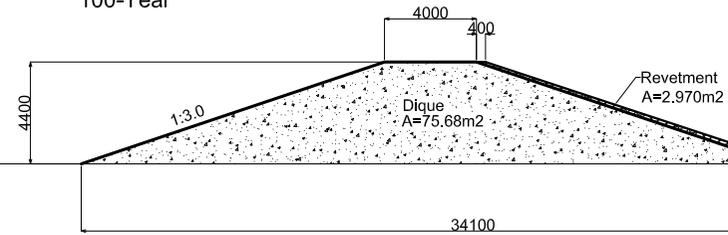
25-Year



50-Year



100-Year



A6-I4

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-2

2-Year

No Need to Improve

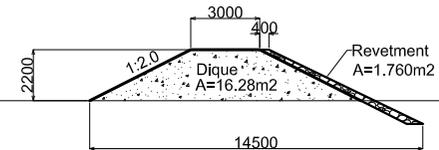
5-Year

No Need to Improve

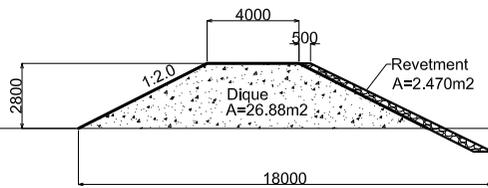
10-Year

No Need to Improve

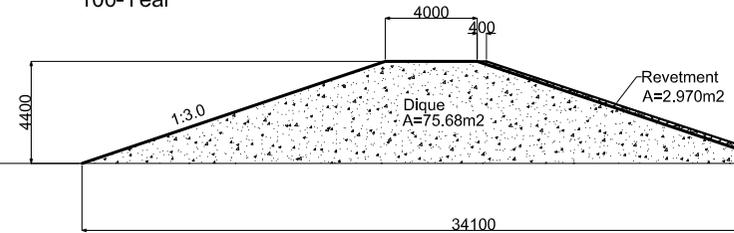
25-Year



50-Year



100-Year



A6-15

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-3

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

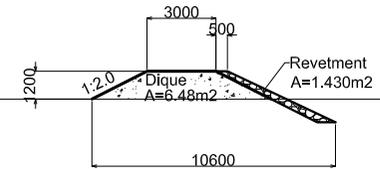
25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

100-Year



# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-4

2-Year

5-Year

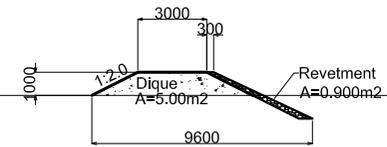
No Need to Improve

No Need to Improve

10-Year

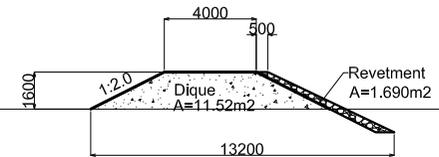
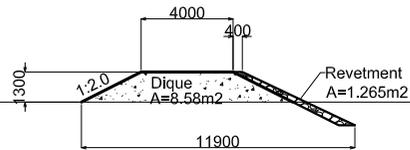
25-Year

No Need to Improve



50-Year

100-Year



A6-17

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-5

2-Year

No Need to Improve

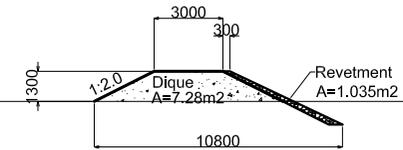
5-Year

No Need to Improve

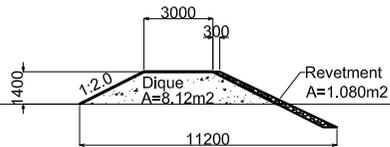
10-Year

No Need to Improve

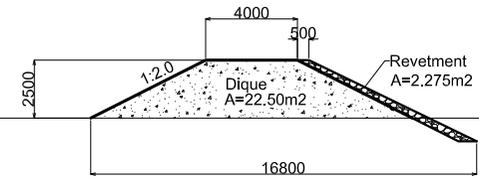
25-Year



50-Year



100-Year



A6-18

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-6

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

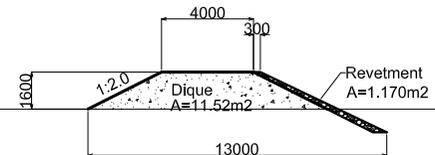
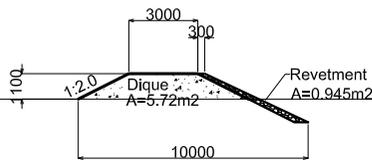
No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

50-Year

100-Year



A6-19

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-7

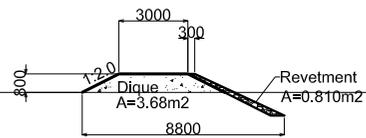
2-Year

No Need to Improve

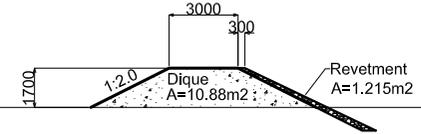
5-Year

No Need to Improve

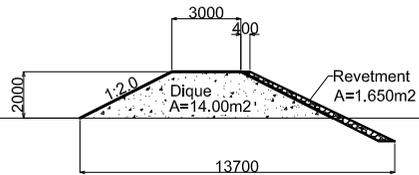
10-Year



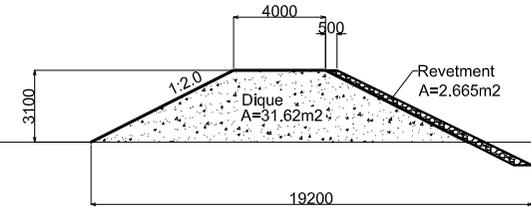
25-Year



50-Year



100-Year



A6-20

# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-8

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

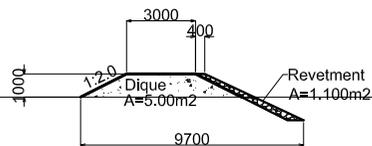
10-Year

No Need to Improve

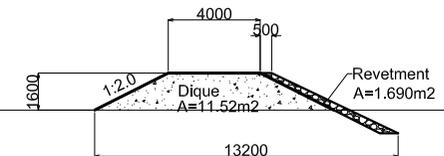
25-Year

No Need to Improve

50-Year



100-Year



# Ica : Alternative-1

Ica: Target-5-9

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

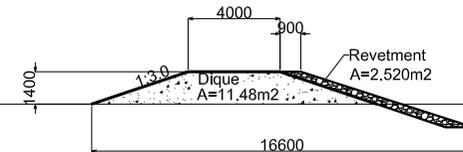
25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

