

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DISEÑO DEFINITIVO COMPARATIVO DEL PUENTE DE 60.0 m. DE  
LUZ SOBRE EL RIO TOACHI EN BASE A LAS NORMAS AASHTO  
ESTÁNDAR Y LRFD.**

**TOMO I**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**JUAN CARLOS PRIETO SALAZAR**

**RENÉ OSWALDO TIPÁN ACEVEDO**

**ING. EDUARDO MENTOR TORRES CUNALATA**

**Quito, marzo 2010**

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DISEÑO DEFINITIVO COMPARATIVO DEL PUENTE DE 60.0 m. DE  
LUZ SOBRE EL RIO TOACHI EN BASE A LAS NORMAS AASHTO  
ESTÁNDAR Y LRFD.**

**TOMO II**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**JUAN CARLOS PRIETO SALAZAR**

**RENÉ OSWALDO TIPÁN ACEVEDO**

**ING. EDUARDO MENTOR TORRES CUNALATA**

**Quito, marzo 2010**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Carlos Prieto Salazar y René Oswaldo Tipán Acevedo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Juan Carlos Prieto Salazar

---

René Oswaldo Tipán Acevedo

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Prieto Salazar y René Oswaldo Tipán Acevedo, bajo mi dirección.

---

Ing. Eduardo Mentor Torres Cunalata



## DEDICATORIA

A mis padres Ramón y Grecia a mis hermanas Dorys y Erika por la comprensión y paciencia.

Juan Carlos Prieto Salazar



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación en primera instancia, a mi padre Oswaldo Tipán que fue mi sustento económico durante casi toda mi carrera, además su apoyo incondicional y sabios consejos me fueron muy útiles en varias situaciones particulares de mi vida estudiantil. En segunda instancia, pero no menos importante a mi amada esposa Sandra Tenenuela que me supo alentar a seguir adelante y dar el último paso sin desmayar, por su amor y comprensión que me brinda en todo momento.

Gracias a estas dos personas y su valiosa ayuda logre exitosamente una de mis metas aspiradas.

René Oswaldo Tipán Acevedo

## CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1.- ANTECEDENTES:	1
1.2.- INTRODUCCIÓN:	1
1.3.- OBJETIVO GENERAL:	2
1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	2
1.5.- ALCANCE:	2
1.6.- METODOLOGÍA:	3
<b>CAPITULO II</b>	<b>4</b>
<b>ANÁLISIS DE ESTUDIOS PRELIMINARES</b>	<b>4</b>
2.1.- ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS:	4
2.1.1.- Ubicación:	4
2.1.2.- Aspectos Topográficos:	4
2.2.- ESTUDIOS HIDROLÓGICOS - HIDRÁULICOS:	5
2.2.1.- Información Básica:	5
2.2.2.- Metodología:	5
2.2.3.- Características Geomorfológicos:	6
2.2.4.- Climatología:	7
2.2.5.- Hidrología Aplicada	11
2.2.6.- Características Hidráulicas:	16
2.2.7.- Socavación:	17
2.2.8.- Conclusiones y Recomendaciones:	18
2.3.- ESTUDIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS	19
2.3.1.- Geología	19
2.3.1.1.- Marco Geológico del Área	19
2.3.2.- INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	21
2.3.2.1.- Descripción de los Suelos encontrados	21
2.3.3.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
2.3.3.1.- Conclusiones	22
2.3.3.2.- Recomendaciones	23
<b>CAPITULO III</b>	<b>25</b>
<b>DISEÑO ESTRUCTURAL (CÓDIGO AASHTO ESTÁNDAR)</b>	<b>25</b>
3.1.- Consideraciones de diseño	25
3.2.- Normas de diseño	25
3.3.- Datos generales:	25
3.3.1.- Geometría General:	25
3.3.2.- Materiales a Usarse:	25
3.4.- Datos particulares:	25
3.4.1.- Geometría:	25
3.4.2.- Sobrecarga:	27
3.4.3.- Esfuerzos Admisible:	27
3.5.- Diseño de protecciones	28
3.6.- Cargas posteriores:	31
3.7.- CÁLCULO DEL TABLERO:	32
3.7.1.- Sección Trasversal:	32

3.7.2.- Carga Muerta	33
3.7.3.1.-Voladizo	35
3.7.3.2.-Tramo y Apoyos Interiores	36
3.7.4.- Momentos Últimos de Diseño	37
3.7.5.- Armaduras	38
3.7.5.1.-Armadura a Flexión	38
3.7.5.2.- Armadura de Distribución:	40
3.7.5.3.- Armadura de Temperatura:	40
3.8.- CÁLCULO DE VIGAS	42
3.8.1.- Datos Iniciales para el Diseño Compuesto	42
3.8.2.- Cargas	43
3.8.2.1.- Carga Muerta	43
3.8.2.2.-Carga Viva	44
3.8.2.3.-Impacto:	44
3.8.2.4.-Factor de Distribución: Art.3.23	44
3.8.2.4.-Cargas de Contracción y Temperatura:	46
3.8.3 Cálculo de Momentos:	47
3.8.3.1 Momento de Carga Muerta	47
3.8.3.2 Momento de Carga Viva + Impacto	48
3.8.3.4 Momentos por Contracción y Temperatura	52
3.8.4 Cálculo de cortes	52
3.8.4.1 Distribución de Rigidizadores	52
3.8.4.2 Cortes por Carga Permanente	53
3.8.4.3 Cortes de Carga Viva + Impacto	53
3.8.4.4 Esfuerzos Cortantes	54
3.8.5 Secciones Resistentes: Propiedades Geométricas y Esfuerzos	57
3.8.6.- Rigidizadores	64
3.8.6.1.- Rigidizador Transversal Intermedio	64
3.8.6.2 Rigidizador Longitudinal	69
3.8.6.3 Rigidizador de Apoyo	72
3.8.7 Arriostamiento inferior	76
3.8.8.- Arriostamiento vertical.- diafragmas	80
3.8.8.1.- Introducción	80
3.8.9 Conectores de corte	84
3.8.9.1 Introducción	84
3.8.9.2 Cálculos	88
3.8.10.- ESTIMACIÓN de deflexiones	91
3.8.10.1 Introducción	91
3.8.10.2 Cálculos	93
3.8.11.- CONEXIONES	96
3.8.11.1 INTRODUCCIÓN	96
3.8.11.2 Unión Alma – Patín	99
3.8.11.3 Unión Alma – Rigidizador de Apoyo	101
3.8.11.4 Unión de Tramos	101
3.8.11.5 Unión de Conectores de Corte.	101
3.9.- INFRAESTRUCTURA	103
3.9.1.- Estribos	103
3.9.1.1. Geometría	103

