



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES**

**“ANÁLISIS DE AVENIDAS MÁXIMAS  
EXTRAORDINARIAS EN EL RÍO YAJALÓN,  
UBICADO EN EL MUNICIPIO DE YAJALÓN, ESTADO  
DE CHIAPAS, CASO PARTICULAR 25 DE  
SEPTIEMBRE DE 2010.”**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE ESPECIALISTA  
EN PUENTES**

**PRESENTA**

**ING. JUAN URIEL MALDONADO UTRILLA**

**TUTOR DE TESIS.**

**ING. ANTONINO NOÉ ROBLES HERNANDEZ.**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS; AGOSTO DE 2013.**

**FES Aragón**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**"ANÁLISIS DE AVENIDAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS EN EL RÍO  
YAJALÓN, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE YAJALÓN, ESTADO DE  
CHIAPAS, CASO PARTICULAR 25 DE SEPTIEMBRE DE 2010."**

**ABSTRACT O RESUMEN**

Para efectos del presente trabajo se estudio la cuenca del río Yajalón, la cual presenta características fisiográficas importantes de tomar en cuenta y que generan en base a las precipitaciones, altos escurrimientos superficiales, bajo estas consideraciones se ha observado que las precipitaciones desarrollan sobre el cauce principal altos incrementos de volumen y niveles críticos en cada avenida importante que se presenta, caso especial es el día 25 de septiembre de 2010, en la que se presentó una avenida máxima extraordinaria, que dejó en esta localidad pérdidas humanas, un número importante de daños materiales, viviendas destruidas, el colapso de 3 puentes y la incertidumbre de toda una población sobre el suceso.

Después de toda la labor que implico el desarrollo de este material, haber obtenido los parámetros físicos de la cuenca del Rio Yajalón, realizado los ejercicios para el cálculo de los volúmenes de agua sobre el cauce, la comparativa de los métodos que se propusieron inicialmente, la carencia de datos del registro de precipitación

que declinaron los resultados de los métodos estadísticos, el apoyo de los Planos de Isoyetas SCT y de los métodos semi-empíricos que arrojaron buenos resultados y con los datos obtenidos de la lluvia extraordinaria del 25 de Septiembre de 2010, se logro dar respuesta a varias preguntas sobre el tema, considerando los 3 cruces propuestos para este análisis.

De los parámetros más importantes encontrados, el periodo de retorno relacionado con el evento extraordinario de Septiembre de 2010 de 375 años, se debe de tener la reserva que se considere conveniente, ya que puede en determinado momento sucintarse un fenómeno extraordinario, pero el volumen de  $717.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . asociado a la avenida de septiembre de 2010 funciona como un excelente referente para diseño de infraestructura física dentro de la cuenca del río Yajalón y sobre todo sobre su cauce principal.

# ÍNDICE.

|  |    |
|--|----|
| Introducción.-----   | 6  |
| <b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES</b>  |    |
| 1.1. Localización del Área de Estudio.-----  | 16 |
| <b>CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE AVENIDAS APLICABLES A CUENCAS HIDROLÓGICAS.</b>        |    |
| 2.1. Conceptos de una Cuenca Hidrológica.-----   | 24 |
| 2.1.1. Características fisiográficas.-----   | 24 |
| 2.1.2. Precipitación.-----   | 26 |
| 2.1.3. Escurrimiento.-----   | 28 |
| 2.1.4. Periodo de Retorno.-----  | 30 |
| <b>CAPÍTULO III. CONCEPTOS Y MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA CÁLCULO DE AVENIDAS.</b>  |    |
| 3.1. Conceptos y Métodos estadísticos para Hidrología.-----                                    | 34 |
| 3.1.1. Distribución de Gumbel.-----  | 34 |
| 3.1.2. Distribución Método de Nash.-----   | 36 |
| 3.1.3. Distribución de Pearson III y Log-Pearson III.-----                                     | 38 |
| 3.1.4. Isoyetas de Intensidad de Lluvia para Periodo de Retorno (SCT).-----                    | 40 |
| 3.1.4.1. Método Racional.-----   | 41 |
| 3.1.4.2. Método de Ven Te Chow.-----   | 42 |
| 3.2. Conceptos y Métodos para un Análisis Hidráulico.-----                                     | 44 |
| 3.2.1. Método de Manning (Sección y Pendiente).-----   | 44 |
| <b>CAPÍTULO IV. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA DEL RÍO YAJALÓN.</b> |    |
| 4.1. Descripción General de la Cuenca del Río Yajalón.-----                                    | 48 |
| 4.2. Determinación de las Características Físicas de la Cuenca del Río Yajalón.-----           | 49 |
| 4.3. Determinación de los Volúmenes en la Cuenca del Río Yajalón.-----                         | 55 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.3.1.   | Método de Gumbel.-----   | 56 |
| 4.3.2.   | Método de Nash.-----   | 58 |
| 4.3.3.   | Método de Pearson III.-----  | 60 |
| 4.3.4.   | Método de Log – Pearson III.-----                                    | 61 |
| 4.3.5.   | Isoyetas de Intensidad de Lluvia para Periodo de Retorno (SCT).----- | 62 |
| 4.3.5.1. | Método Racional.-----  | 62 |
| 4.3.5.2. | Método de Ven Te Chow.-----  | 64 |
| 4.4.     | Análisis y Cálculos Hidráulicos.-----                                | 66 |
| 4.4.1.   | Puente Libramiento Norte.-----                                       | 67 |
| 4.4.2.   | Puente Chul-Ha 3ª. Oriente Sur.-----                                 | 68 |
| 4.4.3.   | Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte.-----                               | 69 |

## **CAPÍTULO V. DATOS Y NIVELES CRÍTICOS DE AVENIDAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS DE SEPTIEMBRE 25 DE 2010.**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.1. | Puente Libramiento Norte.-----                           | 71 |
| 5.2. | Puente Chul-Ha 3ª. Oriente Sur.-----                     | 75 |
| 5.3. | Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte.-----                   | 79 |
| 5.4. | Análisis del Levantamientos de Sección y Pendiente.----- | 83 |

## **CAPÍTULO VI. COMPARATIVO DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO - DATOS DE SEPTIEMBRE 25 DE 2010.**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 6.1. | Desarrollo del análisis de avenidas máximas-----   | 85 |
| 6.2. | Determinación del periodo de retorno correspondiente a la avenida presentada el 25 de septiembre de 2010.----- | 91 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>Conclusiones.</b> -----    | <b>93</b>  |
| <b>Recomendaciones.</b> ----- | <b>97</b>  |
| <b>Bibliografía.</b> -----    | <b>98</b>  |
| <b>Anexos.</b> -----          | <b>100</b> |

## **INTRODUCCIÓN.**

El ciclo hidrológico se considera como el concepto fundamental de la hidrología, como todo ciclo, el hidrológico no tiene principio ni fin, cuando éste se presenta en zonas naturales, siempre mantiene en buenas condiciones a los ecosistemas que necesitan que este se lleve a cabo para dar continuidad a la vida que en ellos se desarrolla, el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o cerca de ella se evapora por efecto del sol y el viento, el vapor de agua se transporta por la atmósfera en forma de nubes, hasta que se condensa y cae en forma de lluvias o precipitación, que alimentan las plantas por medio de la infiltración y los excesos fluyen sobre la superficie hacia las corrientes o se infiltra. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada. De la precipitación que llega a las corrientes una parte se infiltra y otra buena parte llega a grandes cuerpos de agua como océanos, presas o lagos. Del agua infiltrada una parte es absorbida por las plantas y luego es transpirada y la otra fluye bajo la superficie de la tierra hacia corrientes o se almacena como agua subterránea hasta aflorar en manantiales o al océano. Todo este ciclo transcurre al parecer sin ningún aspecto que genere un desequilibrio en su desarrollo.

Pero una vez que el hombre realiza la modificación de los ecosistemas para crear en ellos centros urbanos, va modificando a través del tiempo estas características inicialmente planteadas, inicia con un proceso de deterioro ambiental con la deforestación, al construir en el sitio viviendas, calles, plazas y demás servicios que va necesitando, sitios de cultivo y para desarrollo de actividades agrícolas, con lo que modifica considerablemente los factores de infiltración, evapotranspiración, escurrimiento y por obvias razones la precipitación, modifica las características de los cauces, los estrecha, de esta forma reduce sus capacidades hidráulicas, desarrollando en un proceso paulatino un trastorno al ciclo hidrológico natural irreversible.

Si bien es cierto un análisis hidrológico desde un punto de vista como tal, pretende realizar con base a registros de precipitaciones medias anuales una simulación de los gastos y volúmenes de agua que pudiesen presentarse en un tiempo determinado, en una cuenca dada y con base a éstos, realizar sobre el cauce principal un modelo hidráulico que determine algunos parámetros específicos, dependiendo las características de lo que se pretenda construir u operar, realizando una serie de procedimientos matemáticos, mediante herramientas estadísticas y modelos desarrollados por diversos autores en la materia; además, de toda esta evaluación se efectuará un comparativo con los Mapas de Isoyetas Intensidad de Lluvia-Periodo de Retorno- Duración, elaboradas por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La razón de este material pretende llegar un poco más allá de valores numéricos y busca una forma de plantear en puntos específicos en el cauce principal de la cuenca del río Yajalón, puntos de monitoreo y control (cruces en los puentes de la cabecera municipal), que permitan alertar de fenómenos hidrometeorológicos de peligrosidad importante y mantenga un control de los escurrimientos superficiales en la cuenca, evitando de esta forma casos como el presentado en la cabecera municipal de Yajalón, el día 25 de septiembre del 2010, en la que se presentaron de carácter extraoficial 5 decesos, 2 desaparecidos, 2500 damnificados, 950 viviendas afectadas y 3 puentes colapsados a causa de la intensa lluvia presentada en estas fechas sobre la región y sin previa zonificación de riesgos, ni evaluación de las capacidades hidráulicas de los puentes de la cabecera municipal.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Dentro de la cuenca del río Yajalón, se encuentra localizado la cabecera municipal, esta cuenca presenta características fisiográficas importantes de tomar en cuenta y que generan en base a las precipitaciones, altos escurrimientos superficiales, como es la pendiente media de esta y el número de afluentes o corrientes tributarias, aunado a una fuerte deforestación de la zona que ha ocasionado la modificación de los factores de escurrimientos en la cuenca, bajo estas consideraciones se ha observado que las precipitaciones desarrollan sobre el cauce principal altos incrementos de volumen y niveles críticos en cada avenida importante que se presenta, caso especial es el día 25 de septiembre de 2010, en la que se presentó una avenida máxima extraordinaria, que dejó en esta localidad pérdidas humanas, un número importante de daños materiales, viviendas destruidas, el colapso de 3 puentes y la incertidumbre de toda una población sobre el suceso, preguntas que aún no encuentran una respuesta y una incertidumbre generalizada sobre el tema.

## **JUSTIFICACIÓN.**

La presente investigación una vez que se realice todo su desarrollo busca como punto primordial analizar el comportamiento hidráulico ante una avenida importante de los cruces especificados, medir su área hidráulica y su capacidad de respuesta; se han escogido los tres puentes, Puente "Libramiento Norte", Puente "Chul-ha 3ª. Oriente Sur" y Puente "Jonuta 3ª. Poniente Norte", el primero porque se encuentra en la periferia de la ciudad y en la entrada a la zona urbana, asimismo será un punto importante de monitoreo y control en la avenida; el segundo por ser el Barrio de Chul-ha, el que sufrió más afectaciones en las lluvias presentadas el 25 de septiembre de 2010 y marcará en la evaluación final parámetros importantes en el análisis y el último cruce se encuentra localizado en la salida del pueblo; propuesto

éste como una evaluación final del desarrollo de la corriente ante una eventual avenida extraordinaria, los tres cruces presentan características muy diferentes en cuanto a su infraestructura y servirán como evaluación final de los trece puentes existentes sobre el cauce del río principal de la población de Yajalón.

Como resultado externo propiamente aunado a una evaluación de puentes, busca responder la inquietud generalizada de una población, en base a los niveles máximos que pudiese presentar el cauce principal de la cuenca y su capacidad de respuesta a avenidas máximas; en el área de ingeniería brindar a los profesionales del ramo una herramienta de diseño de infraestructura y si fuese el alcance, a los gobiernos interesados, una guía que pudiese servir como auxiliar de prevención y protección civil.

### **OBJETIVOS GENERALES.**

Determinar las características físicas de la cuenca en estudio, desarrollar el análisis hidrológico de la cuenca del río Yajalón, desarrollar el análisis hidráulico sobre su cauce principal, localizando 3 puntos de monitoreo y control de avenidas, determinación de los volúmenes y tirantes máximos, niveles críticos y cálculo de las áreas hidráulicas, para su posterior comparativo con los presentados el 25 de septiembre de 2010, así como definir el periodo de retorno u ocurrencia de esta creciente , para realizar finalmente una evaluación de las capacidades hidráulicas de los cruces, a fin de monitorear dicho río y prevenir daños cualitativos y cuantitativos en la población de Yajalón.

## **METODOLOGÍA.**

Bajo previa recopilación de información ante las dependencias que realizan un control de los registros hidrológicos, información en páginas de internet y de material que se considere adecuado, se realizara un análisis, clasificación y organización de los datos para un posterior análisis hidrológico mediante algunos métodos que se identifiquen convenientes. Tomando como herramienta 2 cartas topográficas del INEGI, para obtener los datos fisiográficos necesarios para este análisis.

Se realizarán levantamientos topográficos en la zona de estudio sobre el cauce principal, para estar en posibilidades de desarrollar un método hidráulico que arroje los niveles máximos de este análisis.

Los niveles presentados en los 3 puntos propuestos en este estudio, de las avenidas máximas extraordinarias del día 25 de septiembre de 2010, se tomarán directamente de campo, mediante un levantamiento topográfico y memoria descriptiva de éstos, por último realizar una comparativa con los datos arrojados del análisis previo y estar en posibilidades de hacer el ejercicio y emitir las conclusiones y recomendaciones que se consideren pertinentes.

En términos de la normativa elaborada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, N.PRY.CAR.1.06.001/00, el estudio hidráulico-hidrológico que proporciona al proyectista los datos hidráulicos requeridos, es el conjunto de trabajos de campo y gabinete que definen su diseño hidráulico, estableciendo las longitudes mínimas de la estructura y de sus claros, así como el espacio libre vertical mínimo que ha de dejarse entre el nivel de aguas de diseño (NADI) y el lecho inferior de la superestructura. Comprende la recopilación de información fisiográfica e hidrológica, el reconocimiento de campo, el levantamiento topográfico, el procesamiento de la información, y los análisis hidrológicos e hidráulicos, que

permitan precisar las características del flujo del cauce, y la determinación del tipo, número, ubicación y funcionamiento de las obras auxiliares que aseguren el comportamiento satisfactorio del puente.

### **HIPÓTESIS.**

El desarrollo de un análisis hidrológico e hidráulico en base a registros de precipitaciones medias anuales y métodos teóricos de la hidrología y de la hidráulica como primer método, realizando un análisis utilizando los mapas de Isoyetas de Intensidad de lluvia, proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); como segundo análisis, podrá arrojar datos confiables, contra un registro de niveles presentados en una avenida máxima extraordinaria, alcances y limitaciones.

### **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.**

Determinar la confiabilidad de los estudios teóricos contra un registro de lluvias extraordinarias presentadas el día 25 de septiembre de 2010, evaluando los tres cruces propuestos.

### **MARCO TEÓRICO.**

Para entender los conceptos de avenida máxima extraordinaria y niveles críticos que pudiesen presentarse sobre una corriente, es necesario adentrarse a los principios de las teorías de la hidrología y la hidráulica, en este sentido Francisco Javier Aparicio Mijares menciona que el ciclo hidrológico es el fundamento de estas, indica sus características principales, su descripción y desarrollo.

Para efectos de este material es de vital importancia la fase de precipitación y escurrimiento, la relación que existe entre estos y su impacto directo en la cuenca

de aportación y en su cauce principal, por lo cual habrá que delimitar también estos dos conceptos, las principales partes que componen la cuenca y los parámetros que se obtienen en su estudio; en cuanto a la cuenca, que se dividen en dos tipos, las que condicionan el volumen de escurrimientos como son el área de la cuenca, tipo de suelo y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de las corrientes, la pendiente media de la cuenca, los cauces, su orden, densidad y longitud.

De acuerdo con Javier Aparicio Mijares (1987), el cauce principal es donde se concentran los volúmenes de escurrimientos en una cuenca y es de vital importancia delimitar sus características físicas para valorar su capacidad ante una avenida, como son su pendiente media, suelo, material de arrastre y su sección transversal. Por último el concepto periodo de retorno, también llamado intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia, entendido este como el número de años en que en promedio se presenta un evento extraordinario, debe de considerarse como parámetro importante dentro de estos conceptos.

Una vez tomado en cuenta este soporte teórico se está en posibilidades de comprender el funcionamiento de las lluvias y su impacto sobre la superficie, objeto de esta investigación.

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. (Métodos Hidrológicos para previsión de escurrimientos, SCT, 1992), Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos. Estos se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto, en el cual se recoge al agua producto de la lluvia, registrando su altura (Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos, 1992). Estos registros forman la espina dorsal para el desarrollo de un análisis hidrológico y entre mas información se almacene determina parámetros más certeros y confiables.

En la mayoría de los problemas hidrológicos se requiere conocer la altura de precipitación media en una zona, ya sea durante una tormenta, una época del año o un periodo determinado de tiempo. Para obtenerlo se tienen tres criterios, Promedio aritmético, Método de Thiessen y Método de Isoyetas. Con esta información se desarrollan curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno, de este análisis se obtienen las intensidades máximas anuales correspondientes a cada duración, las cuales se ordenan de mayor a menor y se calculan sus correspondientes periodos de retorno, (Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos, 1992).

El escurrimiento es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida (Rolando Springall).

El Hidrograma puede considerarse como una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que gobiernan las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento en una cuenca particular, definiendo las complejidades de dichas características por una sola curva empírica, (Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos, 1992). Con esta información se retomaran los métodos para el cálculo de avenidas máximas, para obtener los volúmenes críticos en un análisis hidráulico, apoyado bajo la teoría de Manning.

El municipio de Yajalón, se encuentra localizado en la zona Norte-Selva del estado de Chiapas, la cabecera municipal se encuentra ubicada dentro y en la parte baja de la cuenca hidrológica y al centro de esta cruza su cauce principal, como también en ella se desarrollan los afluentes más importantes, lo que conlleva a la localidad a estar expuesta y vulnerable ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos importantes, por ello se realiza el presente ejercicio en busca de localizar los puntos y niveles críticos que pudieran presentarse en una avenida máxima extraordinaria como una herramienta de alerta y prevención de desastres, además de realizar una medida de las capacidades hidráulicas de los cruces.

El día 25 de septiembre de 2010, se presentó un fenómeno de este tipo y según la memoria histórica de los habitantes, la primera con estas características, que rebasaron por mucho los niveles presentados con anterioridad sobre la población, se tienen totalmente ubicados y valorados los niveles alcanzados sobre los puntos de análisis y revisión de esa avenida para ser utilizados en este ejercicio, con lo que se pretende contrastarlos con los que arroje los métodos hidrológicos de este material, para estar en posibilidades de presentar las conclusiones y recomendaciones que se consideren pertinentes al respecto.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES.**

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.**

### **1.1. Localización del Área de Estudio.**

Chiapas tiene una superficie de 75,634 km<sup>2</sup>, a los que se suman 96,000 km<sup>2</sup> de mar patrimonial, con una franja costera de casi 300 km. Es el estado más grande de la región sureste de México y el octavo estado más grande del país, representando el 3.8 % de su superficie total.



Imagen No. 1 (Chiapas en México)

Colinda al norte con Tabasco; al este con la República de Guatemala; al sur con la República de Guatemala y el océano Pacífico; al oeste con el océano Pacífico, Oaxaca y Veracruz. La extensión territorial del estado está calculada en 75 344 Km<sup>2</sup> y representa el 3.8 por ciento de la superficie total del país.

Chiapas se localiza en la franja intertropical del planeta; sin embargo, el clima es modificado por las variaciones en el relieve, presentando climas del grupo cálido, semi-cálido, templado y frío.

En cuanto a la humedad, existen zonas con lluvias abundantes todo el año, así como grandes extensiones con una estación lluviosa (mayo-octubre) y una seca (noviembre-abril) perfectamente definidas. El estado, constitucionalmente está

dividido en 122 municipios, la capital es Tuxtla Gutiérrez y ocupa el primer lugar del país en marginación por localidad. De los 122 municipios, 28 de ellos tienen un índice de desarrollo humano que lo sitúa dentro de los más bajos del país, 33 de los 44 municipios con alta marginación son predominantemente indígenas (población indígena de por lo menos un 40%).

Derivado del decreto No. 210 publicado en el periódico oficial No. 299, por el que se conforma y adicionan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Chiapas. El Estado está dividido en XV Regiones socio-económicas siendo estas:

- **Región I – Metropolitana.**
- **Región II - Valles Zoque.**
- **Región III – Mezcalapa.**
- **Región IV - De los Llanos.**
- **Región V - Altos Tsotsil-Tseltal.**
- **Región VI – Frailesca.**
- **Región VII - De los Bosques.**
- **Región VIII – Norte.**
- **Región IX - Istmo-Costa.**
- **Región X – Soconusco.**
- **Región XI - Sierra Mariscal.**
- **Región XII - Selva Lacandona.**
- **Región XIII – Maya.**
- **Región XIV – Tulijá-Tseltal Chol**
- **Región XV - Meseta Comiteca Tojolabal**

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD; 2009) y al INEGI (2010) la región XV Tulija-Tseltal-Chol, está integrada por 15 municipios,

región donde se encuentra ubicado el municipio de Yajalón, en el cual existe el 7.16% de la población total del Estado, significando 343,446 habitantes.

El municipio de Yajalón se encuentra ubicado en la Región XV Tulija-Tseltal-Chol.

Comparte esta región con los siguientes municipios:

- **Región XIV –Tulijá-Tseltal-Chol:** 7 Municipios

- 1.- Yajalón
- 2.- Chilón
- 3.- Sabanilla
- 4.- Sitalá
- 5.- Tila
- 6.- Tumbalá
- 7.- Salto de Agua.



Imagen No. 2 (Yajalón en el Estado de Chiapas)

Yajalón lo encontramos al noreste del estado de Chiapas, a 246 Km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del Estado de Chiapas, colinda al norte con el municipio de Tumbalá; al este con los municipios de Tumbalá y Chilón; al sur con los municipios de Chilón y Pantelhó; al oeste con los municipios de Pantelhó, Simojovel y Tila. Ocupa el 0.29% de la superficie del Estado (Imagen No. 3).

Su extensión territorial es de 162.3 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0.29% de la superficie estatal, sus coordenadas geográficas son 17°10'21.24" N, 92°20'08.73" O, su altitud es de 804msnm. (Imagen No. 4). Los recursos hidrológicos los conforman el río Yajalón y los arroyos el Azufre y Sacnu – Tilá.

El clima varía con la altitud, pudiendo ser semi-cálido húmedo y templado húmedo con lluvias todo el año, los meses más calurosos son abril y mayo, los que reciben mayor precipitación son junio, agosto y septiembre, la dirección del viento es de norte a sur y tiene una precipitación pluvial de 2,086.7 milímetros de promedio anual.

Yajalón (CONAGUA, 2011); por encontrarse situado al norte de la línea ecuatorial en la zona denominada selva, se considera que posee un clima tropical; sin embargo, este varía dependiendo de la altitud, por lo que predomina el Templado – Húmedo. Su vegetación es de bosque de encino – pino.

Yajalón, cuenta con una población total de 34,028 según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2010. Tiene como sede en la cabecera municipal, aquí se concentra más del 50 % de la población total del municipio; comprende básicamente los 34 barrios que conforman al municipio, así también para fines operativos está dividido en 4 sectores; es la micro región que cuenta con todos los servicios básicos, pero a la vez; derivado del alto porcentaje de habitantes y de las condiciones topográficas del municipio, y por ser cabecera de distrito; la carencia de servicios es alta, haciendo que la cabecera municipal tenga el más alto grado en cuanto a la demanda de los servicios e infraestructura básica.

La hidrografía la conforman el río Yajalón y los arroyos de caudal permanente el Azufre y Sacnutila, debido a la precipitación pluvial se originan múltiples arroyos que bajan de las serranías que circulan el municipio, los cuales conforman el río Yajalón que recorre la población de sureste a norte en temporada de seca disminuye notablemente su caudal, lo que origina de manifiesto su alto grado de contaminación. El río de Yajalón se une con el pulpillo que viene de Petalcingo y Tila con lo cual forma un afluente del río Hidalgo que se va hasta Tulijá, cuyas aguas se vierten en el golfo de México a través del Usumacinta.

El clima varía con la altitud, pudiendo ser semi-cálido húmedo y templado húmedo con lluvias todo el año (74.28%), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (10.39%), templado húmedo con lluvias todo el año (7.79%) y cálido húmedo con lluvias todo el año (7.54%).

En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 9°C a los 21°C, mientras que la máxima promedio entre 21° C y 33° C.

En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 6°C a 18°C, y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 27°C. Yajalón tiene una precipitación pluvial de 2,086.7 milímetros de promedio anual (CONAGUA; 2011), por encontrarse situado al norte de la línea ecuatorial en la zona denominada selva, se considera que posee un clima tropical; sin embargo, este varía dependiendo de la altitud, por lo que predomina el Templado – Húmedo. Teniendo un rango de temperatura de 16 a 26° C. Su vegetación es de bosque de encino – pino. Los tipos de suelos presentes en el municipio son: litosol con el 54.91%; luvisol con el 27.53% y feozem con el 17.56% de la superficie municipal.