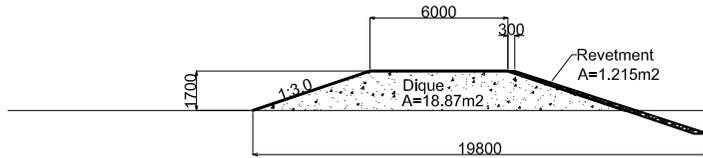
100-Year



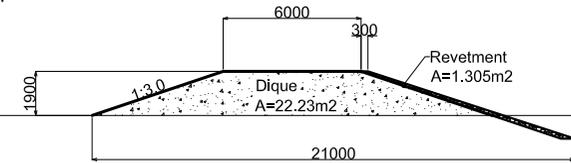
# Huallaga : Alternative-1

Huallaga: Target-1

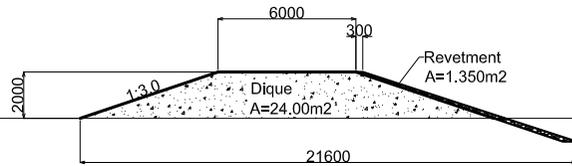
2-Year



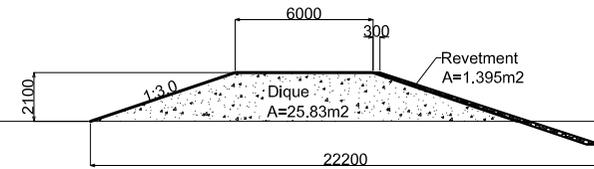
5-Year



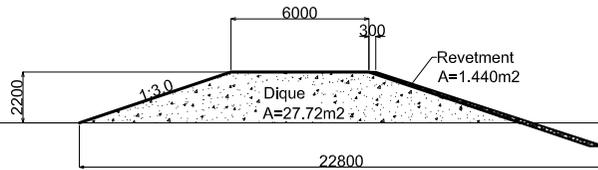
10-Year



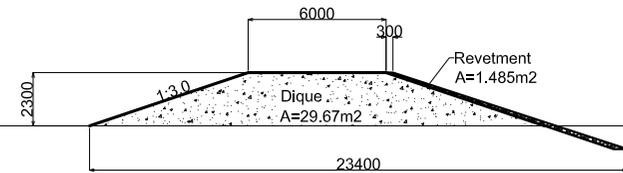
25-Year



50-Year



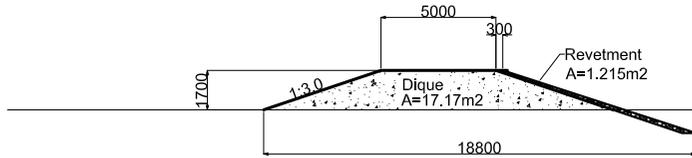
100-Year



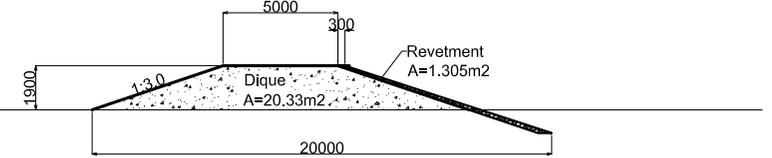
# Huallaga : Alternative-1

Huallaga: Target-2

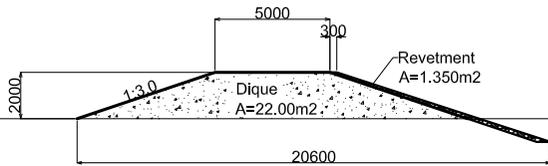
2-Year



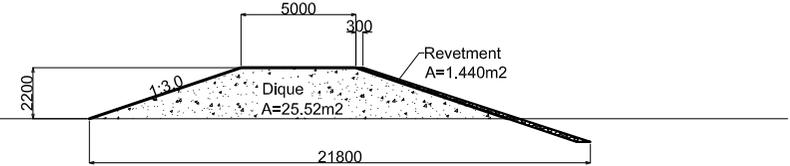
5-Year



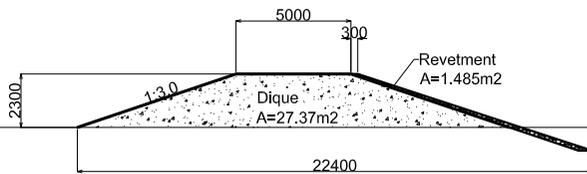
10-Year



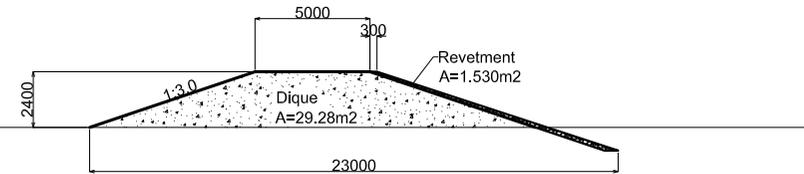
25-Year



50-Year



100-Year



A6-24

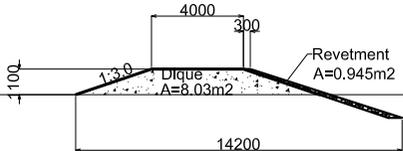
# Huallaga : Alternative-1

Huallaga: Target-3

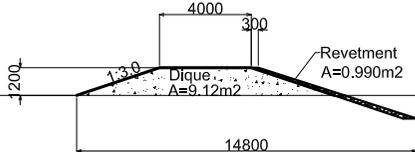
2-Year

No Need to Improve

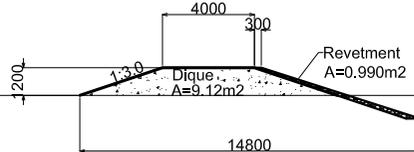
5-Year



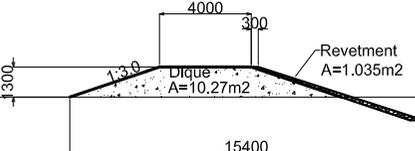
10-Year



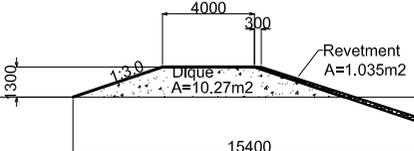
25-Year



50-Year



100-Year



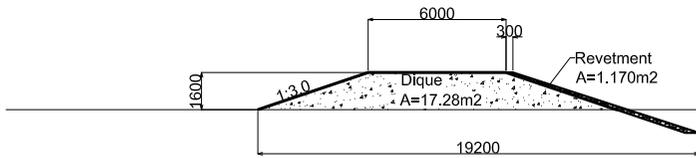
A6-25

# Huallaga : Alternative-1

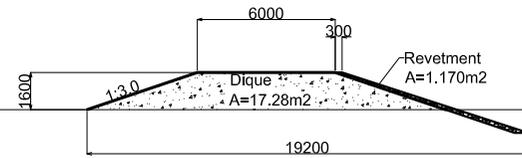
Huallaga: Target-4

A6-26

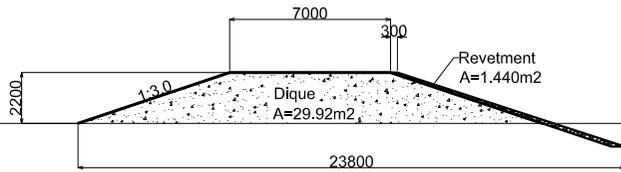
2-Year



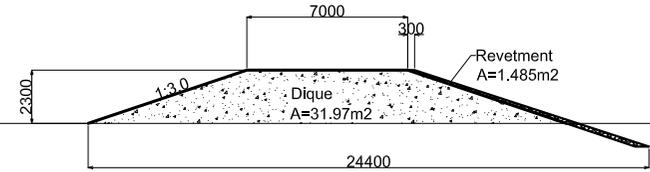
5-Year



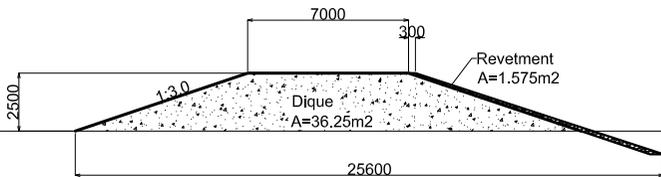
10-Year



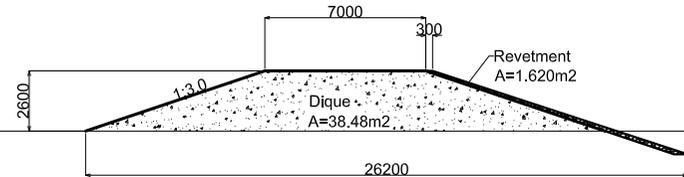
25-Year



50-Year



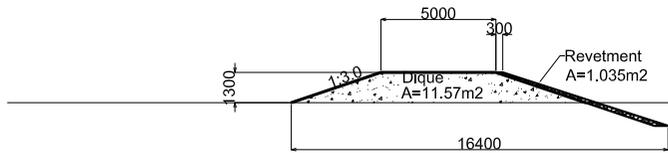
100-Year



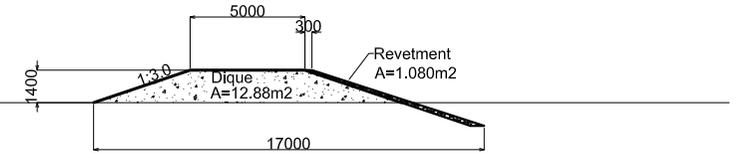
# Huallaga : Alternative-1

Huallaga: Target-5

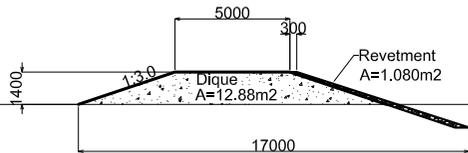
2-Year



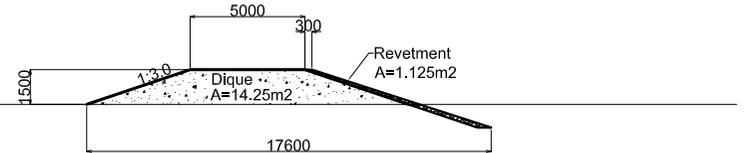
5-Year



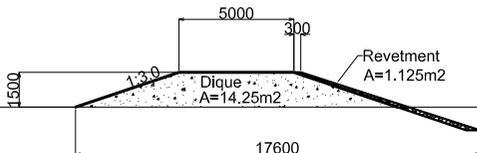
10-Year



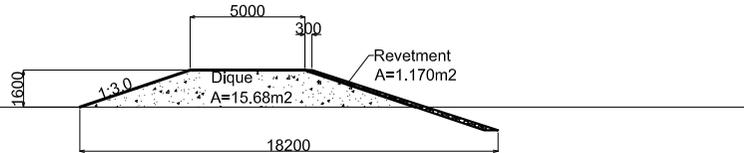
25-Year



50-Year



100-Year



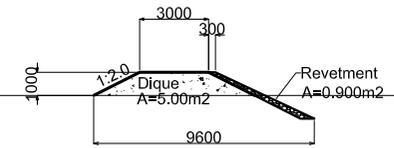
# Mantaro : Alternative-1

Mantaro: Target-1

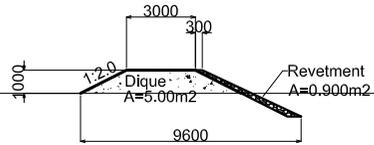
2-Year

No Need to Improve

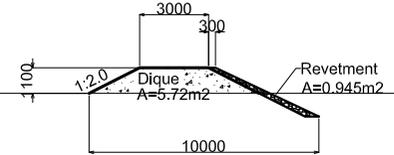
5-Year



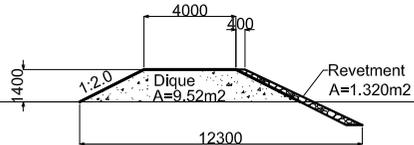
10-Year



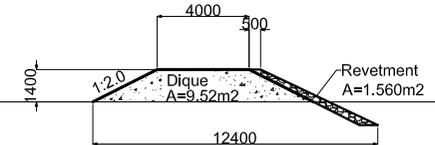
25-Year



50-Year



100-Year



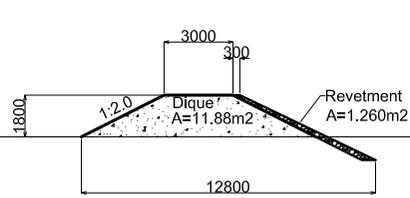
A6-28

# Mantaro : Alternative-1

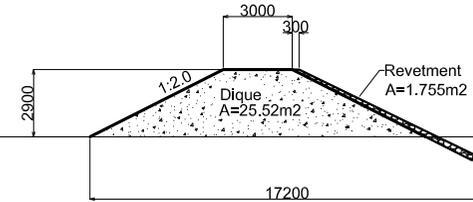
Mantaro: Target-2

A6-29

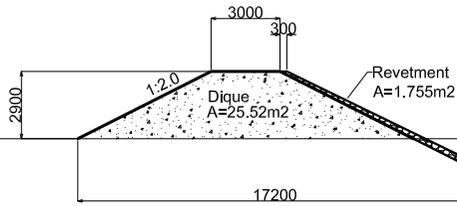
2-Year



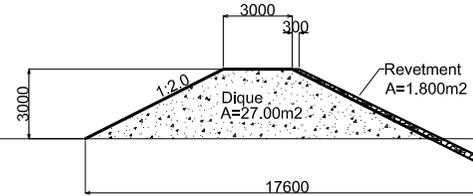
5-Year



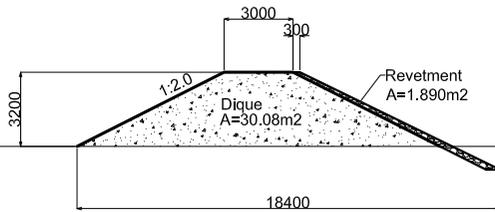
10-Year



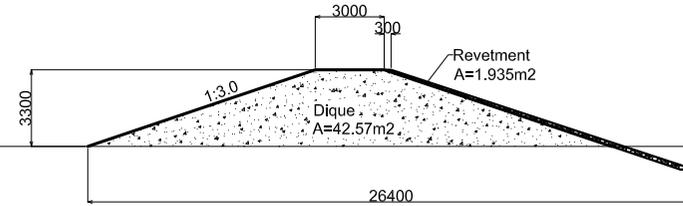
25-Year



50-Year



100-Year



# Mantaro : Alternative-1

Mantaro: Target-3

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

100-Year

No Need to Improve

# Mantaro : Alternative-1

Mantaro: Target-4

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

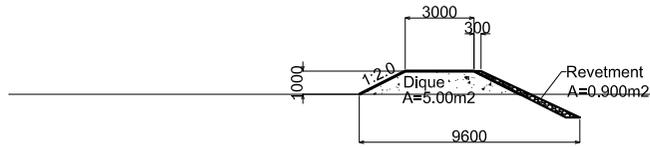
100-Year

No Need to Improve

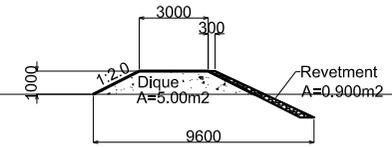
# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-1

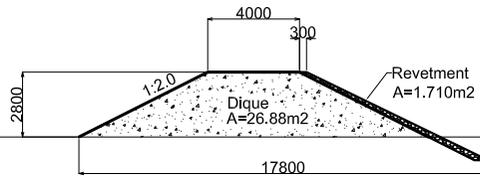
2-Year



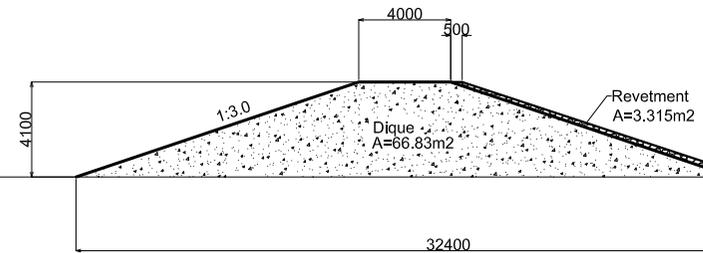
5-Year



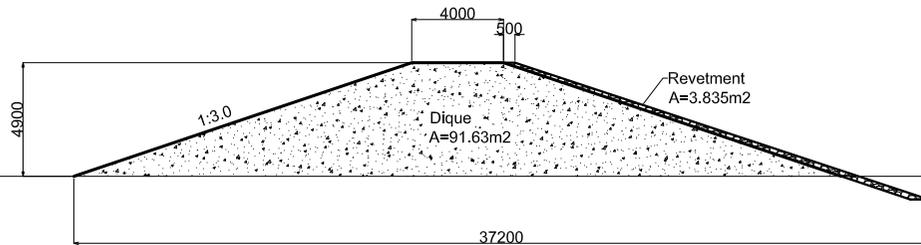
10-Year



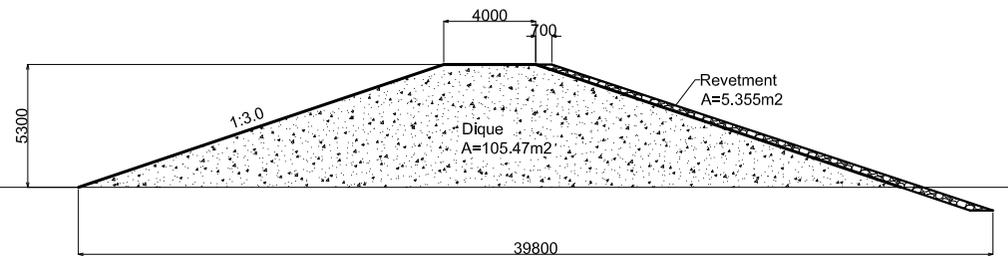
25-Year



50-Year



100-Year



A6-32

# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-2

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

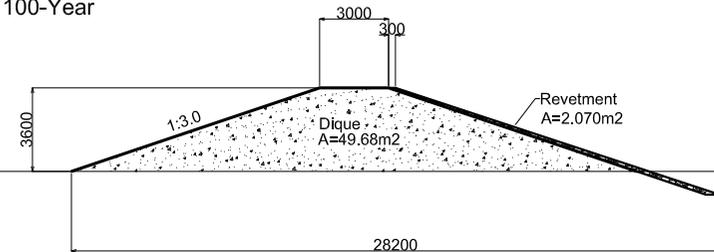
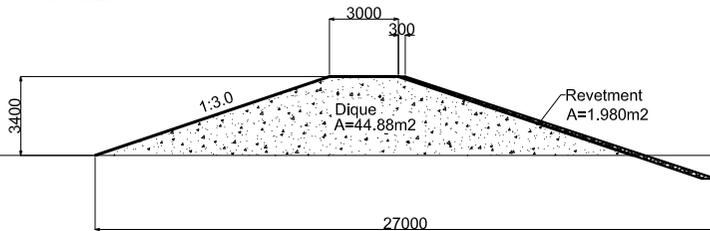
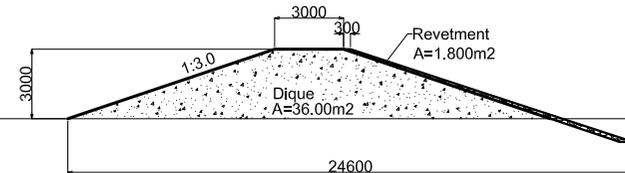
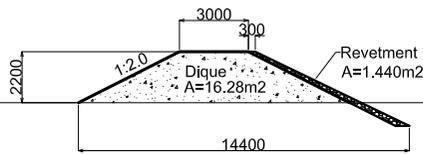
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

