

INFORME TÉCNICO

NOTA COMPLEMENTARIA SOBRE LA REVISIÓN DEL
INFORME HIDROLÓGICO DE DETERMINACIÓN DE
NIVELES DE INUNDACIÓN – PLANTA ADELCA EN ZONA
INDUSTRIAL DE MILAGRO

FECHA: OCTUBRE DE 2014

--

Documento:

**NOTA COMPLEMENTARIA SOBRE REVISIÓN DEL
INFORME HIDROLÓGICO DE DETERMINACIÓN DE
NIVELES DE INUNDACIÓN – PLANTA ADELCA EN ZONA
INDUSTRIAL DE MILAGRO**

Documento N°:	Edición N°: 0
Objeto de edición: Entrada en vigor	Fecha: 21/08/2014

Preparado: _____ R.H.H

Revisado: _____ R.H.H

Aprobado: _____

CONTROL DE MODIFICACIONES

Edic.	Modificaciones
0	Primera edición

INFORMACIÓN PRELIMINAR O PENDIENTE

Edic.	Apartados	Concepto	Estado
0	-	Ninguno	

DISTRIBUCIÓN

Externa - Dirección de Obra:	Nº copias/Soporte	Interna	Nº copias/Soporte

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN DISPONIBLES	1
3	OBTENCIÓN DE CUANTILES DE PRECIPITACIÓN	5
4	ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDA PARA 50 Y 100 AÑOS DE PERÍODO DE RETORNO – CUENCA ESTERO DE LOS MONOS.....	8
5	REVISIÓN DE NIVELES DE INUNDACIÓN.	11
6	RESUMEN Y CONCLUSIONES.	15

1 INTRODUCCIÓN

La presente nota técnica tiene por objeto complementar el informe IN-002_R01 emitido por esta empresa con fecha del 18/08/14, de acuerdo a lo indicado en la reunión celebrada con fecha del 28/08/14. En concreto, se incorporan los siguientes aspectos:

- Estimación de los cuantiles de precipitación para 50 y 100 años de período de retorno, así como su comparación con los valores tomados como referencia en el estudio de GeoGis (nivel máximo de avenida registrado en el episodio de ENSO-El Niño años 97-98).
- Estimación de caudales de avenida y niveles de inundación para la cuenca del Estero de Los Monos en la zona de estudio para 50 y 100 años de período de retorno a partir de los datos de precipitación estimados.

La documentación disponible para la realización de la presente revisión es la siguiente:

- Información hidrológica disponible de la estación IM-37 “Milagro – Ingenio Valdez” (Informe meteorológico.pdf), recibida con fecha del 08/10/14.
- Informe IN-002_R01 emitido por SEG con fecha del 18/08/14.
- ESTUDIO HIDROLOGICO PARA LA CUENCA DEL ESTERO LOS MONOS EN EL SECTOR DE LA NUEVA PLANTA DE ACERO ADELCA (formato pdf).

Adicionalmente a los recursos indicados que han sido facilitados por el cliente, se ha consultado documentación correspondiente a los anuarios hidrológicos disponibles del INAMHI.

2 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN DISPONIBLES

Dado que se ha optado, debido a las características de la cuenca y al tipo de datos disponibles a realizar la estimación de caudales mediante el empleo de modelos de generación de escorrentía a partir de datos de precipitaciones, es preciso disponer de series estadísticas de lluvias (máximos anuales) en la zona de estudio de la suficiente longitud y consistencia que permitan obtener valores fiables para los períodos de retorno considerados.

La información facilitada por el INAMHI a GeoGis (archivo informe hidrológico.pdf) permite disponer de una serie de máximos anuales de una longitud inicial de 15 años, que cubre el período 1997-2011.

