

DEPARTAMENTO COMPUTO ELECTRONICO

SECCION APLICACIONES CIENTIFICAS

DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS

Realizado por:

Ing. Irene Campos Gómez

Junio de 1988

## INDICE

CONTENIDO	NO. PAG.
Introducción	2
Objetivo	3
Capítulo <u>1</u> : DESLIZAMIENTO SAN BLAS	4
1.1 Ubicación Geográfica	4
1.2 Cuenca Río Reventado	4
1.3 Laderas inestables	8
1.4 Características deslizamiento San Blas	12
1.5 Amenaza del deslizamiento de San Blas	15
Capítulo <u>2</u> : DAMBREAK: MODELO DE ROMPIMIENTO DE PRESA	21
2.1 Características del modelo	22
2.2 Capacidad del modelo	29
2.3 Problemas de Estabilidad y convergencia	29
2.4 Datos requeridos	31
2.5 Limitaciones y suposiciones del modelo	33
Capítulo <u>3</u> : DAMBREAK: APLICADO AL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS	35
3.1 Aplicación del modelo	36
3.2 Resultados	49
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA	66
APENDICE A	67

## INTRODUCCION

El Valle del Guarco, Cartago se encuentra amenazado por el deslizamiento de San Blas, el cual se localiza en la margen izquierda del Río Reventado. Peligran infraestructuras de importancia como líneas de transmisión, oleoducto, puentes, vías de acceso y asentamiento humanos.

Se han realizado estudios de dicho deslizamiento, en los cuales se detallan características geológicas-geotécnicas del mismo; velocidad de movimiento, la geometría del deslizamiento, (planta y perfil), características de los materiales y se establecen también medidas de corrección y control. La finalidad de éste estudio no es analizar el deslizamiento de San Blas geológica o geotécnicamente, sino como potencial amenaza al Valle del Guarco.

Se hará un estudio basado en el modelo de rompimiento de presas llamado DAMBREAK, el cual modela el rompimiento de una presa y el consecuente desbordamiento del embalse aguas abajo. Se su pondrá un derrumbamiento de deslizamiento, el cual causará una represa natural, la cual a su vez generará un embalse aguas arriba. Cuando la presa ceda el desbordamiento de ese embalse aguas abajo generará serios problemas de inundaciones con las consecuencias de pérdidas económicas y posiblemente humanas.

## OBJETIVO

Suponiendo un derrumbe de una magnitud tal, capaz de formar una presa en el lugar, se determinará hidrograma de salida a través de la presa fallada, así como el hidrograma aguas abajo, niveles máximos y tiempos para alcanzar esos niveles

## CAPITULO 1

### DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS

#### 1.1 UBICACION GEOGRAFICA:

El deslizamiento de San Blas se localiza en la cuenca del Río Reventado, provincia de Cartago, abarca los distritos de El Carmen, San Blas y Fátima. El área está delimitado por las coordenadas Lambert 545400-546400 Norte y 207800-209200 Este.

#### 1.2 CUENCA RIO REVENTADO:

La cuenca del Río Reventado se origina en las faldas Sur de los Cerros Sapper (3400 msnm), Retes (3161 msnm) y Cabeza de Vaca (3030 msnm), desciende hasta 1410 (msnm) en su confluencia con el Río Taras. La longitud de la cuenca es aproximadamente 13 km y su ancho promedio es 3 km. La cuenca se divide en tres secciones:

- a. Cuenca Superior: comprende desde sus inicios hasta la confluencia con la quebrada Pavas, cerca del sitio en donde estuvo el puente del camino Llano Grande-Tierra Blanca.
- b. Cuenca Media: comprende desde la confluencia con la quebrada Pavas hasta el llamado puente de La Carreta, luego puente Bailey.
- c. Cuenca Inferior: se inicia en el sitio del llamado puente Bailey y concluye en la unión con el río Taras.

El deslizamiento de San Blas se localiza en la Cuenca Media, la pendiente promedio en ésta zona es 83%. En ésta Sección del río se encuentran varios tajos y quebradores para la extracción de materiales y agregados.