A6-33



# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-3

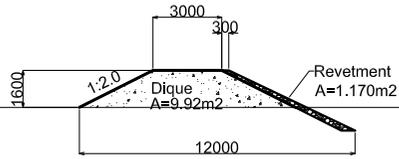
2-Year

No Need to Improve

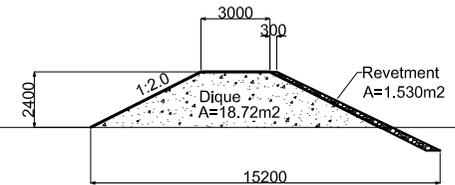
5-Year

No Need to Improve

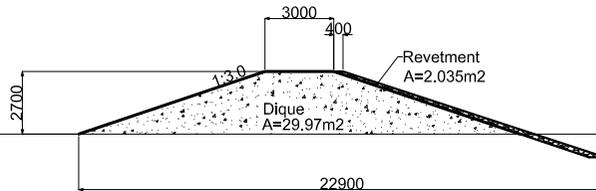
10-Year



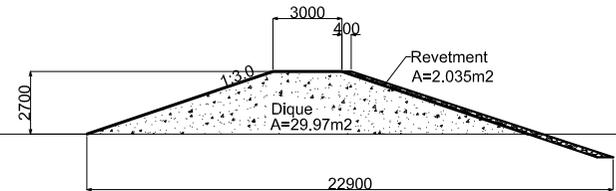
25-Year



50-Year



100-Year



# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-4  
2-Year

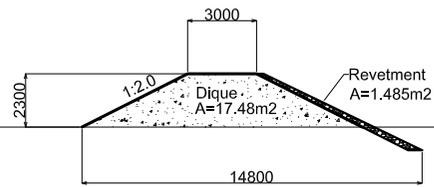
5-Year

No Need to Improve

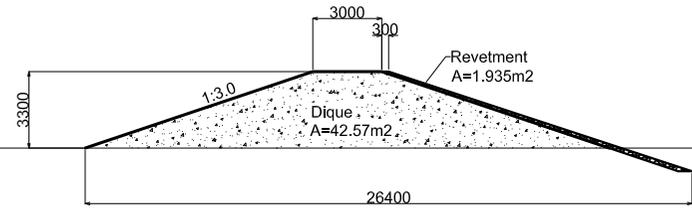
No Need to Improve

A6-35

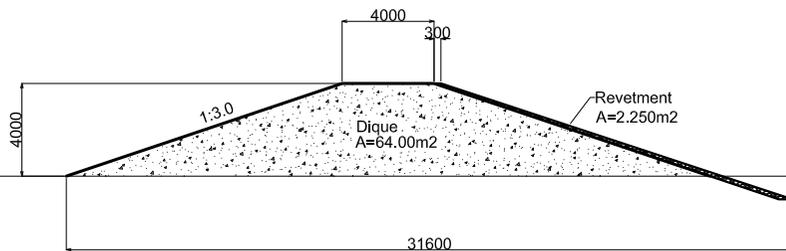
10-Year



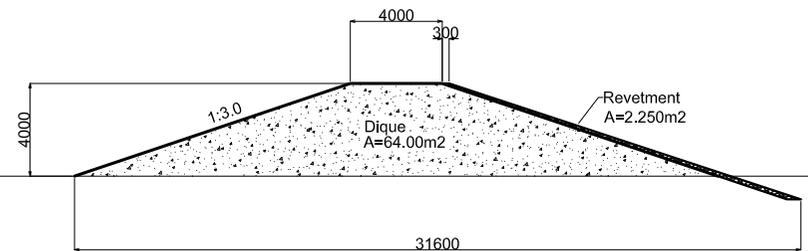
25-Year



50-Year



100-Year



# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-5

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

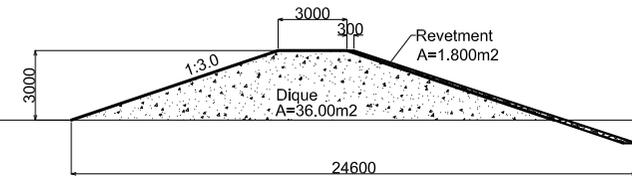
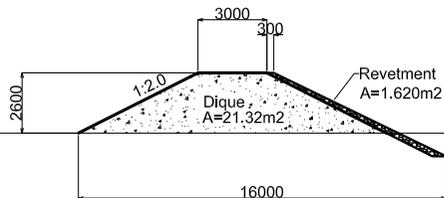
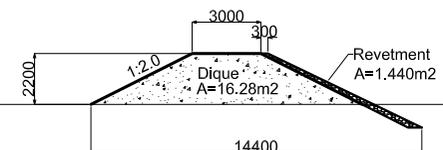
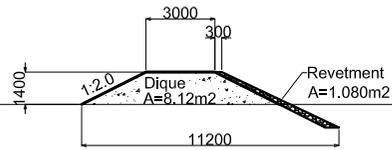
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

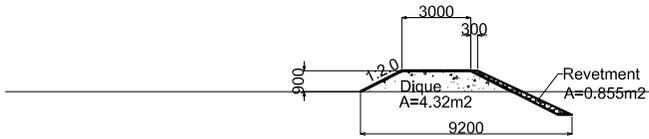
A6-36



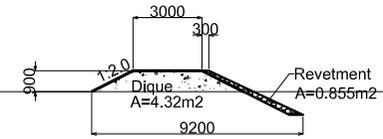
# Urubamba : Alternative-1

Urubamba: Target-6

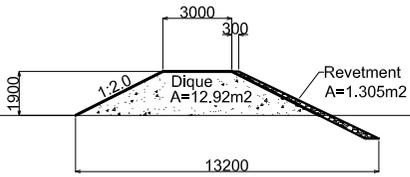
2-Year



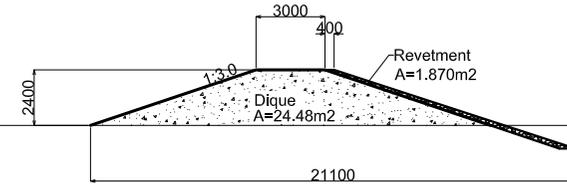
5-Year



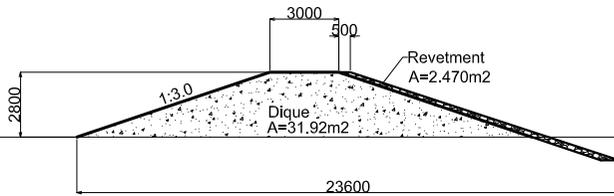
10-Year



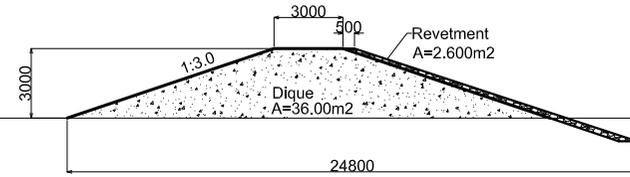
25-Year



50-Year



100-Year



A6-37

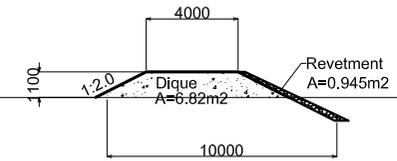
# Biabo : Alternative-1

Biabo: Target-1

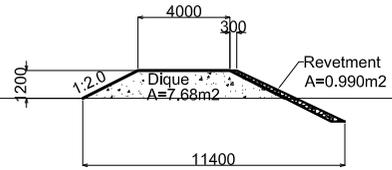
2-Year

No Need to Improve

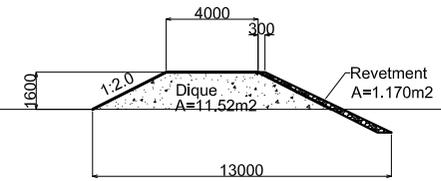
5-Year



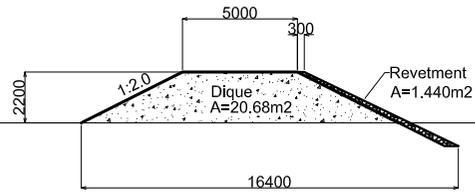
10-Year



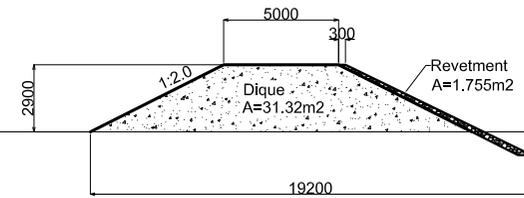
25-Year



50-Year



100-Year



A6-38

# Locumba : Alternative-1

Locumba: Target-1

2-Year

No Need to Improve

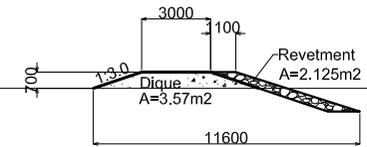
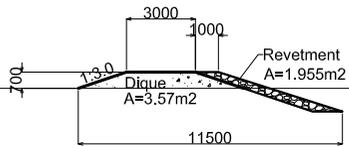
5-Year

No Need to Improve

10-Year

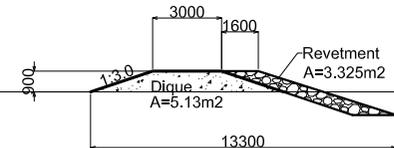
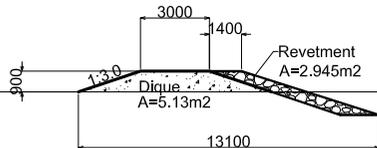
25-Year