De entrada debe indicarse que los datos recibidos se consideran insuficientes para la realización de cualquier tipo de análisis estadístico, dada su corta longitud de manera que no es posible su empleo para los fines buscados (estimación de valores de precipitación de diseño para $T_r=50$ y 100 años). Además, en un análisis inicial de la información recibida, se comprueba que en algunos años (1999, 2008) no se dispone de

información de máximos de algunos meses de manera que se añade un nivel de incertidumbre adicional para su tratamiento estadístico que hay que tener en cuenta.

La estación IM-37 Milagro-Ingenio Valdez, de acuerdo a la base de datos de INAMHI tiene una vida sensiblemente superior a la longitud de la serie facilitada (aunque no tiene porque haber datos de todos los años).

Tabla 1: extracto de datos de la estación Milagro-Ingenio Valdez

M0037	AP	23	-79,6002778	-2,13361111	9	130	M037	01/03/1963
-------	----	----	-------------	-------------	---	-----	------	------------

Fuente: INAMHI

Para la realización de los cálculos que se detallan en el presente informe, se ha buscado ampliar la longitud de la serie indicada, a partir de las siguientes fuentes:

- 1) Consulta en los registros del INAMHI. Se comprueba que se encuentran disponibles para descarga los anuarios hidrológicos desde el año 1992. Dado que se disponen de datos desde 1997 en la serie facilitada, puede aumentarse su longitud en algunos años rescatando los anuarios del período 1992-1996. Se trata por desgracia de una fuente de datos parcial que solo permite aumentar ligeramente la longitud de la serie.
- 2) Se comprueba que en la documentación técnica de la oferta de GeoGis para ADELCA se incluye en un documento denominado anexos Proyecto Adelca.pdf datos meteorológicos de la estación IM-37 desde el año 1982 (incluyendo datos de precipitaciones máximas de 24 horas, que son los datos buscados).

La combinación de las fuentes de información indicadas permite disponer de entrada de una serie de 30 años de longitud. Se adjunta serie completa, con indicación de la fuente de cada dato:

Tabla 2: datos disponibles de precipitación máxima de 24 hora – Estación Milagro-Ingenio Valdez

Año	Pmax24h	Mes máximo	Observaciones
1982	86	dic	
1983	137,1	jun	
1984	111,6	feb	
1985	162,1	ene	
1986	63,6	mar	
1987	148,6	feb	
1988	115,9	abr	
1989		mar	76,3 max eliminado (faltan datos)

Año	Pmax24h	Mes máximo	Observaciones
1990	103,2	feb	
1991	77,6	feb	
1992	133,1	abr	
1993	92,6	feb	
1994	95,4	ene	
1995	119,4	ene	
1996	130,5	mar	
1997	124	mar	
1998	194,5	feb	
1999		mar	89,5 max eliminado (faltan datos)
2000	111,8	mar	
2001	169	feb	
2002	178	feb	
2003	113,9	feb	
2004	78,7	mar	
2005	112,2	ene	
2006	119,7	feb	
2007	100,9	mar	aportado con anuario hidrológico
2008	116	mar	aportado con anuario hidrológico. Faltan datos
2009	93,5	ene	aportado con anuario hidrológico
2010	112,5	abr	aportado con anuario hidrológico
2011	89,7	abr	

Fuente: documentación obtenida por GeoGis, anuarios INAMHI

Hay que tener en cuenta en la serie anterior que algunos años no disponen de datos todos los meses de manera que se añade incertidumbre a las estimaciones que se realicen (al no disponerse de datos todos los días no puede afirmarse que se haya registrado el valor máximo anual de precipitación).

Anteriormente se indicó que los años 1999 y 2008 tenían esta problemática; habría que añadir además el año 1989. En este año y en 1999 además, se da el caso de que faltan los datos de los meses con mayor probabilidad de aparición de máximos anuales (período de febrero a abril, de acuerdo a la serie observada, por ello se han marcado en la tabla anterior las casillas correspondientes en rojo), de manera de que el riesgo de que se obtienen máximos anuales significativos es mayor (generándose una infravaloración en la estimación de los cuantiles).