La posible zona de inundación se localiza en la cuenca inferior, la cual se caracteriza por lo plano de los terrenos, con una pendiente promedio de 4,6%.

Debido a la tragedia de 1963 (conocida como avalanchas), se construyeron diques, éstos sin embargo se han rellanado y erosionado con el tiempo, limitando sus funciones.

### 1.2.1 HIDROLOGIA DE LA CUENCA:

En la Cuenca del Reventado se presentan al año dos estaciones bien definidas: seca que se extiende desde enero a abril y lluviosa, que se extiende de mayo a principios de diciembre. Entre julio y agosto ocurre un periodo de poca precipitación conocido como "Veranillo de San Juan", el cual puede durar de ocho a 22 días.

Durante la estación seca, la precipitación pluvial total es de 94,4 mm, mientras que durante la estación lluviosa es de 1415,8 mm. El promedio de días en que ocurre lluvia es de 142 al año, siendo octubre el de mayor precipitación con un promedio de 20 días de lluvia (ICE, 1965).

En época seca el río transporta un caudal de 100 lt/seg. solamente, mientras que en la estación lluviosa el caudal llega hasta 759 lt/seg. cuyas avenidas dan origen a inundaciones.

La Ciudad de Cartago fue inundada cinco veces, lo que indica que esas avenidas han ocurrido con cierta frecuencia. En el año 1951 ocurrió una de las avenidas más grandes registradas en el Río Reventado, cuyo caudal máximo se estimó en 226

m<sup>3</sup>/seg.

Debido a que el Río Reventado no es aprovechable hidráulicamente no se tienen datos de los caudales, excepto estimaciones de las avenidas ocurridas en 1951, 1963 y 1964. Después de las erupciones de ceniza de 1963, las avenidas del Río Reventado aumentaron notablemente en magnitud y frecuencia en los años 1963 y 1964 ocurrieron cinco avenidas mayores a la de 1951 y otras cinco más cuyo caudal máximo excedió los 150m<sup>3</sup>/seg. En el año 1964 se presentaron un total de 19 avenidas con niveles superiores a los 3m, en los meses de mayo y junio de 1965, 10 avenidas habían excedido los 3 m, de las cuales dos (23 y 26 mayo), están entre las más grandes de este período de desbalance hidrológico (ICE, 1965).

#### 1.2.2 SUELOS DE LA CUENCA:

El río Reventado y sus afluentes de la Cuenca Superior, (Río Retes y Quebrada Pavas), viajan a través de materiales volcánicos arrojados por el Volcán Irazú. Los materiales difieren mucho entre sí en cuanto a dureza, consolidación y estabilidad.

Desde el punto de vista de estabilidad los



materiales se dividen en tres grupos:

Grupo I: Roca y materiales muy suave deleznales y plásticos, depósitos lahàricos compuestos de rocas volcànicos en una matriz areno-arcillosa, cenizas volcànicas secundarias de lavas y escorias con intercalaciones mayores de ceniza y arcilla.

Grupo II: Secuencias de lavas, escorias y capas finas de ceniza.

Grupo III: Aglomerado volcànica y lavas interestratificadas, o los dos grupo de rocas individualmente.

### 1.3 LADERAS INESTABLES:

La cuenca del río Reventado se caracteriza por las condiciones hidrológicas anómalas a través de la historia. Las avenidas registradas indican sin embargo, que solamente las producidas en 1724, 1963 y 1965 se han relacionado con la actividad eruptiva del Volcán Irazú; la cual genera microsismos y vibraciones debido a las erupciones, además actúa indirectamente al aportar ceniza a los cuencas, aumentando el poder erosivo de los ríos.

El resto de las avenidas han sido causados por períodos

de inestabilidad de las laderas o combinación de ambas. La inestabilidad de laderas induce avenidas, debido a que los deslizamientos activos, al caer en el cauce del río, forma represas que embalsan las aguas, hasta que las presiones acumuladas hacen que éstas se rompan y se genere una avalancha con grandes cantidades de lodo y bloques.