3.9.1.2 Cargas	104
3.9.2.- Diseño	112
3.9.2.1. Dedo	112
3.9.2.2. Talón	114

## **CAPITULO IV 116**

### **APLICACION DE LAS NORMAS AASHTO LRFD AL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUNTES 116**

4.1.- INTRODUCCIÓN AL AASHTO LRFD:	116
4.2.- Campo de aplicación de las especificaciones:	117
4.3.- DETERMINACIÓN de la luz de cálculo:	118
4.4.- SEPARACIÓN de diafragmas:	119
4.5.- SEPARACIÓN entre rigidizadores transversales INTERMEDIOS.	125
4.6.- Esfuerzos admisibles y combinaciones de carga	130
4.7 Barandas y Protecciones	142
4.8.- Espesor del tablero	142
4.9.- Ubicación de la carga viva en el voladizo	146
4.10.- Ancho de distribución	148
4.11.- Método de análisis de losas y tableros	150
4.12.- Armaduras	150
4.130.- REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS COMPUESTAS	152
4.14.- Sobrecargas	154
4.15.- Factor de DISTRIBUCIÓN	156

## **CAPITULO V 157**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL (CÓDIGO AASHTO LRFD) 157**

5.1.- SOBRECARGA:	157
5.2.- Esfuerzos admisibles:	158
5.3.- Diseño de protecciones:	159
5.3.1. Metodología de Cálculo de Barandas Vehiculares de Hormigón Armado Mediante Líneas de Rotura:	171
5.4.- Carga del parapeto por unidad de longitud:	179
5.5.- Cálculo del tablero	179
5.5.1.- Sección Transversal:	179
5.5.2.- Carga Muerta: Voladizo – Tramo	181
5.5.3.- Carga Viva	184
5.5.4.- Momentos Últimos de Diseño:	191
5.5.4.1. Cálculo del Momento Positivo Factorado:	191
5.5.4.2. Cálculo del Momento Negativo Factorado:	192
5.5.5.- Armaduras:	194
5.6.- CÁLCULO DE VIGAS	208
5.6.1.- Datos Iniciales para el Diseño Compuesto	208
5.6.2.- Cargas	210
5.6.3.- Cálculo de Momentos	214
5.6.3.1.- Momentos de Carga Muerta	214
5.6.3.1.- Momentos de Carga Viva + IM	216
5.6.4.- Cálculo de cortes	220

5.6.4.1 Distribución de Rigidizadores	220
5.6.4.2.- Cortes por Cargas Permanentes	221
5.6.4.3.- Corte de Carga Viva + IM	221
5.6.5.- Secciones resistentes	223
5.6.6.- Arriostramiento Inferior	253
5.6.7.- Rigidizadores	264
5.6.7.1.- Diseño de Rigidizadores Transversales Intermedios	264
5.6.7.2.- Diseño de Conectores de Corte:	269
5.6.7.3.- Diseño de Rigidizadores de Apoyo:	279
5.6.8.- Diseño de Conexiones Soldadas:	286
5.6.8.1.- Introducción	286
5.6.8.2.- Unión Rigidizador de Apoyo - Alma	290
5.6.8.3.- Unión soldada entre el Alma y las Alas	292
5.6.9.- Diseño de Diafragmas o marcos transversales:	294
5.6.10.-Estimación de Deflexiones:	299
5.6.10.1.- Introducción	299
5.6.10.2.- Cálculos	300
<b>CAPITULO VI</b>	<b>303</b>
<b>PRESUPUESTO Y PROGRAMACION DE OBRA</b>	<b>303</b>
6.1.- CONCEPTOS GENERALES	303
6.1.1.- PRESUPUESTACIÓN.	303
6.1.2.- RUBROS.	303
6.1.3.- PRESUPUESTO.	303
6.1.4. -PARTES DE UN PRESUPUESTO.	304
6.1.5.- COSTO DE UNA OBRA.	304
6.1.6. -PRECIO DE UNA OBRA.	304
6.1.7.- PRECIO UNITARIO.	304
6.1.8. -UNIDAD DE OBRA.	304
6.1.9.- METODOLOGÍA DE PRECIOS UNITARIOS.	305
6.1.10.- COMPOSICIÓN DE UN ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.	306
6.1.11.- COSTOS DIRECTOS.	306
6.1.12.- COSTOS INDIRECTOS.	306
6.1.13.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS RUBROS DE CONSTRUCCIÓN.	307
6.1.14.- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.	308
6.2.- RUBROS Y CANTIDADES DE OBRA	309
6.3.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	309
6.4.- PRESUPUESTO ESTIMATIVO	309
6.5.- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	310
6.6.- ANALISIS DE RUTA CRÍTICA.	310
6.7.- INDICADORES ECONOMICOS.	311
<b>CAPITULO VII</b>	<b>312</b>
<b>COMPARACION TECNICO ECONOMICA</b>	<b>312</b>
7.1.- VARIACIÓN EN LA APLICACIÓN DE CARGAS	312
7.2.- VARIACIÓN EN LA COMBINACIÓN DE CARGA	316
7.3.- VARIACIÓN EN LAS TEORÍAS DE DISEÑO	321