Yajalón cuentan con todos los servicios, como son la de telefonía, energía eléctrica, Internet inalámbrico, etc., de lo cual el 83.17% de las viviendas disponen de energía eléctrica, 80.64% de agua entubada y el 65.69% cuentan con drenaje. En la región los indicadores fueron para energía eléctrica 76.81%, agua entubada 69.95% y drenaje 36.93%.

Además cuenta con un mercado público, panteón morgue, biblioteca, auditorio municipal, unidad deportiva, parque infantil, canchas de fútbol rápido, telégrafos, tv, cable, restaurante, hoteles, bancos, transportes de taxis locales y foráneos, colectivos locales, y auto transportes que se trasladan a Tuxtla y viceversa, seguridad pública, teléfonos públicos y actualmente cuenta con radiodifusora. En materia educativa cuenta con 7 escuelas Preescolares, 11 escuelas primarias, 2 secundarias, 3 preparatorias y 3 universidades y en materia de salud, cuentan con el centro de salud, el hospital general, ISSTE, ISSTECH. etc.

Del total de 34,028 habitantes con los que cuenta el municipio de Yajalón, 17, 633 personas viven en localidades urbanas, que equivale al 51.82% del total de la población (cabecera municipal), de las cuales 17,384 son mujeres (51.92%) y 16,644 que son hombres (48.08%). Hay una diferencia de 740 más mujeres.

En poblaciones rurales viven un total de 16,395 personas de las cuales equivale al 48.18% total de la población, de estas 7,501 son mujeres (49.49%) y 8,894 hombres (50.51%).

Según datos de la Dirección de Planeación del Ayuntamiento Municipal, apegados a la estrategia operativa, el Ayuntamiento ha dividido al municipio territorialmente y de forma organizada en 4 microregiones; 3 microregiones corresponden al área rural y una del área urbana, donde se concentra aproximadamente 203 localidades. Con esta sectorización les da la ubicación de comunidades con características específicas y por la otra les permite dirigir las acciones públicas con mayor eficacia. Estas son las siguientes:

- 1. Amado Nervo.**
- 2. La ventana**
- 3. Lázaro Cárdenas.**
- 4. Cabecera Municipal de Yajalón.**

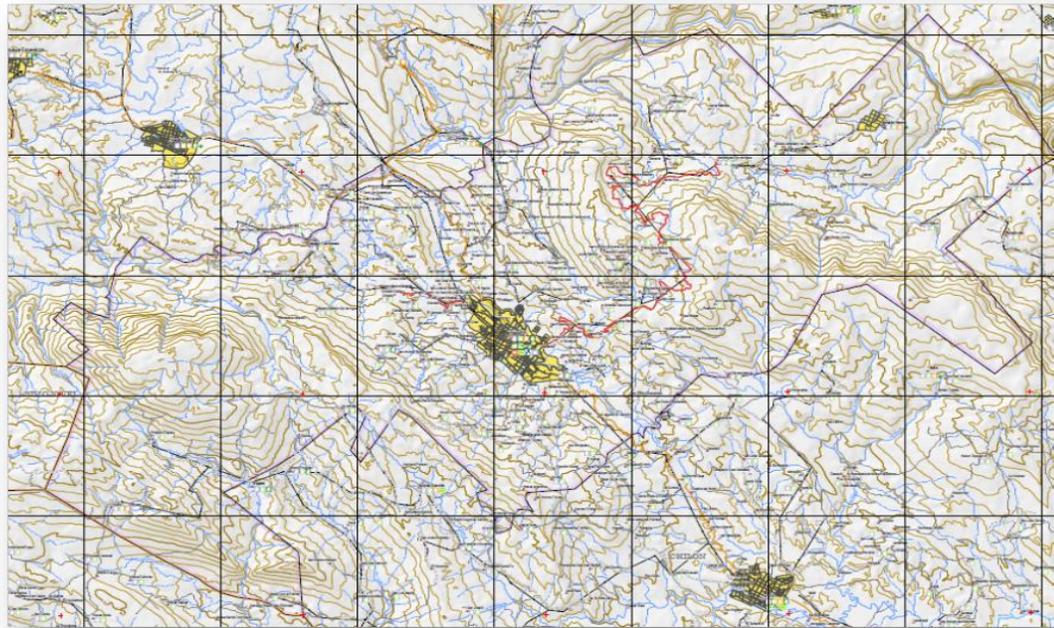


Imagen. No. 3 (Extensión Territorial del Municipio de Yajalón, en el Estado de Chiapas)

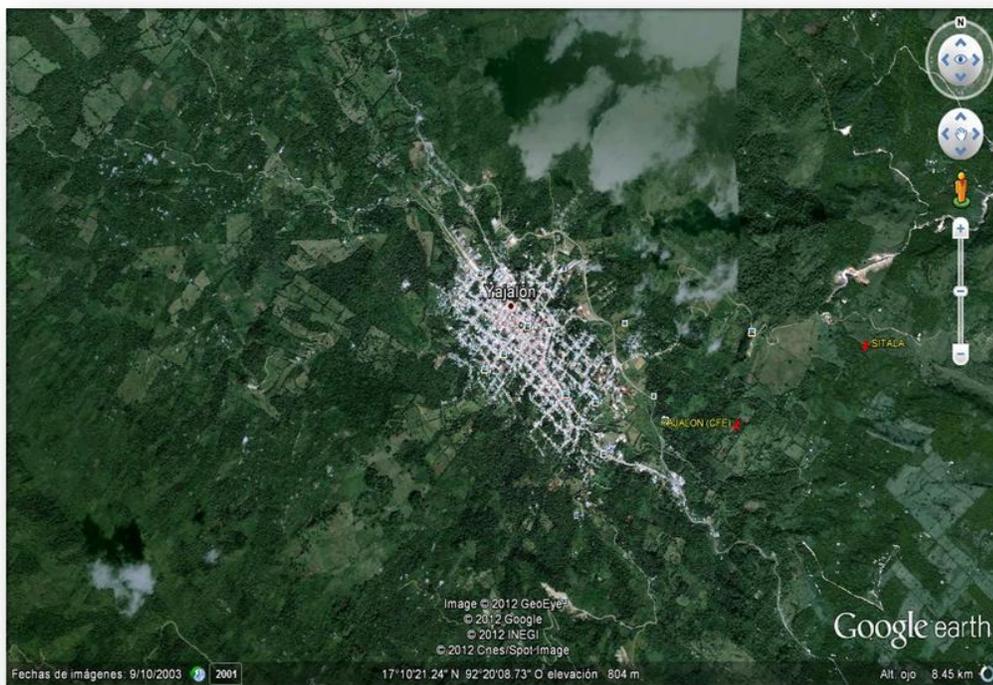


Imagen. No. 4 (Ubicación satelital de la Cabecera Municipal de Yajalón)

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS TEÓRICOS**

**SOBRE AVENIDAS**

**APLICABLES A CUENCAS**

**HIDROLÓGICAS.**

## **CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE AVENIDAS APLICABLES A CUENCAS HIDROLÓGICAS.**

### **2.1.- Conceptos de una Cuenca Hidrológica.**

La cuenca de drenaje de una corriente es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y de sus tributarios. La cuenca de drenaje de una corriente está limitada por su parteaguas, que es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento, originado por la precipitación, que en cada sistema de corrientes fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida. (Springall; pp.7)

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. (Aparicio; 1992; pp.19)

En términos que maneja la Comisión Nacional del Agua, se define a la cuenca como la extensión de terreno que recoge el agua de lluvia o manantiales, alimentando con ella el caudal de los ríos, arroyos o lagos que se encuentran dentro de él. Es un área delimitada por las partes más altas, lo que da lugar a que sea receptora de aguas de lluvia, escurrimientos y caudales de ríos que se encuentran en partes más altas. El área de la cuenca se mide en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), pudiéndose expresar también en otras unidades como hectáreas, metros cuadrados, etc.

#### **2.1.1.- Características Fisiográficas.**

Según Springall y Aparicio, de acuerdo con sus criterios de investigación definen al área drenada de una cuenca como el área en proyección horizontal encerrada por el parteaguas.

Por otro lado el parteaguas se denomina como una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas, estos dos conceptos acotan los límites en su superficie de una cuenca dada, otro factor independiente a estos es la corriente principal de una cuenca, que se puede definir como la corriente que pasa por la salida de la misma. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal.

Una referencia adicional importante y en la que coinciden todos los investigadores que han hecho estudios hidrológicos es que entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

Aunado a lo anterior el orden de corrientes define el grado de bifurcación de una cuenca y por ende contribuye a la capacidad de respuesta a los escurrimientos.

Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, y así sucesivamente según sea el caso particular del área que se estudie.

Otros indicadores del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes  $D_s$  definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje  $D_d$ , definida como la longitud de corrientes por unidad de área.

Para determinar la pendiente media de una cuenca se toma el criterio de Alvord, en la cual se analiza primero las pendientes existentes entre curvas de nivel. Analizando la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel.

Otro de los indicadores más importantes para determinar el grado de respuesta de una cuenca a una precipitación es la pendiente del cauce principal. Dado que ésta pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media, la cual según Aparicio es igual al desnivel entre los extremos de la corriente, dividido entre su longitud medida en planta.

### **2.1.2 Precipitación.**

Para la Comisión Nacional del Agua la precipitación son las partículas de agua líquida o sólida que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, su unidad de medida está en milímetros (mm); pero buscando en la literatura, la definición que reúne las consideraciones más propias del concepto de precipitación es la que nos proporciona Rolando Springall, quien define a esta como el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera. Cabe mencionar que para que la precipitación se origine es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico. El enfriamiento de la atmósfera se logra por la elevación del aire. De acuerdo con la condición que provoca dicha elevación, la precipitación puede ser por convección, orográfica y ciclónica.

La precipitación por convección se origina por el levantamiento de masas de aire más ligero y cálido al encontrarse a su alrededor con masas de aire densas y frías o por el desigual calentamiento de la superficie terrestre y la masa de aire. Al irse elevando dichas masas de aire, se expanden y se enfrían dinámicamente, originando la condensación y finalmente la precipitación.

La precipitación debida al levantamiento del aire producido por las barreras montañosas se denomina orográfica.

La precipitación ciclónica está asociada al paso de ciclones y está ligada con los planos de contacto entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. El levantamiento del aire se origina por convergencia horizontal de la entrada de la masa de aire en un área de baja presión.

La precipitación frontal es originada por el levantamiento del aire caliente sobre el frío. Este levantamiento puede ocurrir cuando el aire caliente se mueve sobre el frío, o cuando el aire frío se mueve sobre el caliente; si ocurre lo primero se dice que se tiene un frente caliente y si ocurre lo segundo, un frente frío.

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos.

Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal  $a$  al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia y cuya área de captación es  $A$ . Se acostumbra colocar en el embudo un par de mallas para evitar la entrada de basura u otros objetos.

El área de captación  $A$  es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente  $a$ , con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. En México se acostumbra tomar lecturas de los pluviómetros diariamente a las 8 de la mañana.

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación; este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel, el recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón. El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama pluviograma.

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Los aparatos descritos registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca.

El hietograma, es la representación grafica por medio de barras, de los incrementos de lámina de lluvia en diferentes intervalos de tiempo.

### **2.1.3 Escurrimiento.**

Francisco J. Aparicio Mijares define el escurrimiento como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos, hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan, posteriormente, se comienzan a llenar las

depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado flujo en la superficie del terreno se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos. En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en escurrimiento en corrientes.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial.

Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

El escurrimiento sub superficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguirlo de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial, y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo.

La clasificación anterior, aunque ilustrativa, no deja de ser arbitraria. El agua puede comenzar su viaje hacia la corriente como flujo superficial e infiltrarse en el camino, terminando como escurrimiento subsuperficial o subterráneo.

A la inversa, el escurrimiento sub superficial puede emerger a la superficie si en su camino se encuentra con un estrato muy permeable que aflora en una ladera. Lo importante en realidad es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las correspondientes avenidas.

Si se mide el gasto, definiendo este como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo, que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica denominada Hidrograma, como cualquiera que relacione el gasto contra el tiempo.

#### **2.1.4 Periodo de retorno.**

El concepto periodo de retorno, también llamado intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia, entendido este como el número de años en que en promedio se presenta un evento extraordinario, (Aparicio, 1987).

Propiamente dicho el periodo de retorno es el tiempo en que una avenida máxima extraordinaria pueda presentarse cíclicamente, este dependiendo de un ejercicio probabilístico, puede definir en gran forma el éxito de un análisis estadístico, entre más grande sea la muestra que se estudia, más certero serán los datos que se obtendrán.

Este apartado se realizó según comentarios de Kohnogorov. Las leyes naturales más simples son aquellas que expresan las condiciones bajo las cuales un evento de interés ocurre o no ocurre con certeza. Estas condiciones se expresan como:

- a) Sí se presenta un conjunto de condiciones  $S$ , entonces el evento  $A$ , seguramente, ocurre; o bien
- b) Sí se presenta un conjunto de condiciones  $S$ , entonces el evento  $A$  no puede ocurrir.

En el primer caso,  $A$  es un evento seguro con respecto a las condiciones  $S$  y en el segundo es un evento imposible. Cuando un evento  $A$ , en presencia de un conjunto de condiciones  $S$ , a veces ocurre y a veces no, se llama aleatorio con respecto al conjunto  $S$ . Es natural suponer que, cuando esto sucede, no se han tomado en cuenta en el conjunto  $S$  todas las condiciones necesarias para la ocurrencia o no ocurrencia del evento, y no, como a veces se hace, que no exista una ley física que conduzca a esta ocurrencia o no ocurrencia. Esas condiciones o leyes que no se incluyen en el análisis del evento  $A$ , se suplen por una ley de probabilidades, la cual indica con qué frecuencia se presenta el evento dadas las condiciones  $S$ .

El periodo de retorno como lo determina la mayoría de los autores, es el periodo de retorno que debe elegirse para el diseño de un puente se obtiene con la siguiente expresión.

$$Tr = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/n}}$$

Dónde:

Tr - Periodo de retorno en años.

$n$  - Vida útil de la obra en años.

*R* - Riesgo o probabilidad de que el gasto de diseño sea igualado o excedido por lo menos una vez durante la vida útil, en decimales.

NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias.

NAMIN: Nivel de Aguas Mínimas.

NAME: Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el desarrollo de una avenida.

**CAPÍTULO III**

**CONCEPTOS Y MÉTODOS**

**HIDROLÓGICOS E**

**HIDRÁULICOS PARA**

**CÁLCULO DE AVENIDAS.**

### **3.1 Conceptos y métodos Estadísticos para Hidrología.**

Una vez que se asigna un periodo de retorno al gasto de diseño de la obra en cuestión, generalmente es necesario, para conocer dicho gasto de diseño, hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados, pues rara vez este periodo es menor al periodo de datos.

Entre las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología, las más frecuentemente aplicadas son las siguientes:

- a)* Gumbel.
- b)* Lognormal.
- e)* Pearson III.
- d)* Nash.

Las funciones Normal y Lognormal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento bajo análisis. Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales. La función Pearson III ocupa un lugar intermedio.

#### **3.1.1 Distribución de Gumbel**

Retomando la literatura y considerando una consulta más práctica como guía para diseño el manual de la SCT, edición México 1992, Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrecimientos, donde según Gumbel desarrolla el cálculo de avenidas máximas con la siguiente expresión:

$$Q_{m\acute{a}x} = - \left( Y_N \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} - \bar{Q} \right) - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \log\left(\frac{1}{T}\right)$$

O bien

$$Q_{max} = \bar{Q} - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[ Y_N + \log_e \left( \frac{1}{T} \right) \right]$$

En la que

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N \bar{Q}^2}{N - 1}}$$

Siendo

$N$  = Número de años de Registro

$Q_i$  = Gastos máximos anuales registrados, en  $m^3/s$

$\bar{Q}$  = Gasto medio, en  $m^3/s$

$\sigma_Q$  = Desviación estandar de los gastos, en  $m^3/s$

$Y_N$  = Parámetro, en función de  $N$  ( ver tabla 4.13 anexa)

$\sigma_N$  = Parámetro, en función de  $N$  ( ver tabla 4.13 anexa)

$T$  = Periodo de retorno, en años

$Q_{max}$  = gasto máximo para un periodo de retorno determinado, en  $m^3/s$

Para estar en condiciones de confiabilidad se calcula el intervalo de confianza, o sea, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{max}$  dependiendo del registro disponible, se hace de la forma siguiente:

Si  $\emptyset = 1 - 1/T$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta_Q = \pm \sqrt{N} \alpha \sigma_m \frac{\sigma_Q}{\sigma_N \sqrt{N}}$$

Dónde:

$N$  = Número de años de registro

$\sqrt{N} \alpha \sigma_m$  = Parámetro, función de  $\Phi$ , (ver tabla 4.14 anexa)

$\sigma_N$  = Parámetro, en función de  $N$  (ver tabla 4.13 anexa)

$\sigma_Q$  = Desviación estandar de los gastos, en  $m^3/s$

Si  $\Phi$  es mayor de 0.90 el intervalo se calcula como:

$$\Delta_Q = \pm \frac{1.14 \sigma_Q}{\sigma_N}$$

La zona de  $\Phi$  comprendida entre 0.80 y 0.90 se considera de transición donde  $\Delta_Q$  es proporcional calculando con las dos expresiones anteriores dependiendo del valor de  $\Phi$ .

El gasto máximo para un cierto periodo de retorno quedara comprendido dentro del intervalo definido por  $Q_{max} - \Delta_Q$  y  $Q_{max} + \Delta_Q$ , en el Departamento de Puentes de la Dirección General de Carreteras Federales, se ha establecido como norma diseñar para  $Q_{max} + \Delta_Q$  para estar de lado de la seguridad.

### 3.1.2 Distribución Método de Nash

La curva de distribución de probabilidades utilizada por Nash, es la misma del método de Gumbel, pero ajustada por mínimos cuadrados en vez de por momentos. La expresión de Nash, según el manual de la SCT, edición México 1992, Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrimientos.

$$Q_{max} = a_0 + c_0 \log e \log e \left[ \frac{T}{T-1} \right]$$

Donde:

$Q_{max}$  = gasto máximo para un periodo de retorno determinado, en  $m^3/s$

$a_0$  y  $c_0$  = parametros que son función del registro de gastos máximos anuales

$T$  = periodo de retorno, en años.

Los parámetros  $a_0$  y  $c_0$  se valúan, con base en los registros, en la forma siguiente:

$$a_0 = \bar{Q} - c_0 \bar{x}$$

$$c_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i Q_i - N \bar{x} \bar{Q}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - N \bar{x}^2}$$

Siendo:

$$x_i = \log e \log e \left[ \frac{T_i}{T_i - 1} \right]$$

Dónde:

$N$  = número de años de registro

$Q_i$  = gastos máximos anuales registrados, en  $m^3/s$

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^N Q_i / N = \text{gasto medio, en } m^3/s$$

$x_i$  = constante para cada gasto  $Q$  registrado, función de su periodo de retorno correspondiente

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i / N = \text{valor medio de las } x.$$

El valor de cada  $T_i$  que se debe introducir en la expresión 4.61 se obtiene aplicando la fórmula de Weibull a cada uno de los gastos  $Q_i$  del registro, o sea:

$$T_i = \frac{N + 1}{m_i}$$

Donde  $mi$  es el rango correspondiente al gasto máximo anual  $Qi$ , al ordenar los gastos en forma decreciente y asignando el número 1 al más grande de los registrados.

El intervalo dentro del cual puede variar el  $Q_{max}$  calculando se obtiene con:

$$\Delta_Q = \pm 2 \sqrt{\frac{S_{qq}}{N^2 (N-1)} + (x - \bar{x})^2 \frac{1}{N-2} \frac{1}{S_{xx}} \left( S_{qq} - \frac{S_{xq}^2}{S_{xx}} \right)}$$

$$S_{xx} = N \sum xi^2 - \left( \sum xi \right)^2$$

$$S_{qq} = N \sum Qi^2 - \left( \sum Qi \right)^2$$

$$S_{xq} = N \sum Qi xi - \left( \sum Qi \right) \left( \sum xi \right)$$

En la primera ecuación se ve que  $\Delta_Q$  solo varia con  $x$ , la cual se calcula con la ecuación para  $xi$ , sustituyendo el valor del periodo de retorno para el cual se calculó el  $Q_{max}$ . Todos los demás términos que intervienen en la ecuación se obtienen de los datos.

El gasto máximo de diseño, como ya se vio al tratar el método de Gumbel quedara comprendido entre  $Q_{max} - \Delta_Q$  y  $Q_{max} + \Delta_Q$ .

### 3.1.3 Distribución por el Método Pearson III y Log-Pearson III.

Este método fue originalmente aplicado por Foster usando como argumento los gastos máximos anuales en los cálculos de la media, la desviación estándar y el coeficiente de distorsión de la distribución, llamándose el método Pearson Tipo III. Después, al introducirse la modificación consistente en transformar los datos naturales a sus logaritmos decimales para usar éstos como argumento en el cálculo de los parámetros estadísticos se cambió el nombre a log-Pearson Tipo III, para diferenciarlo del original.

El método log-Pearson Tipo III, será aplicable al Pearson Tipo III con una sola observación lo que se refiera en el primer método a los logaritmos de los gastos se referirá a los valores naturales de los mismos en el segundo método.

Considerando el manual de la SCT, edición México 1992, Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrimientos, la expresión que da el gasto máximo asociado a un determinado periodo de retorno es la siguiente:

$$\log Q_{max} = \overline{\log Q} + K S \log Q$$

O también

$$Q_{max} = \text{Antilog} [\overline{\log Q} + K S \log Q]$$

$Q_{max}$  = Gasto máximo para un periodo de retorno determinado, en  $m^3/s$

$\overline{\log Q}$  = valor medio de los logaritmos decimales de los gastos máximos anuales; se valúa con la expresión:

$$\overline{\log Q} = \frac{\sum_{i=1}^N \log Q_i}{N}$$

$K$  = factor de frecuencia, función del período de retorno y del coeficiente de distorsión "g" adimensional; se obtiene de las tablas 4.18a a la 4.18e

$N$  = Número de años de registro.

$$s_{\log Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log Q_i)^2 - \left[ \frac{(\sum_{i=1}^N \log Q_i)^2}{N} \right]}{N - 1}}$$

$$s_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - \left[ \frac{(\sum_{i=1}^N Q_i)^2}{N} \right]}{N - 1}}$$

El coeficiente de distorsión "g" que se utiliza para determinar K se valua con la siguiente expresión:

$$g = \frac{N^2 \sum_{i=1}^N (\log Qi)^3 - 3N \sum_{i=1}^N \log Qi \sum_{i=1}^N (\log Qi)^2 + 2[\sum_{i=1}^N \log Qi]^3}{N(N-1)(N-2)(S \log Q)^3}$$

La secuencia de cálculo es como sigue:

- a).- Obtener los logaritmos decimales de las magnitudes de los gastos máximos anuales.
- b).- Calcular el valor medio de los logaritmos
- c).- Calcular la desviación estándar de los logaritmos
- d).- Calcular el coeficiente de distorsión
- e).- Seleccionar K de las tablas 4.18-a a la 4.18-e, según el valor de g obtenido en el paso anterior y del periodo de retorno.
- f).- Aplicar la ecuación  $\log Q_{max}$  para obtener el gasto correspondiente al periodo de retorno considerado en el paso anterior.

### **3.1.4 Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un Periodo de Retorno SCT**

La Isoyeta es una isolinia que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se puede diseñar un gran número de planos con Isoyetas; como ejemplos, las Isoyetas de la precipitación media de largo periodo del mes de enero, de febrero, etc., o las Isoyetas de las precipitaciones anuales.

Para la utilización de las Isoyetas nos apoyaremos de dos métodos que en base a los datos que arrojan estas permiten determinar los gastos de una avenida máxima en base a ciertos criterios.

### 3.1.4.1. Método Racional

En el sistema métrico se puede escribir de la siguiente manera:

$$Q_p = 0.278xCxIx A$$

$Q_p$  = Gasto de pico en  $m^3 / seg.$

C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

I = Intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en mm/hr.

A = Área drenada en km<sup>2</sup>.

0.278 = Factor de homogeneidad de unidades.

El coeficiente C representa la relación entre el volumen escurrido y llovido y depende de las características de la cuenca.

En caso de que la cuenca por drenar este compuesta por diferentes tipos de suelo, el coeficiente de escurrimiento global C se calcula con la fórmula:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

C = Coeficiente de escurrimiento global

$C_i$  = Coeficiente de cada área parcial

$A_i$  = Área parcial

n = Número de áreas parciales

A = área total de la cuenca

Una de las hipótesis en que se basa la formula racional expresa que el gasto producido por una lluvia de intensidad constante sobre una cuenca es máximo cuando dicha intensidad se mantiene por un lapso igual o mayor que el tiempo de concentración, el cual se define como el tiempo de recorrido del agua desde el

punto hidráulicamente más alejado hasta el punto de salida de la cuenca, ya que al cumplir esta condición toda el área de la cuenca contribuye al escurrimiento.

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$T_c$  = Tiempo de concentración, en horas, según Kirpich.

L = Longitud del cauce principal, mas la distancia entre el inicio de este y el parteaguas medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en km

S = pendiente del cauce, adimensional, en decimales.