A6-39



50-Year

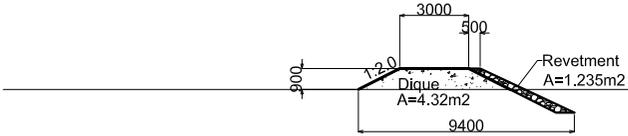
100-Year



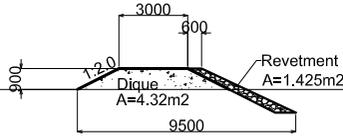
# Chancay-Lambayeque : Alternative-1

## Chancay-Lambayeque: Target-1

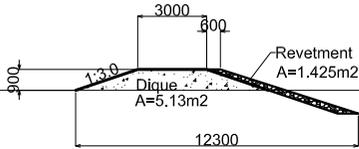
2-Year



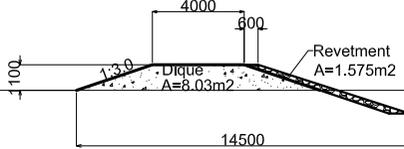
5-Year



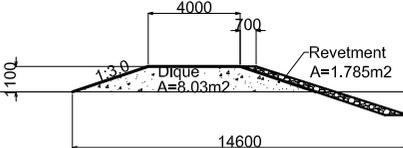
10-Year



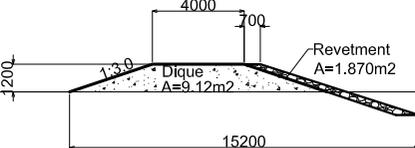
25-Year



50-Year



100-Year

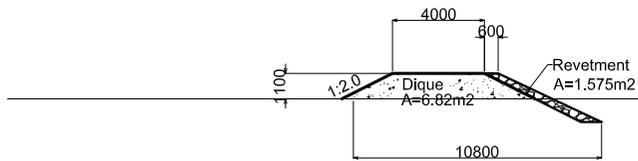


A6-40

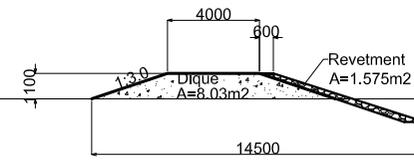
# Chancay-Lambayeque : Alternative-1

## Chancay-Lambayeque: Target-2

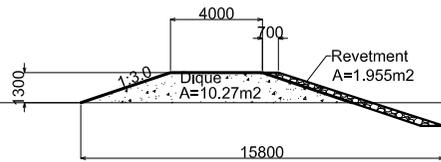
2-Year



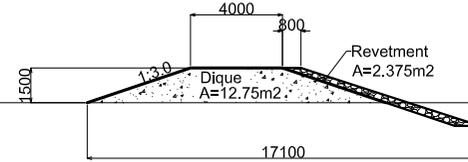
5-Year



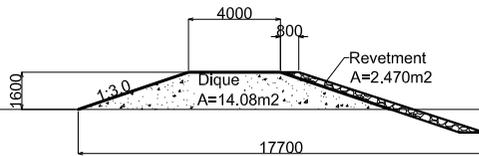
10-Year



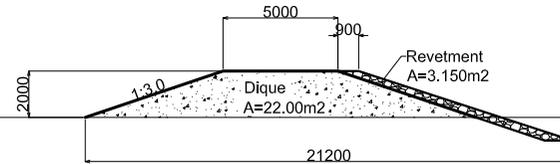
25-Year



50-Year



100-Year

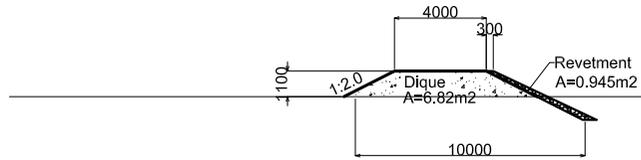


A6-41

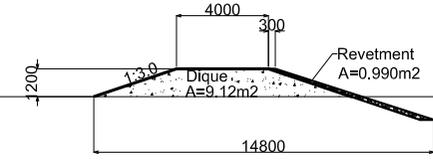
# Chancay-Lambayeque : Alternative-1

## Chancay-Lambayeque: Target-3

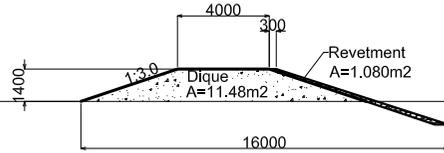
2-Year



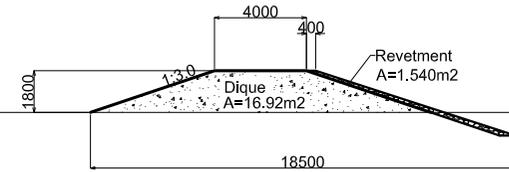
5-Year



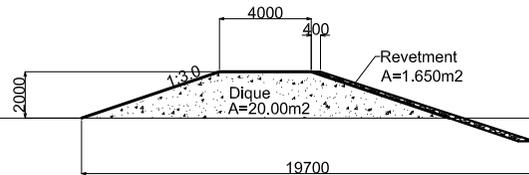
10-Year



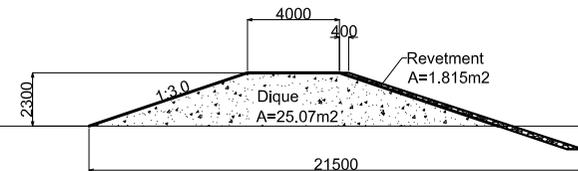
25-Year



50-Year



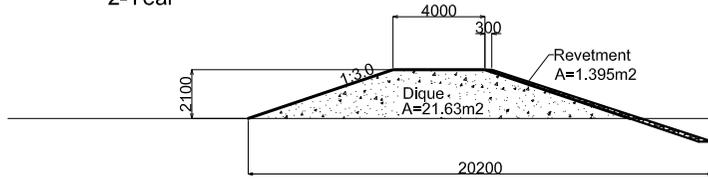
100-Year



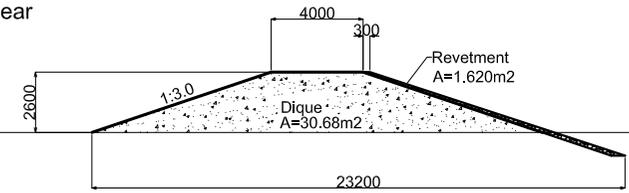
# Nanay : Alternative-1

Nanay: Target-1

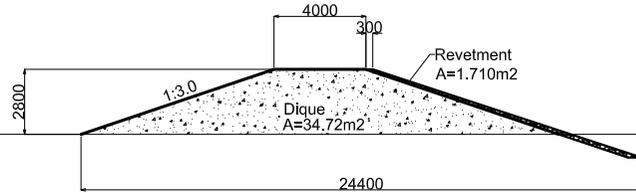
2-Year



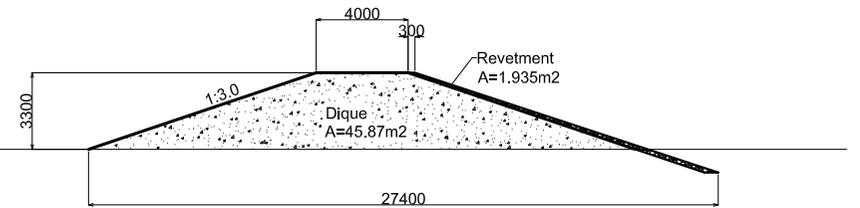
5-Year



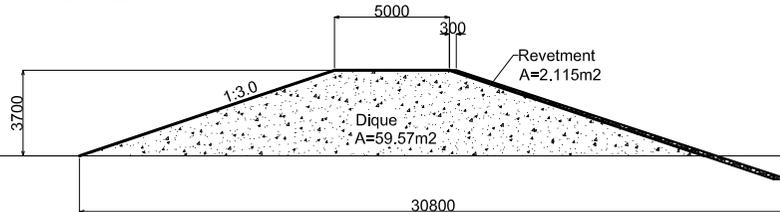
10-Year



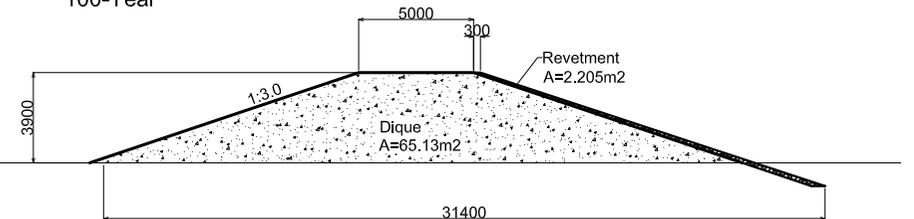
25-Year



50-Year



100-Year



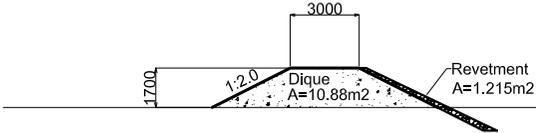
A6-43

# Ramis : Alternative-1

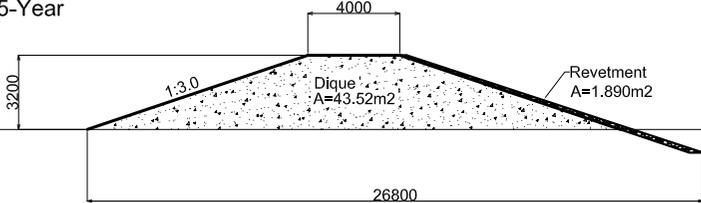
Ramis: Target-1

A6-44

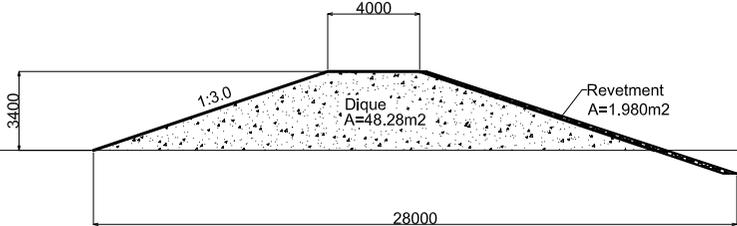
2-Year



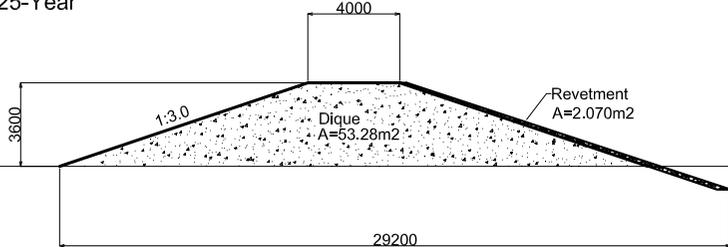
5-Year



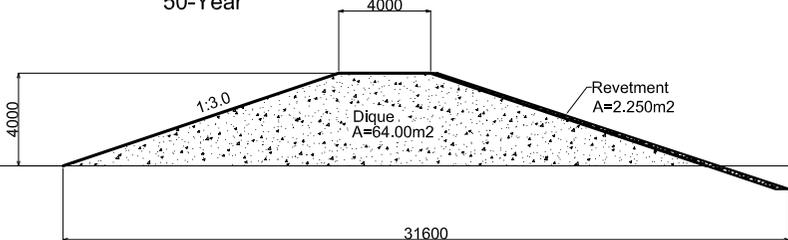
10-Year



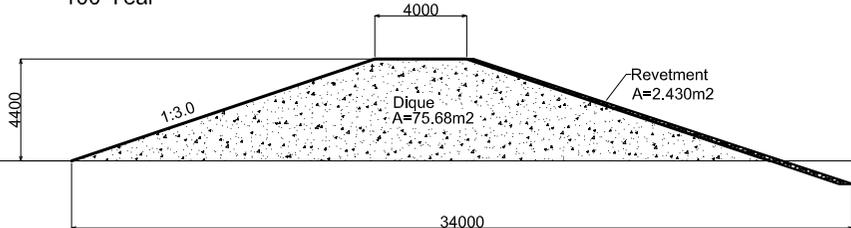
25-Year



50-Year



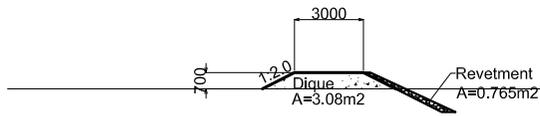
100-Year



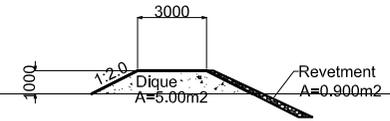
# Ramis : Alternative-1

Ramis: Target-2

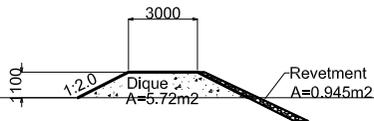
2-Year



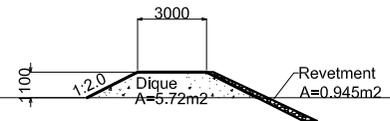
5-Year



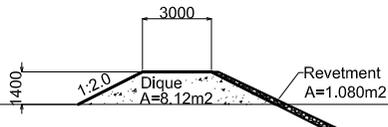
10-Year



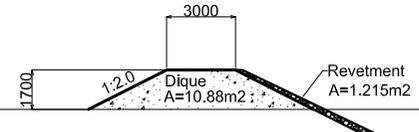
25-Year



50-Year



100-Year

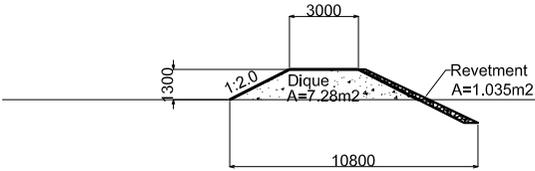


A6-45

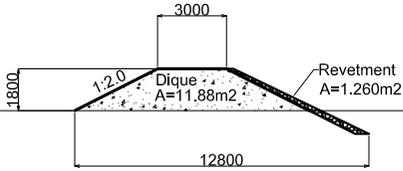
# Ramis : Alternative-1

Ramis: Target-3

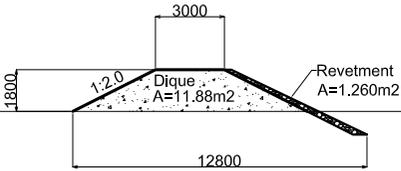
2-Year



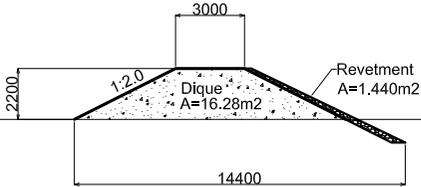
5-Year



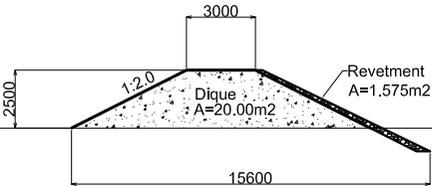
10-Year



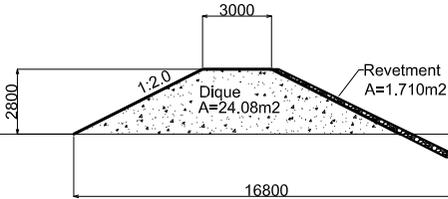
25-Year



50-Year



100-Year

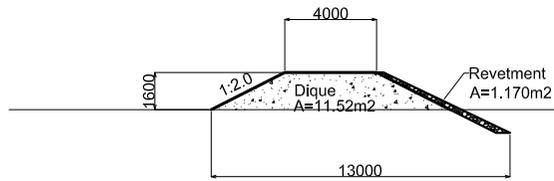


# Ramis : Alternative-1

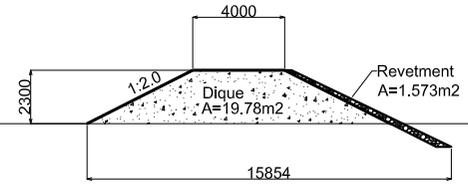
Ramis: Target-4

A6-47

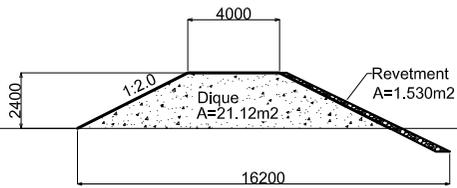
2-Year



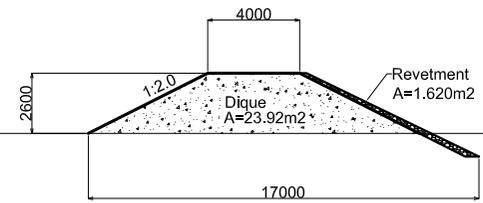
5-Year



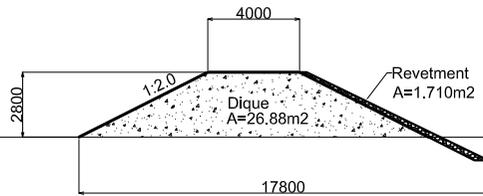
10-Year



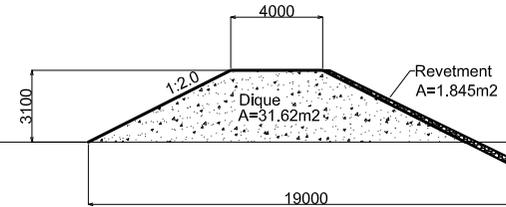
25-Year



50-Year



100-Year

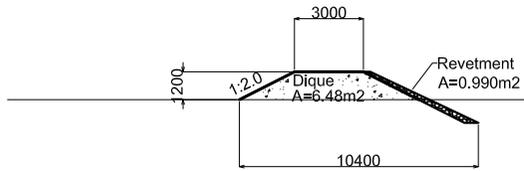


# Ramis : Alternative-1

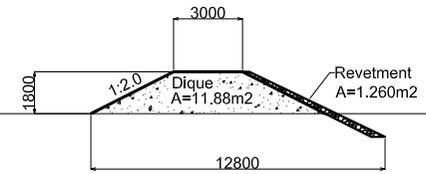
Ramis: Target-5

A6-48

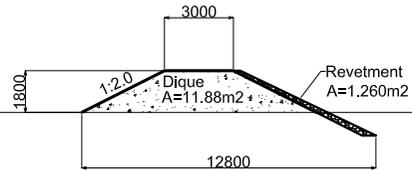
2-Year



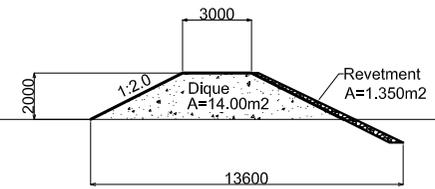
5-Year