7.4.- ALTERNATIVA TÉCNICA MÁS VIABLE	324
7.5.- ALTERNATIVA ECONÓMICA MÁS VIABLE	324

<b>CAPITULO VIII</b>	<b>326</b>
<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>326</b>

8.1.- CONSIDERACIONES PRELIMINARES Y DIAGNÓSTICO:	326
8.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:	328
8.3.- MARCO LEGAL.	330
8.4.- MEDIO AMBIENTE FÍSICO	334
8.5.- ASPECTO ECOLÓGICO.	336
8.6.- ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	337
8.7.- CALIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	337
8.8.- DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES DEL PROYECTO EN LAS FASES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN	343
8.9.- IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES QUE SERÁN AFECTADOS POR LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO	345
8.10.-DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA DE CADA ACCIÓN SOBRE EL RESPECTIVO COMPONENTE AMBIENTAL AGUA AIRE, SUELO, RUIDO, SERVICIOS PÚBLICOS, ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	349
8.11.- MEDIDAS DE MITIGACIÓN AMBIENTAL	354
8.12.- CONCLUSIONES	360

<b>CAPITULO IX</b>	<b>361</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>361</b>

9.1.- Conclusiones:	361
9.2.- Recomendaciones:	366

## GLOSARIO

## INDICE DE FIGURAS

## INDICE DE TABLAS

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1.- ANTECEDENTES:

Las normas AASHTO ESTÁNDAR que son las que reconoce el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, para ser usadas en los diseños de puentes, han sido sustituidas en los Estados Unidos por las normas AASHTO LRFD, las mismas que entraron en vigencia como únicas a partir del año 2007.

En el país, oficialmente el MTOP, no dispone todavía el cambio de dichas normas. Esto se debe a que siempre mantenemos un retraso en la adopción de nuevas técnicas y normativas.

### 1.2.- INTRODUCCIÓN:

El uso de las nuevas normas en el país será un proceso lento al que hay que ir encaminándose, por lo que es necesario que se vaya orientado a los nuevos profesionales al conocimiento de estas nuevas especificaciones a fin de que se pueda aplicar lo mas pronto posible.

Como podrá comprenderse, las especificaciones son extensas, por lo que es necesario se vaya adoptando por partes para lo cual se desarrollara un campo de aplicación de las normas con el objeto de familiarización de las mismas.

### 1.3.- OBJETIVO GENERAL:

Realizar el estudio estructural, utilizando las normas AASHTO ESTÁNDAR y LRFD, del puente de 60,0 m de luz sobre el **Río Toachi**, para la identificación de los aspectos de optimización del AASHTO LRFD con respecto al AASHTO ESTÁNDAR.

### 1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar los estudios preliminares (Topográfico, Hidrológico – Hidráulico, Geológico – Geotécnico)
- Comparar las alternativas técnica y económica en los dos diseños.
- Comparar entre aplicación de cargas, combinación de cargas y teoría de diseño

### 1.5.- ALCANCE:

Para fines investigativos se procederá a diseñar estructuralmente el puente utilizando los códigos AASTHO ESTÁNDAR Y LRFD respectivamente con el fin de evidenciar las variaciones entre las técnicas de cálculo como: aplicación de cargas, combinación de cargas, teoría de diseño, etc.

Al final se obtendrá parámetros sobre los cuales se podrá concluir sobre la aplicabilidad de las normas AASTHO LRFD en el país y el grado de optimización que estas conllevan.

## 1.6.- METODOLOGÍA:

- **Análisis de estudios preliminares:** topográficos, hidrológicos – hidráulicos y geológicos – geotécnicos.
- **Diseño estructural Código AASHTO ESTÁNDAR:** Consideraciones de Diseño, Normas de Diseño (AASHTO ESTÁNDAR 2002), Datos Generales, Geometría General, Materiales a usarse, Datos Particulares, Diseño de Protecciones, Cargas Posteriores, Armado de Protecciones Laterales, Cálculo del Tablero, Cálculo de Vigas, Infraestructura.
- **Aplicación de las normas AASHTO LRFD al diseño estructural de puentes:** .- Introducción al AASHTO LRFD, Campo de Aplicación de las Especificaciones, Determinación de la Luz de Cálculo, Separación de Diafragmas, Separación entre Rigidizadores Transversales Intermedios, Esfuerzos Admisibles y Combinaciones de Carga, Barandas y Protecciones, Espesor del Tablero, Ubicación de la Carga Viva en el Voladizo, Ancho de Distribución, Método de Análisis de losas y tableros, Armaduras, Requerimientos para el diseño de vigas compuestas, Sobrecargas, Factor de Distribución.
- **Diseño estructural Código AASHTO LRFD:** Sobrecarga, Esfuerzos Admisibles, Diseño de Protecciones, Cargas Posteriores, Armado de Protecciones Laterales, Cálculo del Tablero, Cálculo de Vigas, Rigidizadores, Conexiones, Infraestructura.
- **Presupuesto y Programación de Obra:** Conceptos Generales Rubros y Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios, Presupuesto Estimativo, Cronograma de Actividades, Análisis de Ruta Crítica, Indicadores Económicos.
- **Comparación técnico – económica:** Variación en la Aplicación de Cargas, Variación en la Combinación de Cargas, Variación en las Teorías de Diseño, Alternativa Técnica más viable, Alternativa Económica más viable.
- **Impacto Ambiental:** .- Consideraciones Preliminares y Diagnóstico, Identificación de Impactos Ambientales, Evaluación Cualitativa y Cuantitativa de impactos ambientales, Aplicación de la Matriz de Leopold para la Matriz de impactos ambientales, Planes de contingencia y/o mitigación.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS DE ESTUDIOS PRELIMINARES

#### 2.1.- ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS:

##### 2.1.1.- UBICACIÓN:

El puente Toachicito se encuentra en las coordenadas:

Long.	79° 11' 45"	Occidental
Lat.	00° 35' 45"	Sur
Alt.	337,50	msnm.