Una vez que se ha calculado el tiempo de concentración se puede determinar la intensidad de diseño, a partir de las Isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia para la República Mexicana, elaboradas y publicadas por las SCT para la cual se considera la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y se fija el periodo de retorno en función de la vida útil del proyecto y del riesgo que se puede aceptar de que la obra falle.

### **3.1.4.2. Método de Ven Te Chow**

El método de Ven Te Chow está basado principalmente en el concepto de Hidrograma unitario y del Hidrograma unitario sintético.

Este método considera que el gasto de pico del escurrimiento directo de una cuenca puede calcularse como el producto de la lluvia en exceso  $P_e$  por el gasto de pico de un Hidrograma unitario  $q_m$ ., o sea:

$$Q_m = q_m P_e$$

Considerando una lluvia en exceso de 1 cm, con una duración (d) en horas sobre una cuenca de área(A) en km<sup>2</sup>, el escurrimiento de equilibrio, o sea el escurrimiento producido por una lluvia de intensidad constante continuando indefinidamente, será

igual a  $2.78A/d$ . La relación del gasto de pico del Hidrograma unitario  $q_m$  a  $2.78A/d$ , se define como factor de reducción del pico, Z

$$Z = \frac{q_m d}{2.78A}$$

Y entonces

$$q_m = \frac{2.78 A Z}{d}$$

Sustituyendo

$$Q_m = \frac{2.78 A Z P_e}{d}$$

Donde:

$$X = \frac{P_e}{d}$$

La ecuación de gasto queda:

$$Q_m = 2.78 x A x X x Z$$

$Q_m$  = Gasto de pico del hidrograma del escurrimiento directo, en  $\frac{m^3}{seg}$

A = Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

X = Factor de escurrimiento, en cm/hr.

Z = factor de reducción del pico, adimensional.

$P_o = (Intensidad\ de\ lluvia)(duración)$

Por otra parte, el tiempo de retraso depende principalmente de la forma del Hidrograma y de las características físicas de la cuenca y es independiente de la duración de la lluvia.

$$t_p = 0.00505 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

L = Longitud del cauce principal, en metros.

S= Pendiente media del cauce, en porcentaje (%).

Conocido del valor de  $t_p$  de la cuenca en estudio, para cada duración de tormenta se puede calcular Z. La relación  $\frac{d}{t_p}$  con Z, obtenida por Chow, se representa en una grafica.

### 3.2 Conceptos y Métodos Para un Análisis Hidráulico.

#### 3.2.1 Manning (Sección – Pendiente).

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforos. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida. Según la fórmula de Manning, la velocidad es:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

*R = Radio Hidraulico*

*S<sub>f</sub> = Pendiente de la linea de energia especifica*

*n = Coeficiente de rugosidad*

*P = Perimetro mojado de la seccion de control*

Para determinar el gasto respectivo

$$Q = v A$$

*A = Seccion de control del cauce, Area Hidraulica*

Aplicando la ecuación de Bernoulli

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} = \bar{K}_d S_f^{1/2}$$

$$\bar{K}_d = \frac{A R^{2/3}}{n} = \text{Coeficiente de conducción medio en el tramo}$$

Coeficiente de conducción:

$$K_d = \sqrt{K_{d1} K_{d2} \dots K_d} = \frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i}$$

Dónde:

$n$  = Coeficiente de Rugosidad de Manning.

$A$  = Sección de control del cauce, Area Hidraulica.

$R$  = Radio Hidráulico

$K_{d1}$  = Coeficiente de conducción mayor

$K_{d2}$  = Coeficiente de conducción menor

Diferencia de elevación de las marcas de nivel máximo del agua en los Extremos del tramo:

$$^{\circ}Y = (Z_1 + Y_1) - (Z_2 + Y_2)$$

Dónde:

$Y_1$  = Tirante de agua de la primera sección (altura del río desde el fondo).

$Y_2$  = Tirante de agua de la segunda sección (altura del río desde el fondo).

$Z_1$  = Cota del primer punto desde el plano de referencia.

$Z_2$  = Cota del segundo punto desde el plano de referencia.

Caudal Pico:

$$Q = \frac{\sqrt{{}^{\circ}Y/L}}{\sqrt{\frac{1}{Kd^2} \frac{1}{b g L} \left( \frac{1}{A1^2} \frac{1}{A2^2} \right)}}$$

Dónde:

*S = Pendiente longitudinal entre el centro de las dos secciones de control del cauce*

*L = Longitud del tramo a aforar*

*Kd = Coeficiente de conducción*

*°Y = Diferencia de elevación entre el tramo inicial y el final.*

*b = constante que responde a la siguiente condición:*

*Si  $A1 > A2$  entonces  $b = 2$*

*Si  $A2 > A1$  entonces  $b = 4$*

*g = Constante de Gravedad ( $9.81 \frac{m}{seg^2}$ )*

**CAPÍTULO IV**

**DETERMINACIÓN DE**

**LAS**

**CARACTERÍSTICAS**

**FÍSICAS DE LA**

**CUENCA DEL RÍO**

**YAJALÓN**

#### 4.1 Descripción General de la Cuenca del Rio Yajalón.

Tomando la información existente del INEGI, se estudiaron dos cartas topográficas con curvas de nivel que definen la zona comprendida de la cuenca del Rio Yajalón, en escala 1:50 000, con la denominación PETALCINGO E15D42, CHIAPAS Y YAJALÓN E15D43, CHIAPAS, se empalman por encontrarse la cuenca entre estas dos laminas, se encuentra bien definido el cauce principal y la de todos sus tributarios.

Coordenadas geográficas de los puentes en estudio.

Puente Libramiento Norte  $17^{\circ}09'56.19''$  N,  $92^{\circ}19'20.09''$  O.

Puente Chulha 3ª. Oriente Sur  $17^{\circ}10'16.04''$  N,  $92^{\circ}10'20.09''$  O.

Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte  $17^{\circ}10'34.06''$  N,  $92^{\circ}20'06.24''$  O.



Imagen. No. 5(Cuenca Rio Yajalón)

## 4.2 Determinación de las características físicas de la cuenca del Río Yajalón.

- ✓ Área Total de la cuenca:  $34,759.39m^2 = 34.75km^2$
- ✓ Pendiente media de la cuenca:  $S = \frac{D L}{A} = \frac{(0.1 km)(140.30 kms)}{34.75 km^2} = 0.4037$

Dónde:

$D =$  Distancia entre curvas de nivel

$L =$  Longitud de todas las curvas de nivel que estan dentro de la cuenca

$A =$  Área de la cuenca

| Longitud de Curvas de Nivel dentro de Cuenca |   |
|--|---|
| Curva  | Longitud                                |
| 1500   | 31.661898                               |
| 1400   | 26.492776                               |
| 1300   | 22.614054                               |
| 1200   | 21.614054                               |
| 1100   | 14.012312                               |
| 1000   | 13.420236                               |
| 900  | 10.486236                               |
| <b>Longitud:</b>                             | <b>140.301566</b><br><b>140.30 kms.</b> |

Tabla No. 1

- ✓ Longitud del total cauce principal: 24.3323kms.
- ✓ Pendiente media del cauce principal

$$n_{media} = \frac{(Nivel_1 - Nivel_2)}{Long. cauce} = \frac{(1400 - 800)}{24332.34} = 0.0246$$

Según Taylor y Schwartz

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 = \left[ \frac{24332.30}{\frac{1000}{\sqrt{0.02467}} + \frac{1000}{\sqrt{0.02345}} + \frac{22332.30}{\sqrt{0.02021}}} \right]^2 = 0.020489$$

$L =$  Longitud del cauce principal

$l_i$  = Longitud tramo unitario

$S_i$  = Pendiente tramo unitario

- ✓ Longitud de tributarios: La longitud de tributarios considerando a estos como todos los cauces que desembocan en el cauce principal: 155.30kms.
- ✓ Orden de la cuenca: La cuenca es de cuarto orden, lo que nos da una idea de la distribución de las corrientes.
- ✓ Densidad de las corrientes:  $D_c = \frac{N_c}{A} = \frac{42}{34.75} = 1.2086$

$N_c$  = Número de corrientes perennes e intermitentes

- ✓ Densidad de Drenaje:  $D_d = \frac{L}{A} = \frac{155.30}{34.75} = 4.4690$

$L$  = Longitud total de los cauces.

| Longitud Total de las Corrientes Perennes e Intermitentes sobre la cuenca |               |     |               |     |               |                  |                 |
|---|---------------|-----|---------------|-----|---------------|------------------|-----------------|
| No.   | Longitud Uni. | No. | Longitud Uni. | No. | Longitud Uni. | No.              | Longitud Uni.   |
| 1   | 3.914856      | 12  | 3.0873        | 23  | 4.207962      | 34               | 4.311136        |
| 2   | 4.588838      | 13  | 5.748512      | 24  | 1.532992      | 35               | 3.1333          |
| 3   | 1.76559       | 14  | 4.741842      | 25  | 2.392352      | 36               | 4.421456        |
| 4   | 7.0963        | 15  | 6.893196      | 26  | 2.360436      | 37               | 3.958234        |
| 5   | 3.3912        | 16  | 2.146836      | 27  | 2.7570        | 38               | 6.341966        |
| 6   | 2.817598      | 17  | 2.750464      | 28  | 2.027384      | 39               | 3.874382        |
| 7   | 4.804854      | 18  | 1.289946      | 29  | 2.759986      | 40               | 2.746706        |
| 8   | 7.7145        | 19  | 9.667156      | 30  | 1.447864      | 41               | 4.243118        |
| 9   | 2.5002        | 20  | 3.501616      | 31  | 1.246086      | 42               | 2.686448        |
| 10  | 2.06837       | 21  | 1.2879        | 32  | 1.992084      |                  |                 |
| 11  | 6.835936      | 22  | 4.634182      | 33  | 3.617106      |                  |                 |
|   |               |     |               |     |               | <b>Longitud:</b> | <b>155.3052</b> |

Tabla No. 2

- ✓ Orden de las Corrientes: Tercer orden

| Pendientes sobre el cauce principal |                |                                 |                |                                    |                |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
| Puente "Libramiento Norte"          |                | Puente "Chulha 3a. Oriente Sur" |                | Puente "Jonuta 3a. Poniente Norte" |                |
| Estación                            | Cota Rio       | Estación                        | Cota Rio       | Estación                           | Cota Rio       |
| 0+000                               | 830.38         | 0+000                           | 803.45         | 0+000                              | 773.37         |
| 0+020                               | 829.55         | 0+020                           | 803.17         | 0+020                              | 772.33         |
| 0+040                               | 828.78         | 0+040                           | 802.57         | 0+040                              | 771.69         |
| 0+060                               | 827.97         | 0+060                           | 801.97         | 0+060                              | 770.81         |
| 0+080                               | 827.56         | 0+080                           | 801.63         | 0+080                              | 770.64         |
| 0+100                               | 827.12         | 0+100                           | 801.84         | 0+100                              | 770.41         |
| 0+120                               | 826.77         | 0+120                           | 801.31         | 0+120                              | 769.66         |
| 0+140                               | 825.94         | 0+140                           | 800.37         | 0+140                              | 769.37         |
| 0+160                               | 825.45         | 0+160                           | 799.70         | 0+160                              | 769.20         |
| 0+180                               | 824.51         | 0+180                           | 799.32         | 0+180                              | 768.89         |
| 0+200                               | 823.78         | 0+200                           | 799.52         | 0+200                              | 768.38         |
| 0+220                               | 823.11         | 0+220                           | 790.74         | 0+220                              | 768.25         |
| 0+240                               | 821.90         | 0+240                           | 789.68         | 0+240                              | 768.17         |
| 0+260                               | 821.69         | 0+260                           | 790.04         | 0+260                              | 768.04         |
| 0+280                               | 821.01         | 0+280                           | 790.12         | 0+280                              | 767.63         |
| 0+300                               | 820.76         | 0+300                           | 788.89         | 0+300                              | 767.38         |
| 0+320                               | 820.34         | 0+320                           | 788.23         | 0+320                              | 767.15         |
| 0+340                               | 820.00         | 0+340                           | 788.00         | 0+340                              | 767.00         |
| 0+360                               | 819.50         | 0+360                           | 787.67         | 0+360                              | 766.86         |
| 0+380                               | 819.15         | 0+380                           | 787.47         | 0+380                              | 766.91         |
| 0+400                               | 818.90         | 0+400                           | 787.00         | 0+400                              | 766.56         |
| 0+420                               | 818.67         | 0+420                           | 786.84         | 0+420                              | 766.14         |
| 0+440                               | 818.05         | 0+440                           | 786.35         | 0+440                              | 766.12         |
| 0+460                               | 817.98         | 0+460                           | 787.35         | 0+460                              | 765.36         |
| 0+480                               | 817.88         | 0+480                           | 786.52         | 0+480                              | 765.35         |
| 0+500                               | 817.57         | 0+500                           | 785.70         | 0+500                              | 765.33         |
| 0+520                               | 817.34         | 0+520                           | 785.42         | 0+520                              | 765.13         |
| 0+540                               | 816.91         | 0+540                           | 785.27         | 0+540                              | 765.02         |
| 0+560                               | 816.70         | 0+560                           | 785.07         | 0+560                              | 764.94         |
| 0+580                               | 816.52         | 0+580                           | 784.44         | 0+580                              | 764.49         |
| 0+600                               | 816.33         | 0+600                           | 783.95         | 0+600                              | 764.02         |
| 0+620                               | 815.84         | 0+620                           | 783.41         | 0+620                              | 763.81         |
| 0+640                               | 815.62         | 0+640                           | 783.24         | 0+640                              | 763.59         |
| 0+660                               | 815.21         | 0+660                           | 783.07         | 0+660                              | 763.26         |
| 0+680                               | 814.95         | 0+680                           | 782.42         | 0+680                              | 763.02         |
| 0+700                               | 814.33         | 0+700                           | 782.14         | 0+700                              | 762.92         |
| 0+720                               | 814.00         | 0+720                           | 781.74         | 0+720                              | 762.71         |
| 0+740                               | 813.96         | 0+740                           | 781.09         | 0+740                              | 762.61         |
| 0+760                               | 813.63         | 0+760                           | 780.92         | 0+760                              | 762.60         |
| 0+780                               | 813.05         | 0+780                           | 780.76         | 0+780                              | 761.36         |
| 0+800                               | 812.84         | 0+800                           | 780.76         | 0+800                              | 761.25         |
| 0+820                               | 812.63         | 0+820                           | 780.98         | 0+820                              | 760.54         |
| 0+840                               | 812.12         | 0+840                           | 780.08         | 0+840                              | 760.42         |
| 0+860                               | 811.99         | 0+860                           | 779.40         | 0+860                              | 760.11         |
| 0+880                               | 811.51         | 0+880                           | 778.59         | 0+880                              | 759.61         |
| 0+900                               | 811.00         | 0+900                           | 778.46         | 0+900                              | 759.53         |
| 0+920                               | 810.77         | 0+920                           | 778.03         | 0+920                              | 759.35         |
| 0+940                               | 810.15         | 0+940                           | 778.01         | 0+940                              | 759.30         |
| 0+960                               | 809.88         | 0+960                           | 777.34         | 0+960                              | 758.58         |
| 0+980                               | 809.16         | 0+980                           | 777.17         | 0+980                              | 758.31         |
| 1+000                               | 808.87         | 1+000                           | 776.62         | 1+000                              | 758.51         |
| <b>Sh =</b>                         | <b>0.02151</b> | <b>Sh =</b>                     | <b>0.02683</b> | <b>Sh =</b>                        | <b>0.01486</b> |

Tabla No. 3

## Puente Libramiento Norte

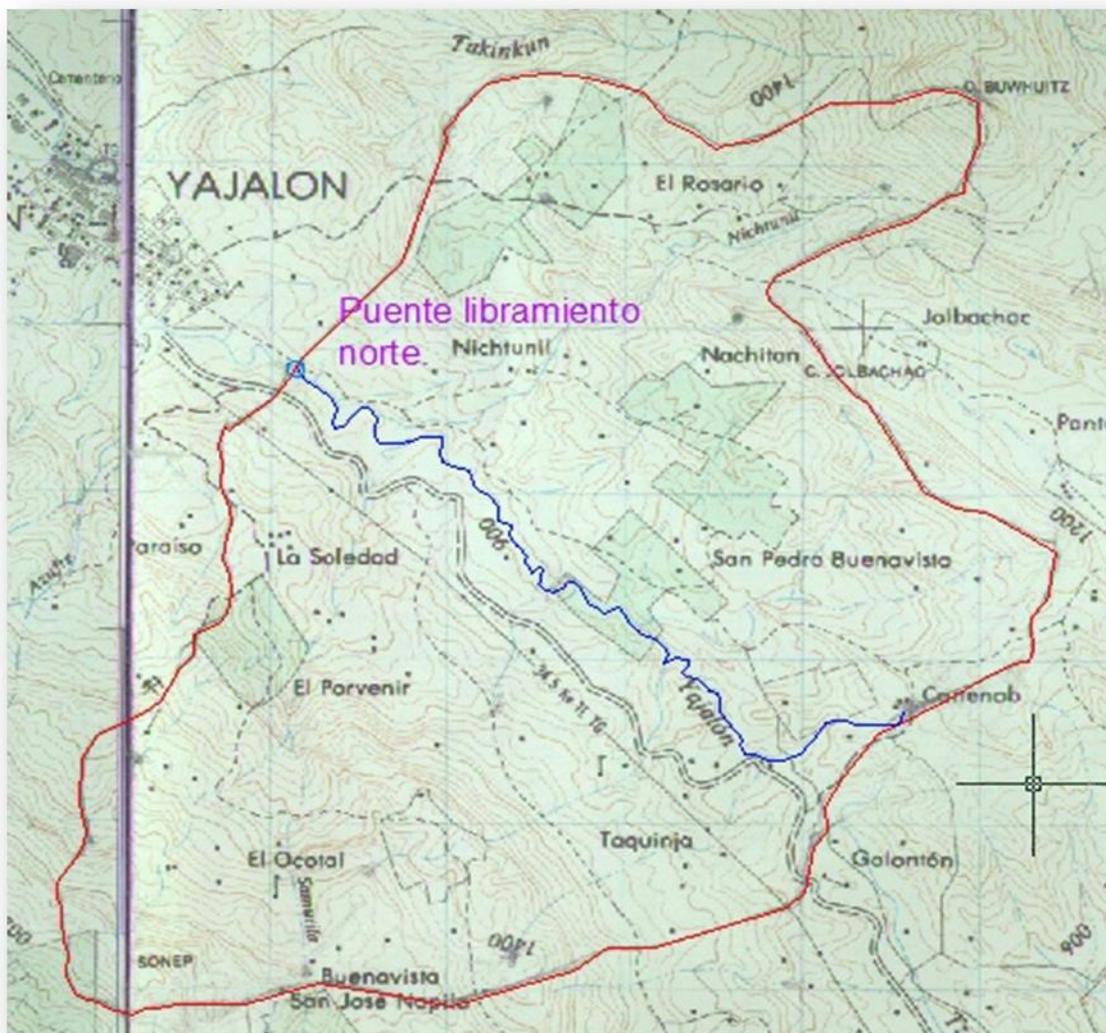


Imagen No. 6 (Cuenca Para Puente Libramiento Norte)

| <b>Características del Puente Libramiento Norte</b> |         |
|---|---------|
| Área (Km <sup>2</sup> )                             | 21.541  |
| Longitud del cauce a parteaguas (Km)                | 13.273  |
| Longitud del cauce (Km)                             | 10.644  |
| Pendiente del cauce                                 | 0.02151 |

Tabla No. 4

### Puente Chulha 3ª. Oriente Sur

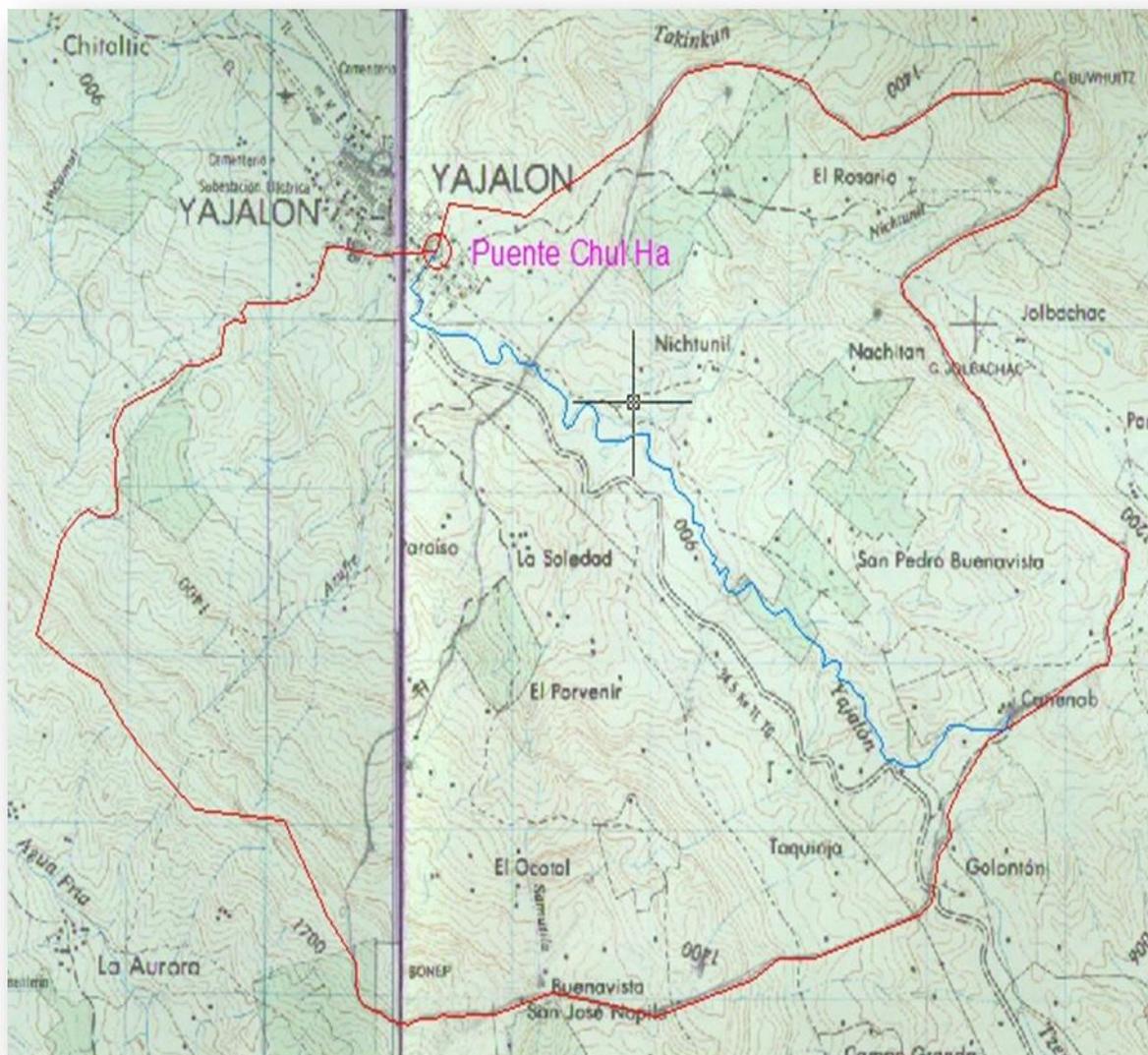


Imagen No. 7 (Cuenca para Puente Chulha 3ª. Oriente Sur)

| <b>Características del Puente Chulha 3ª. Oriente Sur</b> |         |
|--|---------|
| Área (Km <sup>2</sup> )                                  | 22.981  |
| Longitud del cauce a parteaguas (Km)                     | 14.341  |
| Longitud del cauce (Km)                                  | 8.313   |
| Pendiente del cauce                                      | 0.02683 |

Tabla No. 5

### Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte

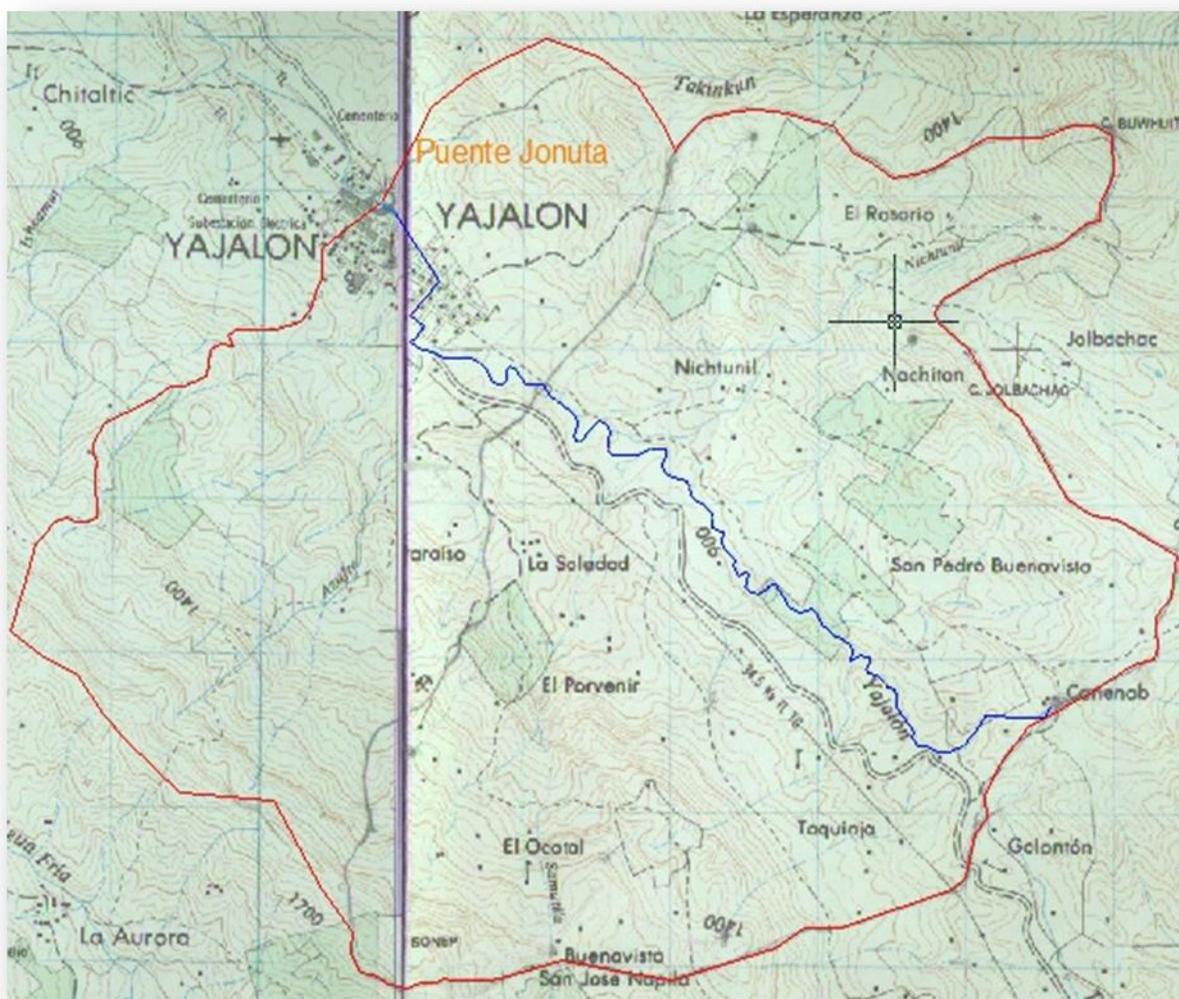


Imagen No. 8 (Cuenca para Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte)

| <b>Características del Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte</b> |         |
|---|---------|
| Área (Km <sup>2</sup> )                                     | 24.477  |
| Longitud del cauce a parteaguas (Km)                        | 15.540  |
| Longitud del cauce (Km)                                     | 8.609   |
| Pendiente del cauce   | 0.01486 |

Tabla No. 6

### **4.3 Determinación de los Volúmenes en la cuenca del Río Yajalón.**

Con oficio de fecha 05 de Marzo de 2012, se solicito a la CONAGUA la información de los registros de precipitación dentro de la cuenca del rio "Yajalòn", Municipio de Yajalòn, Chiapas, la cual surtió efectos y con fecha 21 de Marzo de 2012 se recibió oficio de la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Frontera Sur, Dirección Técnica, Jefatura de Proyecto de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, oficio No. BOO.00.R12.07.01.0100/12 en la cual se nos proporciona la información digital de la base de datos del CLICOM; con la cual se procedió a realizar su revisión, análisis, clasificación, depuración y organización de la información, de esta forma se consideraron 56 años de registros para desarrollar el análisis hidrológico en 2 Estaciones Hidrometeorológicas ubicadas en el Municipio de Yajalón, Chiapas, 7177 Yajalón, 7389 Sitala.