Como medida de precaución se opta por eliminar estos dos años de la serie definitiva, aún a costa de reducir su longitud y perder continuidad en la serie; no obstante, se mantiene el registro 2008 en cambio dado que en el mes sin datos (julio) no se ha

registrado un máximo en ningún año de la serie anual disponible.

Por otro lado, al no disponerse de datos de otras estaciones, no puede intentarse completar datos con otras estaciones cercanas con las que pueda haber correlación.

Con todo esto, se realizará el ajuste estadístico de los datos a partir de la serie revisada según los criterios anteriormente indicados, que tiene una longitud de 28 años.

Respecto a los parámetros estadísticos de la serie final, se adjuntan a continuación:

Tabla 3: parámetros estadísticos de la serie de precipitaciones máximas de 24 h

N	28	
media	120,804348	mm
Desv	33,1749423	
Cv	0,27461712	
Cs	0,69444158	

Fuente: equipo consultor – SEG

El valor máximo registrado corresponde al año 1998 (194.5 mm) registrados durante el episodio del fenómeno ENSO-EI Niño de los años 97-98. Llama la atención en cambio el valor del episodio de los años 82-83 donde se registró en la estación de Milagro – Ingenio Valdez un valor máximo de 137.1 mm, que posteriormente ha sido superado en varias ocasiones por la serie histórica (a pesar de que se trata de un año en el que se registró el fenómeno ENSO-EI Niño).

Como orden de magnitud del margen de error que se asume empleando la serie indicada para obtener cuantiles de 50 y 100 años de período de retorno, se adjunta la siguiente tabla, extraída de Linsley et.al, “Hidrología para Ingenieros” McGrawHill, 2ª edición:

Tabla 4: longitudes de registro necesarias para estimación de cuantiles de precipitación de un determinado período de retorno y error aceptable

Tabla 11-1 LONGITUD DE UN REGISTRO EN AÑOS NECESARIA PARA ESTIMAR AVENIDAS DE VARIAS PROBABILIDADES CON UN 95 POR CIENTO DE CONFIANZA

Delineación probable	Error aceptable	
	10%	25%
0,1	90	18
0,02	110	39
0,01	115	48

Fuente: Linsley et.al, “Hidrología para Ingenieros”

Se comprueba que para $T_r=50$ años (corresponde un valor de $1/50=0.02$), para obtener un error aceptable del 25% se necesita una longitud de serie de 39 años (por tanto, a priori, nos moveríamos de entrada en un valor sensiblemente superior). Este aspecto, debe tenerse en cuenta para los cálculos sucesivos.

Para disminuir el grado de incertidumbre de los resultados ofrecidos, tendría que optarse por el empleo de información regional (empleo conjunto de información de series de la zona que sean homogéneas desde el punto de vista estadístico), ya que permite aumentar la longitud de la información disponible.

Para realizar este análisis se debe seguir un procedimiento específico de regionalización de la información disponible más laborioso que el del análisis estadístico por estación, pero en estos casos donde se requiere disponer de cuantiles de precipitación para períodos de retorno altos y existe tan poca información es la única alternativa para disminuir los niveles de incertidumbre de los cuantiles de precipitación obtenidos (aunque dependerá lógicamente de la disponibilidad de series en la zona de trabajo estadísticamente homogéneas).

Por tanto, sería una alternativa a abordar en caso de que no se considere suficiente el nivel de incertidumbre asociado a los resultados, tal como se ha expuesto anteriormente.

3 OBTENCIÓN DE CUANTILES DE PRECIPITACIÓN

A partir de la serie obtenida en el punto anterior, es preciso realizar la elección del modelo estadístico a emplear en los cálculos, así como el tipo de ajuste a emplear. A este respecto, existen varias alternativas disponibles a priori. Como criterio básico de trabajo, se intentará emplear leyes de distribución del menor número de parámetros (como Gumbel o la SQRT-ETmax, con dos parámetros), dado que la serie disponible tiene una longitud reducida (28 años, tener en cuenta que a efectos de ajuste lo recomendable es disponer al menos de quince datos por parámetro de la ley de distribución, se está ligeramente por debajo del rango recomendable), si bien se contrastarán los resultados con el ajuste de leyes de mayor número de parámetros (como la GEV, que tiene tres parámetros).