A 20 Km. de Patricia Pilar y a 60 Km. de Santo Domingo. En el cantón Patricia Pilar provincia de los Ríos. (*Anexo 1*)

##### 2.1.2.- ASPECTOS TOPOGRÁFICOS:

El sitio de emplazamiento esta entre las abscisas 0 + 312,29 y 0+ 372,29 de la carretera Patricia Pilar – Santa María del Toachi. El trazado geométrico contempla una curva antes de la entrada al puente.

El nivel de rasante establecido en el puente es la cota: 344,18 El gálibo es suficiente, entre la parte inferior de las vigas y la máxima creciente<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)

## **2.2.- ESTUDIOS HIDROLÓGICOS - HIDRÁULICOS:**

### **2.2.1.- INFORMACIÓN BÁSICA:**

Sobre el área del puente sólo existen estudios regionales tales como isoyetas, isotermas, tipo de suelos, uso de suelo.

Sobre el río Toachicito solo existen aforos esporádicos y la estación hidrológica **H0326 Baba DJ** Toachi Grande controla un área muy grande 1416 Km<sup>2</sup> contra el área de estudio que tiene 45 Km<sup>2</sup> y puede servir de referencia solamente.

La estación básica para el estudio meteorológico es Santo Domingo de los Sachilas que tiene el código M 027 de tipo climatológico principal operada por la DAC.

Las cartas topográficas existentes son: a escala 1:50.000, M: 100.000 y a escala 1:50.000 (*Anexo 2*).

### **2.2.2.- METODOLOGÍA:**

Con la información disponible se genera los datos de caudales crecidas, niveles, velocidades, erosión, socavación, etc.

La información meteorológica y geomorfológica se transforma en caudales.

Para el caudal de crecidas se utilizan tres métodos para seguridad de los parámetros de diseño.

1. Método de Regionalización
2. Lluvia Caudal
3. Hidrograma Unitario

### 2.2.3.- CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS:

- **Geomorfología**

La cuenca del río Toachicito está dentro de la formación Macuchi se compone de rocas volcánicas, porfiritas, diabasas, cuarzo y dioritas del cretácico.

- **Hidrografía**

La cuenca receptora del río Toachicito es el río Quevedo que desemboca en el río Guayas. Los principales afluentes son el río Negro y el río S/N. Estos ríos arrastran cantos rodados de gran diámetro.

- **Parámetros Geomorfológicos**

Los más importantes son:

Área de drenaje total (A)	45 Km <sup>2</sup>
Área cubierta de bosques	10 Km <sup>2</sup>
Área cubierta de pastos y cultivos	35 Km <sup>2</sup>
Altitud máxima H <sub>max</sub>	2000 msnm.
Altitud media H <sub>med</sub>	900 msnm.
Altitud mínima H <sub>min</sub>	337,50 msnm.
Longitud del río L	10 Km.
Longitud al centro de gravedad (L <sub>c</sub> )	5 Km.
Pendiente longitudinal máxima	30 %
Pendiente longitudinal media	16,62 %
Pendiente en el sitio del puente	2,0 %
Diferencia de altitudes de la cuenca (h)	1662,5 m
Densidad de drenaje	1,1 Km. /Km <sup>2</sup>
Tiempo de concentración (T <sub>c</sub> )	47 minutos

Factor de compacidad (Fc.)	1,04
Factor de forma (Ff)	0,56
Perímetro de la cuenca (P)	25 Km.

- **Cubierta Vegetal**

La capa vegetal es medianamente potente con pendientes transversales moderadas que necesitan un buen manejo del suelo. Los terrenos son aptos para un cultivo intenso.

En la parte alta se encuentra bosques y cultivos, en la parte baja predominando el pasto que retiene bastante bien la humedad por lo cual se adopta un coeficiente CN= 80

#### 2.2.4.- CLIMATOLOGÍA:

- **Factores del Clima**

El área de influencia del proyecto del puente Toachicito tiene un clima definido por factores geográficos, astronómicos y meteorológicos entre los cuales se destaca la altitud geográfica y la orientación geográfica.

La cercanía de la cordillera de los Andes determina que esté sometida a abundantes precipitaciones meteóricas. Los vientos cargados de humedad chocan en las montañas más frías y sufren expansión adiabática, es decir, con pérdida de energía.

- **Régimen Climático**

El patrón o modelo climático de la cuenca del río Toachicito es de tipo Occidental con distribución estacional bien definido.

Los meses lluviosos van desde enero hasta junio. El régimen pluriannual es casi constante.

En el régimen anual varía bastante la lluvia pero los demás elementos se mantienen casi constantes.

Las variaciones diarias y a un más las variaciones horarias son bien significativas para todos los elementos del clima.