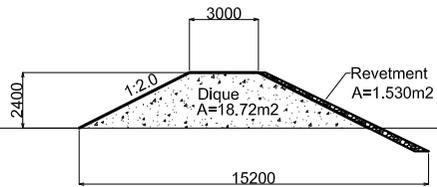
10-Year



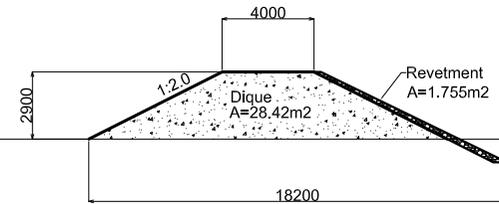
25-Year



50-Year



100-Year



## Apéndice-6-2

Sección transversal standard para el caso de Alternativa-2

# Piura : Alternative-2

Piura: Target-1

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

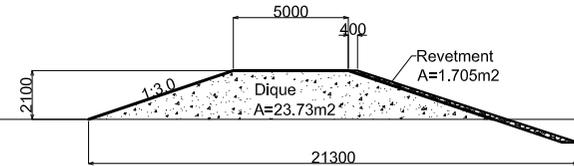
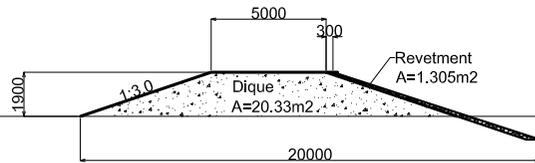
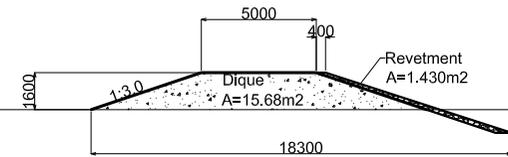
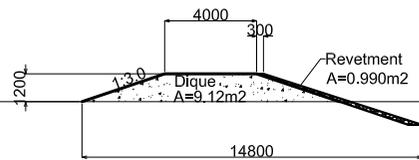
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

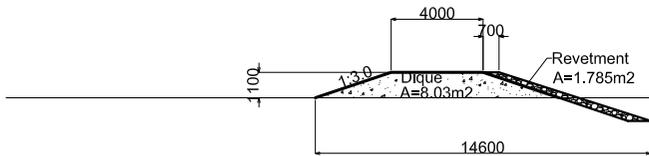
A6-50



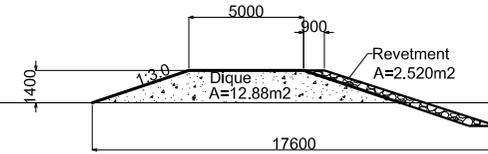
# Piura : Alternative-2

Piura: Target-2

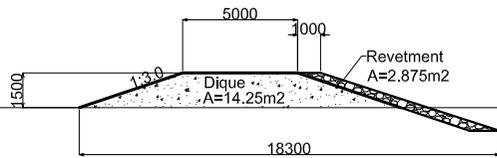
2-Year



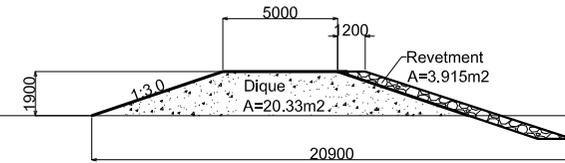
5-Year



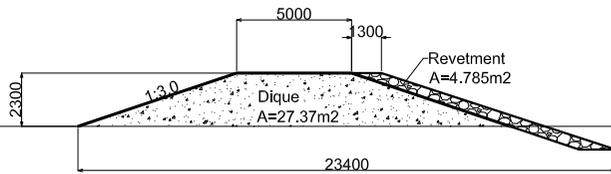
10-Year



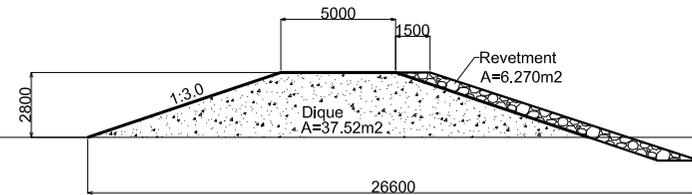
25-Year



50-Year



100-Year

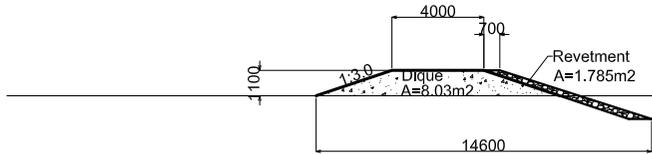


A6-51

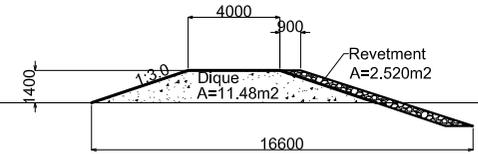
# Piura : Alternative-2

Piura: Target-3

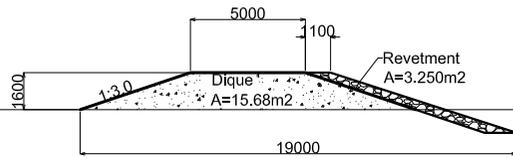
2-Year



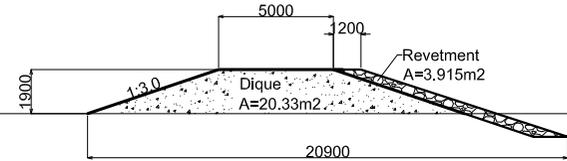
5-Year



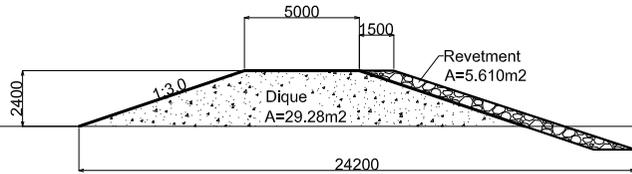
10-Year



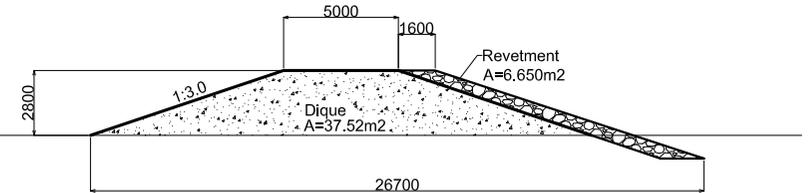
25-Year



50-Year



100-Year



# Chira : Alternative-2

Chira: Target-1

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

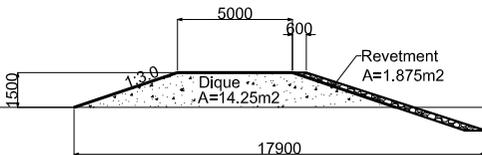
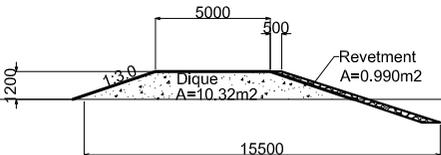
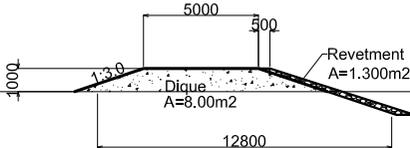
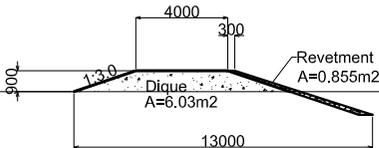
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

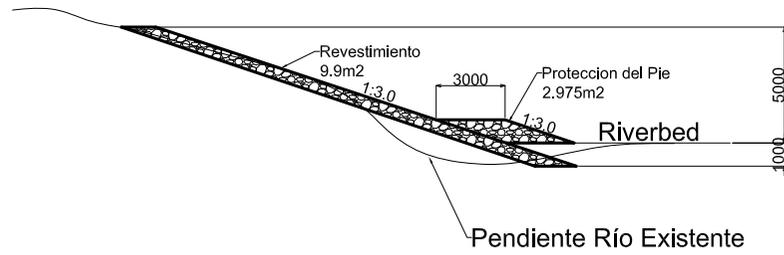
A6-53



# Chira : Alternative-2

Chira: Target-2

Only Slope Protection works are needed.



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-1

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

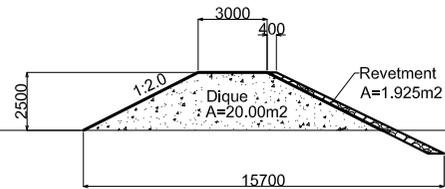
10-Year

No Need to Improve

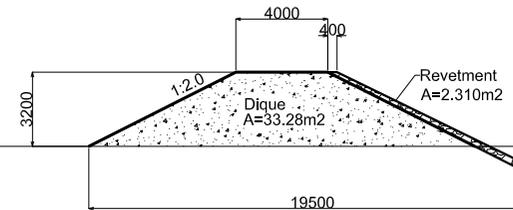
25-Year

No Need to Improve

50-Year



100-Year



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-2

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

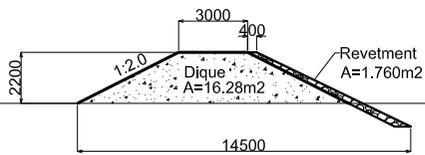
10-Year

No Need to Improve

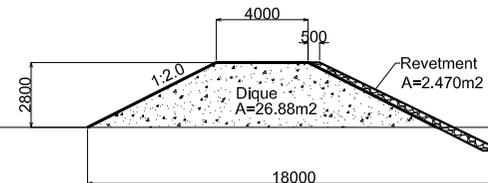
25-Year

No Need to Improve

50-Year



100-Year



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-3

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

---

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

---

50-Year

No Need to Improve

100-Year

No Need to Improve

---

# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-4

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

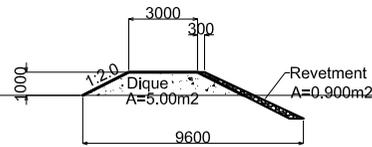
10-Year

No Need to Improve

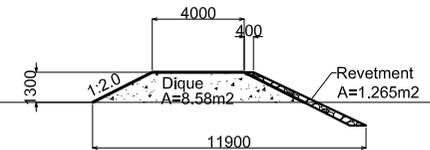
25-Year

No Need to Improve

50-Year



100-Year



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-5

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

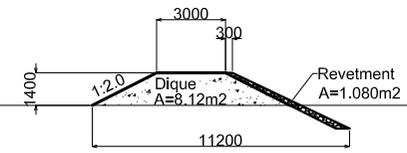
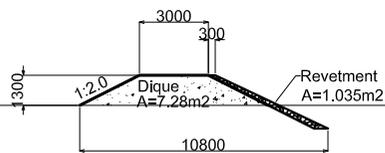
No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

50-Year

100-Year



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-6

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

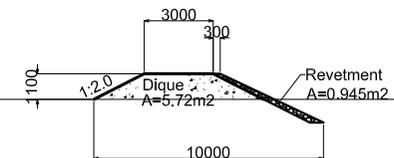
25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