Siguiendo el planteamiento inicial se considera determinar los volúmenes de agua sobre la cuenca del rio Yajalòn, utilizando los métodos estadísticos de la hidrología, de los cuales se consideran el Método de Gumbel, Método de Nash, Método de Pearson III y Log-Pearson III.

Otra de las herramientas que se consideran en este análisis es utilizando los planos de Isoyetas Intensidad de Lluvia desarrolladas por la Dirección General de Servicios Técnicos, Publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, apoyados por los métodos Racional y Ven Te Chow, para estar en condiciones de poder realizar las comparativas que se consideren convenientes.

Por último con los datos obtenidos de estos análisis se desarrollaran los ejercicios para determinar el análisis y cálculos hidráulicos con el apoyo del Método Sección y Pendiente o también denominado Método de Manning.

### 4.3.1. Método de Gumbel.

| <b>AÑO</b>    | <b>Q<sub>anual</sub></b> | <b>Q<sub>i2</sub></b> |
|---------------|--------------------------|-----------------------|
| 1942          | 6.013                    | 36.159                |
| 1943          | 5.488                    | 30.117                |
| 1944          | 5.115                    | 26.164                |
| 1945          | 5.582                    | 31.159                |
| 1946          | 5.964                    | 35.566                |
| 1947          | 5.865                    | 34.400                |
| 1948          | 4.846                    | 23.484                |
| 1949          | 2.935                    | 8.617                 |
| 1961          | 5.430                    | 29.486                |
| 1962          | 3.703                    | 13.712                |
| 1963          | 6.524                    | 42.565                |
| 1964          | 6.593                    | 43.464                |
| 1965          | 5.431                    | 29.499                |
| 1966          | 5.055                    | 25.554                |
| 1967          | 6.121                    | 37.472                |
| 1968          | 5.912                    | 34.956                |
| 1969          | 5.796                    | 33.598                |
| 1970          | 5.985                    | 35.823                |
| 1972          | 5.282                    | 27.902                |
| 1973          | 5.397                    | 29.128                |
| 1974          | 6.856                    | 47.009                |
| 1975          | 6.418                    | 41.191                |
| 1976          | 6.202                    | 38.460                |
| 1977          | 4.336                    | 18.799                |
| 1978          | 5.956                    | 35.479                |
| 1979          | 5.666                    | 32.099                |
| 1980          | 5.469                    | 29.914                |
| 1981          | 5.373                    | 28.868                |
| 1982          | 6.018                    | 36.216                |
| 1983          | 5.406                    | 29.230                |
| 1984          | 5.666                    | 32.108                |
| 1985          | 5.476                    | 29.982                |
| 1988          | 5.469                    | 29.914                |
| 1989          | 5.156                    | 26.583                |
| 1990          | 6.310                    | 39.822                |
| 1991          | 3.094                    | 9.575                 |
| 1992          | 6.100                    | 37.206                |
| 1993          | 5.344                    | 28.557                |
| 1994          | 5.268                    | 27.756                |
| 1995          | 4.408                    | 19.434                |
| 1996          | 2.340                    | 5.474                 |
| 1997          | 1.660                    | 2.755                 |
| 1998          | 3.672                    | 13.482                |
| 1999          | 5.773                    | 33.326                |
| 2001          | 5.350                    | 28.620                |
| 2002          | 5.112                    | 26.134                |
| 2003          | 4.867                    | 23.689                |
| 2004          | 4.377                    | 19.157                |
| 2005          | 4.547                    | 20.676                |
| 2005          | 4.573                    | 20.916                |
| 2006          | 5.105                    | 26.057                |
| 2007          | 5.022                    | 25.221                |
| 2008          | 6.101                    | 37.223                |
| 2009          | 4.337                    | 18.810                |
| 2010          | 5.484                    | 30.079                |
| 2011          | 6.520                    | 42.511                |
| <b>SUMAS:</b> | <b>293.872</b>           | <b>1601.156</b>       |

Tabla No. 7

N = 56

Q̄ = 5.247719382 Según Formula

σQ = 1.035697475 Según Formula

**Según tablas referencia SCT**

YN = 0.5508

σN = 1.1696

Según Formula

T= 5 Q max = 5.379

T= 10 Q max = 5.645

T= 50 Q max = 6.264

T= 100 Q max = 6.531

**Intervalo de Confianza**

T = 5 φ= 0.80 según tabla  
√(N σm) = 2.2408

ΔQ = 0.265157942

T = 10 φ= 0.90 según tabla  
√(N σm) = 3.1639

ΔQ = 0.374390045

T = 50 φ= 0.98  
ΔQ = 1.009486253

T = 100 φ= 0.99  
ΔQ = 1.009486253

T= 5 Q max = 5.644

T= 10 Q max = 6.020

T= 50 Q max = 7.274

T= 100 Q max = 7.540

Tabla No. 8

### 4.3.2. Método de Nash.

| 1       | 2      | 3      | 4       | 5       | 6          | 7        | 8      |
|---------|--------|--------|---------|---------|------------|----------|--------|
| Qi      | mi     | Ti     | Ti/Ti-1 | xi      | Qi2 X 10-4 | Qi xi    | xi2    |
| 6.856   | 1.000  | 57.000 | 1.018   | -2.114  | 47.009     | -14.496  | 4.470  |
| 6.593   | 2.000  | 28.500 | 1.036   | -1.809  | 43.464     | -11.928  | 3.274  |
| 6.524   | 3.000  | 19.000 | 1.056   | -1.629  | 42.565     | -10.630  | 2.655  |
| 6.520   | 4.000  | 14.250 | 1.075   | -1.500  | 42.511     | -9.782   | 2.251  |
| 6.418   | 5.000  | 11.400 | 1.096   | -1.399  | 41.191     | -8.981   | 1.958  |
| 6.310   | 6.000  | 9.500  | 1.118   | -1.316  | 39.822     | -8.305   | 1.732  |
| 6.202   | 7.000  | 8.143  | 1.140   | -1.245  | 38.460     | -7.720   | 1.550  |
| 6.121   | 8.000  | 7.125  | 1.163   | -1.183  | 37.472     | -7.239   | 1.398  |
| 6.101   | 9.000  | 6.333  | 1.188   | -1.127  | 37.223     | -6.876   | 1.270  |
| 6.100   | 10.000 | 5.700  | 1.213   | -1.077  | 37.206     | -6.569   | 1.160  |
| 6.018   | 11.000 | 5.182  | 1.239   | -1.031  | 36.216     | -6.204   | 1.063  |
| 6.013   | 12.000 | 4.750  | 1.267   | -0.989  | 36.159     | -5.945   | 0.977  |
| 5.985   | 13.000 | 4.385  | 1.295   | -0.949  | 35.823     | -5.681   | 0.901  |
| 5.964   | 14.000 | 4.071  | 1.326   | -0.912  | 35.566     | -5.440   | 0.832  |
| 5.956   | 15.000 | 3.800  | 1.357   | -0.877  | 35.479     | -5.226   | 0.770  |
| 5.912   | 16.000 | 3.563  | 1.390   | -0.844  | 34.956     | -4.992   | 0.713  |
| 5.865   | 17.000 | 3.353  | 1.425   | -0.813  | 34.400     | -4.768   | 0.661  |
| 5.796   | 18.000 | 3.167  | 1.462   | -0.783  | 33.598     | -4.539   | 0.613  |
| 5.773   | 19.000 | 3.000  | 1.500   | -0.754  | 33.326     | -4.354   | 0.569  |
| 5.666   | 20.000 | 2.850  | 1.541   | -0.727  | 32.108     | -4.117   | 0.528  |
| 5.666   | 21.000 | 2.714  | 1.583   | -0.700  | 32.099     | -3.965   | 0.490  |
| 5.582   | 22.000 | 2.591  | 1.629   | -0.674  | 31.159     | -3.763   | 0.454  |
| 5.488   | 23.000 | 2.478  | 1.676   | -0.649  | 30.117     | -3.562   | 0.421  |
| 5.484   | 24.000 | 2.375  | 1.727   | -0.625  | 30.079     | -3.426   | 0.390  |
| 5.476   | 25.000 | 2.280  | 1.781   | -0.601  | 29.982     | -3.290   | 0.361  |
| 5.469   | 26.000 | 2.192  | 1.839   | -0.578  | 29.914     | -3.159   | 0.334  |
| 5.469   | 27.000 | 2.111  | 1.900   | -0.555  | 29.914     | -3.034   | 0.308  |
| 5.431   | 28.000 | 2.036  | 1.966   | -0.532  | 29.499     | -2.892   | 0.283  |
| 5.430   | 29.000 | 1.966  | 2.036   | -0.510  | 29.486     | -2.772   | 0.261  |
| 5.406   | 30.000 | 1.900  | 2.111   | -0.489  | 29.230     | -2.643   | 0.239  |
| 5.397   | 31.000 | 1.839  | 2.192   | -0.467  | 29.128     | -2.522   | 0.218  |
| 5.373   | 32.000 | 1.781  | 2.280   | -0.446  | 28.868     | -2.397   | 0.199  |
| 5.350   | 33.000 | 1.727  | 2.375   | -0.425  | 28.620     | -2.275   | 0.181  |
| 5.344   | 34.000 | 1.676  | 2.478   | -0.404  | 28.557     | -2.161   | 0.163  |
| 5.282   | 35.000 | 1.629  | 2.591   | -0.384  | 27.902     | -2.026   | 0.147  |
| 5.268   | 36.000 | 1.583  | 2.714   | -0.363  | 27.756     | -1.912   | 0.132  |
| 5.156   | 37.000 | 1.541  | 2.850   | -0.342  | 26.583     | -1.764   | 0.117  |
| 5.115   | 38.000 | 1.500  | 3.000   | -0.321  | 26.164     | -1.644   | 0.103  |
| 5.112   | 39.000 | 1.462  | 3.167   | -0.301  | 26.134     | -1.536   | 0.090  |
| 5.105   | 40.000 | 1.425  | 3.353   | -0.279  | 26.057     | -1.427   | 0.078  |
| 5.055   | 41.000 | 1.390  | 3.563   | -0.258  | 25.554     | -1.306   | 0.067  |
| 5.022   | 42.000 | 1.357  | 3.800   | -0.237  | 25.221     | -1.189   | 0.056  |
| 4.867   | 43.000 | 1.326  | 4.071   | -0.215  | 23.689     | -1.046   | 0.046  |
| 4.846   | 44.000 | 1.295  | 4.385   | -0.193  | 23.484     | -0.933   | 0.037  |
| 4.573   | 45.000 | 1.267  | 4.750   | -0.170  | 20.916     | -0.776   | 0.029  |
| 4.547   | 46.000 | 1.239  | 5.182   | -0.146  | 20.676     | -0.664   | 0.021  |
| 4.408   | 47.000 | 1.213  | 5.700   | -0.122  | 19.434     | -0.536   | 0.015  |
| 4.377   | 48.000 | 1.188  | 6.333   | -0.096  | 19.157     | -0.420   | 0.009  |
| 4.337   | 49.000 | 1.163  | 7.125   | -0.069  | 18.810     | -0.300   | 0.005  |
| 4.336   | 50.000 | 1.140  | 8.143   | -0.041  | 18.799     | -0.176   | 0.002  |
| 3.703   | 51.000 | 1.118  | 9.500   | -0.010  | 13.712     | -0.036   | 0.000  |
| 3.672   | 52.000 | 1.096  | 11.400  | 0.024   | 13.482     | 0.088    | 0.001  |
| 3.094   | 53.000 | 1.075  | 14.250  | 0.062   | 9.575      | 0.192    | 0.004  |
| 2.935   | 54.000 | 1.056  | 19.000  | 0.107   | 8.617      | 0.313    | 0.011  |
| 2.340   | 55.000 | 1.036  | 28.500  | 0.163   | 5.474      | 0.381    | 0.027  |
| 1.660   | 56.000 | 1.018  | 57.000  | 0.244   | 2.755      | 0.406    | 0.060  |
| 293.872 |        |        |         | -33.680 | 1601.156   | -201.961 | 34.703 |

Tabla No. 9

$$\bar{Q} = \frac{293.872285}{56} = 5.248$$

$$\bar{x} = \frac{-33.68}{56} = -0.60$$

Calculo de constantes

$$c_0 = -1.746$$

$$a_0 = 4.198$$

|             |       |              |
|-------------|-------|--------------|
| $Q_{max} =$ | 5.967 | para T = 5   |
| $Q_{max} =$ | 6.536 | para T = 10  |
| $Q_{max} =$ | 7.788 | para T = 50  |
| $Q_{max} =$ | 8.318 | para T = 100 |

Intervalos de Confianza

$$S_{xx} = 809.057324$$

$$S_{qq} = 3303.82132$$

$$S_{xq} = -1412.29318$$

|       |             |            |
|-------|-------------|------------|
| $x =$ | -1.01363135 | Para T=5   |
| $x =$ | -1.3395378  | Para T=10  |
| $x =$ | -2.05680612 | Para T=50  |
| $x =$ | -2.36003511 | Para T=100 |

|              |            |              |
|--------------|------------|--------------|
| $\Delta_Q =$ | 0.29943946 | Para T = 5   |
| $\Delta_Q =$ | 0.34415908 | Para T = 10  |
| $\Delta_Q =$ | 0.48911352 | Para T = 50  |
| $\Delta_Q =$ | 0.56040312 | Para T = 100 |

Calculo del gasto maximo con intervalos de confianza

|              |             |       |   |             |       |
|--------------|-------------|-------|---|-------------|-------|
| Para T = 5   | $Q_{max} =$ | 5.967 | + | 0.299439462 | 6.267 |
| Para T = 10  | $Q_{max} =$ | 6.536 | + | 0.344159081 | 6.880 |
| Para T = 50  | $Q_{max} =$ | 7.788 | + | 0.489113524 | 8.277 |
| Para T = 100 | $Q_{max} =$ | 8.318 | + | 0.560403125 | 8.878 |

Tabla No. 10

### 4.3.3. Método de Pearson III.

| 1                  | 2                       | 3               | 4            | 5             | 6             | 7             |
|--------------------|-------------------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Año de Observación | Gasto maximo anual m3/s | Qi2             | Qix10-2      | log Qi        | log2 Qi       | log3 Qi       |
| 1942               | 6.013                   | 36.159          | 0.060        | 0.779         | 0.607         | 0.473         |
| 1943               | 5.488                   | 30.117          | 0.055        | 0.739         | 0.547         | 0.404         |
| 1944               | 5.115                   | 26.164          | 0.051        | 0.709         | 0.502         | 0.356         |
| 1945               | 5.582                   | 31.159          | 0.056        | 0.747         | 0.558         | 0.416         |
| 1946               | 5.964                   | 35.566          | 0.060        | 0.776         | 0.601         | 0.466         |
| 1947               | 5.865                   | 34.400          | 0.059        | 0.768         | 0.590         | 0.453         |
| 1948               | 4.846                   | 23.484          | 0.048        | 0.685         | 0.470         | 0.322         |
| 1949               | 2.935                   | 8.617           | 0.029        | 0.468         | 0.219         | 0.102         |
| 1961               | 5.430                   | 29.486          | 0.054        | 0.735         | 0.540         | 0.397         |
| 1962               | 3.703                   | 13.712          | 0.037        | 0.569         | 0.323         | 0.184         |
| 1963               | 6.524                   | 42.565          | 0.065        | 0.815         | 0.663         | 0.540         |
| 1964               | 6.593                   | 43.464          | 0.066        | 0.819         | 0.671         | 0.549         |
| 1965               | 5.431                   | 29.499          | 0.054        | 0.735         | 0.540         | 0.397         |
| 1966               | 5.055                   | 25.554          | 0.051        | 0.704         | 0.495         | 0.349         |
| 1967               | 6.121                   | 37.472          | 0.061        | 0.787         | 0.619         | 0.487         |
| 1968               | 5.912                   | 34.956          | 0.059        | 0.772         | 0.596         | 0.460         |
| 1969               | 5.796                   | 33.598          | 0.058        | 0.763         | 0.582         | 0.444         |
| 1970               | 5.985                   | 35.823          | 0.060        | 0.777         | 0.604         | 0.469         |
| 1972               | 5.282                   | 27.902          | 0.053        | 0.723         | 0.522         | 0.378         |
| 1973               | 5.397                   | 29.128          | 0.054        | 0.732         | 0.536         | 0.392         |
| 1974               | 6.856                   | 47.009          | 0.069        | 0.836         | 0.699         | 0.584         |
| 1975               | 6.418                   | 41.191          | 0.064        | 0.807         | 0.652         | 0.526         |
| 1976               | 6.202                   | 38.460          | 0.062        | 0.793         | 0.628         | 0.498         |
| 1977               | 4.336                   | 18.799          | 0.043        | 0.637         | 0.406         | 0.259         |
| 1978               | 5.956                   | 35.479          | 0.060        | 0.775         | 0.601         | 0.465         |
| 1979               | 5.666                   | 32.099          | 0.057        | 0.753         | 0.567         | 0.427         |
| 1980               | 5.469                   | 29.914          | 0.055        | 0.738         | 0.545         | 0.402         |
| 1981               | 5.373                   | 28.868          | 0.054        | 0.730         | 0.533         | 0.389         |
| 1982               | 6.018                   | 36.216          | 0.060        | 0.779         | 0.608         | 0.474         |
| 1983               | 5.406                   | 29.230          | 0.054        | 0.733         | 0.537         | 0.394         |
| 1984               | 5.666                   | 32.108          | 0.057        | 0.753         | 0.567         | 0.427         |
| 1985               | 5.476                   | 29.982          | 0.055        | 0.738         | 0.545         | 0.403         |
| 1988               | 5.469                   | 29.914          | 0.055        | 0.738         | 0.545         | 0.402         |
| 1989               | 5.156                   | 26.583          | 0.052        | 0.712         | 0.507         | 0.361         |
| 1990               | 6.310                   | 39.822          | 0.063        | 0.800         | 0.640         | 0.512         |
| 1991               | 3.094                   | 9.575           | 0.031        | 0.491         | 0.241         | 0.118         |
| 1992               | 6.100                   | 37.206          | 0.061        | 0.785         | 0.617         | 0.484         |
| 1993               | 5.344                   | 28.557          | 0.053        | 0.728         | 0.530         | 0.386         |
| 1994               | 5.268                   | 27.756          | 0.053        | 0.722         | 0.521         | 0.376         |
| 1995               | 4.408                   | 19.434          | 0.044        | 0.644         | 0.415         | 0.267         |
| 1996               | 2.340                   | 5.474           | 0.023        | 0.369         | 0.136         | 0.050         |
| 1997               | 1.660                   | 2.755           | 0.017        | 0.220         | 0.048         | 0.011         |
| 1998               | 3.672                   | 13.482          | 0.037        | 0.565         | 0.319         | 0.180         |
| 1999               | 5.773                   | 33.326          | 0.058        | 0.761         | 0.580         | 0.441         |
| 2001               | 5.350                   | 28.620          | 0.053        | 0.728         | 0.530         | 0.386         |
| 2002               | 5.112                   | 26.134          | 0.051        | 0.709         | 0.502         | 0.356         |
| 2003               | 4.867                   | 23.689          | 0.049        | 0.687         | 0.472         | 0.325         |
| 2004               | 4.377                   | 19.157          | 0.044        | 0.641         | 0.411         | 0.264         |
| 2005               | 4.547                   | 20.676          | 0.045        | 0.658         | 0.433         | 0.285         |
| 2005               | 4.573                   | 20.916          | 0.046        | 0.660         | 0.436         | 0.288         |
| 2006               | 5.105                   | 26.057          | 0.051        | 0.708         | 0.501         | 0.355         |
| 2007               | 5.022                   | 25.221          | 0.050        | 0.701         | 0.491         | 0.344         |
| 2008               | 6.101                   | 37.223          | 0.061        | 0.785         | 0.617         | 0.484         |
| 2009               | 4.337                   | 18.810          | 0.043        | 0.637         | 0.406         | 0.259         |
| 2010               | 5.484                   | 30.079          | 0.055        | 0.739         | 0.546         | 0.404         |
| 2011               | 6.520                   | 42.511          | 0.065        | 0.814         | 0.663         | 0.540         |
| <b>sumas:</b>      | <b>293.872</b>          | <b>1601.156</b> | <b>2.939</b> | <b>39.678</b> | <b>28.782</b> | <b>21.167</b> |

Tabla No. 11

| Metodo Pearson III                              |                      |        |                                    |
|---|----------------------|--------|------------------------------------|
| N =   | 56                   |        |                                    |
| $\bar{Q}$ =                                     | $\frac{293.872}{56}$ |        | 5.248                              |
| Calculo de la desviación estandar de los gastos |                      |        |                                    |
| SQ =  | 1.035697475          |        |                                    |
| Calculo del coeficiente de distirción           |                      |        |                                    |
| g =   | 0.00                 |        |                                    |
|   |                      | T= 5   | 0.842                              |
|   |                      | T= 10  | 1.282                              |
|   |                      | T= 50  | 2.054                              |
|   |                      | T= 100 | 2.326                              |
|   |                      |        | TABLA                              |
|   |                      |        | K                                  |
|   |                      |        | $Q_{max} = \bar{Q} + K \times S_q$ |
|   |                      |        | 6.120                              |
|   |                      |        | 6.575                              |
|   |                      |        | 7.375                              |
|   |                      |        | 7.657                              |

Tabla No. 12

#### 4.3.4. Método de Log-Pearson III.

| Metodo Log-Pearson III                          |             |        |  |
|---|-------------|--------|--|
| N =   | 56          |        |  |
| $\log \bar{Q}$ =                                | 0.709       |        |  |
| Calculo de la desviación estandar de los gastos |             |        |  |
| SlogQ =   | 0.110329186 |        |  |
| Calculo del coeficiente de distirción           |             |        |  |
| g =   | -2.45       |        |  |
|   |             | T= 5   | 0.788  |
|   |             | T= 10  | 0.92   |
|   |             | T= 50  | 1.023  |
|   |             | T= 100 | 1.037  |
|   |             |        | TABLA  |
|   |             |        | K  |
|   |             |        | $Q_{max} = \text{Antilog}(\log \bar{Q} + K \times S_{\log Q})$ |
|   |             |        | 0.795  |
|   |             |        | 6.237  |
|   |             |        | 0.810  |
|   |             |        | 6.456  |
|   |             |        | 0.821  |
|   |             |        | 6.622  |
|   |             |        | 0.823  |
|   |             |        | 6.653  |

Tabla No. 13

### 4.3.5. Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un Periodo de Retorno SCT.

En el anexo se encuentran las imágenes de las Isoyetas de la SCT correspondientes (imágenes 32 a 36).