Para la obtención de los valores de lluvia de diseño, se ha optado por el empleo conjunto de varias leyes de distribución en todas las series de lluvias disponibles, de manera que pueda realizarse un contraste entre los distintos tipos considerados, tratando de reducir al máximo la incidencia de fuentes adicionales de error a las indicadas en el anterior punto por causa de una incorrecta elección de ley o método de ajuste empleado. En este caso, se adoptan los siguientes tipos de leyes:

-GUMBEL (aplicando dos métodos de ajuste distintos).

-SQRT-ETmax (aplicando un método de ajuste).

-GEV (empleando un solo método de ajuste).

Se resume en la siguiente tabla las características principales de las leyes que se van a emplear en el presente informe:

Tabla 5: leyes de distribución propuestas para el ajuste estadístico

Tipo de ley	Ley de distribución	Número de parámetros	Métodos de ajuste empleados
GUMBEL	$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$	2	Momentos (MOM) y Máxima verosimilitud (ML)
SQRT-ETmax	$F(x) = \exp\left[-k(1 + \sqrt{\alpha x})\exp(-\sqrt{\alpha x})\right]$	2	Momentos (MOM)
GEV	$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{\frac{1}{k}}\right\}$	3	Momentos ponderados probabilísticamente (PWM)

Fuente: equipo consultor – SEG

Los resultados numéricos obtenidos son los siguientes:

Tabla 6: cuantiles de precipitación obtenidos para las distintas leyes

Ley –tipo de ajuste	Cuantil Tr=50 años	Cuantil Tr=100 años
GUMBEL – Momentos	197	213
GUMBEL – Máxima verosimilitud	198	215
GEV – Momentos ponderados probab.	203	219
SQRT-ET max – Momentos	203	224

Fuente: equipo consultor – SEG

Como resultado global del análisis estadístico de los datos, se consideran para los cálculos los siguientes cuantiles de precipitación máxima de 24 h de diseño:

Tabla 7: cuantiles de precipitación propuestos para la estimación de caudales

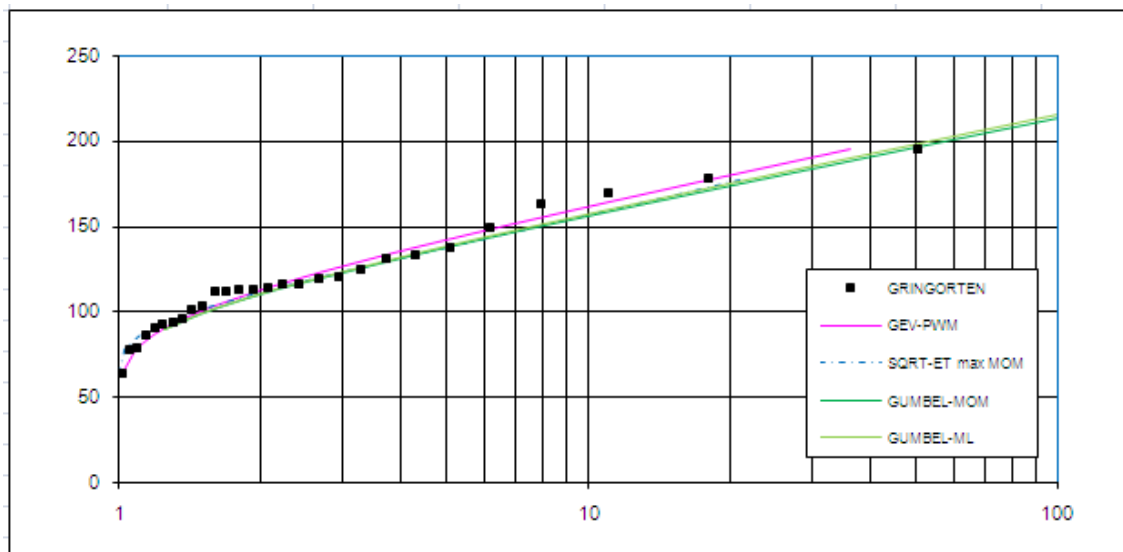
Cuantil Tr=50 años	Cuantil Tr=100 años
203	224