#### §.3.1 FORMACION DE DESLIZAMIENTOS:

Los mecanismos de formación de áreas inestables o deslizamientos se pueden subdividir de la siguiente manera:

- a. Erosión del cauce del río debido al incremento de frecuencia y magnitud de las avenidas, así como la erosión causada por las mismas debido al alto porcentaje de sólidos en suspensión y bloques.
- b. Debilitamiento del talud debido a las disminución del soporte frontal y al aumento del flujo de las aguas subterráneas.
- c. Movimiento del talud debido a la falla por resistencia al cortante.
- d. Aumento del área afectada mediante fallas sucesivas por separación lateral, por formación de superficies de fallas más amplias o por

combinación de ambos, lo cual provoca mayor infiltración, sobrepeso y aumento de la presión de poros.

En el deslizamiento de San Blas no se nota ninguna actividad en las fotografías aéreas de 1956 y 1964, mientras que en la de 1972 su desarrollo era ya considerable, por lo que la actividad fluvial sólo actuó de manera indirecta al socavar el cause siendo la explotación del frente del deslizamiento el factor que inició su movimiento.

La inestabilidad de las laderas no se debe a una causa única, factores como topografía, clima, condiciones geológico-geomorfológicos son los factores naturales, combinados con la actividad antrópica especialmente si se realiza en forma irracional.

Para la cuenca del río Reventado se pueden resumir las características naturales anteriores así: - tiene relieve sumamente abrupto, algunos taludes tienen pendientes de 60 y 70 grados, el río se clasifica como torrente de montaña debido a su elevada pendiente de más de 17,5%

- Climáticamente, el regimen que se desarrolla es afectado por el Atlántico y Pacífico, sin embargo

los caudales y precipitación son pequeños con respecto al resto del país (100 a 750 l/sg y 1500 mm).

- Geológicamente la situación es poco favorable, aproximadamente un 90% de la superficie de la cuenta está cubierta por gruesas capas pobremente compactadas de cenizas, materiales laháricos y depósitos coluvio -aluviales. Existen zonas fuertemente alteradas hidrotermalmente, lo que favorece la generación de materiales más débiles compuestos de materiales arcillosos de tipo montmorillanítico y santonítico, saturados.

Por último la actividad humana, la cual ha causado deforestación acelerada, el 95% del bosque primario ha sido eliminado, el regimen de explotación agropecuaria se ejecuta en forma desordenada, sin preocuparse por la protección de los suelos contra la erosión y desestabilización. Por otro lado la explotación irracional de tajos para la extracción de materiales de construcción, los cuales socavan la base de las laderas, incluso las que tienen deslizamientos activos.

## 1.4 CARACTERISTICAS DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS

### 1.4.1 GEOMETRIA EN PLANTA:

El deslizamiento tiene una forma aproximadamente elipsoidal, con un eje mayor de 1,7 km y el menor de 0,5 km. Se compone de dos segmentos, el primer sector en deslizarse es el que abarca el tercio inferior (Sur) cuyo movimiento es hacia el Noroeste. Mientras que el segundo sector, (los dos tercios superiores) se mueven hacia el Suroeste.

El plano de ruptura, cuya profundidad promedio es de 60 a 70 m, se generó cerca del contacto inferior del lahar, sobre las lavas que sirven como basamento local. Una alteración hidrotermal y meteorización en la parte superior de las lavas, ricas en arcillas y limos, cuya resistencia al corte es menor, favoreció desarrollo de este plano.

### 1.4.2 GEOMETRIA EN PERFILES:

El deslizamiento se compone de bloques más o menos rígidos y bien definidos, los cuales no se

fracturan internamente a pesar del movimiento.

El retroceso más importante es especialmente hacia el norte, en ese lugar existe una afluencia de agua, la que viaja por una quebrada la cual descarga su cuadal en diferentes lugares de la zona de deslizamiento lo cual influye en el movimiento; el caudal carga los bloques ya deslizados, aumentando la velocidad del corrimiento.

El material deslizante no tiene una estratigrafía definida, sin embargo se observan zonas arenosas limosas y areno-arcillosas, en éstas últimas se presenta una resistencia menos que en las zonas arenosas.