100-Year



A6-60

# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-7

2-Year

No Need to Improve

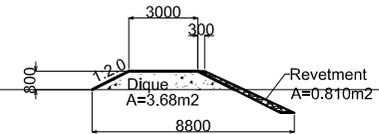
5-Year

No Need to Improve

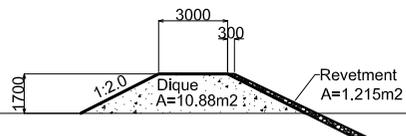
10-Year

No Need to Improve

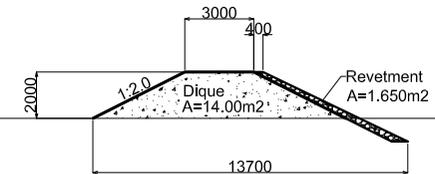
25-Year



50-Year



100-Year



A6-61

# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-8

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

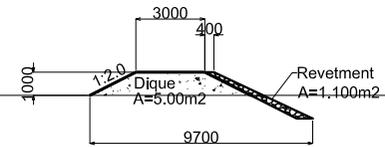
25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

100-Year



# Ica : Alternative-2

Ica: Target-5-9

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

50-Year

No Need to Improve

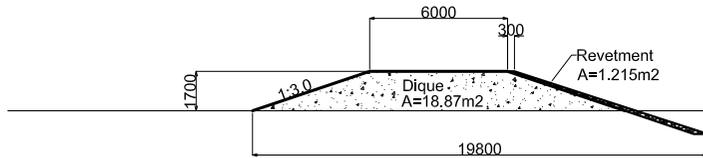
100-Year

No Need to Improve

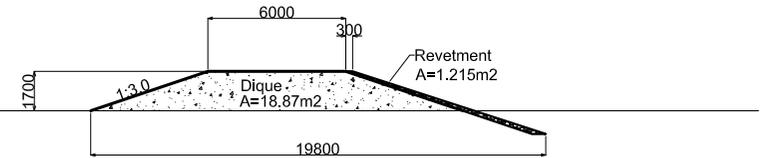
# Huallaga : Alternative-2

Huallaga: Target-1

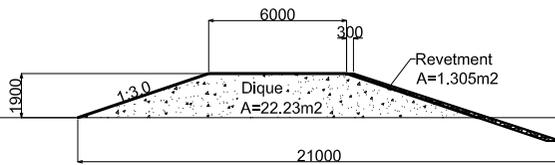
2-Year



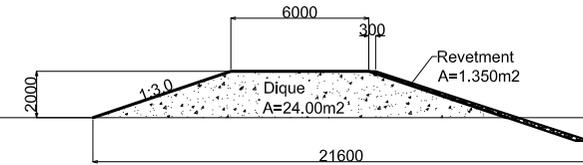
5-Year



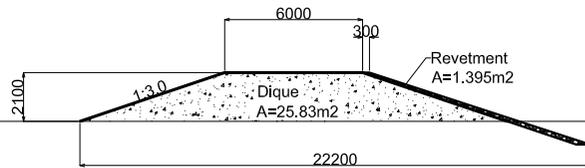
10-Year



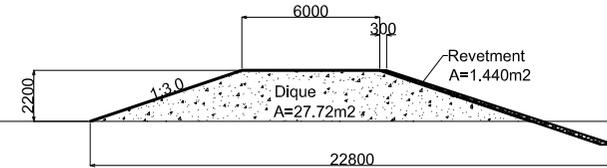
25-Year



50-Year



100-Year

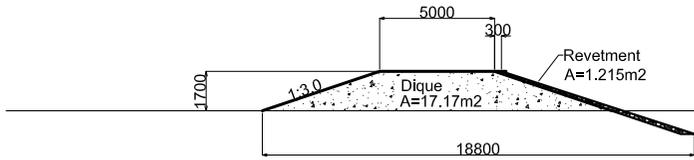


A6-64

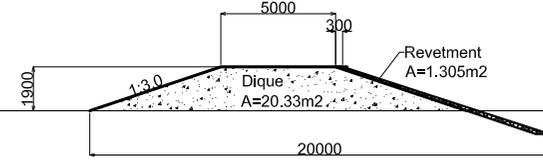
# Huallaga : Alternative-2

Huallaga: Target-2

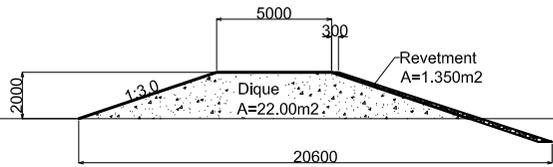
2-Year



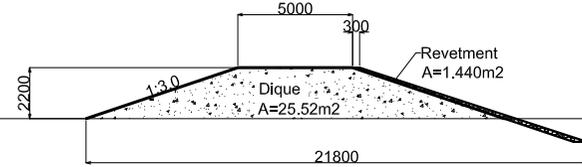
5-Year



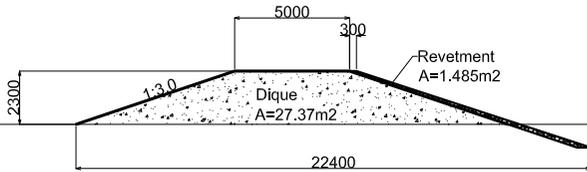
10-Year



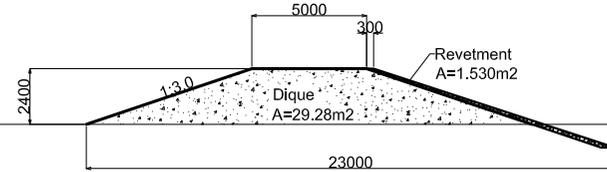
25-Year



50-Year



100-Year



A6-65

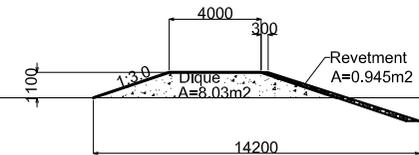
# Huallaga : Alternative-2

Huallaga: Target-3

2-Year

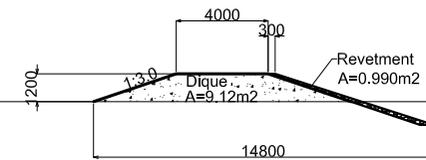
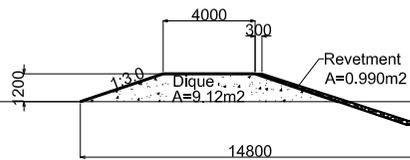
No Need to Improve

5-Year



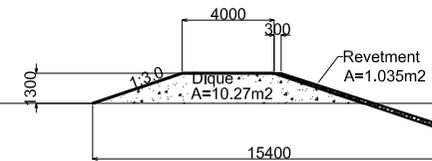
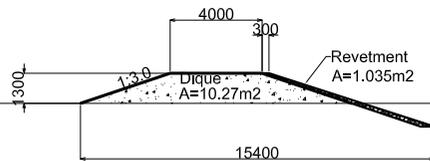
10-Year

25-Year



50-Year

100-Year

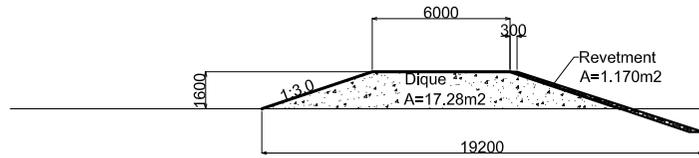


A6-66

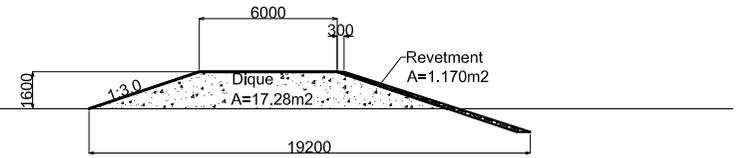
# Huallaga : Alternative-2

Huallaga: Target-4

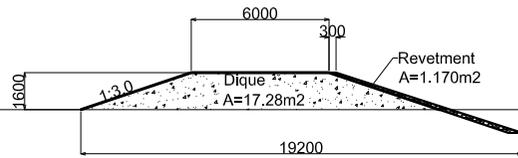
2-Year



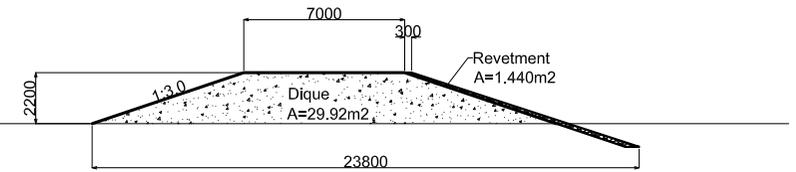
5-Year



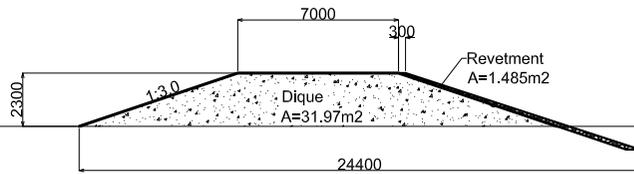
10-Year



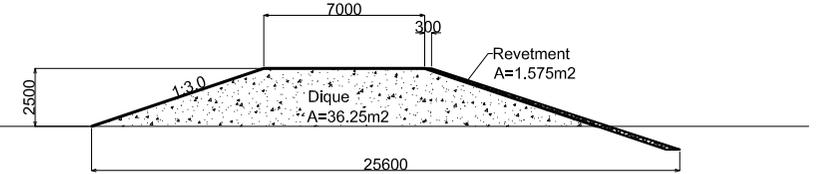
25-Year



50-Year



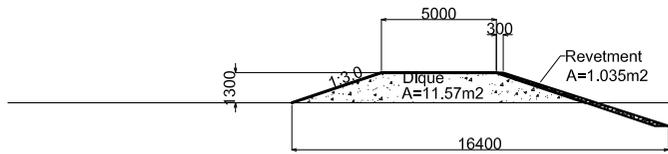
100-Year



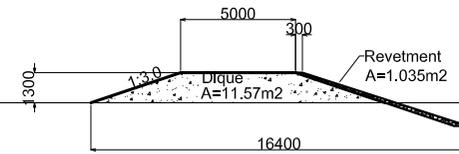
# Huallaga : Alternative-2

Huallaga: Target-5

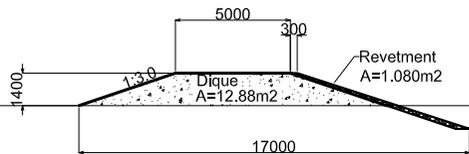
2-Year



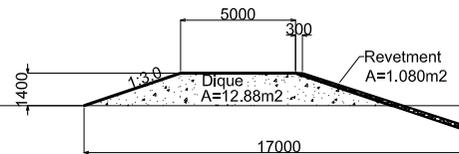
5-Year



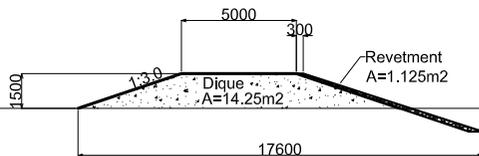
10-Year



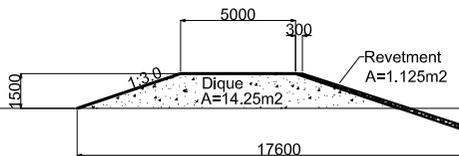
25-Year



50-Year



100-Year



A6-68

# Mantaro : Alternative-2

Mantaro: Target-1

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

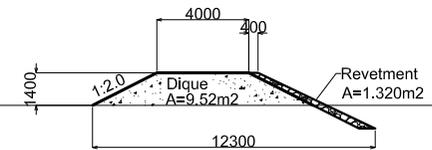
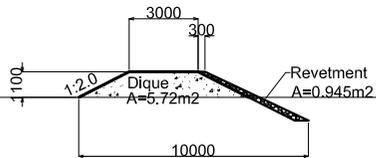
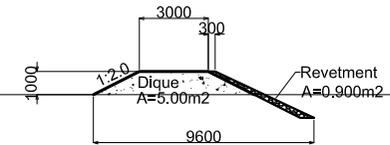
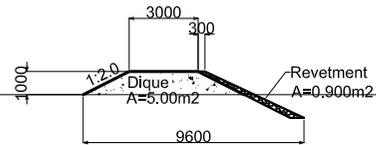
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