#### 4.3.5.1. Método Racional

$$Q_p = 0.278xCxIx A$$

Cálculos para Puente Libramiento Norte.

| Coeficiente de escurrimiento global |             |          |
|-------------------------------------|-------------|----------|
| Tipo de suelo                       | coeficiente | Area km2 |
| Campos cultivados                   | 0.20 - 0.40 | 7.539    |
| Zonas Forestadas                    | 0.10 - 0.30 | 14.001   |

Tabla No. 14

$$C = \frac{(0.30 \times 7.539) + (0.20 \times 14.001)}{21.54} = 0.235$$

$$T_c = 0.0662 \frac{23.9173^{0.77}}{0.02151^{0.385}} = 3.345 \text{ Hrs.} = 200.70 \text{ min} \approx 200 \text{ min}$$

Utilizando Isoyetas de Intensidad de Lluvia de la SCT para un Periodo de Retorno determinado.

| Tr   | D       | I (mm/hr) | C     | A (km2) | Qp (m3/seg) |
|------|---------|-----------|-------|---------|-------------|
| 10   | 240 min | 40        | 0.235 | 21.54   | 56.29       |
| 50   | 240 min | 60        | 0.235 | 21.54   | 84.43       |
| 100  | 240 min | 60        | 0.235 | 21.54   | 84.43       |
| 500  | 24 hrs  | 300       | 0.235 | 21.54   | 422.16      |
| 1000 | 24hrs   | 750       | 0.235 | 21.54   | 1055.41     |

Cálculos para Puente Chul-ha 3ª. Oriente Sur.

| Coeficiente de escurrimiento global |             |          |
|-------------------------------------|-------------|----------|
| Tipo de suelo                       | coeficiente | Area km2 |
| Zonas densamente construidas        | 0.60 - 0.90 | 2.298    |
| Campos cultivados                   | 0.20 - 0.40 | 9.192    |
| Zonas Forestadas                    | 0.10 - 0.30 | 11.490   |

Tabla No. 16

$$C = \frac{(0.90 \times 2.298) + (0.30 \times 9.192) + (0.20 \times 11.490)}{22.98} = 0.310$$

$$T_c = 0.0662 \frac{22.6541^{0.77}}{0.02683^{0.385}} = 2.946 \text{ Hrs.} = 176.78 \text{ min} \approx 200 \text{ min}$$

Utilizando Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un Periodo de Retorno SCT

| Tr   | D       | I (mm/hr) | C     | A (km2) | Qp (m3/seg) |
|------|---------|-----------|-------|---------|-------------|
| 10   | 240 min | 40        | 0.310 | 22.98   | 79.22       |
| 50   | 240 min | 60        | 0.310 | 22.98   | 118.82      |
| 100  | 240 min | 60        | 0.310 | 22.98   | 118.82      |
| 500  | 24 hrs  | 300       | 0.310 | 22.98   | 594.12      |
| 1000 | 24hrs   | 750       | 0.310 | 22.98   | 1485.31     |

Cálculos para Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte.

| Coeficiente de escurrimiento global |             |          |
|-------------------------------------|-------------|----------|
| Tipo de suelo                       | coeficiente | Area km2 |
| Zonas densamente construidas        | 0.60 - 0.90 | 2.447    |
| Campos cultivados                   | 0.20 - 0.40 | 9.788    |
| Zonas Forestadas                    | 0.10 - 0.30 | 12.235   |

Tabla No. 18

$$C = \frac{(0.90 \times 2.447) + (0.30 \times 9.788) + (0.20 \times 12.235)}{24.47} = 0.310$$

$$T_c = 0.0662 \frac{24.1493^{0.77}}{0.01486^{0.385}} = 3.885 \text{ Hrs.} = 233.14 \text{ min} \approx 240 \text{ min}$$

Utilizando Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un Periodo de Retorno SCT

| Tr   | D       | I (mm/hr) | C     | A (km2) | Qp (m3/seg) |
|------|---------|-----------|-------|---------|-------------|
| 10   | 240 min | 40        | 0.310 | 24.47   | 84.35       |
| 50   | 240 min | 60        | 0.310 | 24.47   | 126.53      |
| 100  | 240 min | 60        | 0.310 | 24.47   | 126.53      |
| 500  | 24 hrs  | 300       | 0.310 | 24.47   | 632.65      |
| 1000 | 24hrs   | 750       | 0.310 | 24.47   | 1581.62     |

#### 4.3.5.2. Método de Ven Te Chow.

$$Q_m = 2.78 \times A \times X \times Z$$

Considerando el tipo de suelo como Bosques (Sembrados y Cultivados) con espesura entre 50 – 70 y suelo tipo B.

N = Número de escurrimiento, adimensional = 60, según tabla.

d = Duración total de la tormenta, en horas = 240 min = 4 Hrs.

Utilizando Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un Periodo de Retorno SCT, se determina P en mm/hr = cm/ hr, siendo este la lluvia en la zona en estudio para una duración d, en cm.

Cálculos para Puente Libramiento Norte.

| 1            | 2      | 3         | 4     | 5       | 6            | 7       | 8     | 9       | 10                   | 11     |
|--------------|--------|-----------|-------|---------|--------------|---------|-------|---------|----------------------|--------|
|              |        | Isoyetas  | (2x3) | grafica | (5/2)        | formula | (2/7) | grafica | dato                 |        |
| Tr<br>(años) | d (hr) | P (cm/hr) | Po    | Pe      | X<br>(cm/hr) | tp      | d/tp  | Z       | A (km <sup>2</sup> ) | Qm     |
| 10           | 4.00   | 4.00      | 16.00 | 6.00    | 1.50         | 1.720   | 2.326 | 1.00    | 21.54                | 89.82  |
| 50           | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 1.720   | 3.488 | 1.00    | 21.54                | 114.77 |
| 100          | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 1.720   | 3.488 | 1.00    | 21.54                | 114.77 |

Tabla No. 20

Cálculos para Puente Chul-ha 3<sup>a</sup>. Oriente Sur.

| 1            | 2      | 3         | 4     | 5       | 6            | 7       | 8     | 9       | 10                   | 11     |
|--------------|--------|-----------|-------|---------|--------------|---------|-------|---------|----------------------|--------|
|              |        | Isoyetas  | (2x3) | grafica | (5/2)        | formula | (2/7) | grafica | dato                 |        |
| Tr<br>(años) | d (hr) | P (cm/hr) | Po    | Pe      | X<br>(cm/hr) | tp      | d/tp  | Z       | A (km <sup>2</sup> ) | Qm     |
| 10           | 4.00   | 4.00      | 16.00 | 6.00    | 1.50         | 1.684   | 2.375 | 1.00    | 22.98                | 95.83  |
| 50           | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 1.684   | 3.563 | 1.00    | 22.98                | 122.45 |
| 100          | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 1.684   | 3.563 | 1.00    | 22.98                | 122.45 |

Tabla No. 21

Cálculos para Puente Jonuta 3<sup>a</sup>. Poniente Norte.

| 1            | 2      | 3         | 4     | 5       | 6            | 7       | 8     | 9       | 10                   | 11     |
|--------------|--------|-----------|-------|---------|--------------|---------|-------|---------|----------------------|--------|
|              |        | Isoyetas  | (2x3) | grafica | (5/2)        | formula | (2/7) | grafica | dato                 |        |
| Tr<br>(años) | d (hr) | P (cm/hr) | Po    | Pe      | X<br>(cm/hr) | tp      | d/tp  | Z       | A (km <sup>2</sup> ) | Qm     |
| 10           | 4.00   | 4.00      | 16.00 | 6.00    | 1.50         | 2.141   | 1.868 | 0.95    | 24.47                | 96.94  |
| 50           | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 2.141   | 2.802 | 1.00    | 24.47                | 130.38 |
| 100          | 4.00   | 6.00      | 24.00 | 11.50   | 1.92         | 2.141   | 2.802 | 1.00    | 24.47                | 130.38 |

Tabla No. 22

#### 4.4. Análisis y Cálculo Hidráulico.

Para objeto de realizar un análisis de Sección-Pendiente, en los cruces propuestos seleccionaremos los gastos máximos generados en el análisis con objeto de establecer una relación Gastos máximos – tirantes críticos.

| <b>Puente Libramiento Norte</b> |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| Periodo de Retorno (años)       | Caudal Maximo (m3/seg) |
| 10                              | 89.82                  |
| 50                              | 114.77                 |
| 100                             | 114.77                 |
| 500                             | 422.16                 |
| 1000                            | 1055.41                |

Tabla No.23

| <b>Puente Chul-ha 3a. Oriente Sur</b> |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| Periodo de Retorno (años)             | Caudal Maximo (m3/seg) |
| 10                                    | 95.83                  |
| 50                                    | 122.45                 |
| 100                                   | 122.45                 |
| 500                                   | 594.12                 |
| 1000                                  | 1485.31                |

Tabla No.24

| <b>Puente Jonuta 3a. Poniente Norte</b> |                        |
|---|------------------------|
| Periodo de Retorno (años)               | Caudal Maximo (m3/seg) |
| 10                                      | 96.94                  |
| 50                                      | 130.38                 |
| 100                                     | 130.38                 |
| 500                                     | 632.65                 |
| 1000                                    | 1581.62                |

Tabla No.25

#### 4.4.1. Puente Libramiento Norte.

#### Vista de localización en planta Puente "Libramiento Norte"



Imagen No. 9.

| CAUDAL PARA PUENTE "LIBRAMIENTO NORTE"                      |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                            |                         |
|---|------------------------|-------------|---------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|-------|---|---------------|-------|---------------|------------|----------------------------|-------------------------|
| CALCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL ÁREA HIDRÁULICA |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            | MÉTODO SECCIÓN - PENDIENTE |                         |
| BASE SUPERIOR (B)   | BASE PISO INFERIOR (b) | TIRANTE (Y) |         |        | AREA HIDRAULICA (A) | PERIMETRO MOJADO (P) | RADIO HIDRAULICO R | R2/3  | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n) | Pendiente (S) | S1/2  | v (VELOCIDAD) | Q (CAUDAL) | PERIODO DE RETORNO (Tr)    | CAUDAL DE ANALISIS (Qd) |
|   |                        | b (op)      | c (hip) | a (ad) |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                            |                         |
|   | Dato                   | Dato        |         |        |                     |                      |                    |       | Dato                                    | Dato          |       |               |            |                            |                         |
| 22.71   | 22.50                  | 1.087       | 1.09    | 0.10   | 24.570              | 24.684               | 0.995              | 0.997 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 3.655         | 89.81      | 10                         | 89.82                   |
| 22.74   | 22.50                  | 1.266       | 1.27    | 0.12   | 28.628              | 25.043               | 1.143              | 1.093 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 4.009         | 114.76     | 50                         | 114.77                  |
| 22.74   | 22.50                  | 1.266       | 1.27    | 0.12   | 28.628              | 25.043               | 1.143              | 1.093 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 4.009         | 114.76     | 100                        | 114.77                  |
| 23.05   | 22.50                  | 2.884       | 2.90    | 0.27   | 65.675              | 28.294               | 2.321              | 1.753 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 6.428         | 422.16     | 500                        | 422.16                  |
| 23.50   | 22.50                  | 5.267       | 5.29    | 0.50   | 121.152             | 33.082               | 3.662              | 2.376 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 8.711         | 1055.39    | 1000                       | 1055.41                 |

Tabla No. 26

#### 4.4.2. Puente Chul-ha 3ª. Oriente sur.

##### Vista de localización en planta Puente "Chul-ha 3ª. Oriente Sur"



Imagen No. 10.

| <b>CAUDAL PARA PUENTE "CHUL-HA 3A. ORIENTE SUR"</b>   |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
|---|------------------------|-------------|---------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|-------|---|---------------|-------|---------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL ÁREA HIDRÁULICA MÉTODO SECCIÓN - PENDIENTE</b> |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
| BASE SUPERIOR (B)   | BASE PISO INFERIOR (b) | TIRANTE (V) |         |        | AREA HIDRAULICA (A) | PERIMETRO MOJADO (P) | RADIO HIDRAULICO R | R2/3  | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n) | Pendiente (S) | S1/2  | v (VELOCIDAD) | Q (CAUDAL) | PERIODO DE RETORNO (Tr) | CAUDAL DE ANALISIS (Qd) |
|   |                        | b (op)      | c (hip) | a (ad) |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
|   | Dato                   | Dato        |         |        |                     |                      |                    | Dato  | Dato                                    |               |       |               |            |                         |                         |
| 12.65   | 12.35                  | 1.589       | 1.60    | 0.15   | 19.869              | 15.543               | 1.278              | 1.178 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 4.823         | 95.83      | 10                      | 95.83                   |
| 12.70   | 12.35                  | 1.863       | 1.87    | 0.18   | 23.339              | 16.093               | 1.450              | 1.281 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 5.247         | 122.45     | 50                      | 122.45                  |
| 12.70   | 12.35                  | 1.863       | 1.87    | 0.18   | 23.339              | 16.093               | 1.450              | 1.281 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 5.247         | 122.45     | 100                     | 122.45                  |
| 13.38   | 12.35                  | 5.421       | 5.45    | 0.51   | 69.738              | 23.240               | 3.001              | 2.080 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 8.519         | 594.11     | 500                     | 594.12                  |
| 14.34   | 12.35                  | 10.467      | 10.51   | 0.99   | 139.678             | 33.379               | 4.185              | 2.597 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 10.634        | 1485.31    | 1000                    | 1485.31                 |

Tabla No. 27

### 4.4.3. Puente Jonuta 3ª. Poniente Norte.

#### Vista de localización en planta Puente "Jonuta 3ª. Poniente Norte"



Imagen No. 11.

| CAUDAL PARA PUENTE "JONUTA 3A. PONIENTE NORTE"   |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
|--|------------------------|-------------|---------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|-------|---|---------------|-------|---------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL ÁREA HIDRÁULICA MÉTODO SECCIÓN - PENDIENTE |                        |             |         |        |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
| BASE SUPERIOR (B)  | BASE PISO INFERIOR (b) | TIRANTE (Y) |         |        | AREA HIDRAULICA (A) | PERIMETRO MOJADO (P) | RADIO HIDRAULICO R | RZ/3  | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n) | Pendiente (s) | S1/2  | v (VELOCIDAD) | Q (CAUDAL) | PERIODO DE RETORNO (Tr) | CAUDAL DE ANALISIS (Qd) |
|  |                        | b (op)      | c (hip) | a (ad) |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |                         |                         |
|  | Dato                   | Dato        |         |        |                     |                      |                    |       | Dato                                    | Dato          |       |               |            |                         |                         |
| 12.82  | 12.40                  | 2.192       | 2.20    | 0.21   | 27.640              | 16.804               | 1.645              | 1.393 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 4.246         | 117.37     | 10                      | 117.37                  |
| 13.04  | 12.40                  | 3.386       | 3.40    | 0.32   | 43.078              | 19.203               | 2.243              | 1.714 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 5.222         | 224.97     | 50                      | 224.97                  |
| 13.04  | 12.40                  | 3.386       | 3.40    | 0.32   | 43.078              | 19.203               | 2.243              | 1.714 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 5.222         | 224.97     | 100                     | 224.97                  |
| 13.89  | 12.40                  | 7.853       | 7.89    | 0.75   | 103.236             | 28.177               | 3.664              | 2.377 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 7.243         | 747.72     | 500                     | 747.72                  |
| 15.31  | 12.40                  | 15.315      | 15.38   | 1.45   | 212.178             | 43.167               | 4.915              | 2.891 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 8.810         | 1869.30    | 1000                    | 1869.30                 |

Tabla No. 28

**CAPÍTULO V**

**DATOS Y NIVELES**

**CRÍTICOS DE**

**AVENIDAS MÁXIMAS**

**EXTRAORDINARIAS**

**DE SEPTIEMBRE 25**

**DEL 2010**

## 5.1. Puente Libramiento Norte.



Imagen No. 12

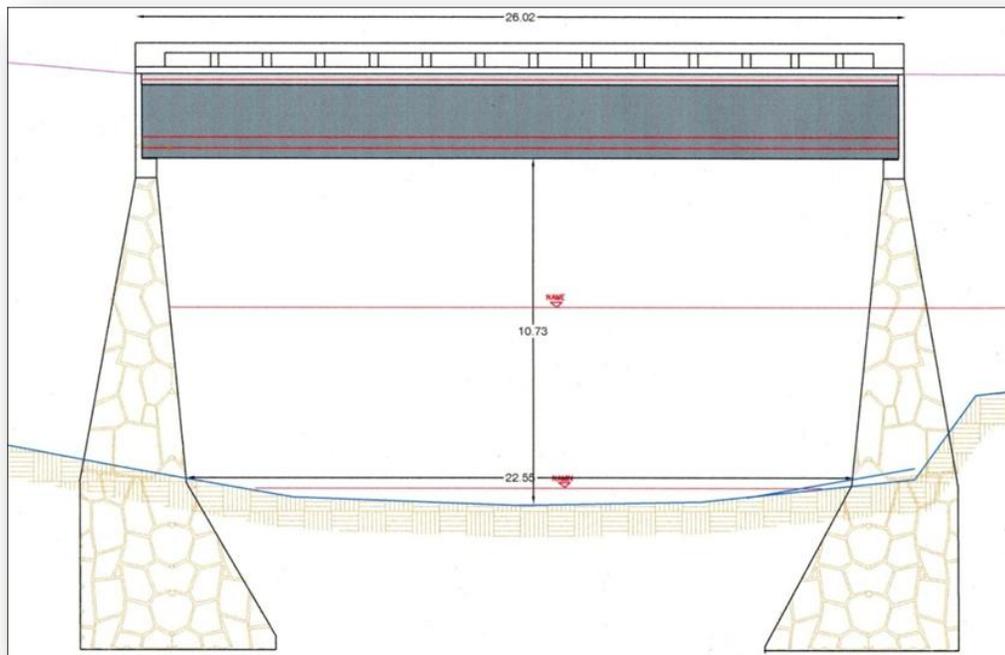
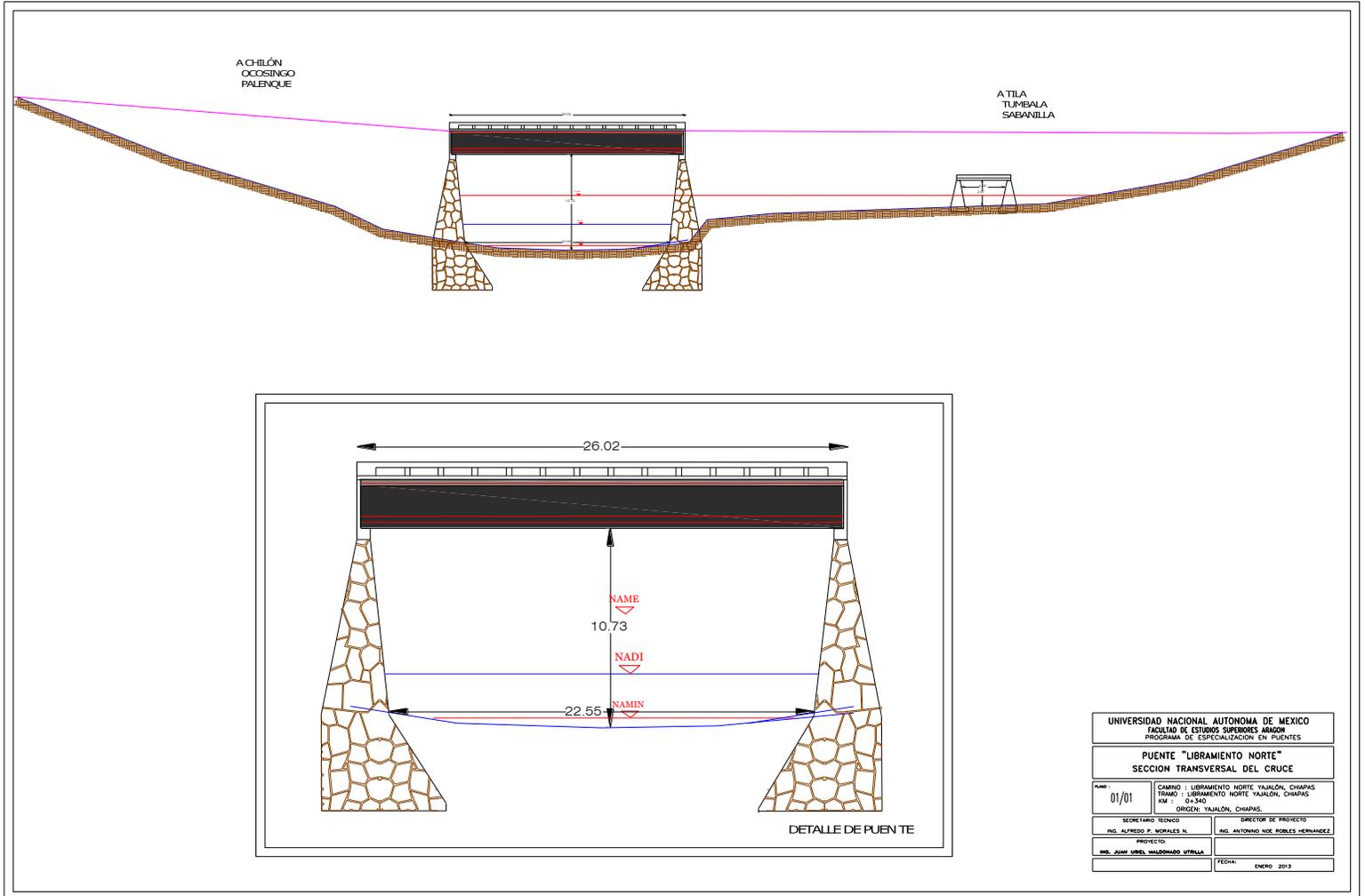


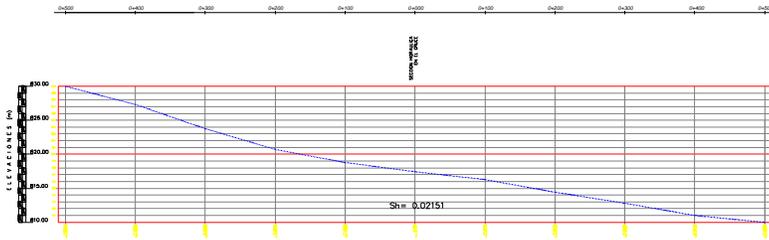
Imagen No. 13

El puente "Libramiento Norte", se encuentra ubicado sobre el KM. 0+340 del libramiento norte de la cabecera municipal de Yajalón, Chiapas, su superestructura está constituida por una losa de concreto reforzado de 25.22 metros de longitud, de 35.00 centímetros De espesor, 7.00 metros de ancho de calzada, 1.00 metros de banquetas en ambos lados y parapetos tipo IA en ambos márgenes, esta soportada por 2 trabes de sección tipo AASHTO de 2.25 centímetros de peralte, de concreto reforzado, la subestructura está formada por estribos y aleros de mampostería de 3ª. Clase de 15.24 metros de altura considerado de la cara inferior de las trabes de la losa a nivel de desplante, el material que constituye el fondo del cauce está formado por rocas (cantos rodados) de tamaño máximo de 70 cms., arenas y material menor de arrastre que por la presencia de las lluvias y avenidas y por efecto de la pendiente media del cauce son desplazadas con facilidad por lo que se consideran despreciables en este análisis para el objeto de la evaluación de la capacidad hidráulica del cruce, por todo esto se tiene una longitud libre horizontal en la parte inferior de la estructura de 22.55 metros y 10.73 metros de forma vertical.

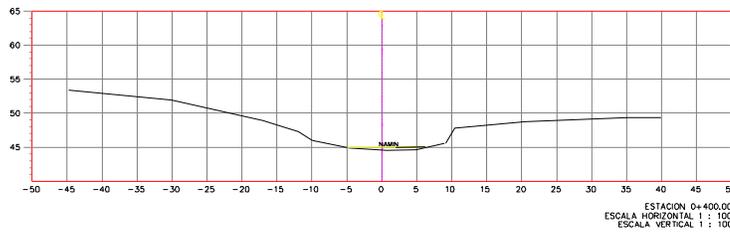
A 30.00 metros de lado derecho se encuentra ubicada una obra menor formada por estribos de 3.40 metros de altura y losa de 30 centímetros de espesor, dejando con estas dimensiones una luz de 4.66 metros de forma horizontal por 2.87 metros en su parte vertical.