#### 1.4.3VOLUMEN:

La superficie del deslizamiento es aproximadamente 67 hectáreas, con un espesor promedio de 60 a 70 m. El volumen estimado es de 40 a 47 millones de metros cúbicos, cantidad estimada en el año 1986, ésta se incrementa constantemente dado el retroceso de su corona principal (norte).

#### 1.4.4 CARACTERISTICAS DEL DESLIZAMIENTO:

El agua es un factor determinante en la inestabilidad de las laderas de la cuenca del Río Reventado, sin embargo no solamente la recarga producida por la lluvia contribuye al problema. La morfología de la terraza de banderilla evidencia su antigua condición de cauce del río Reventado, el cual cambió el curso actual en dos pronunciadas curvas de casi 90 grados, al extremo norte de la terraza. Además el régimen de escorrentía subterránea genera una carga permanente, que actúa sobre el acuífero local alimentando los flujos hidrodinámicos, generando presiones de poro, y reduciendo la resistencia al cizallamiento del material. La recarga subterránea está demostrada; en esta zona el río pierde aproximadamente 35 lt/seg de caudal en verano.

Predomina en el deslizamiento el tipo de bloques deslizantes, de un espesor considerable, esto lo hace particular ya que no obedece a los criterios convencionales de falla de taludes. Su movimiento se debe fundamentalmente a la eliminación de la resistencia en el pie por la explotación de tajos,

lo que provoca una reacción en cadena por separación del bloque continuo.

#### 1.5 AMENAZA DEL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS:

El deslizamiento de San Blas representa una amenaza sobre la infraestructuras y población humana de la Ciudad de Cartago.

Un aumento brusco en la velocidad del movimiento de la masa, podría superar el nivel de actividad de extracción del tajo y de la erosión misma del río produciéndose un represamiento en el cauce del Río Reventado, formándose un embalse, si éste ocurriera al romperse la presa se generaría una avalancha semejante a la de 1963.

#### 1.5.1 AMENAZAS GEOLÓGICAS SOBRE EL DESLIZAMIENTO:

La presencia de varias fallas activas, un volcán temporalmente dormido, deslizamientos activos, así como registros históricos, indican que en un futuro podrían ocurrir fenómenos naturales adversos (terremotos, erupciones volcánicas) aislados o coincidentes, los cuales no solamente causarían sino que actuarían como iniciadores de otros los terremotos tectónicos o los



temblores volcánicos podrían desestabilizar terrenos o masas de tierra, a lo cual se podría sumar el efecto lubricante del agua proveniente de una precipitación anormal. La casual ocurrencia de uno o más fenómenos naturales adversos podrían afectar el deslizamiento de San Blas.

#### 1.5.1 TEMBLORES DE MAGNITUD INTERMEDIA:

La evidencia mundial sobre la influencia de los temblores en la generación o aceleración de los deslizamientos sugiere:

a: Existen umbrales de magnitud, por debajo de los cuales los eventos sísmicos raramente causan deslizamiento.

b: Por encima de esos umbrales, hay límites en la distancia desde el epicentro a la ruptura de la falla, en los cuales un terremoto de una magnitud dada es propenso a causar deslizamiento.

Los umbrales de magnitud y los límites superiores de las relaciones distancia-magnitud varían según los diferentes tipos de deslizamiento. En materiales poco coherentes los deslizamientos son iniciados por la vibración más leve, los deslizamientos que ocurren en pendientes muy fuertes son probablemente susceptibles a

las sacudidas de corta duración y alta frecuencia. En materiales coherentes ocurren deslizamientos profundos que son iniciados por movimientos más fuertes y probablemente de larga duración.

De lo anterior se concluye que el deslizamiento de San Blas podría ser influenciado por sismos locales de magnitudes mayores de 4,5 con características de sacudida fuerte y probablemente de larga duración con intensidades predominantes de VII MM, aunque podrían bastar intensidades mínimas de V.