- **Clasificación Climática**

La relación evapotranspiración/ lluvia está alrededor del valor 0.288 siendo la lluvia 3111 mm y la evapotranspiración 897 mm. En el sitio del puente la temperatura es 23° C está en límite de la zona premontano – jungla, el clima es tropical – húmedo y el piso ecológico es selva húmeda – jungla.

#### **Elementos del Clima**

- **Precipitación**

La precipitación anual en la cuenca varía entre 6061 mm y 1539 mm en los años 1997 y 1990 respectivamente con un valor medio de 3111 mm. (ANEXO 3 – Cuadro 1).

La precipitación máxima mensual 960 mm en diciembre de 1997 (último Fenómeno del Niño), la precipitación mínima mensual 4.0 mm en julio de 1994 con un valor medio de 259.2 mm.

La precipitación máxima en 24 horas tiene un rango de variación entre 228 mm y 41 mm siendo el valor medio 124.5 mm. El número de días con precipitación son máximo 325 días, mínimo 219 y de promedio 286 días. (ANEXO 3 – Cuadro 2)

En los meses de invierno de enero a mayo (5 meses) precipita el 74 % del total anual.

La intensidad en mm/ hora de lluvia puede ser calculada con la fórmula.

$$i = 240 T_r^{0.150} / T_c^{0.49}$$

$T_r$  = tiempo de retorno en años y  $T_c$  = tiempo de concentración en minutos.

El área corresponde a la zona # 30.

- **Temperatura**

La temperatura de la zona se mueve entre los extremos absolutos:

Máxima	=	34,3 °C	(ANEXO 3 - cuadro 3)
Media	=	22,8 °C	(ANEXO 3 - cuadro 5)
Mínima	=	11,0 °C	(ANEXO 3 - cuadro 4)

La temperatura máxima ocurre a las 14 horas, mientras que las temperaturas mínimas ocurren durante las madrugadas (5 horas).

La variación interanual de la temperatura media es imperceptible pero la variación anual diaria y dentro del mismo día (horaria) es algo notoria (19).

- **Humedad Relativa**

Este elemento climático se desplaza desde el 100 % hasta un mínimo absoluto del 43 % siendo el valor medio 94 % generalmente a las 14 horas. La humedad del aire se incrementa antes de producirse la lluvia (ANEXO 3 - cuadro 6, 7 y 8).

- **Evaporación**

Este elemento climático en periodos iniciales se registra con el tubo piche y luego en los últimos años solo se registra en el tanque clase A.

El valor medio anual es piche 319 mm y tanque 897 mm. El valor medio mensual es 27 mm para piche y 74.8 para el tanque. El valor medio diario según piche es 0.9 mm y según el taque es 2.5 mm (ANEXO 3 -cuadro 14).

- **Nubosidad**

El elemento climático de la nubosidad bien estable, es muy raro encontrar un día despejado en esa zona.

El valor normal es 8/8 es decir, cielo completamente cubierto.

(ANEXO 3 - cuadro 12)

- **Vientos**

El lugar es bastante protegido de los vientos, por eso los valores que miden el viento son modestos en relación a sitios elevados o cerca del mar como ejemplo.

La velocidad promedio del viento es solo de 0.9 Km. / h o 3.24 m/s.

El mes más ventoso es febrero, las velocidades máximas del viento llegan a tener 9.0 m/s (ANEXO 3- cuadro 10y 11).

La dirección más frecuente del viento es SW seguido de la dirección NW (ANEXO 3- cuadro 15) para el régimen es de calma porque en el tiempo predomina la calma.

- **Heliofanía**

En Santo Domingo brilla el sol en promedio 613 horas por año siendo el máximo valor 869 horas y el mínimo valor 486 horas.

El valor de Heliofanía medio mensual es 51.1 horas, el valor medio diario es 1.68 horas. (ANEXO 3- cuadro # 13)

- **Balance Hídrico**

El suelo se satura completamente en los meses de enero o junio para comenzar con el proceso de escurrimiento hasta el mes de diciembre. Pero la lluvia siempre supera a la evapotranspiración, es decir, ningún mes tiene déficit hídrico.

### 2.2.5.- HIDROLOGÍA APLICADA

- **Componente Físico.**

En la cuenca del Toachicito se encuentra por lo menos con dos climas, diferentes, el tropical – húmedo en la parte baja y subtropical – perhúmedo en la parte alta ya que hay más de 1500 m de diferencia en altitud geográfica.

En la misma proporción varían pendientes longitudinales y transversales, la vegetación, los bosques, los cultivos y los suelos agrícolas.

La cuenca no presenta mayores problemas de conservación. En la parte alta las lluvias son más persistentes y por las pendientes grandes los ríos presentan crecidas violentas.

El almacenaje del agua en el suelo es alta que junto con los bosques y la vegetación regulan los escurrimientos.

- **Régimen Hídrico**

El régimen es netamente pluvial con estación caudaloso bien determinada.

Los caudales altos se presentan en enero, febrero, marzo y abril, periodo en el cual escurre el 75 % del total anual, asumiendo que la conservación y manejo continué en el nivel actual se espera igual comportamiento del río en el futuro.

- **Caudales**

#### **Caudal Medio Interanual**

En base de la aplicación del polinomio ecológico que toma en cuenta el clima, la geomorfología y las precipitaciones con la respectiva retención de la humedad se obtiene una serie de caudales medios mensuales y anuales.

Los caudales principales son:

Máximo anual	=	5800	m <sup>3</sup> /s
Medio interanual	=	3419	m <sup>3</sup> /s
Mínimo interanual	=	2300	m <sup>3</sup> /s
Relación máximo / mínimo	=	2522	

### Caudales Medios Mensuales

El método ecológico consiste en:

$$Q_i = K A^m (0.7 P_i + 0.29 P_{i-1} + 0.01 P_{i-2})^n$$

$Q_i$  = Es el caudal medio mensual del mes presente ( $m^3/s$ ).