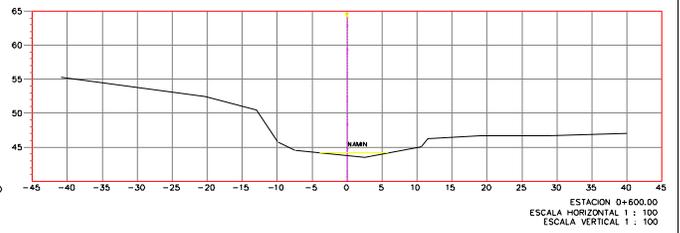
|  |   |
|--|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO          |   |
| FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES AMBÓN            |   |
| PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES           |   |
| PUENTE "LIBRAMIENTO NORTE"                       |   |
| SECCION TRANSVERSAL DEL CRUCE                    |   |
| PROYECTO: 01/01                                  | CAMINO : LIBRAMIENTO NORTE TAJALÓN, CHIAPAS<br>TRAMO : LIBRAMIENTO NORTE TAJALÓN, CHIAPAS<br>RM : 0-340<br>ORDEN: TAJALÓN, CHIAPAS. |
| SECRETARIO TÉCNICO<br>ING. ALFREDO P. HIDALGO R. | DIRECTOR DE PROYECTO<br>ING. ANTONIO NOE ROBLES HERNÁNDEZ   |
| PROYECTO:<br>ING. JUAN URBEL MALDONADO UTRILLA   | FECHA:<br>ENERO 2013  |



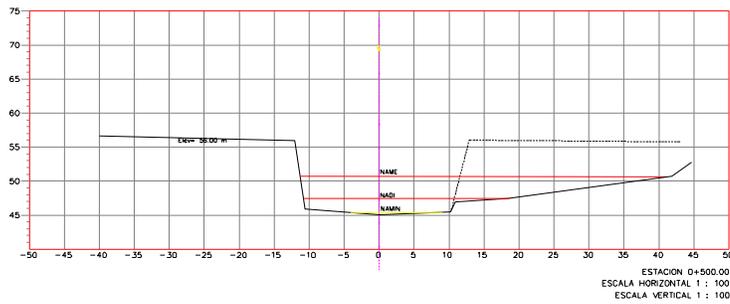
SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ARRIBA DEL SITIO DE CRUCE



SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ABAJO DEL SITIO DE CRUCE



SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE



SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ARRIBA DEL CRUCE  
Sh = 0.02151  $S_{H_{100}} = 0.1470$

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $\rho^{3/2}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 3.835               | 22.641 | 6.228 | 12.929       | 0.040 | 3.476   | 12.63                 |
| SUMA  | 3.835               |        |       |              |       |         | 12.63                 |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO DE CAMPO)  
Sh = 0.02151  $S_{H_{100}} = 0.1470$

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m)  | $\rho^{3/2}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|--------|--------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 2.007               | 26.678 | 13.242 | 38.450       | 0.040 | 15.715  | 31.540                |
| SUMA  | 2.007               |        |        |              |       |         | 31.540                |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO HIDROLOGICO A 100 AROS)  
Sh = 0.02151  $S_{H_{100}} = 0.1470$

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $\rho^{3/2}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 28.628              | 25.043 | 1.143 | 1.093        | 0.040 | 4.009   | 114.77                |
| SUMA  | 28.628              |        |       |              |       |         | 114.77                |

SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ABAJO DEL CRUCE  
Sh = 0.02151  $S_{H_{100}} = 0.1470$

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $\rho^{3/2}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 4.051               | 22.199 | 5.479 | 10.006       | 0.040 | 2.690   | 10.897                |
| SUMA  | 4.051               |        |       |              |       |         | 10.897                |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO TR = 415 AROS  
Sh = 0.02151  $S_{H_{100}} = 0.1470$

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $\rho^{3/2}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|--------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 212.30              | 145.93 | 1.455 | 1.284        | 0.040 | 4.708   | 999.42                |
| SUMA  | 212.30              |        |       |              |       |         | 999.42                |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA SUPERIOR  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES

PLANO TOPOHIDRAULICO

PROYECTO: 01/01 CAMINO 1 LIBRAMIENTO NORTE TAJUJÓN, CHIAPAS  
TRAMO: LIBRAMIENTO NORTE TAJUJÓN, CHIAPAS  
KILÓMETRO: 5+200  
ORDEN: TAJUJÓN, CHIAPAS

INGENIERO JEFE: DR. JUAN CARLOS GARCÍA GARCÍA  
INGENIERO DE PROYECTO: DR. JUAN CARLOS GARCÍA GARCÍA  
INGENIERO AUXILIAR: DR. JUAN CARLOS GARCÍA GARCÍA

FECHA: 02/10/2012

## 5.2. Puente Chul-ha 3ª. Oriente Sur.



Imagen No. 14

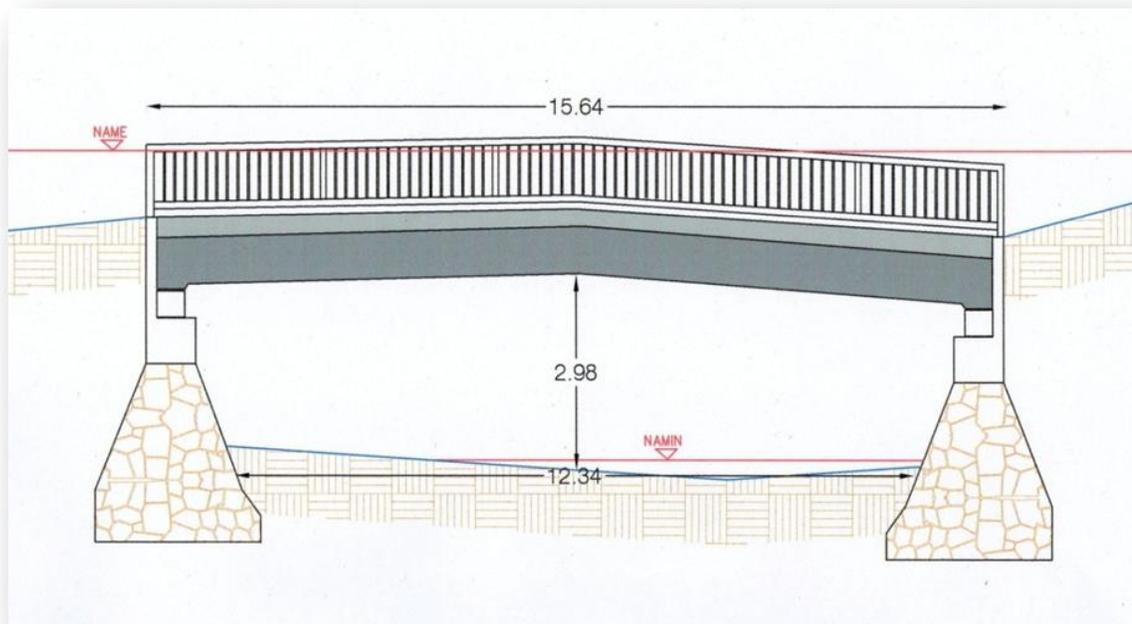
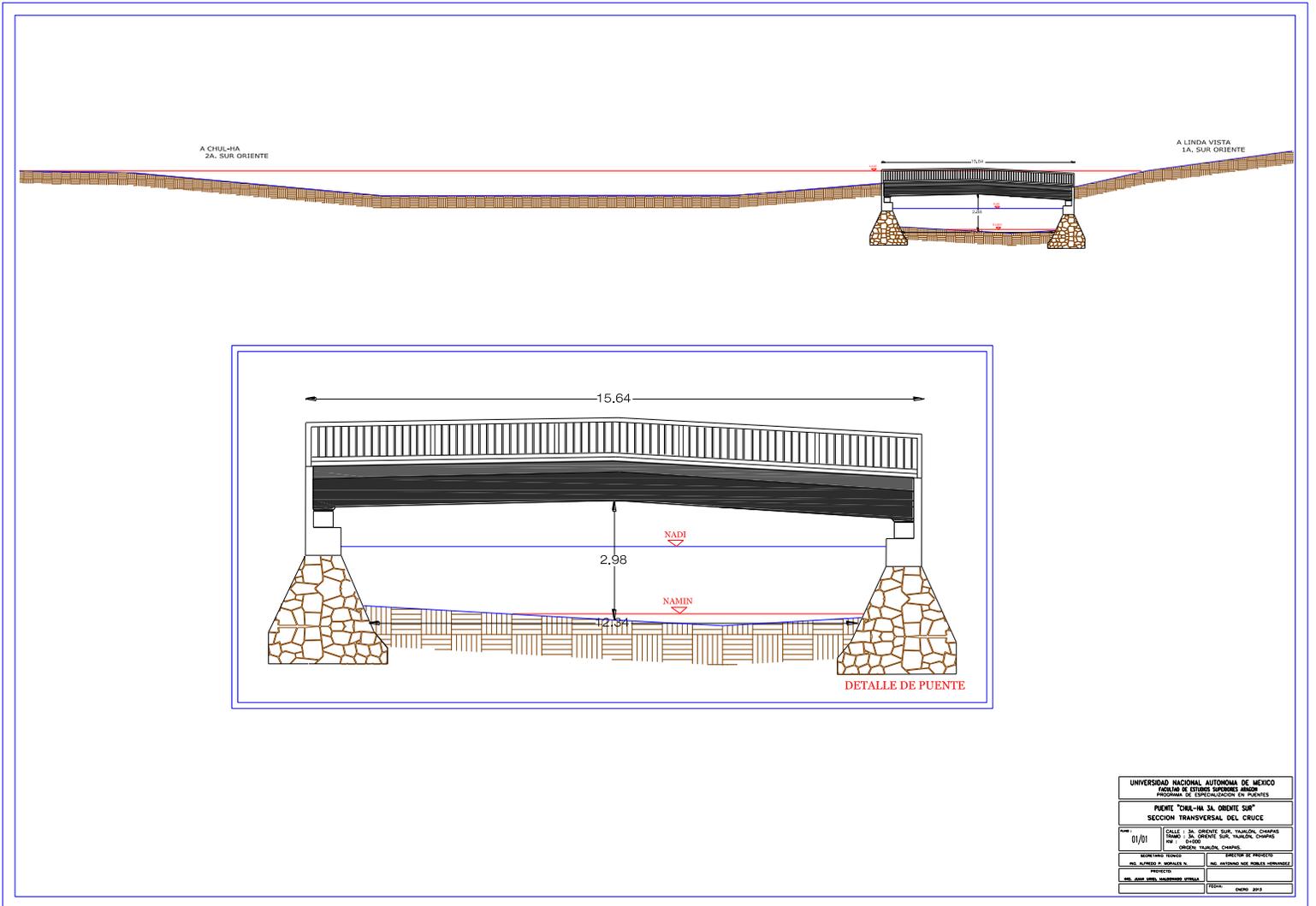
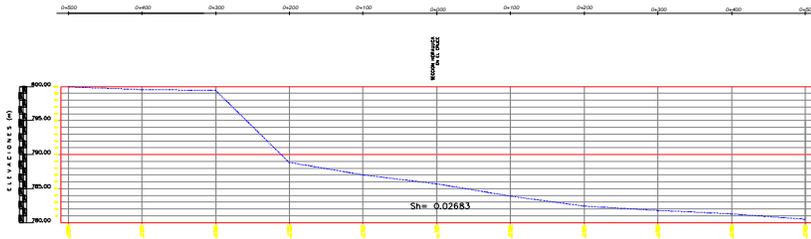


Imagen No. 15

El puente "Chul-ha 3ª. Oriente sur", está ubicado sobre la calle del mismo nombre en el Barrio denominado Chul-ha, en la cabecera municipal de Yajalón, la superestructura está formada por una losa maciza de concreto reforzado de 14.84 metros de longitud y 6.00 metros de ancho de calzada, banquetas de 80.00 centímetros y parapetos tipo peatonal, la losa presenta espesores de 1.00 metro en la franja longitudinal central de 4 metros y volados de 1.50 metros y 30.00 centímetros de espesor en ambos márgenes en sentido longitudinal, la subestructura son estribos de concreto ciclópeo de 2.73 metros de altura, espesor de corona de 70 centímetros y bancos de 40.00 centímetros de altura, el material que constituye el fondo del cauce está formado por rocas (cantos rodados) de tamaño máximo de 70 cms., arenas y material menor de arrastre que por la presencia de las lluvias y avenidas y por efecto de la pendiente media del cauce son desplazadas con facilidad por lo que se consideran despreciables en este análisis para el objeto de la evaluación de la capacidad hidráulica del cruce, por estas dimensiones se obtiene una longitud libre horizontal en la parte inferior de 12.34 metros y 2.98 metros de forma vertical.

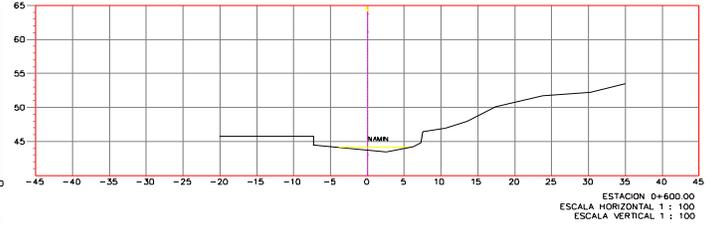
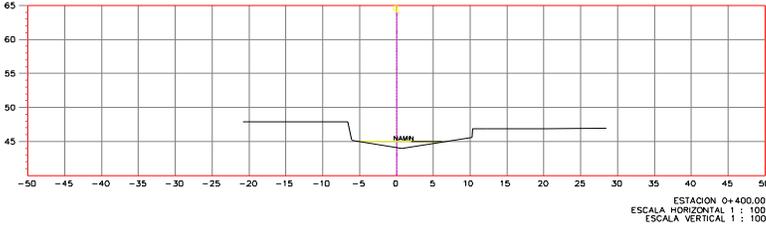


|   |   |
|---|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO |   |
| FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES     |   |
| PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES  |   |
| PUENTE TÓRRE-HA SA. ORIENTE SUR         |   |
| SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CRUCE           |   |
| 01/01                                   | CALLE: SA. ORIENTE SUR, MANZANA CAMPES<br>25000 SA. ORIENTE SUR, MANZANA CAMPES<br>MEX. ESTADO: QUERÉTARO |
| SECRETARÍA TÉCNICA                      | DIRECCIÓN DE PROYECTOS  |
| PROYECTO                                | ASISTENTE DE PROYECTO   |
| ING. JUAN JOSÉ HERRERA ESTRADA          | ING. JUAN JOSÉ HERRERA ESTRADA  |
| FECHA:                                  | ENERO 2019  |

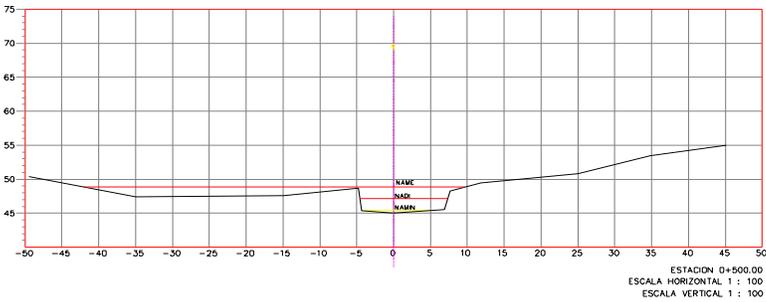


SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ARRIBA DEL SITIO DE CRUCE

SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ABAJO DEL SITIO DE CRUCE



SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE



SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ARRIBA DEL CRUCE  $Sh = 0.02683$   $Sh^2 = 0.1640$

| TRAMO       | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $r^{4/3}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|---------------------|--------|-------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| 1           | 5.722               | 22.849 | 3.940 | 5.174     | 0.040 | 1.735   | 9.927                 |
| <b>SUMA</b> | <b>5.722</b>        |        |       |           |       |         | <b>9.927</b>          |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO DE CAMPO)  $Sh = 0.02683$   $Sh^2 = 0.1640$

| TRAMO       | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m)  | $r^{4/3}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|---------------------|--------|--------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| 1           | 1.914               | 19.847 | 10.369 | 35.838    | 0.040 | 12.019  | 23.004                |
| <b>SUMA</b> | <b>1.914</b>        |        |        |           |       |         | <b>23.004</b>         |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO HIDROLOGICO A 100 AÑOS)  $Sh = 0.02683$   $Sh^2 = 0.1640$

| TRAMO       | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $r^{4/3}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|---------------------|--------|-------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| 1           | 23.339              | 16.993 | 1.450 | 1.281     | 0.040 | 5.287   | 122.45                |
| <b>SUMA</b> | <b>23.339</b>       |        |       |           |       |         | <b>122.45</b>         |

SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ABAJO DEL CRUCE  $Sh = 0.02683$   $Sh^2 = 0.1640$

| TRAMO       | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $r^{4/3}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|---------------------|--------|-------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| 1           | 2.921               | 20.247 | 6.931 | 16.012    | 0.040 | 5.370   | 15.685                |
| <b>SUMA</b> | <b>2.921</b>        |        |       |           |       |         | <b>15.685</b>         |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO TR = 415 AÑOS  $Sh = 0.02683$   $Sh^2 = 0.1640$

| TRAMO       | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | $r^{4/3}$ | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|---------------------|--------|-------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| 1           | 180.63              | 194.75 | 0.927 | 0.951     | 0.040 | 3.895   | 703.47                |
| <b>SUMA</b> | <b>180.63</b>       |        |       |           |       |         | <b>703.47</b>         |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA SUPERIORES  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN PUENTES

**PUENTE "CHUL-HA JA. ORIENTE SUR"**  
**PLANO TOPOHIDRAULICO**

01/01 CALLE : 3A. ORIENTE SUR, TAYALÓN, CHIAPAS  
TRAMO : 3A. ORIENTE SUR, TAYALÓN, CHIAPAS  
KM : 0+000  
DIRECCION: TAYALÓN, CHIAPAS

SECRETARIO TECNICO: MSc. ALFREDO DE HARREAL N. DIRECTOR DE PROYECTO: MSc. ANTONIO DE LOS REYES HERRERA  
PROYECTO: MSc. JUAN LUIS MALDONADO VITALLA FECHA: DICIEMBRE 2013

### 5.3. Punte Jonuta 3<sup>a</sup>. Poniente Norte.



Imagen No. 16

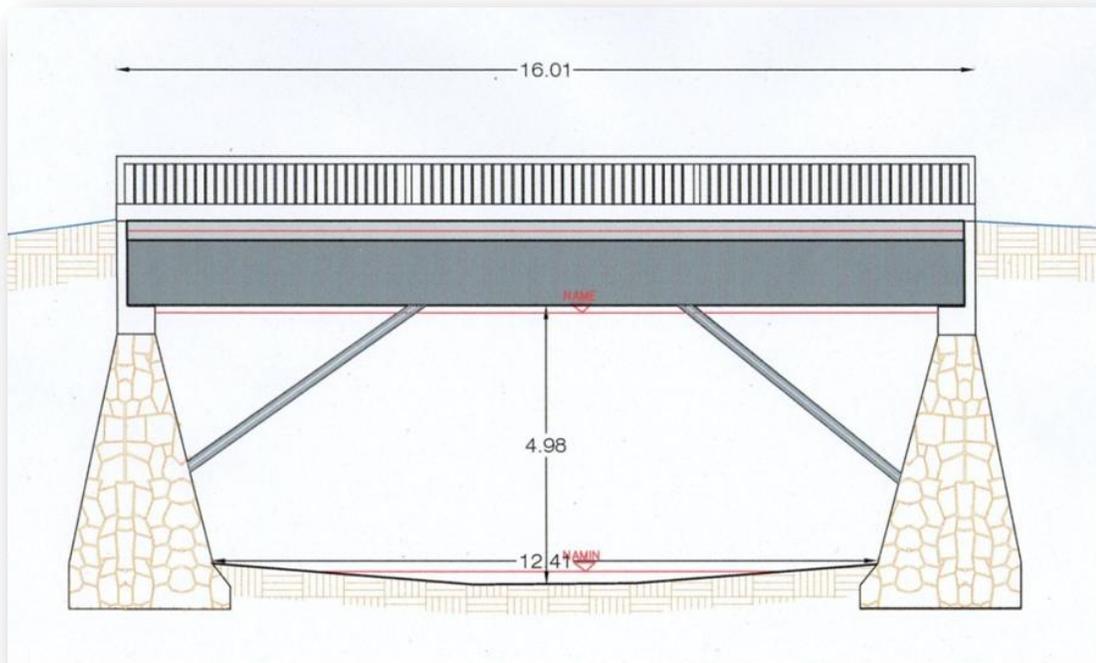
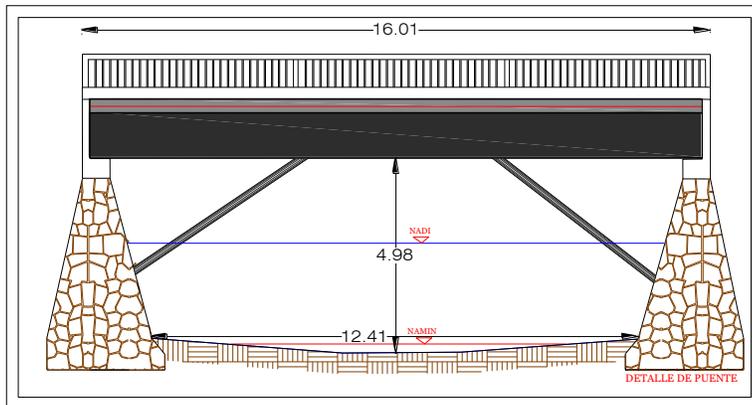
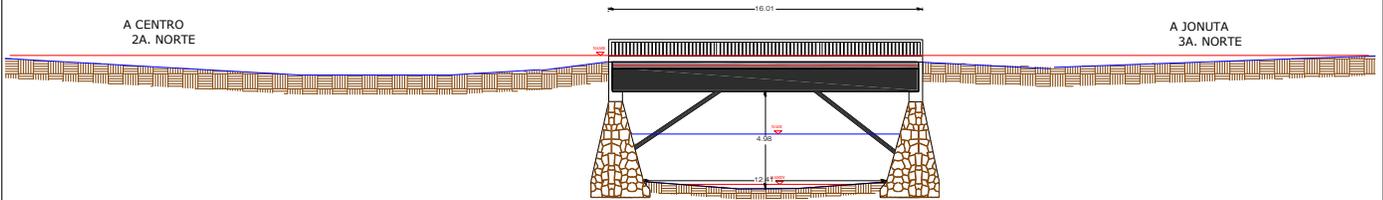
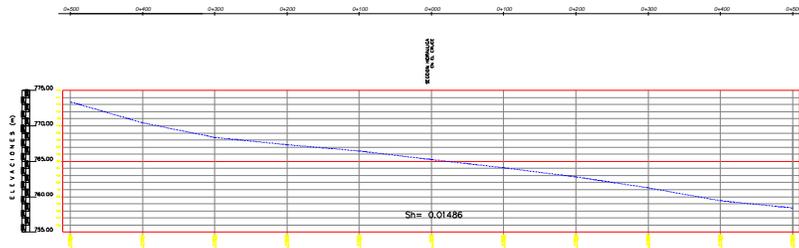


Imagen No. 17

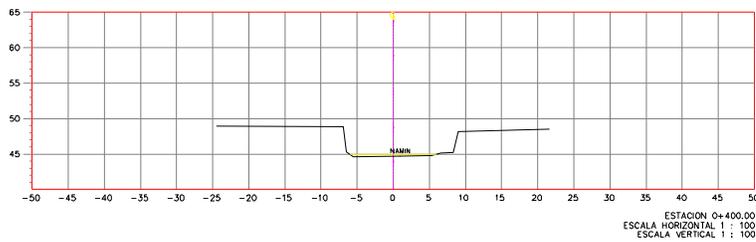
El puente "Jonuta 3ª. Poniente Norte", se encuentra ubicado sobre la calle del mismo nombre dentro del barrio Jonuta, de la cabecera municipal de Yajalón, Chiapas, su superestructura está constituida por una losa de concreto reforzado de 15.21 metros de longitud, de 35.00 centímetros de espesor, 7.00 metros de ancho de calzada, 0.80 centímetros de banquetas en ambos lados y parapetos tipo Peatonal en ambos márgenes, esta soportada por 2 nervaduras 1.15 centímetros de peralte, de concreto reforzado, apoyado por 4 tubos de acero sección circular de 8 pulgadas de diámetro empotrados en los estribos en ambos lados, la subestructura está formada por estribos y aleros de mampostería de 3ª. Clase de 5.40 metros de altura considerado de la cara inferior de la nervadura a nivel de desplante, el material que constituye el fondo del cauce está formado por rocas (cantos rodados) de tamaño máximo de 70 cms., arenas y material menor de arrastre que por la presencia de las lluvias y avenidas y por efecto de la pendiente media del cauce son desplazadas con facilidad por lo que se consideran despreciables en este análisis para el objeto de la evaluación de la capacidad hidráulica del cruce, por todo esto se tiene una longitud libre horizontal en la parte inferior de la estructura de 12.41 metros y 4.98 metros de forma vertical.