#### 1.5.1.2 ACTIVIDADES DEL VOLCAN IRAZU:

Los peligros volcánicos se agrupan en:

a: Corto Plazo: incluye los lahares, cuya área de mayor riesgo es la cuenca y cauce del río Reventado y los depósitos piroclásticos, cuyo radio de máximo y mediano peligro es de 0,4 y 4 km respectivamente.

b: Mediano y Largo Plazo: incluye explosiones laterales dirigidas de bajo ángulo con generación de avalanchas ardientes, o formación de nuevos cráteres a partir de los cuales se puedan erupcionar piroclastos y coladas de lava.

Además de las manifestaciones endógenas, los temblores volcano-tectónicos o volcánicos, pueden desestabilizar terrenos previamente inestables.

#### 1.5.1.3 PRECIPITACION PLUVIAL:

Los meses en las que las condiciones de saturación de la masa deslizante es mayor es entre mayo y noviembre, es cuando el deslizamiento es más vulnerable a ser afectado por otros fenómenos naturales como temblores o actividad volcánicas.

Se ha establecido un período de recurrencia para temblores de magnitud intermedia  $T=42,3$  24,2 años para la región oriental y sur del Valle Central. Con base en un supuesto empírico de que la probabilidad para que ocurra un evento se incrementa linealmente con el tiempo, existe una cierta probabilidad de que ocurra un temblor en el Valle Central en general, entre los años 1979 y 2000, mientras que para la región sur y este del Valle Central existe entre los años 1970 y 2019. Para el año 1988 la probabilidad para el primer caso es de 44,5% y para el segundo 39,6%.

Desde 1821 a la fecha, las erupciones del Volcán Irazú se han sucedido distanciadas entre sí por unos pocos meses hasta 30 años como máximo; el

actual período de inactividad es de 22 años. Sobresalen únicamente las erupciones de 1917-1918 y 1963-1964, una erupción importante aproximadamente cada 80 años.

#### 1.5.1.4ACTIVIDAD DEL HOMBRE

La cuencia del río Reventado no escapa al uso descoordinado y no planificado que le da el hombre a todas las cuencas del país; preocupa la alta deforestación en la llamada cuenca superior, la cual tiene una pendiente elevada, asimismo preocupa principalmente la actividad de tajos en la cuenca media, donde se localiza el río en la zona del deslizamiento de San Blas. Erosionó su cauce y dejó la terraza de Banderilla a un nivel superior; la actividad de tres tajos inicialmente, fue lo que provocó el movimiento, ni permiten los dos aún en funcionamiento, su estabilización. La maquinaria de los tajos socava el pie del deslizamiento constantemente para lavar el material en el agua del río, esto en invierno es indirectamente favorable pues mantiene limpio el cauce y evita represamientos pero en verano el socavamiento del pie del deslizamiento es la única

causa del movimiento. Además la trepidación causada por la maquinaria pesada, quebradores y detonaciones de dinamita para fragmentar bloques grandes causa que el deslizamiento continúe su movimiento.

## CAPITULO 2

### DAMBREAK: Modelo de Rompimiento de Presas

El Capítulo anterior recopila la principal información geológica-geotécnica acerca del deslizamiento de San Blas, explica además no solamente la magnitud del deslizamiento sino las posibles causas del mismo y la probabilidad de que ocurra algún evento natural el cual precipite el deslizamiento al cauce causando una presa natural, con la consecuencia de embalsamiento aguas arriba y desborde del mismo en el momento de la falla. Si sucediese lo anterior el Valle del Guarco tendría una inundación, causando pérdidas materiales y humanas, es entonces ésta, una amenaza importante que analizar, y con esa finalidad se utilizó el modelo de rompimiento de presas conocido como DAMBREAK

El modelo fue desarrollado por la National Weather Service (NWS), con la finalidad de tratar de prevenir catástrofes producidas por el rompimiento de una presa construida por el hombre, fuese ésta de tierra, gravedad o arco.

El tipo de flujo a través de la falla de una presa, tiene algunas importantes diferencias, lo cual puede complicar el análisis con técnicas comunes por lo que hidrólogos del NWS desarrollaron un modelo, llamado DAMBREAK.

El modelo utiliza la teoría hidrodinámica para predecir la formación de la onda debida al rompimiento de la presa y su progreso o avance aguas abajo.