$K$  = Coeficiente ecológico que va desde 0.0030 hasta 0.0100 según el piso ecológico.

$A$  = Área de drenaje de la cuenca en  $Km^2$ .

$P_i$  = Precipitación del mes presente de la estación base en mm.

$P_{i-1}$  = Precipitación del mes anterior de la estación base mm.

$P_{i-2}$  = Precipitación del mes tras anterior de la estación base mm.

$m$  = Exponente geomorfológico que depende del tamaño y forma de la cuenca, valor entre 0.30 y 0.90.

$n$  = Exponente del grado de regulación de la cuenca valor que fluctúa entre 0.30 a 0.90.

El polinomio se calibra con aforos y con el balance Hidrológico (coeficiente de escurrimiento).

El mes más caudaloso es 9.9  $m^3/s$  en Septiembre 1992

El valor del mes normal es 3.419

El mes más seco es 0.600  $m^3/s$  en Agosto de 1989

La distribución promedio estacional es:

Ene.	4,6	Ago	1,5
Feb.	5,5	Sep.	2,3
Mar.	5,6	Oct.	1,8
Abr.	5,5	Nov.	2,0
May.	4,2	Dic.	3,0
Jun.	3,0		
Jul.	2,0	Año	3,419

En el cuadro 16 se presenta la serie de caudales medios mensuales generados. (ANEXO 3 – cuadro 16)

- **Caudales Medios Diarios**

Para caudales bajos los caudales diarios son el 95 % del valor mensual y para caudales altos los diarios son 110 % del valor mensual aproximadamente.

- **Caudales de Crecidas**

Las crecidas estimadas con el ábaco regional del gráfico 4 son:

(ANEXO 3 – gráfico 4)

$$Q = q A = 5.0 * 45 = 225 \quad 1000 \text{ años}$$

$$Q = q A = 3.15 * 45 = 140 \quad 200 \text{ años}$$

$$Q = q A = 1.75 * 45 = 79 \quad 100 \text{ años}$$

Otro método es el hidrograma unitario siendo el tiempo de pico.

$$T_p = 1.508 C_t (L * L_c / S^{1/2})^{0.38} = 2,15 \text{ horas}$$

$$C_t = 0,85$$

$$C_p = 0,20$$

$$T_r = T_p / 5.5 = 0.39 \text{ horas es el tiempo de duración estándar}$$

$$\begin{aligned} q_p &= 0,275 C_p / T_p = 0,026 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Km}^2/\text{mm} \\ &= 1,151 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm} \\ &= 219 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Siendo

$$\text{Lluvia en el epicentro} = 250 \text{ m}$$

$$\text{Lluvia media} = 0,99 * 250 = 247,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lluvia en 1 horas} = P_{\text{max. 24 h}} * 0.77 = 190,6 \text{ mm}$$

Las coordenadas del hidrograma unitario son:

Tiempo		Caudal	
T/T <sub>p</sub>	Horas	q/q <sub>p</sub>	m <sup>3</sup> /s
0,00	0,0	0,00	0.0
0,33	0.7	0,21	47.2
0,67	1.4	0,70	157.5
1,00	2.15	1,00	225.0
1,33	2.9	0,95	218.8
1,67	3.6	0,84	189.0
2,00	4.3	0,73	182.3
2,33	5.01	0,61	137.3
2,67	5.7	0,50	118.5
3,00	6.5	0,40	90.0
3,33	7.2	0,33	71.0
3,67	7.9	0,27	60.8
4,00	8.6	0,23	51.8
4,33	9.3	0,18	40.5
4,67	10.0	0,15	33.8
5,00	10.8	0,12	27.0
5,33	11.5	0,09	20.3
5,67	12.2	0,06	13.5
6,00	12.9	0,04	9.0
6,33	13.6	0,03	6.8
6,67	14.3	0,02	4.5
7,00	15.1	0,00	0

**Tabla II - 1: Coordenadas del Hidrograma Unitario**

Método Lluvia Caudal consiste en la aplicación de los resultados de las cuencas experimentales.

El índice de humedad  $IH = 50$

Luego la lluvia efectiva es:

$$L_s = 0,280 P_m - 2,1 = 61,2 \text{ mm}$$

El caudal específico es:

$$q_{ms} = 277,5 L_s^{0.7} = 4943 \text{ l/s/Km}^2$$

$$Q = 223 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Sedimentos**

El río Toachicito arrastra la siguiente cantidad de sedimentos:

$$Q = 0.864 * Q * C = 591 \text{ Ton / día}$$

$$C = 200 \text{ ppn.}$$

De los cuales el 10 % es de material de fondo

### 2.2.6.- CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS:

El río Toachicito es de tipo torrencial estacional, 100 % de régimen pluvial. La calidad geomecánica de la cuenca es buena.

En el cuadro 17 están las características físicas principales de visita de campo. (ANEXO 3 – cuadro 17)

El sitio del puente está inmediatamente ubicado después de una curva cerrada de la vía que será mejorada. El cauce del río también será rectificado dándole una forma trapezoidal con el fin de aumentar el área hidráulica

Los materiales que están en el lecho del río son gravas y bloques y con poca frecuencia cantos rodados 15 %

Calado antes de rectificar al cauce	3,45	m
Calado después de rectificar al cauce	3,05	m (340,55 msnm)
Ancho Mojado	55	m
Perímetro Mojado	57,5	m
Área mojada	85,84	
Radio Hidráulico	1,49	
Rugosidad del cauce	0,075	
Velocidad del agua	2,65	m/s
Pendiente del eje hidráulico	0,020	
Factor hidráulico	1,95	
Factor geométrico	1,33	
Número de Froude	0,67	
Velocidad crítica	1,49	m/s

En el gráfico 6 esta el resultado más importante, que es la curva de descarga. En el gráfico 7 hojas 1y 2 están las características hidráulicas más importantes en funcionamiento del calado o altura mojada. (ANEXO 3 – gráficos 6, 7).