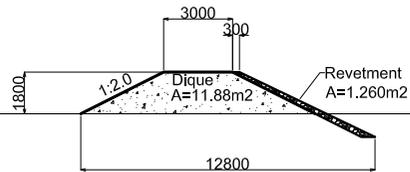
A6-69



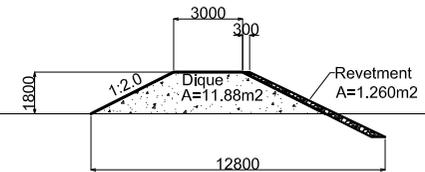
# Mantaro : Alternative-2

Mantaro: Target-2

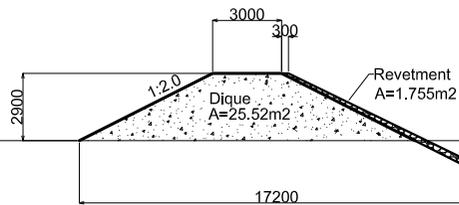
2-Year



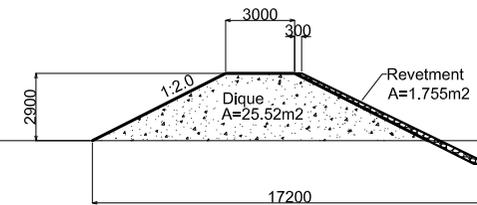
5-Year



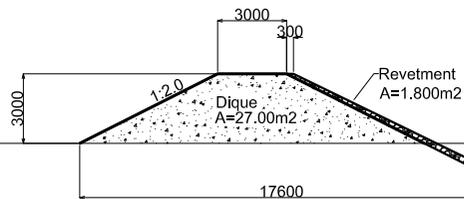
10-Year



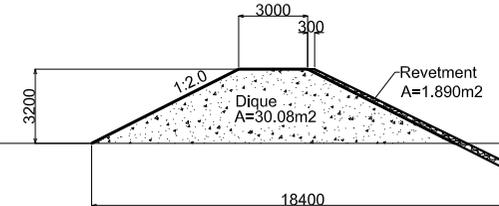
25-Year



50-Year



100-Year



A6-70

# Mantaro : Alternative-2

Mantaro: Target-3

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

---

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

---

50-Year

No Need to Improve

100-Year

No Need to Improve

---

# Mantaro : Alternative-2

Mantaro: Target-4

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

---

10-Year

No Need to Improve

25-Year

No Need to Improve

---

50-Year

No Need to Improve

100-Year

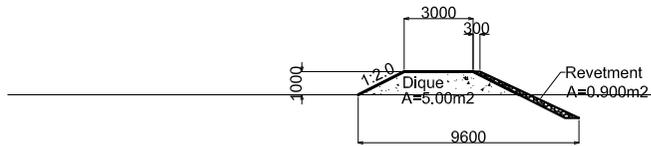
No Need to Improve

---

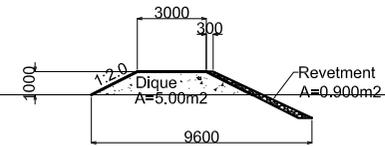
# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-1

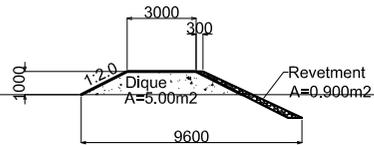
2-Year



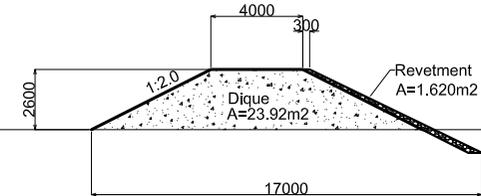
5-Year



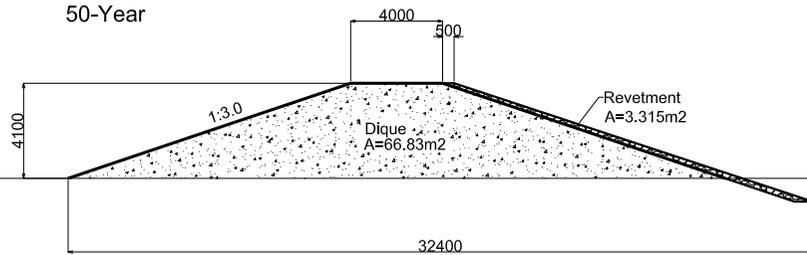
10-Year



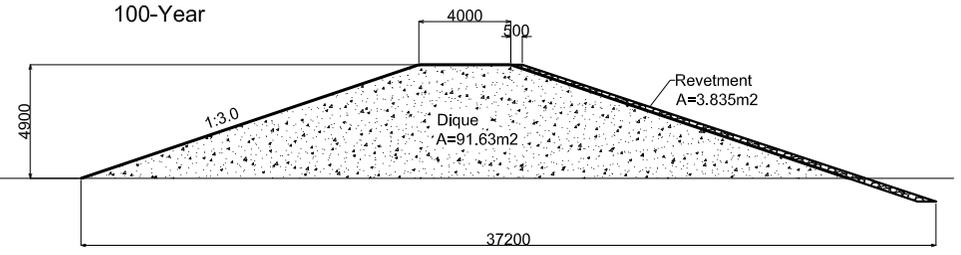
25-Year



50-Year



100-Year



A6-73

# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-2

2-Year

No Need to Improve

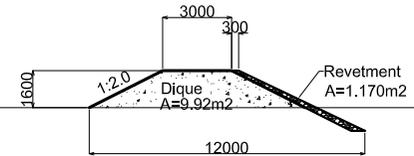
5-Year

No Need to Improve

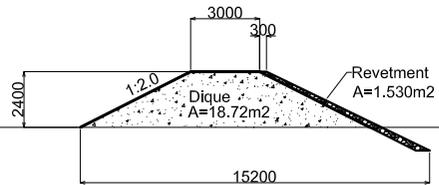
10-Year

No Need to Improve

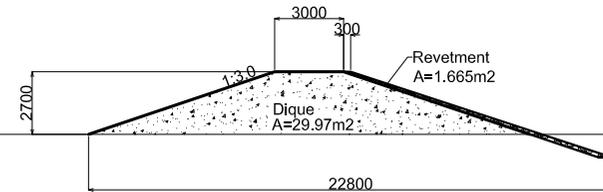
25-Year



50-Year



100-Year



A6-74

# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-3

2-Year

No Need to Improve

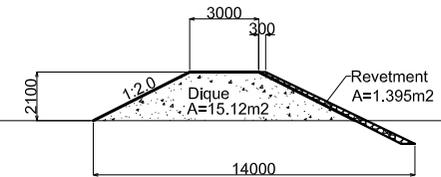
5-Year

No Need to Improve

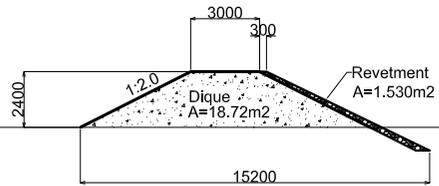
10-Year

No Need to Improve

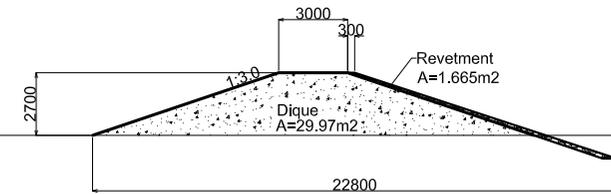
25-Year



50-Year



100-Year



A6-75

# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-4

2-Year

No Need to Improve

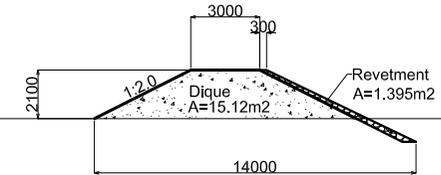
5-Year

No Need to Improve

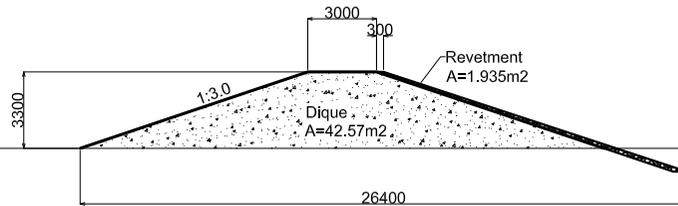
10-Year

No Need to Improve

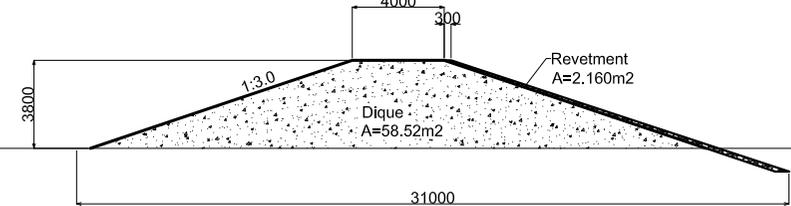
25-Year



50-Year



100-Year



# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-5

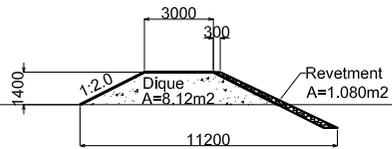
2-Year

No Need to Improve

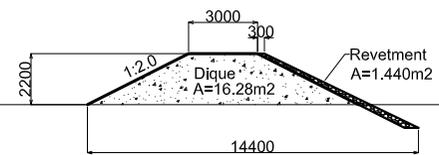
5-Year

No Need to Improve

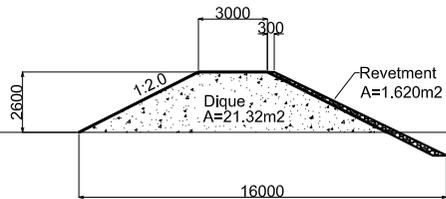
10-Year



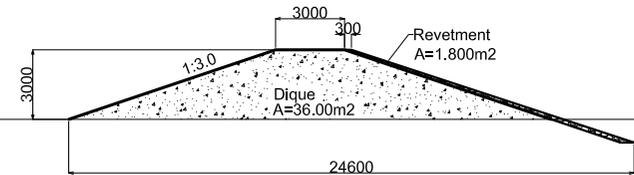
25-Year



50-Year



100-Year

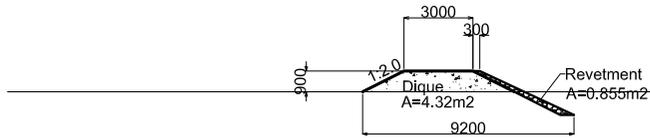


A6-77

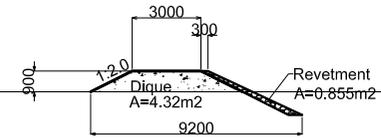
# Urubamba : Alternative-2

Urubamba: Target-6

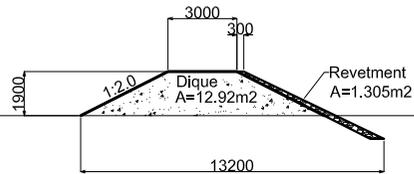
2-Year



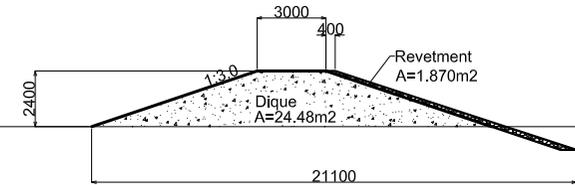
5-Year



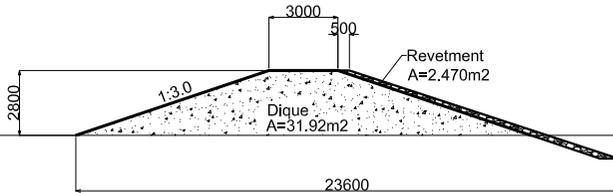
10-Year



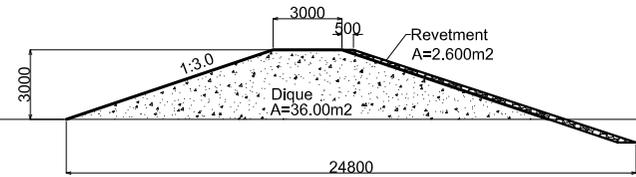
25-Year



50-Year



100-Year



A6-78

# Biabo : Alternative-2

Biabo: Target-1

2-Year

No Need to Improve

5-Year

No Need to Improve

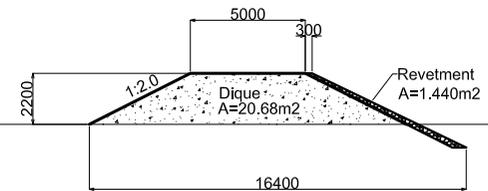
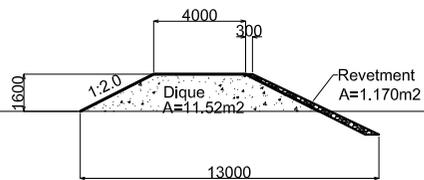
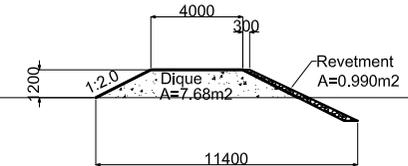
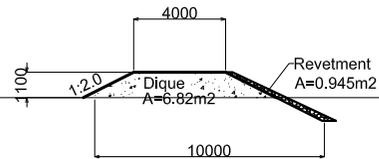
10-Year