Consiste en tres partes:

1. Descripción del modelo de falla de la presa y descripción geométrica de la abertura.
2. Hidrograma de salida del embalse, el cual se puede realizar por tránsito hidráulico, conocido como dinámico o tránsito hidrológico (almacenaje).
3. Tránsito (dinámico) a través del Valle Aguas Abajo, determinando los cambios del mismo y determina las elevaciones resultantes de la superficie del agua y el tiempo de viaje de flujo.

## 2.1 CARACTERISTICAS DEL MODELO

Se dará a continuación una información general de las características del modelo y teoría que lo sustenta, si se desea mayor detalle de las simplificaciones teóricas y procedimiento de análisis se puede referir al Manual del DAMBREAK.

### 2.1.1 DESCRIPCION DEL MODELO DE FALLA Y FORMA DE LA ABETURA

La primera parte del modelo comprende la descripción de la abertura; el mecanismo real de

falla no es bien conocido, pero en un intento de predecir la onda de flujo aguas abajo se supone una falla completa e instantánea; ésta suposición se usó por razones de conveniencia, cuando se aplican las técnicas matemáticas para analizar la onda de flujo producido por el rompimiento de una presa, las cuales son algo apropiadas para presas de arco (concreto) pero no lo son para presas de tierra y de gravedad (concreto).

El ancho de la abertura de falla en presas de tierra es usualmente menor que la longitud total de la presa a través del valle, además requiere de un intervalo de tiempo finito para su formación. El tiempo total de falla anda en el rango de unos pocos minutos a unas pocas horas, dependiendo de la altura de la presa, el tipo de materiales usados en la construcción, la compactación y la magnitud y duración de la sobreelevación de agua al escapar. fallas de tubificación ocurren usando la formación de la brecha o abertura inicial toma lugar en algún punto debajo del tope de la presa, donde la erosión interna hace escapar el agua.

Por razones de simplicidad, generalidad e incerteza en los mecanismos reales de falla, el modelo le pide al usuario que introduzca el intervalo de la



falla (t) y el tamaño final así como la forma de la abertura. La forma de la abertura se identifica por  $z$ , el cual representa la pendiente de la abertura ( $0 < z < 2$ ), y por  $b$ , el cual representa el ancho final de la abertura; se pueden simular tres formas diferentes de aberturas: triangular, rectangular y trapezoidal. Durante la simulación de la falla de la presa, la formación real de la abertura comienza cuando la elevación de la superficie del agua en el embalse excede un valor especificado; lo anterior permite simular falla por desbordamiento, en donde la abertura se forma hasta que una suficiente cantidad de agua fluya sobre la cresta de la presa. La falla por tubificación puede ser simulada cuando el nivel del agua se especifica menos que la altura de la presa.

Seleccionar los parámetros de la abertura, antes de que ésta se forme introduce un grado de incerteza y variación en los resultados del modelo, sin embargo errores derivados por la descripción de la abertura se disipan conforme el flujo avanza aguas abajo.

### 2.1.2 HIDROGRAMA DE SALIDA DEL EMBALSE:

El flujo total de salida del embalse incluye el flujo a través de la abertura y aquel a través de las estructuras de exedencia como vertedores.

El flujo total de salida es función de la elevación de la superficie del agua; el vaciado del embalse produce incremento en altura y caudal. Para determinar el flujo total de salida como función del tiempo, se deben considerar los efectos simultáneos del almacenaje en el embalse y la salida del flujo del mismo, lo cual requiere una técnica de tránsito.

El modelo (DAMBREAK) utiliza dos técnicas de tránsito, la primera hidrológica o de almacenaje la cual se basa en la ecuación de continuidad, ésta expresa el concepto de conservación de la masa y una relación entre lo que se almacena con respecto a lo que entra y sale. La ecuación resultante al utilizar este método se resuelve por un método numérico, Newton-Raphson; se debe escoger el mínimo tamaño de tiempo de parada o  $\Delta t$ , para incurrir en un mínimo error, el valor presente en el modelo es  $t/50$ .