### 2.2.7.- SOCAVACIÓN:

Para el cálculo de socavación los datos de campo y laboratorio son:

Tramo recto ligeramente curvo

Material del lecho grava y guijarro

Pendiente longitudinal 0.02

Diámetro de partículas 0,12 m

Concentración de sólidos  $C = 2.0$  ppH

Los caudales resultantes arrojan:

Ancho mojado	=	55,02	m
Calado máximo	=	1,50	m
Calado medio ( a/b )	=	1,55	m
Caudal de socavación	=	225.06	m <sup>3</sup> /s
Caudal total	=	225.06	m <sup>3</sup> /s
Caudal por metro lineal	=	1.25	m <sup>3</sup> /s/m
Factor del lecho inicial (fbo)	=	5,77	
Factor del lecho final (fb)	=	12,7	
Altura de régimen dr	=	2,00	m
Factor Z	=	1,80	
Altura total ds	=	3,59	m
Profundidad de socavación	=	2,04 m	= 335.46 msnm.

### 2.2.8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

La zona por la que a traviesa el río Toachicito es una transición entre llanura y pie de montaña, es decir, solo se transportan sedimentos medianos y material de fondo de gran diámetro.<sup>2</sup>

Los datos que arrojan el estudio son los siguientes:

Luz	60	m
Velocidad del agua	2,65	m/s
Cota rasante	344,18	msnm.
Área hidráulica	85	m <sup>2</sup>
Cota borde inferior de la viga	341,68	msnm.
Cota de la máxima creciente	340,05	msnm.
Cota de aguas normales	338,50	msnm.
Cota de estiaje	338,00	msnm.
Cota fondo del río	337,50	msnm.
<b>Gálibo disponible</b>	<b>2,68</b>	<b>m</b>
Caudal máximo de crecidas	225	m <sup>3</sup> /s
Socavación máxima	2,04	m
Área de drenaje de la cuenca	45	km <sup>2</sup>
Pendiente en el sitio del puente	0,020	
Máxima altitud de la cuenca	2.000	msnm.
Mínima altitud de la cuenca	337,50	msnm.
Tiempo de concentración	47	minutos
Longitud del río	10	km.

<sup>2</sup> ESTUDIOS HIDROLÓGICOS - HIDRÁULICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)

## 2.3.- ESTUDIOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS

### 2.3.1.- GEOLOGÍA

#### 2.3.1.1 .- Marco Geológico del Área

El puente sobre el río Toachicito se localiza aproximadamente a 5,0 Km. aguas arribas de la confluencia con el río Toachi Grande.

El sector está caracterizado por tener un basamento rocoso de la formación Macuchi, que corresponde a materiales de origen volcánico y sedimentario. Sobre este basamento se encuentran depósitos cuaternarios como terrazas y depósitos aluviales.

El río Toachicito en forma regional sigue una dirección general NNE, sin embargo en el sector investigado lo hace con dirección E-W, ligado a un control estructural presente en la zona.

La geomorfología está caracterizada por una zona plana que corresponde a niveles de terrazas, un tramo de colinas bajas y amplias, correspondientes a las mismas terrazas que se encuentran deformadas por procesos erosivos y a una zona de colinas altas y de amplitud media, que corresponden a las partes terminales de las estribaciones de la cordillera occidental.<sup>3</sup>

#### Litoestratigrafía

Formación Macuchi (Cretácico):

Está constituida por rocas volcano-clásticas como, tobas brechosas, andesitas, diabasas porfíricas, espilitas y lutitas.

En el sector las andesitas están caracterizadas por una coloración verde, las diabasas de color gris, siendo muy compactas. Estas rocas se encuentran interestratificadas en menor porcentaje con lutitas de color gris.

---

<sup>3</sup> ESTUDIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)

Terrazas Indiferenciadas (Pleistoceno):

Están formadas por ceniza volcánica, limos y cantos rodados. El espesor estimado es de 100 metros y se encuentran deformadas por procesos erosivos, que han originado un relieve colinado.

Depósito Aluvial (Holoceno):

Se localizan en los cauces y márgenes de los ríos principales.

### **Geología estructural**

En el sector estudiado se tiene una falla inferida de dirección NE-SW, la misma que sigue el curso de Estero Esmeraldas y continúa en el curso superior del río Toachi (fuera del área estudiada). Las fracturas principales tienen dirección E-W y NNE –SSW.

### **Geología del sitio**

El sitio de implantación del puente, se encuentra en una terraza alta, deformadas por los procesos erosivos, formando colinas amplias con desniveles entre 2 y 3 metros, y en algunos sectores tienden a ser planas. (ANEXO 4 – *mapa geológico*)

Margen Derecha:

En la margen se encontró la siguiente secuencia litológica:

De 0,0 a 2,50 metros corresponde a un suelo limo arenoso, marrón amarillento, húmedo y de mediana plasticidad.

De 2,50 a 5,50 metros corresponde a un depósito aluvial con una matriz de arena con gravas en un 50%. Los clastos son de tamaño de 3 cm a 40 cm, se presenta subredondeados y redondeados con predominio de 20 a 30 cm.

De 5,50m hacia abajo se encuentran lahar con un espesor visto de 3,0m. y continúa bajo el río. Los clastos son angulares y subangulares color verdoso y con tamaño hasta 40cm con predominio de gravas gruesas.