Fuente: equipo consultor – SEG

Correspondientes a la ley SQRT-ETmax ajustada por el método de los momentos. Con esta ley, al valor de precipitación correspondiente al ENSO-EI Niño del año 1998 (máximo valor de la serie histórica disponible de la estación Milagro-Ingenio Valdez) le corresponde un período de retorno de unos 38 años.

La gráfica con los distintos ajustes realizados es la siguiente:

Gráfico 1: ajuste de las leyes de distribución propuestas con los datos muestrales



Fuente: equipo consultor – SEG

Los puntos señalados en negro son los valores muestrales de la serie histórica disponible a los que se ha asignado una probabilidad de ocurrencia; se observa que el ajuste a los valores muestrales de las leyes propuestas es correcto en líneas generales.

Para completar el análisis estadístico de los datos, se han realizado tests estadísticos de bondad de ajuste de las leyes propuestas del tipo Chi-cuadrado y el método de Kolmogorov-Smirnoff, obteniéndose resultados admisibles de los ajustes. La utilización

de estos tests únicamente permite comprobar que los ajustes a los datos de la función de distribución empleada no son inadecuados (no supone por tanto una validación de los cuantiles de precipitación obtenidos).

4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDA PARA 50 Y 100 AÑOS DE PERÍODO DE RETORNO – CUENCA ESTERO DE LOS MONOS.

Dada la ausencia de datos de caudales de crecida en la cuenca de estudio, el sistema de trabajo propuesto para realizar una estimación de los mismos es mediante modelos de transformación lluvia –escorrentía, adoptando para ello una tormenta de diseño de las características que se establezcan.

Por desgracia, no se dispone para la zona de patrones de precipitación disponibles que puedan tomarse como referencia, de manera que debe optarse por el uso de tormentas sintéticas. En el informe IN-002 se planteó la estimación del hidrograma de crecida de la cuenca mediante la adopción de hietogramas sintéticos tipo bloques alternos para 50 y 100 años de período de retorno, obtenidos a partir de las curvas IDF del INAMHI, dado que no se disponían de datos estadísticos de precipitación para el empleo de otros posibles modelos de distribución temporal de la lluvia de diseño.

Las curvas indicadas proceden del estudio publicado por el INAMHI en 1999 “Estudio de Lluvias Intensas”, y hay que tener en cuenta que las mismas que están elaboradas con registros tomados hasta el año 1997 (no cuentan por tanto con la incidencia de los registros posteriores como por ejemplo los correspondientes al episodio del ENSO-El Niño de 1997-98); en todo caso, se comprobó en el anterior informe (IN-02) que su empleo conducía a resultados conservadores, dadas las hipótesis implícitas a su empleo (con puntas de intensidad muy altas en comparación a otros modelos).

En este informe, dado que ya se dispone de una estimación de cuantiles de precipitación para los períodos de retorno fijados (50 y 100 años), va a realizarse alternativamente la obtención de hidrogramas de avenida empleando otros tipos de hietogramas sintéticos. Se busca con esto, obtener una envolvente de los caudales esperables en la cuenca objeto de estudio para los períodos de retorno señalados, dadas las incertidumbres asociadas a la escasez de información hidrológica en la zona.