La técnica de tránsito hidrológico implica que la

elevación de la superficie del agua es casi constante, suposición adecuada, para aberturas que se forman gradualmente, en embalses anchos con cambios graduales en los niveles de la superficie del agua. La segunda técnica de tránsito es la hidráulica, (tránsito dinámico), éste tiene mayores ventajas para embalses angostos y largos con cambios bruscos en la elevación de la superficie del agua, simula también el efecto de las ondas negativas, las cuales pueden ser causadas por un repentino desembalse y ondas positivas producidas en largas entradas de flujo. El tránsito hidráulico se basa en las ecuaciones completas de flujo no uniforme, ecuaciones desarrolladas por Saint-Venant (1871), una representa la ecuación de conservación de la masa y la otra conservación del momentum.

$$\frac{JQ}{Jx} + F(A+A_0) - q = 0 \text{ (conservación masa)}$$

$$\frac{JQ}{Jt} + \frac{J(Q/A)^2}{Jx} + Gg \left( \frac{Jh}{Jx} + \frac{Sf}{Jx} + \frac{Se}{Jx} \right) = 0 \text{ (conservación momentum)}$$

donde: Q : caudal  
 A : Area de la sección transcuerval activa  
 A<sub>0</sub>: Area inactiva  
 q : entrada lateral de flujo  
 Sf: Pendiente de fricción  
 g : aceleración gravedad  
 Se: Pendiente de contracción expansión  
 x: Distancia longitudinal a lo largo del canal.

Las ecuaciones anteriores (St Venant )1, fueron modificadas por Fread en 1975, 1976 y Smith (1978) logrando con ello que muestren mejor las diferencias en la onda de flujo ocurriendo simultáneamente en el canal del río y sobre el banco en el valle aguas abajo.

Las ecuaciones de St. Venant o las modificaciones por Fread, constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales parciales de tipo hiperbólico; ellas contienen dos variables independientes,  $x$  y  $t$  y dos variables dependientes  $h$  y  $Q$ , los otros términos son función de  $x$ ,  $t$ ,  $h$ ,  $Q$  o son constantes. Las ecuaciones se resuelven numéricamente ejecutando dos pasos básicos: Primero, las ecuaciones diferenciales parciales son representadas por un grupo de ecuaciones algebraicas de diferencias finitas y segundo, el sistema de ecuaciones algebraicas es resuelto de acuerdo a las condiciones de frontera.

El modelo utiliza el método implícito de resolución, específicamente el esquema "weighted four-point", se puede utilizar con cualquier tamaño de paso en el tiempo ( $t$ ), el cual no necesita ser constante, por otro lado  $x$ ,

(distancia entre puntos discretos en el eje x), tampoco necesita ser constante. Detalles del método se pueden estudiar en el Manual de DAMBREAK.

### 2.1.3 TRANSITO AGUAS ABAJO:

Luego de calcular el hidrograma de salida del embalse se determina por medio del tránsito dinámico de ese hidrograma las características del flujo aguas abajo. El hidrograma aguas abajo se afecta por características de resistencia al flujo, zonas de almacenaje, componentes de aceleración de la onda, obstrucciones o estructuras de control aguas abajo. Si el valle aguas abajo tubiese zonas significantes de almacenaje así como planicies de flujo anchas, la onda de flujo puede ser atenuada y su tiempo de viaje incrementado.

Una característica del flujo derivado por el rompimiento de una presa es el pequeño tiempo de dirección y particularmente el pequeño tiempo de inicio del limbo hasta la ocurrencia del pico. El tiempo pico es en algunos casos sinónimo con el tiempo de formación de la abertura.

## 2.2 CAPACIDAD DEL MODELO:

El modelo es capaz de:

- A. Simular múltiples presas aguas abajo así como puentes
- B. Tratar con flujo subcrítico o supercrítico.
- C. Pérdidas de volumen en el tránsito
- D. Realizar tránsito dinámico o hidrológico en el embalse
- E. Simular derumbamientos en el embalse, lo cual genera ondas
- F. Tránsito del flujo aguas abajo utilizando planicies de inundación izquierdo y derecho

Dadas las capacidades del modelo mencionadas anteriormente, el modelo tiene 14 opciones, el usuario adapta cualquiera de ellas a la condición real que desea simular, en el apéndice A se detallan las 14 opciones con los datos de entradas principales.