25-Year

50-Year

100-Year

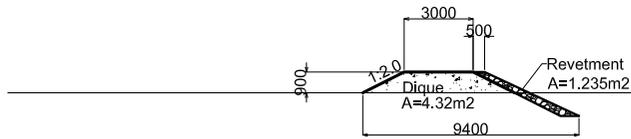
A6-79



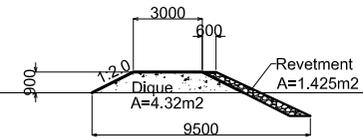
# Chancay-Lambayeque : Alternative-2

Chancay-Lambayeque: Target-1

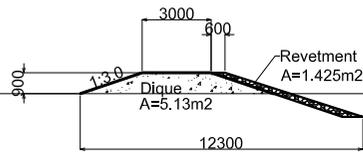
2-Year



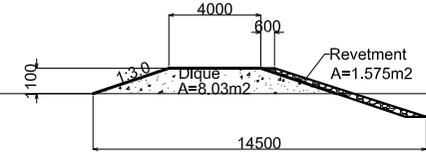
5-Year



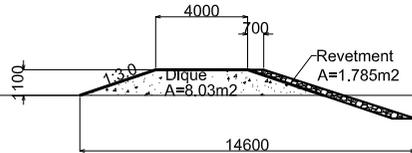
10-Year



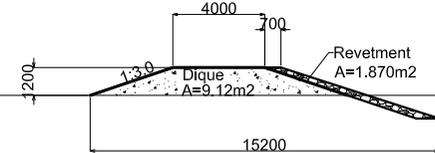
25-Year



50-Year



100-Year

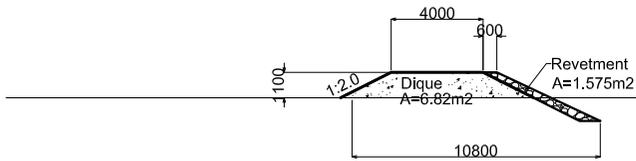


A6-80

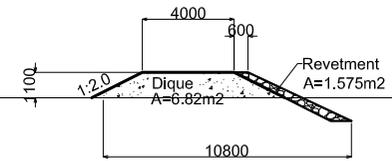
# Chancay-Lambayeque : Alternative-2

## Chancay-Lambayeque: Target-2

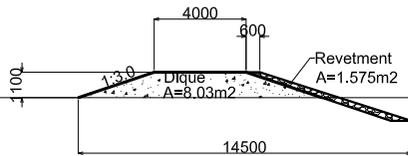
2-Year



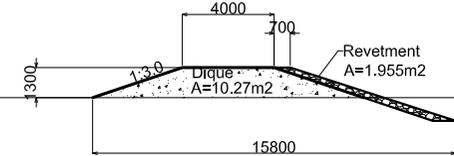
5-Year



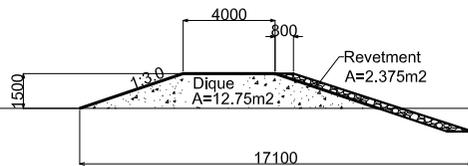
10-Year



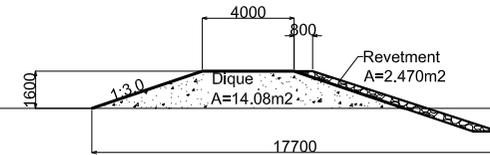
25-Year



50-Year



100-Year

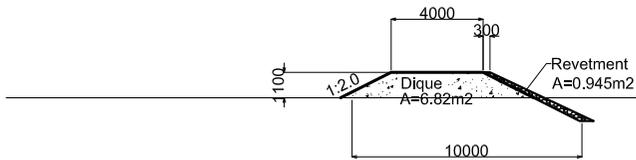


A6-81

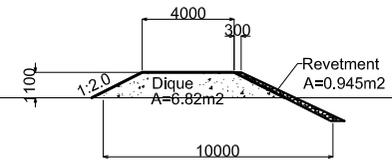
# Chancay-Lambayeque : Alternative-2

Chancay-Lambayeque: Target-3

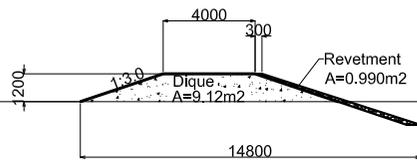
2-Year



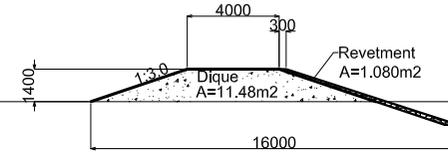
5-Year



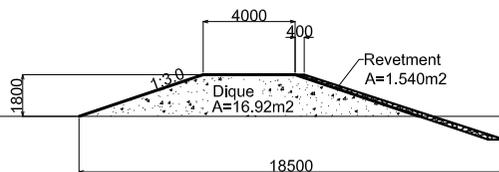
10-Year



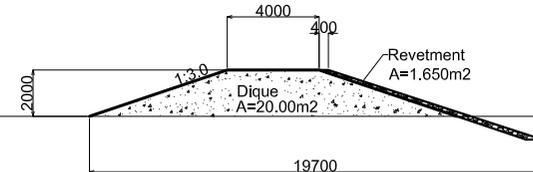
25-Year



50-Year



100-Year

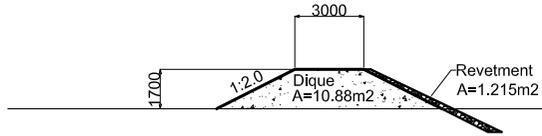


A6-82

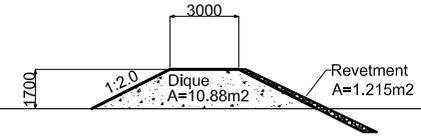
# Ramis : Alternative-2

Ramis: Target-1

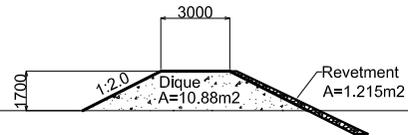
2-Year



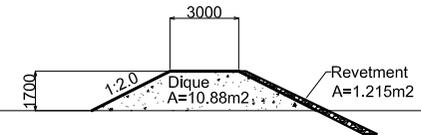
5-Year



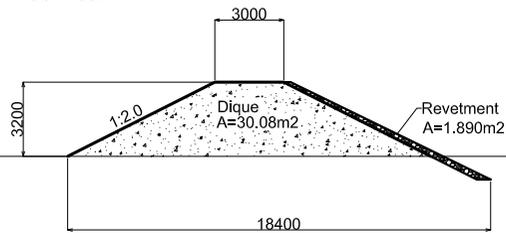
10-Year



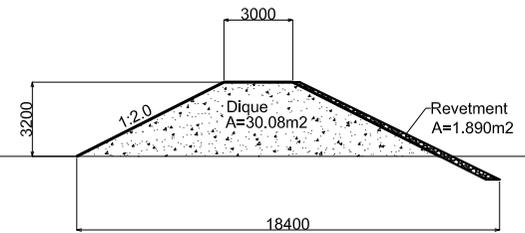
25-Year



50-Year



100-Year

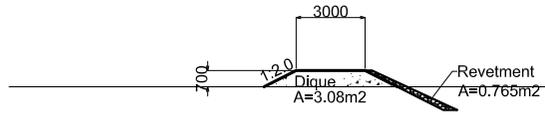


A6-83

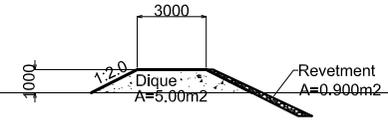
# Ramis : Alternative-2

Ramis: Target-2

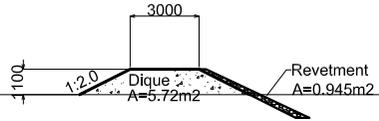
2-Year



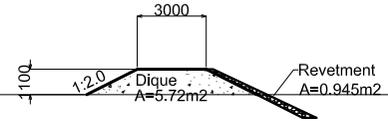
5-Year



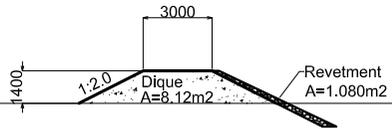
10-Year



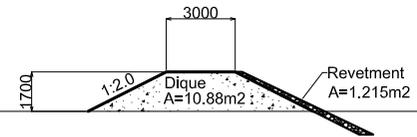
25-Year



50-Year



100-Year

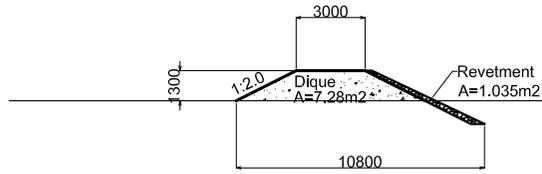


A6-84

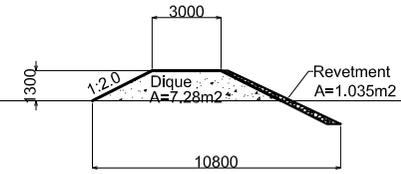
# Ramis : Alternative-2

Ramis: Target-3

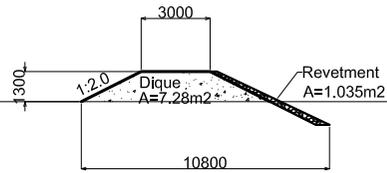
2-Year



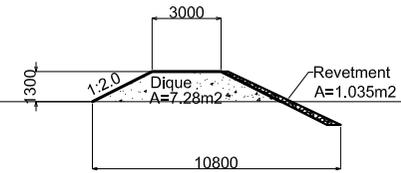
5-Year



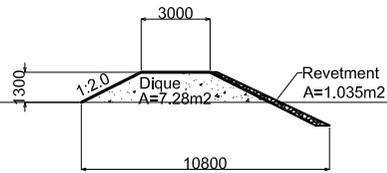
10-Year



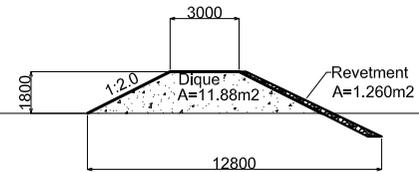
25-Year



50-Year



100-Year

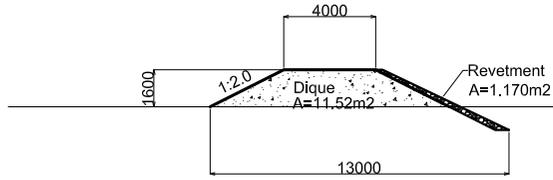


A6-85

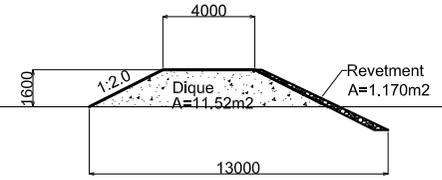
# Ramis : Alternative-2

Ramis: Target-4

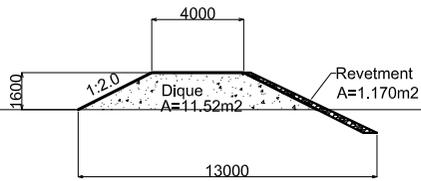
2-Year



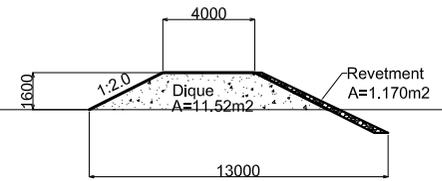
5-Year



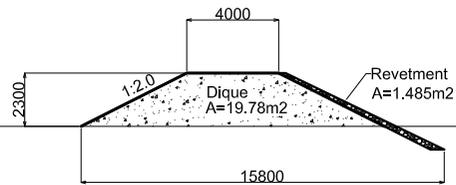
10-Year



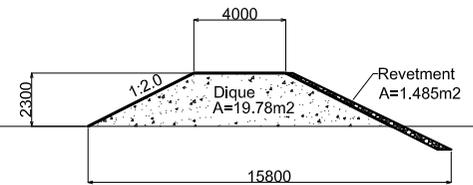
25-Year



50-Year



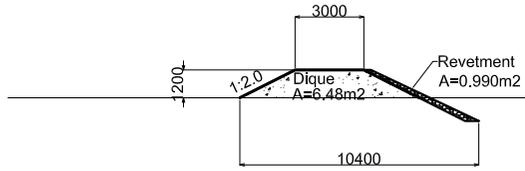
100-Year



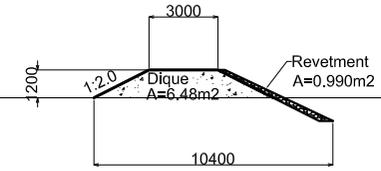
# Ramis : Alternative-2

Ramis: Target-5

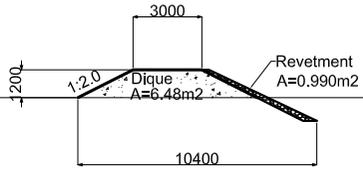
2-Year



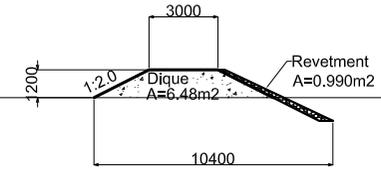
5-Year



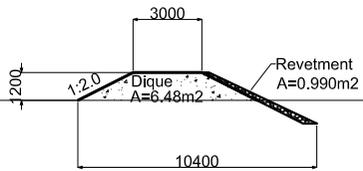
10-Year



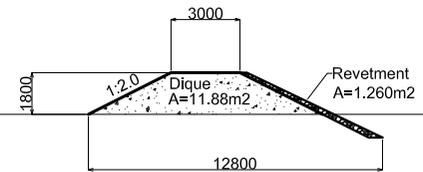
25-Year



50-Year



100-Year



A6-87