El procedimiento de trabajo seguido ha consistido en elaborar, tomando como datos de referencia los anteriormente indicados, varios tipos de tormentas sintéticas estándar habitualmente empleadas que se introducirán en el modelo HEC-HMS utilizado para la redacción del informe anterior (IN-02) que permitan estimar los caudales de avenida tomando como datos de partida las precipitaciones de 24 horas máximas correspondientes a los períodos de retorno de 50 y 100 años.

De acuerdo a lo indicado en el punto anterior, se ha estimado que el período de retorno de la precipitación del año 98 ronda los 35-40 años de período de retorno. Para 50 años, se ha fijado un valor de referencia de $P_d=203$ mm, superior al indicado anteriormente. Por su parte, el cuantil de cálculo para $T_r=100$ años es de 224 mm.

Los modelos de hietograma que se propone emplear son los siguientes:

- Tormenta tipo III del SCS (duración 24 horas).
- Hietograma triangular de 12 horas de duración.
- Tormenta tipo Sifalda de 12 horas de duración.

Para los modelos de hietograma triangular y sifalda, que no tienen una duración predeterminada, se ha optado por fijarla en 12 horas, de acuerdo a lo indicado por INAMHI (referencia ya adjunta en el informe IN-02):

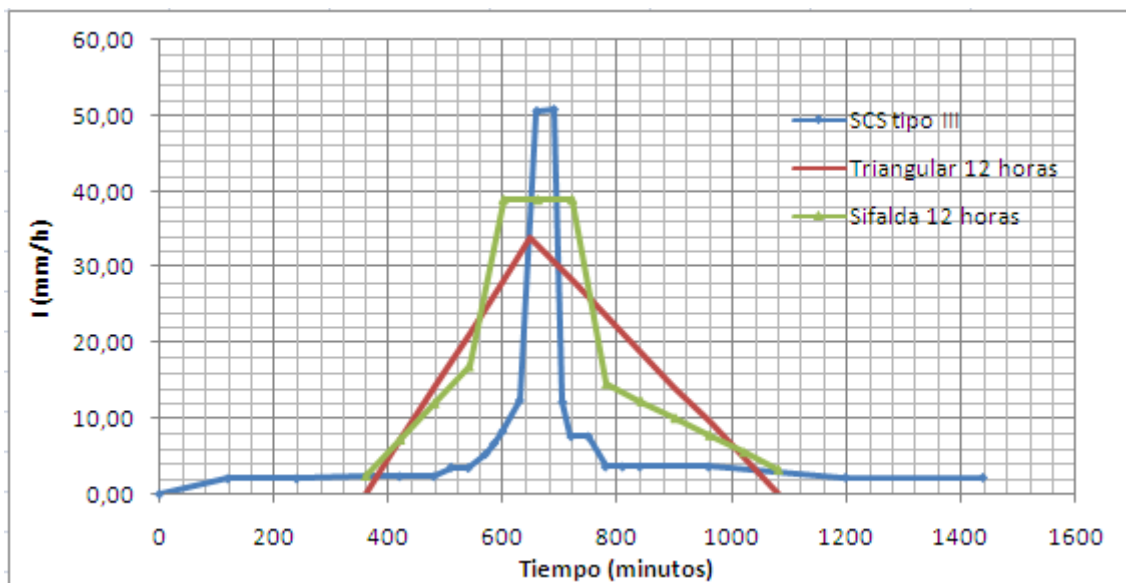
*Las precipitaciones máximas en 24h00 que ocasionaron la destrucción de obras civiles, especialmente vías de comunicación superaron los 96 mm, considerados críticos por corresponder a períodos de retorno de 100 años, esta cantidad de lluvia en la mayoría de las estaciones **tuvieron duraciones inferiores a las 12h00.***

En todo caso, tanto el modelo del SCS como el hietograma de bloques alternos tienen concentradas el grueso de la precipitación en un período inferior a las 12 horas, de manera que la característica de duración indicada también es aplicable a ambos.

Los resultados que se obtengan en todas las simulaciones se compararán con los que se obtengan con el modelo de bloques alternos ya propuesto en el anterior informe.