## 2.3 PROBLEMAS DE ESTABILIDAD Y CONVERGENCIA:

Los métodos numéricos utilizados para resolver las ecuaciones presentan algunos problemas de inestabilidad y convergencia.

Si  $t$ , (tiempo de paso) fuese mayor al incremento de descarga durante ese tiempo, se presentan errores en el cálculo de la elevación de la superficie del agua, ésta

tiende hacia el fondo del canal, la cual causa áreas negativas provocando un error.

Si  $t$  es demasiado largo puede causar que la iteración de Newton Raphson no converja.

## 2.4 DATOS REQUERIDOS:

Los datos requeridos se dividen en:

Datos que pertenecen a la presa: Estimados por el usuario:

T : tiempo de falla de la abertura (hrs)  
k : Ancho final del fondo de la abertura (pies)  
z : pendiente de la abertura  
hbm: elevación final del fondo de la abertura  
hf : elevación del agua cuando empieza a formarse la presa

Medidas:

hd : Elevación del tope de la presa  
Zt : Caudal a través de las turbinas, es constante e independiente de la descarga de la presa

Datos requeridos para virtudes de excedencia. Los datos correspondientes a un vertedor no son esenciales para el módulo.

hs : Elevación de la cresta del vertedor sin control  
cs : Coeficiente de descarga de un vertedor sin control  
hq : Elevación de la línea central de la compuerta sumergida  
cq : Coeficientes de descarga de un vertedor con compuerta  
cd : Coeficiente de descarga del flujo sobre la cresta.



Datos necesarios para el tránsito en el embalse. Si se realiza tránsito dinámico se necesita descripción de las secciones transversales en el embalse.

Coeficiente de resistencia hidráulica  
Coeficientes de expansión-contracción

Tránsito hidrológico requiere:

Tabla de área (acres) o volumen (acres-ft)  
y la correspondiente elevación dentro de la presa.

Datos necesarios para el tránsito a través del valle aguas abajo:

Debido a que el tránsito aguas abajo se realiza por el método dinámico se necesita entonces:

Descripción de las secciones transversales  
Coeficientes de resistencia hidráulica  
Coeficientes de expansión-contracción

Las secciones transversales son especificadas por la localización y una tabla ancho de espejo- VS elevación. El número de secciones transversales utilizado para el valle aguas abajo, depende de la variabilidad del ancho sin embargo un mínimo de dos debe de ser usado. Adicionalmente secciones transversales pueden ser creadas por medio de interpolación lineal entre secciones transversales adyacentes especificadas por el usuario.

## 2.5 LIMITACIONES Y SUPOSICIONES DEL MODELO:

### 2.5.1 Limitaciones:

El modelo no puede simular: Cambios del flujo de subcrítico a supercrítico con el tiempo.

Cambios del flujo de subcrítico a supercrítico con la distancia.

Requiere de un flujo base uniforme al inicio de la simulación de aproximadamente (1/2)% de flujo pico.

### 2.5.2 Suposiciones:

El modelo se desarrolló tomando ciertas suposiciones básicas a saber:

El modelo tiene una rutina de simulación de la abertura de falla, la cual comienza en la parte alta de la presa y crece de manera uniforme externamente y descendiente, una abertura de forma fija es iniciada cuando la superficie del agua del embalse alcanza una elevación y las dimensiones de la abertura crecen linealmente con el tiempo. La rutina es fácil para el usuario y general sin embargo la suposición de un crecimiento

lineal con el tiempo y un perfil del fondo de la abertura horizontal a lo largo de la dirección del flujo no son necesariamente realistas. Se supone, flujo unidimensional, lo cual necesita de estudio para evaluar su efecto, ya que modelos de flujo en dos direcciones son particularmente importantes en el problema de rompimiento de presas.

Supone una erosión y sedimentación mínima, sin embargo la geometría del valle y rugosidad pueden cambiar drásticamente por la onda de flujo. Se debe estudiar entonces el significado de la erosión sobre la onda de flujo y viceversa.