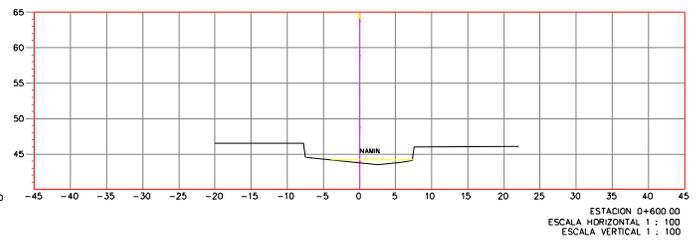
|   |   |
|---|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO<br>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN<br>PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PUENTES |   |
| PUENTE "JONUTA 3A. PONIENTE NORTE"<br>SECCION TRANSVERSAL DEL CRUCE   |   |
| PLANO:<br>01/01   | CALLE : 3A. PONIENTE NORTE, YAJALÓN, CHIAPAS<br>TRAMO : 3A. PONIENTE NORTE, YAJALÓN, CHIAPAS<br>KM : 0+000<br>ORIGEN: YAJALÓN, CHIAPAS. |
| SECRETARIO TÉCNICO<br>ING. ALFREDO P. MORALES N.  | DIRECTOR DE PROYECTO<br>ING. ANTONINO NOE ROBLES HERNÁNDEZ  |
| PROYECTO:<br>ING. JUAN URIEL MALDONADO UTRILLA  |   |
| FECHA: ENERO 2013   |   |



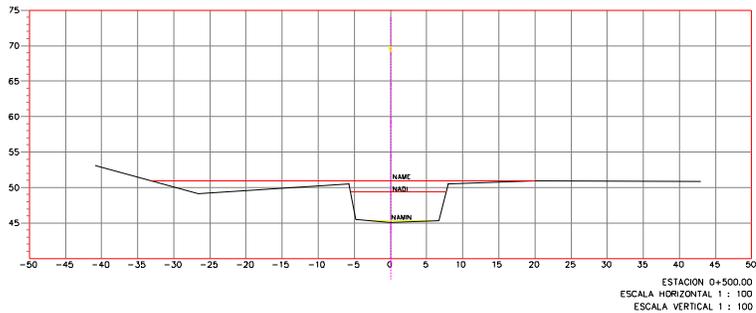
SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ARRIBA DEL SITIO DE CRUCE



SECCION HIDRAULICA A 100 m AGUAS ABAJO DEL SITIO DE CRUCE



SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE



SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ARRIBA DEL CRUCE  
Sh = 0.01486 S<sub>0</sub> = 0.1220

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | r <sup>4/3</sup> | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 3.505               | 24.128 | 6.883 | 15.791           | 0.040 | 2.933   | 10.280                |
| SUMA  | 3.505               |        |       |                  |       |         | 10.280                |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO DE CAMPO)  
Sh = 0.01486 S<sub>0</sub> = 0.1220

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m)  | r <sup>4/3</sup> | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|--------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 1.207               | 18.478 | 15.309 | 78.121           | 0.040 | 14.510  | 17.513                |
| SUMA  | 1.207               |        |        |                  |       |         | 17.513                |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE (GASTO HIDROLOGICO A 100 AÑOS)  
Sh = 0.01486 S<sub>0</sub> = 0.1220

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | r <sup>4/3</sup> | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 43.078              | 18.203 | 2.243 | 1.714            | 0.040 | 5.222   | 224.97                |
| SUMA  | 43.078              |        |       |                  |       |         | 224.97                |

SECCION HIDRAULICA A 100 M AGUAS ABAJO DEL CRUCE  
Sh = 0.01486 S<sub>0</sub> = 0.1220

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | r <sup>4/3</sup> | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 3.507               | 22.316 | 6.363 | 13.495           | 0.040 | 2.556   | 8.788                 |
| SUMA  | 3.507               |        |       |                  |       |         | 8.788                 |

SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO TR = 415 AÑOS  
Sh = 0.01486 S<sub>0</sub> = 0.1220

| TRAMO | A (m <sup>2</sup> ) | P (m)  | r (m) | r <sup>4/3</sup> | n     | V (m/s) | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|--------|-------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| 1     | 147.02              | 146.15 | 1.006 | 1.004            | 0.040 | 3.060   | 449.83                |
| SUMA  | 147.02              |        |       |                  |       |         | 449.83                |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ABAJON  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN PUENTES

**PUENTE "JUNTA AL PONIENTE NORTE"**  
**PLANO TOPOHIDRAULICO**

NUM: 01/01 CALLE: SA. PONIENTE NORTE, VALCARRON, CHIAPAS  
ESTADO: QUEROQUETEN, NORTE, VALCARRON, CHIAPAS  
MUNICIPIO: CHIQUO  
ORIGEN: VALCARRON, CHIAPAS.

MONITOREO: [ ] DIRECTOR DE PROYECTO  
DISEÑO: [ ] ING. FRANCISCO H. HERRERA S.  
PROYECTO: [ ] ING. ANDREA VIEJA HERRERA  
REVISOR: [ ] ING. ADRIAN UPELL VALDEARROYO SUTILLA

FECHA: [ ] DISEÑO: 2013

#### 5.4. Análisis de Levantamientos de Sección y Pendiente.

| AVENIDAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS SEGÚN NIVELES DEL 25 DE SEPTIEMBRE DE 2010 |                     |                      |                    |       |   |               |       |               |            |
|---|---------------------|----------------------|--------------------|-------|---|---------------|-------|---------------|------------|
| CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL ÁREA HIDRÁULICA                 |                     |                      |                    |       | MÉTODO SECCIÓN – PENDIENTE              |               |       |               |            |
| CRUCE   | AREA HIDRAULICA (A) | PERIMETRO MOJADO (P) | RADIO HIDRAULICO R | R2/3  | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n) | Pendiente (S) | S1/2  | v (VELOCIDAD) | Q (CAUDAL) |
|   |                     |                      |                    |       | Dato                                    | Dato          |       |               |            |
| PUENTE LIBRAMIENTO  | 212.3               | 145.930              | 1.455              | 1.284 | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147 | 4.708         | 999.42     |
| PUENTE CHUL-HA  | 180.63              | 194.750              | 0.927              | 0.951 | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164 | 3.895         | 703.47     |
| PUENTE JONUTA   | 147.02              | 146.150              | 1.006              | 1.004 | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122 | 3.060         | 449.83     |

Tabla No. 29

# **CAPÍTULO VI**

## **COMPARATIVO DEL ANÁLISIS**

### **HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO-DATOS DE SEPTIEMBRE 25 DE 2010.**

### 6.1. Desarrollo del análisis de avenidas máximas.

| METODOS ESTADISTICOS |                    |       |       |       |
|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| METODO               | PERIODO DE RETORNO |       |       |       |
|                      | 5                  | 10    | 50    | 100   |
| GUMBEL               | 5.644              | 6.020 | 7.274 | 7.540 |
| NASH                 | 6.267              | 6.880 | 8.277 | 8.878 |
| PEARSON III          | 6.120              | 6.575 | 7.375 | 7.657 |
| LOG-PEARSON III      | 6.237              | 6.456 | 6.622 | 6.653 |

Tabla No. 30

Considerando el criterio de que los métodos estadísticos son los que proporcionan el máximo margen de seguridad para determinar los gastos máximos presentados en una cuenca determinada, para objeto de este estudio de consideraron 56 años de registros para desarrollar el análisis hidrológico en 2 estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el Municipio de Yajalón, Chiapas, 7177 Yajalón, 7389 Sitala, de la base de datos del CLICLOM 2012 de la Comisión Nacional del Agua, del Organismo de Cuenca Frontera Sur, por razones fuera del alcance del autor, debido a que el historial de la base de datos de los registros de precipitación presentan valores muy inferiores a criterio del autor de los presentados de forma regular en la cuenca del río Yajalón, los resultados de dicho análisis se encuentran en un margen muy inferior a los esperados en el planteamiento inicial de este estudio, por lo que se considera abortar dichos resultados y tomar los métodos semiempíricos como son el Método Racional y Ven Te Chow, tomando de estos sus valores máximos para estar en condiciones de establecer los niveles críticos bajo la presencia de una avenida máxima para un periodo de retorno determinado, ya que los métodos estadísticos son aplicables a cauces de afluentes con un periodo de registro amplio y que consideren los gastos máximos actuales.

Bajo esta hipótesis se encontraron los siguientes caudales máximos para cada periodo de retorno establecido.

| Puente Libramiento Norte  |                                     |                       |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Periodo de retorno (años) | Caudal máximo (m <sup>3</sup> /seg) |                       |
|                           | Metodo Racional                     | Método de Ven Te Chow |
| 10                        | 56.29                               | 89.82                 |
| 50                        | 84.43                               | 114.77                |
| 100                       | 84.43                               | 114.77                |

Tabla No.31

| Puente Chul-ha 3a de Oriente Sur |                                     |                       |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Periodo de retorno (años)        | Caudal máximo (m <sup>3</sup> /seg) |                       |
|                                  | Metodo Racional                     | Método de Ven Te Chow |
| 10                               | 79.22                               | 95.83                 |
| 50                               | 118.82                              | 122.45                |
| 100                              | 118.82                              | 122.45                |

Tabla No.32

| Puente Jonuta 3a. Poniente Norte |                                     |                       |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Periodo de retorno (años)        | Caudal máximo (m <sup>3</sup> /seg) |                       |
|                                  | Metodo Racional                     | Metodo de Ven Te Chow |
| 10                               | 84.35                               | 96.94                 |
| 50                               | 126.53                              | 130.38                |
| 100                              | 126.53                              | 130.38                |

Tabla No.33

Con base en las características fisiográficas de cada una de las cuencas de aportación y de los resultados obtenidos con los métodos aplicados, se considero como el gasto de diseño asociado a un periodo de retorno de 100 años, el obtenido con el Método de Ven Te Chow.

Se realizó el levantamiento topográfico de la sección transversal y de su perfil longitudinal para estar en posibilidades de desarrollar el método de Sección-Pendiente de los 3 cruces propuestos, presentados en el capítulo anterior, en base en la observaciones y señas físicas que dejo el fenómeno del 25 de Septiembre de 2010, se plasmó en base a un punto de la sección transversal de cada uno de los puentes, se obtuvo el nivel de las aguas máximas que se presentaron durante la avenida, para de esta forma obtener los volúmenes críticos de esta.

| <b>CAUDAL PRESENTADO 25 DE SEPTIEMBRE DE 2010.</b> |                       |
|--|-----------------------|
| <b>CRUCE</b>                                       | <b>CAUDAL M3/SEG.</b> |
| PUENTE LIBRAMIENTO                                 | 999.42                |
| PUENTE CHUL-HA                                     | 703.47                |
| PUENTE JONUTA                                      | 449.83                |

Tabla No. 34

Por lo que se observa se tiene que el Puente "Libramiento Norte" presenta el caudal máximo según los niveles observados el día 25 de septiembre de 2010, y va decreciendo de forma paulatina para los 2 cruces propuestos siguientes, por lo que a juicio del autor, se presenta otro fenómeno, ya que debería desarrollarse el escurrimiento sobre la cuenca de forma contraria, es decir, aumentando los volúmenes del escurrimiento conforme circula el agua por el río, por razón de estar acumulando el cauce todos los escurrimientos que debido a la precipitación se generan en la superficie de la cuenca y que terminan por llegar al río Yajalón.

Cabe mencionar que las condiciones topográficas, tipo de suelo, estrechamiento del cauce debido al desarrollo de la zona urbana de la cabecera municipal de Yajalón, modifican las condiciones de flujo hidráulico sobre el cauce, por lo cual se justifica el fenómeno antes descrito, además no se cuenta con datos, ni registro alguno de cómo evaluar las pérdidas de tránsito debido al desbordamiento de las aguas en su recorrido por la cuenca; por ello, como forma de tomar un criterio de diseño, y determinar el volumen de la avenida máxima extraordinaria del 25 de septiembre de 2010, presentada en el río Yajalón, se considera la media aritmética de los volúmenes presentados en los 3 cruces, por lo cual se tiene:

$$V_{\text{max.ext.}} = (999.42 + 703.47 + 449.83)/3 = 717.57 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

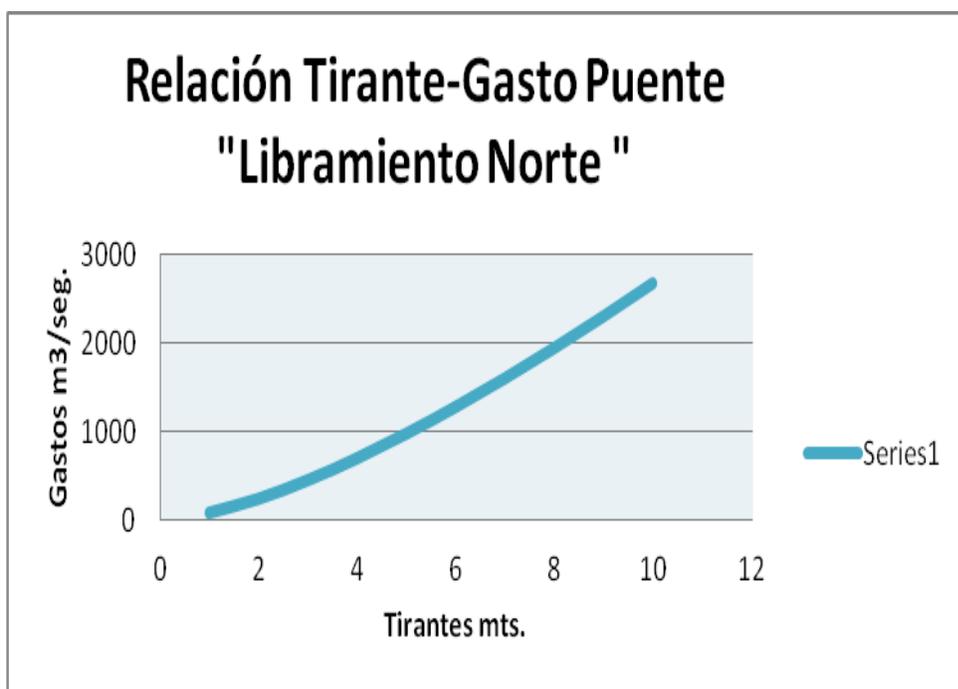
De esta forma desarrollando el método de sección-pendiente, se obtienen los tirantes críticos para la avenida máxima extraordinaria.

| <b>TIRANTES MAXIMOS SEGÚN CAUDAL MAXIMO EXTRAORDINARIO DEL 25 DE SEPTIEMBRE DE 2010</b>                         |                        |             |         |        |                     |                      |                    |                   |   |               |                   |               |            |                         |             |
|---|------------------------|-------------|---------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---|---------------|-------------------|---------------|------------|-------------------------|-------------|
| <b>CALCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL AREA HIDRAULICA METODO SECCIÓN - PENDIENTE PARA LOS 3 CRUCES</b> |                        |             |         |        |                     |                      |                    |                   |   |               |                   |               |            |                         |             |
| BASE SUPERIOR (B)   | BASE PISO INFERIOR (b) | TIRANTE (Y) |         |        | AREA HIDRAULICA (A) | PERIMETRO MOJADO (P) | RADIO HIDRAULICO R | R <sup>2</sup> /3 | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n) | Pendiente (S) | S <sup>1</sup> /2 | v (VELOCIDAD) | Q (CAUDAL) | CAUDAL DE ANALISIS (Qd) | PUENTE      |
|   |                        | b (op)      | c (hip) | a (ad) |                     |                      |                    |                   |   |               |                   |               |            |                         |             |
|   | Dato                   | Dato        |         |        |                     |                      |                    |                   | Dato                                    | Dato          |                   |               |            |                         |             |
| 23.27   | 22.50                  | 4.075       | 4.09    | 0.39   | 93.269              | 30.687               | 3.039              | 2.098             | 0.040                                   | 0.0215        | 0.147             | 7.693         | 717.55     | 717.57                  | Libramiento |
| 13.53   | 12.35                  | 6.195       | 6.22    | 0.59   | 80.153              | 24.796               | 3.233              | 2.186             | 0.040                                   | 0.0268        | 0.164             | 8.953         | 717.57     | 717.57                  | Chul-ha     |
| 13.85   | 12.40                  | 7.624       | 7.66    | 0.72   | 100.054             | 27.716               | 3.610              | 2.353             | 0.040                                   | 0.0149        | 0.122             | 7.172         | 717.55     | 717.57                  | Jonuta      |

Tabla No. 35

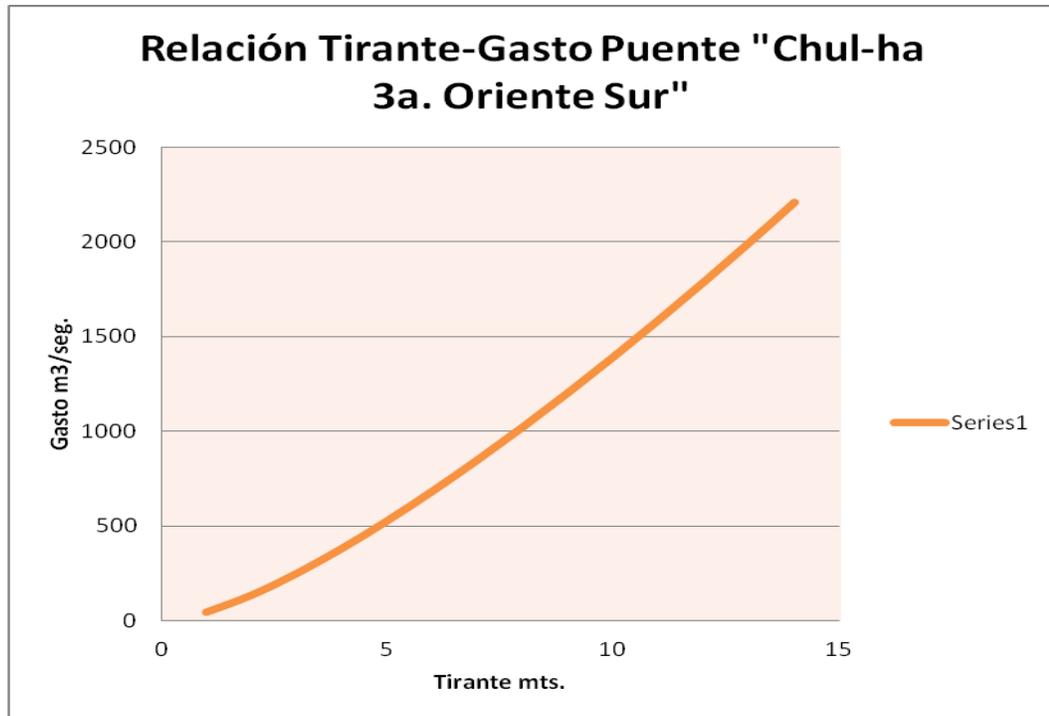
Tomando este criterio, la estructura que comprende el Puente "Libramiento Norte", presenta un área hidráulica suficiente para salvar la presencia de otra avenida

importante parecida en volumen de la registrada el 25 de septiembre de 2010, las dimensiones de la estructura están por ende amplias y las condiciones de la superficie que comprende los márgenes del río, es decir de pastizales, coadyuvan al flujo de la corriente en una circunstancia de presencia de una avenida máxima.



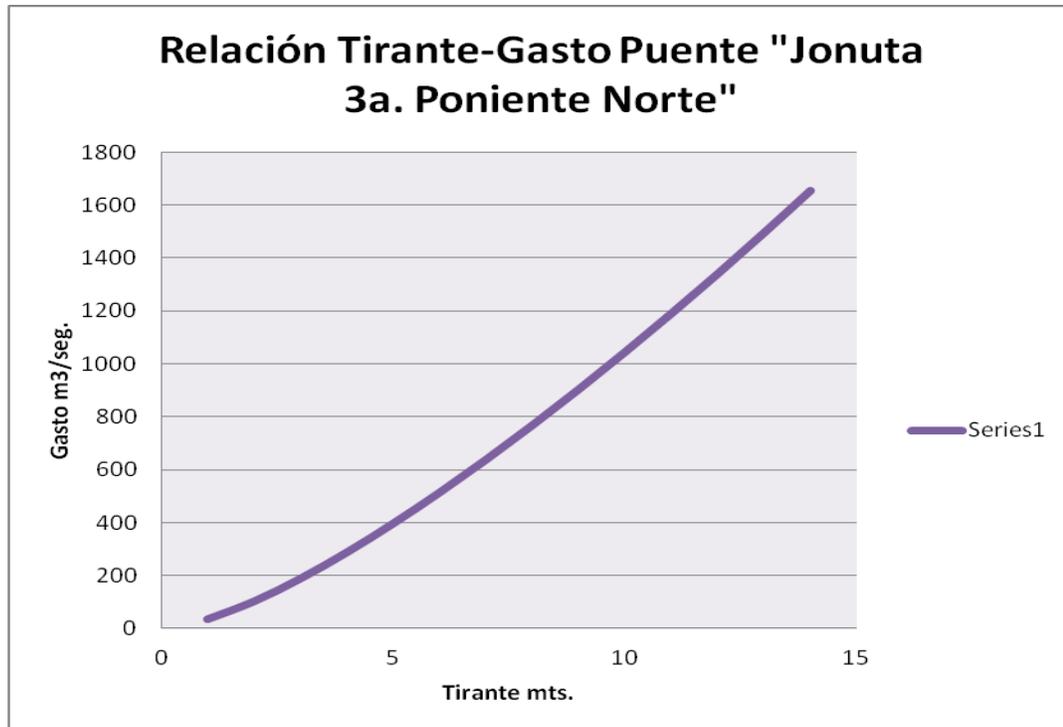
Grafica No. 1

El Puente "Chul-ha 3ª. Oriente Sur", por las características geométricas del propio puente, así como de los niveles topográficos del sitio, aunado por las condiciones de desarrollo urbano del Barrio Chul-ha, es el que presenta las características más desfavorables bajo la presencia de una avenida importante, la altura actual de 2.98 metros, medidos estos del nivel del terreno natural a la cara inferior de la superestructura (loza maciza), queda por mucho excedida por los 6.195 metros que se presentan en el desarrollo de la avenida máxima extraordinaria calculada de forma hipotética, porque con estas condiciones se presentaría el desbordamiento del cauce y por ello afectaciones mayores en la zona, por lo que se explica el comportamiento del río presentado el 25 de septiembre de 2010.



Grafica No. 2

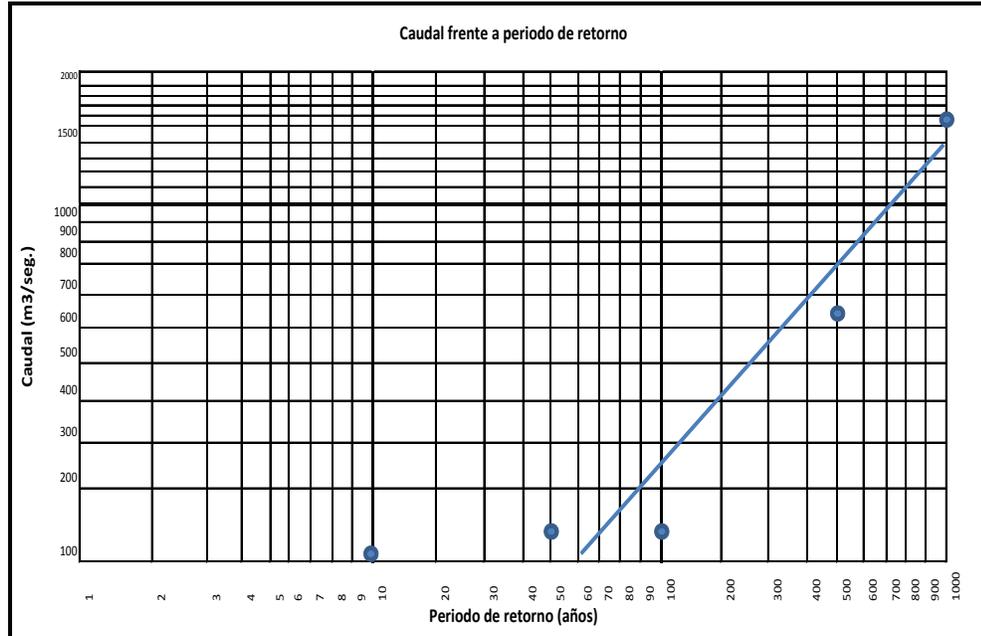
Por Último el Puente "Jonuta 3<sup>a</sup>. Poniente Norte", también queda excedido por la avenida máxima, se presentaría desbordamiento del cauce por quedar excedida el área hidráulica del cruce, pero las condiciones de desarrollo urbano en ese sitio, el cauce se encuentra con un área hidráulica en una longitud de 200 metros aguas arriba amplia, aunado que en ambas márgenes del río se encuentran dos calles, (2<sup>a</sup>. Norte en Margen Izquierda, 3<sup>a</sup>. Norte en Margen Derecha) ayudan al flujo de la corriente, por lo que las afectaciones en la estructura son menores.



Grafica No. 3

## 6.2. Determinación del periodo de retorno correspondiente a la avenida del 25 de Septiembre de 2010.

Considerando que no se cuenta con un registro estadístico de datos confiables de precipitaciones medias anuales y estar sin posibilidades de realizar un ejercicio probabilístico de cómo determinar el periodo de retorno para la avenida máxima extraordinaria del 25 de septiembre de 2010, se determina mediante el apoyo de la presente grafica logaritmica Caudal frente a periodo de retorno.



Gráfica No. 4

Considerando un caudal máximo de  $717.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se estima según este método un periodo de retorno de 375 años.

Cabe mencionar que a razón de los efectos de cambio climático y de la inestabilidad de los ecosistemas por razones de la contaminación y de la fuerte desforestación de las cuencas, se debe de tener la reserva que se considere conveniente para dicho periodo de retorno encontrado, ya que puede en determinado momento sucintarse un fenómeno extraordinario, pero el volumen de  $717.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . encontrado en la avenida de septiembre de 2010 funciona como un excelente referente para diseño de infraestructura física dentro de la cuenca del rio Yajalón y sobre todo sobre su cauce principal.