El talud de la margen derecha se presenta subvertical y en la capa superficial se produce pequeños procesos erosivos. Cabe señalar que el lahar desaparece aguas abajo del puente.

Margen Izquierda:

En el sitio de implantación del puente a construir, se encuentra en un aluvial de 1 m de altura en relación al nivel actual del río, con un ancho aproximado de 60 m. y una extensión estimada de 150 m. En el cauce del río existen bloques grandes de hasta 2,50 m, con predominio de 80 cm.

## **2.3.2.- INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS<sup>4</sup>**

### **2.3.2.1.-Descripción de los Suelos encontrados**

Margen izquierda, perforación P1, (314,84) cota de la boca de perforación 342,00 m.s.n.m

De 0,00 a 6,50 metros de profundidad, corresponde a un depósito aluvial, constituido en un 15% por clastos de tamaño de hasta 30 cm, subredondeados y subangulares ligeramente meteorizados, muy duros, en una matriz de arena gruesa y gravas de 9 a 15 cm

---

<sup>4</sup> ESTUDIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)

De 6,50 a 15,0 metros de profundidad, y final de la perforación corresponde a un depósito de lahar, constituido en un 28% de clastos subangulares y angulares, con tamaños de hasta 15 cm en una matriz arenosa.

Los clastos están constituidos por lavas andesíticas y basálticas.

Margen derecha, perforación P2 (375,56) cota de la boca de perforación 344,38 m.s.n.m

De 0,00 a 2,50 metros de profundidad, se encuentra un suelo superficial constituido por arena fina limosa, color pardo amarillento, no plástica, de consistencia blanda

De 2,50 a 7,50 metros de profundidad, corresponde a un depósito aluvial, constituido en un 20% por clastos subredondeados y redondeados, ligeramente meteorizados y frescos con tamaños entre 1 y 10 cm, en una matriz de arena gruesa y gravas.

De 7,50 metros a 15,00 metros de profundidad, depósito de lahar constituido 25% de clastos subangular y angulares de lavas y basaltos, con tamaños de gravas de hasta de 10 cm en una matriz arenosa.\*

### **2.3.3.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES<sup>5</sup>**

#### **2.3.3.1.-Conclusiones**

De acuerdo a la geología, el sector está caracterizado por una zona de colinas muy bajas y amplias terrazas deformadas por procesos erosivos que corresponden a las partes terminales de las estribaciones de la cordillera occidental.

En las dos perforaciones realizadas se pudo determinar que la estratigrafía es muy similar y está constituida en la parte superficial por arenas finas limosas sobre a un estrato de material aluvial y un depósito de lahar constituido por

---

<sup>5</sup> ESTUDIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)

clastos subangulares y angulares de lavas y basaltos muy resistentes en una matriz de arena gruesa y gravas.

### 2.3.3.2.-Recomendaciones

En base de los puntos establecidos en los numerales anteriores y a los materiales encontrados en las perforaciones mecánicas realizadas se recomienda las siguientes ubicaciones para las fundaciones de estas estructuras:

#### LADO IZQUIERDO:

Estribo Izquierdo Abscisa:	0+312,29	
Perforación P 1:	0+314,84	
Cota terreno (boca de la perforación):	342,00	m.s.n.m.
Cota de fundación:	334,50	m.s.n.m.
<b><i>Coefficiente de trabajo admisible del suelo <math>q_a</math>=</i></b>	<b><i>3 kg/cm<sup>2</sup></i></b>	<b><i>= 30 t/m<sup>2</sup></i></b>

#### LADO DERECHO

Estribo derecho Abscisa:	0+372,29	
Perforación P 2	0+375,56	
Cota terreno (boca de la perforación):	344,38	m.s.n.m.
Cota de fundación:	334,50	m.s.n.m.
<b><i>Coefficiente de trabajo admisible del suelo <math>q_a</math>=</i></b>	<b><i>3 kg/cm<sup>2</sup></i></b>	<b><i>= 30 t/m<sup>2</sup></i></b>

Con el objeto de regularizar la superficie del área de contacto al nivel de la fundación se recomienda construir una capa de hormigón simple de  $f'c= 140$  kg/cm<sup>2</sup> de 30 cm de espesor, en los dos estribos.

Las excavaciones para estas fundaciones deberán realizarse con un correcto entibamiento que asegure la estabilidad de las paredes de la excavación, considerando que se está trabajando en un material aluvial, además se necesitará un equipo de bombeo para drenar el agua que estará presente durante la ejecución de la excavación.

La determinación del nivel de cimentación está en base a las condiciones hidrológicas e hidráulicas del río, y la posibilidad de erosión y socavación de los estribos. La cota de cimentación está un metro por abajo de la cota máxima de socavación.

Para poder estimar la resistencia y deformabilidad del macizo del terreno, hemos considerado los adjuntos diagramas presentados por Deere y Miller de la Universidad de Illinois en Urbana Champaign en su reporte técnico “ Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock” (1996). (ANEXO 4)

Puede considerarse que para las granodioritas (rocas intrusiva), el módulo de Young varía entre  $2,6$  a  $6$  kg/cm<sup>2</sup> \* $10^5$  y la resistencia a la compresión uniaxial (última) varía entre  $900$  a  $1700$  kg/cm<sup>2</sup>

Para los basaltos (rocas extrusivas), el módulo de Young varía entre  $2$  a  $4$  kg/cm<sup>2</sup> \* $10^5$  y la resistencia a la compresión uniaxial (última) varía entre  $500$  a  $1800$  kg/cm<sup>2</sup>. <sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ESTUDIOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS proporcionados por MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE (MOPT)