## **CONCLUSIONES.**

En base de que los métodos estadísticos son los que proporcionan el máximo margen de seguridad para determinar los gastos máximos presentados en una cuenca determinada, para objeto de este estudio se obtuvieron el en capítulo IV de este estudio, se consideraron 56 años de registros para desarrollar el análisis hidrológico en 2 Estaciones Hidrometeorológicas ubicadas en el Municipio de Yajalón, Chiapas, 7177 Yajalón, 7389 Sitala, de la base de datos del CLICLOM 2012 de la Comisión Nacional del Agua, del Organismo de Cuenca Frontera Sur, por razones fuera del alcance del autor, debido a que el historial de la base de datos de los registros de precipitación presentan valores muy inferiores a criterio del autor de los presentados de forma regular en la cuenca del río Yajalón, y que presenta carencia de información, los resultados de dicho análisis se encuentran en un margen muy inferior a los esperados en el planteamiento inicial de este estudio, por lo que se considera abortar dichos resultados y tomar los métodos semi-empíricos como son los métodos Racional y Ven Te Chow, que fueron apoyados utilizando los planos de Isoyetas Publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tomando de estos sus valores máximos para estar en condiciones de establecer los niveles críticos bajo la presencia de una avenida máxima para un periodo de retorno determinado, proporcionaron valores aceptables para objeto de este análisis, por lo que se consideraron estos gastos.

El conocimiento del caudal máximo, volumen y forma de la avenida asociada a un periodo de retorno permite llevar a cabo distintos análisis hidráulicos. También hace posible establecer los gastos que entran al cauce de un río y con base en ello, estimar el volumen de inundación por desbordamiento del agua sobre sus márgenes. Por último es una herramienta de diseño, para conocer el rango de seguridad al pretender establecer una obra de infraestructura.

El cálculo del gasto máximo que puede escurrir por el cauce de un río permite conocer la posibilidad de que existan inundaciones por desbordamiento del agua sobre las márgenes del río.

El Puente "Libramiento Norte", presenta un área hidráulica suficiente, las dimensiones de la estructura están por ende amplias y las condiciones de la superficie que comprende los márgenes del río, es decir de pastizales, coadyuvan al flujo de la corriente, por lo que su sección transversal cumple los requisitos de seguridad incluso para una avenida máxima extraordinaria con periodo de retorno de 1,000 años y la avenida del 25 de septiembre de 2010 la supero sin problema alguno.

El puente "Chul-ha 3ª. Oriente Sur" por sus dimensiones, características geométricas del propio puente, así como de los niveles topográficos del sitio, aunado por las condiciones de desarrollo urbano del Barrio Chul-ha, tiene una área hidráulica demasiado pequeña para las condiciones de las corrientes bajo la media de la precipitación que con regularidad se presenta en la cuenca, a penas libra las avenidas con periodo de retorno de 10 años, para las avenidas que exceden este periodo ya presenta problemas con su capacidad hidráulica, considerando que sería necesario realizar una alternativa para este cruce en particular.

En la avenida del 25 de septiembre de 2010, estas características se manifestaron de forma que el barrio de Chul-ha, fue la superficie de la cabecera municipal de Yajalón con las máximas afectaciones, debido a que en el cauce se produjo su desbordamiento generando las aguas un arrastre de materiales y destrucciones excesivas en la zona.

El Puente "Jonuta 3ª. Poniente Norte", libra con buen margen las avenidas con periodo de retorno de 10 años, pero con avenidas que superan este periodo de retorno merece tener una observación particular, ya que los tirantes que se presentan exceden el área hidráulica del cruce, pero las condiciones de desarrollo

urbano en ese sitio ayudan al flujo de la corriente, por encontrarse el cauce con un área hidráulica en una longitud de 200 metros aguas arriba amplia, aunado que en ambas márgenes del río se encuentran dos calles, (2ª. Norte en Margen Izquierda, 3ª. Norte en Margen Derecha) ayudan al flujo de la corriente, por lo que las afectaciones en la estructura son menores.

Después de toda la labor que implicó el desarrollo de este material, haber obtenido los parámetros físicos de la cuenca del Río Yajalón, realizado los ejercicios para el cálculo de los volúmenes de agua sobre el cauce, la comparativa de los métodos que se propusieron inicialmente, la carencia de datos del registro de precipitación que declinaron los resultados de los métodos estadísticos, el apoyo de los Planos de Isoyetas SCT y de los métodos semi-empíricos que arrojaron buenos resultados y con los datos obtenidos de la lluvia extraordinaria del 25 de Septiembre de 2010, se consideran para los tres cruces propuestos las conclusiones más importantes, aunque a juicio del autor de los trece puentes que se encuentran localizados sobre las aguas del Río Yajalón, un 50% de estos presentan características geométricas limitadas ante la inminente presencia de otra avenida importante sobre la cuenca del río Yajalón, por lo que es importante ir considerando el remplazo periódico de las estructuras conforme la planeación urbana del municipio lo considere conveniente y la capacidad financiera del mismo determine viable su ejecución.

Para el periodo de retorno relacionado con el evento extraordinario de Septiembre de 2010 de 375 años, a razón de los efectos de cambio climático y de la inestabilidad de los ecosistemas por razones de la contaminación y de la fuerte deforestación de las cuencas, se debe de tener la reserva que se considere conveniente para dicho periodo de retorno encontrado, ya que puede en determinado momento sucintarse un fenómeno extraordinario, pero el volumen de  $717.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . Encontrado en la avenida de septiembre de 2010 funciona como un excelente referente para diseño de infraestructura física dentro de la cuenca del río Yajalón y sobre todo sobre su cauce principal.

Dicho volumen manifiesta la vulnerabilidad de la población de Yajalón ante una inminente avenida extraordinaria, en la zona comprendida entre el barrio de Chul-ha y la zona centro de la cabecera municipal se presenta la topografía mas crítica en cuanto a los niveles que presenta el cauce principal, una limitada capacidad hidráulica del mismo, lo que obliga hacer mención de la necesidad de obras de protección, encauzamiento y/o ampliación del cauce principal, monitoreo por parte de las dependencias encargadas para tal fin de los niveles sobre el cauce para si fuese necesario determinar las alertas y en su caso la evacuación de la población, para evitar que fenómenos como el presentado el 25 de septiembre de 2010, dejen un exceso de daños sobre la infraestructura del municipio y de sus habitantes.

## **RECOMENDACIONES.**

Cuando se pretende determinar los gastos máximos que se pudiesen presentar en una cuenca determinada aplicando los métodos estadísticos, es de suma importancia contar con información de registros de precipitación de las estaciones Hidrometeorológicas, de forma suficiente y fidedigna de los mismos, para que los resultados proporcionados cumplan con las expectativas planteadas originalmente.

Los planos de Isoyetas Publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, presentan buenos resultados siempre que sean complementados con el método que proporcione los mejores resultados y que genere confianza en quien realiza el análisis.

La avenida máxima extraordinaria presentada el día 25 de Septiembre de 2010, es un fenómeno de media probabilidad de ocurrencia, pero condiciona de alguna manera, la forma en que se deben regular los asentamientos humanos sobre las márgenes del río Yajalón, la cabecera municipal se encuentra ubicada en una zona de relieves accidentados y una topografía de alta irregularidad en la mayoría de su superficie, por lo que la necesidad de establecerse en los terrenos bajos donde se encuentran áreas poco accidentadas es prácticamente una necesidad de la población, siempre y cuando se realicen las obras de protección que se consideren pertinentes sobre las márgenes del río, como bordos, diques, rectificaciones del cauce, desazolves de material del río, aumento del área hidráulica, podrían establecerse estas condiciones, con su respectivo monitoreo permanente para evitar estrechamiento del cauce por efecto del crecimiento urbano.

Se recomienda gestionar ante las autoridades correspondientes la ampliación del cauce para contar con un área hidráulica que permita el paso de avenidas extraordinarias y la reubicación de las propiedades ubicadas en las márgenes del río Yajalón debido a que se localizan en zona de alto riesgo.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

APARICIO Mijares Francisco Javier, *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa, México 1992. Pag. 303.

BREÑA Puyol, Agustín Felipe, Jacobo Villa, Marco Antonio. *Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial*. Edit. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 2006. Pag.287.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; Alcantarillado Pluvial*. México. 2007. Pág.367.

MAZA Álvarez José Antonio, García Flores Manuel, *Estabilización y rectificación de ríos*, versión actualizada del capítulo 14 del manual de ríos que el instituto de ingeniería de la UNAM elaboro para la CONAGUA, México 1996.pág. 137.

MARILES Fuentes A. Oscar, Franco Víctor, *Estudio Hidrológico para Obras de protección*, capítulo 3 del Manual de Ingeniería de Ríos. Pág. 151.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Perú. Pág. 209.

PRONTUARIO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, Yajalón, Chiapas; Clave geoestadística 07109.

SPRINGALL G. Rolando, *Hidrología*, primera parte, profesor investigador de la facultad de ingeniería, UNAM. México 1972.Pág. 210.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, *Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos.*, México 1992.Pág.191.

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN, Colegio de Posgraduados, Chapingo, *Hidrología Aplicada a las Pequeñas Obras Hidráulicas.* México. Pág. 20.

Ven Te Chow, *Hidrología Aplicada*, traducido de la primera edición en inglés de Applied Hydrology, Mc GrawHill, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 2000.Pág. 195.

[www.yajalon.gob.mx](http://www.yajalon.gob.mx)

[www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)

[www.chiapas.gob.mx/municipio/yajalon](http://www.chiapas.gob.mx/municipio/yajalon)

[www.normas.imt.mx](http://www.normas.imt.mx)

[www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

[www.sedesol.gob.mx](http://www.sedesol.gob.mx)

[www.microrregiones.gob.mx](http://www.microrregiones.gob.mx)

# **ANEXOS**



Imagen No. 18. Estación Hidrometeorológica Yajalón (Carretera Yajalón-Chilón KM. 8+000).



Imagen No. 19. Estación Hidrometeorológica Yajalón (Carretera Yajalón-Chilón KM. 8+000).



Imagen No. 20. Afectaciones Barrio Chul-ha 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 21. Afectaciones Barrio Chul-ha 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 22. Afectaciones Barrio Chul-ha 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 23. Afectaciones Barrio Chul-ha 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 24. Afectaciones. 1ª. Norte Oriente. Yajalón 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 25. Afectaciones. 1ª. Sur Oriente. Yajalón 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 25. Afectaciones. Colapso Puesto 1ª. Norte Oriente. Yajalón 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 25. Afectaciones. Colapso Puesto 2ª. Poniente Norte. Yajalón 25 de Septiembre de 2010.



Imagen No. 26. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.



Imagen No. 27. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.



Imagen No. 28. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.



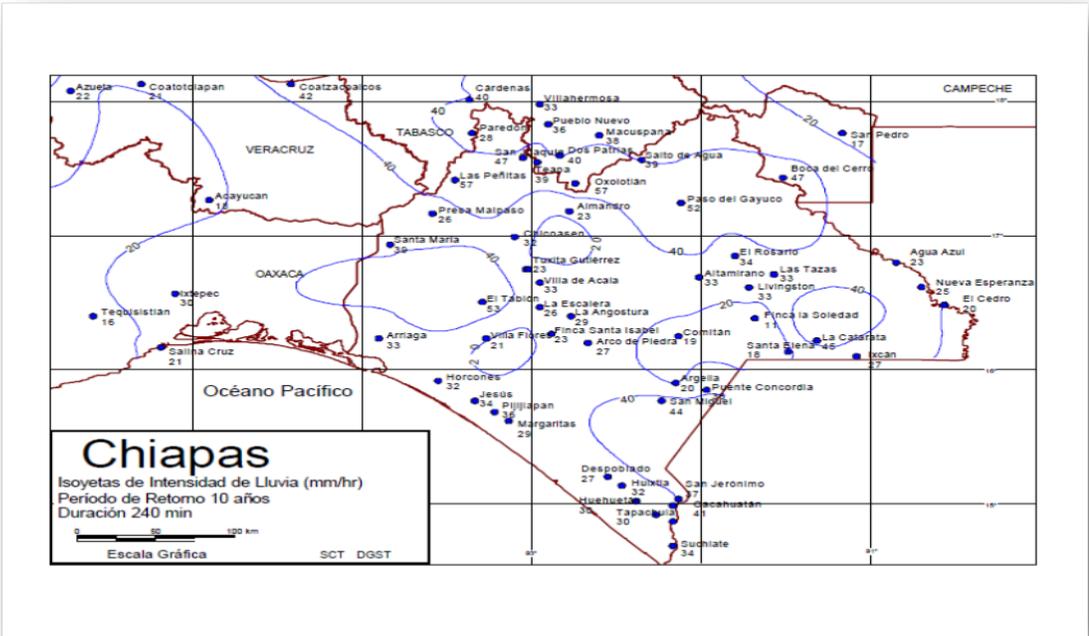
Imagen No. 29. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.



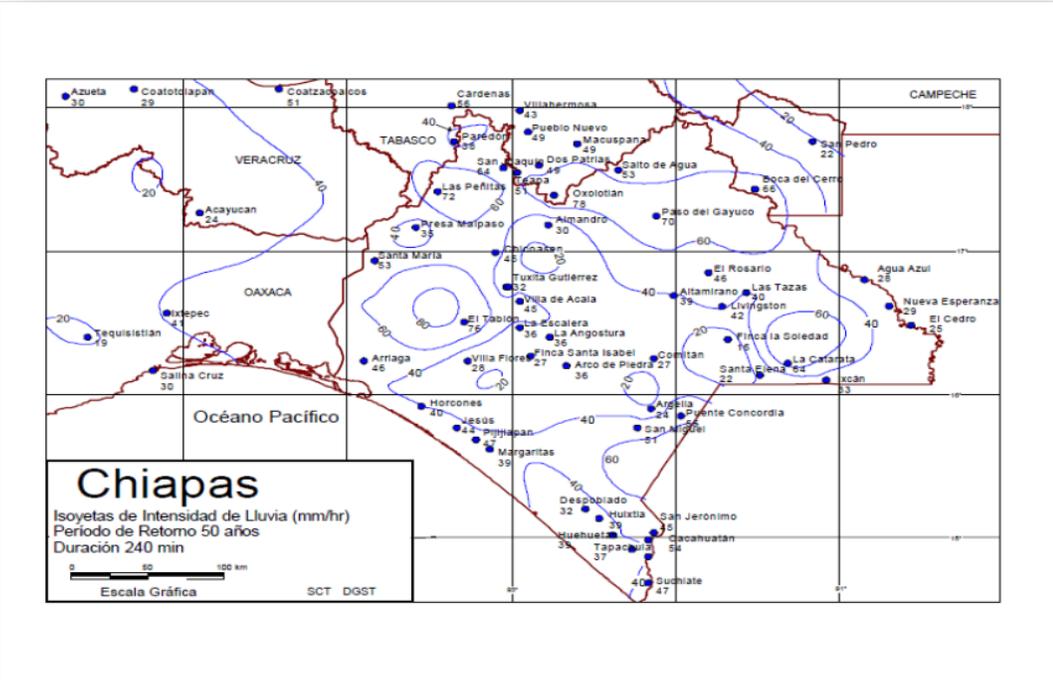
Imagen No. 30. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.



Imagen No. 31. Levantamiento Topográfico sobre el Rio Yajalón.

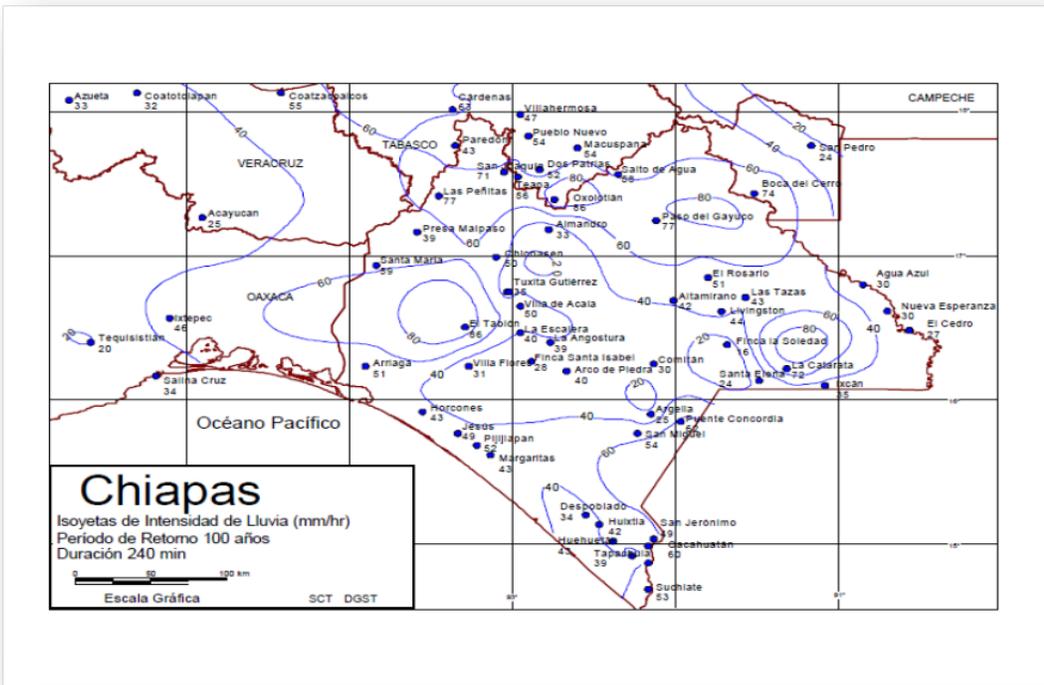


ImagenNo.32



magen No. 33.

I



ImagenNo.34.

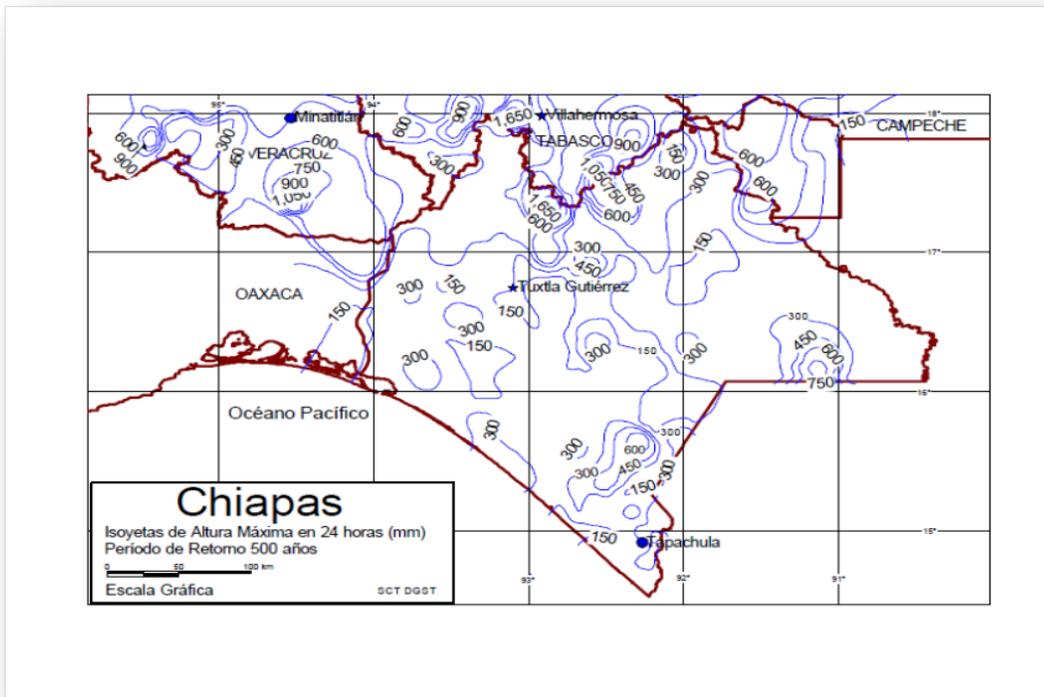


Imagen No. 35.

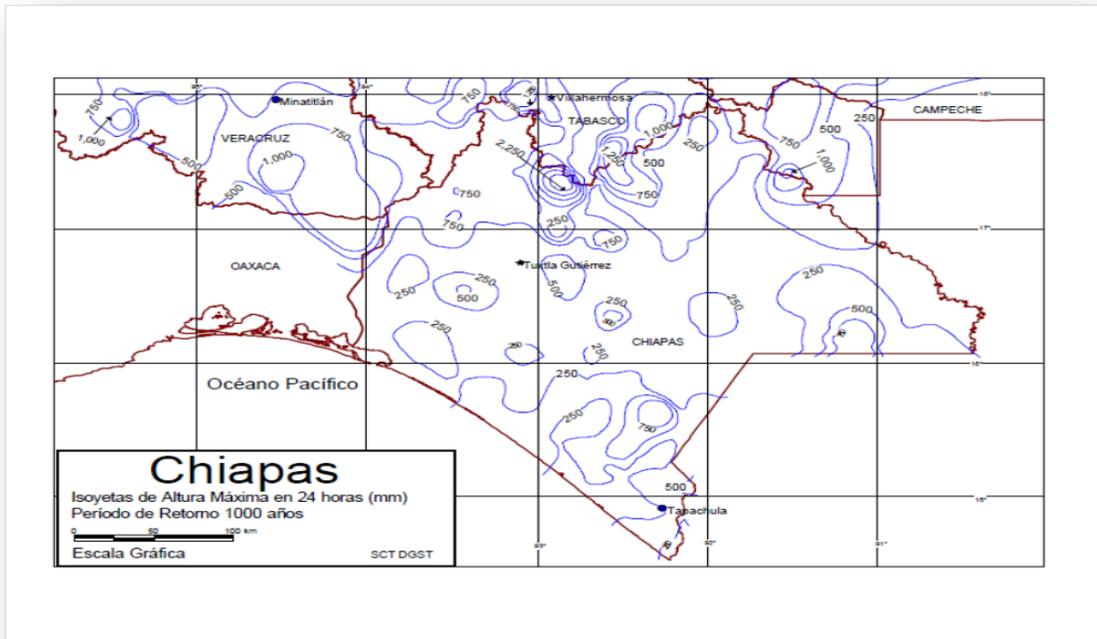


Imagen No. 36.

**ORGANISMO DE CUENCA FRONTERA SUR  
DIRECCION TECNICA  
JEFATURA DE PROYECTO DE AGUAS SUPERFICIALES  
E INGENIERIA DE RIOS  
OFICIO No. BOO.00. R12.07.01.0100/12**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 21 de Marzo de 2012

**ING. JUAN URIEL MALDONADO UTRILLA**  
INGENIERO CIVIL

**PRESENTE**

En atención a su oficio de fecha 05 Marzo de 2012, en el cual solicita información de los registros de precipitación dentro de la cuenca "Yajalón", Municipio de Yajalón, Chiapas, con la finalidad de desarrollar un tema de investigación denominado "Análisis Hidrológico e Hidráulico de la cuenca del río Yajalón".

Al respecto, tengo a bien proporcionarle la información digital de la base de datos del CLICOM, y de manera adicional se anexa el catálogo de la red climatológica del área en estudio.

Se recomienda que en el caso donde no existe información hidrométrica, utilice modelos lluvia-escorrentía (Formularia Racional, Método Envolvente, Hidrograma Unitario, Hidrograma Unitario Geomorfológico, etc) para determinar los escurrimientos, asociados a diversos periodos de retorno.

Sin más por el momento, aproveché la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE  
DIRECTOR TECNICO**

**FIS. CESAR TRIANA RAMIREZ**



Comisión Nacional del Agua  
Organismo de Cuenca Frontera Sur  
**DIRECCION TECNICA**  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

"Juntos cuidamos el agua"

C.c.e.p. Ing. Gabriel López Espinosa, Jefe de Proyectos de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. Presente.



**JUAN URIEL MALDONADO UTRILLA**  
**INGENIERO CIVIL**

R.F.C.: MAUJ-810516-339  
CED. PROF.: 5069547

CURP: MAUJ810516HCSLTN01  
REG. IMSS.: K2610414106

YAJALÓN, CHIAPAS A 24 DE FEBRERO DE 2012.

MVZ. CESAR BELISARIO UTRILLA CASTELLANOS  
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL  
YAJALÓN, CHIAPAS  
PRESENTE.

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME DIRIJO A USTED PARA SOLICITAR SU AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR UNOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DENTRO DE LA ZONA QUE COMPRENDE EL RIO YAJALÓN, ENTRES LOS PUNTOS ESPECIFICOS, QUE SON EL PUENTE DE LIBRAMIENTO, PUENTE CHULHA DE LA 3ª. ORIENTE SUR Y EL PUENTE DE JONUTA DE LA 3ª. PONIENTE NORTE; TODO ESTO MOTIVO A QUE ME ENCUENTRO REALIZANDO UNA INVESTIGACIÓN DE POSGRADO PARA LA UNAM, CON EL TEMA DE TESINA DENOMINADO "ANALISIS HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE LA CUENCA DEL RIO YAJALÓN, ALCANCES AL CASO ESPECIFICO DE LAS LLUVIAS EXTRAORDINARIAS PRESENTADAS EL DIA 25 DE SEPTIEMBRE DE 2010"

SIN OTRO ASUNTO EN PARTICULAR Y ESPERANDO RESPUESTA FAVORABLE A MI SOLICITUD, LE ANTICIPO MIS MAS SINCEROS AGRADECIMIENTOS.

ATENTAMENTE:

ING. JUAN URIEL MALDONADO UTRILLA  
INGENIERO CIVIL

C.C.P. ARCHIVO. URIEL/01/2012.

3ª. CALLE ORIENTE SUR No. 10, BARRIO CHUL-HA, YAJALÓN, CHIAPAS, CP. 29930

Tel. (01919) 67 4 03 38 CEL.: 919 686 75 01

Correo Electrónico: maldonado27@hotmail.com

SECRETARIA PARTICULAR  
YAJALON, CHIAPAS.  
UNIDAD QUE DA RESULTADOS  
2011-2012

RECIBI  
24/02/12