A modo comparativo, para los datos considerados para $Tr=50$ años, se adjunta a continuación el gráfico comparativo entre los tres modelos de hietograma considerados (la discretización del hietograma se encuentra adaptada al modelo de hidrograma unitario que se empleará en el modelo transformación lluvia - escorrentía):

Gráfico 2: comparativo de los hietogramas de diseño para $Tr=50$ años



Fuente: equipo consultor – SEG

Los parámetros de cuenca empleados para los cálculos son los siguientes:

Tabla 8: parámetros de entrada considerados para la estimación de la crecida de diseño

Parámetro	Valor considerado
Área cuenca (km ²)	37.30 km ²
Tiempo de concentración (horas)	8.08

Fuente: informe IN-02

Para la estimación de las abstracciones de precipitación se considera el método del SCS (método de curva), considerando condiciones de humedad antecedentes tipo III (húmedas), en virtud a las características intrínsecas del fenómeno de El Niño (períodos prolongados de fuertes precipitaciones), tal como se expuso en el informe IN-02. Con esto, se introduce en el modelo un valor de número de curva CN (III)=82 y un umbral de escorrentía (Initial Abstraction) de 11 mm.

Por último, al igual que en el informe IN—02 se ha calculado mediante el programa HEC-HMS un hidrograma de avenida, considerándose el empleo el hidrograma unitario del SCS (al igual que en el citado informe).

Con todo lo anterior, se adjunta a continuación la tabla de salida de resultados es la siguiente para todos los métodos:

Tabla 9: cuadro comparativo de resultados de caudales punta

Tr (años)	Q (m ³ /s)- tormenta SCS tipo III	Q (m ³ /s) – tormenta triangular 12 h	Q (m ³ /s) – tormenta tipo Sifalda 12 h	Q (m ³ /s) bloques alternos
50	167	154.3	166	180.5
100	190.4	174.5	188.2	210.3

Fuente: equipo consultor – SEG

Como puede observarse, los valores pico de hidrogramas máximo estimados se corresponden con el método de los bloques alternos. Se recuerda que para la estimación de los caudales de avenida no se han considerado posibles aportaciones adicionales de escorrentía procedentes de otras cuencas (Chimbo, etc.) al no poderse estimar con la información disponible.

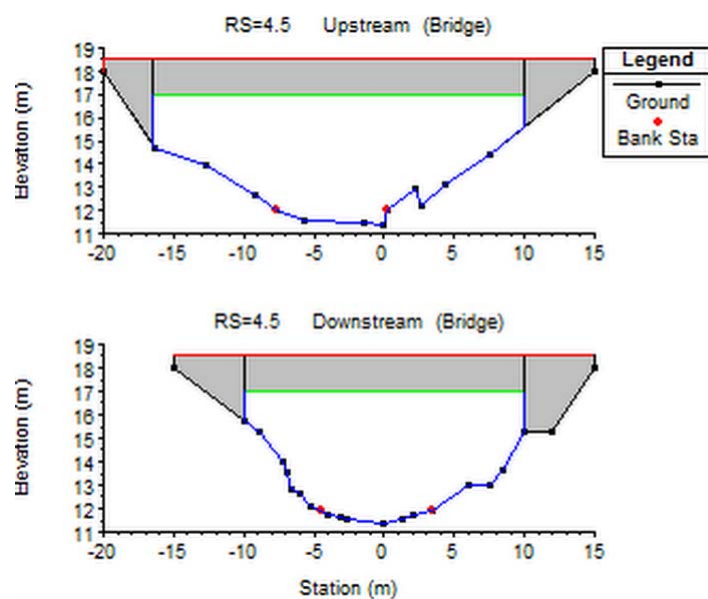
5 REVISIÓN DE NIVELES DE INUNDACIÓN.

A partir de los caudales obtenidos en el punto anterior se va a realizar una estimación de los niveles de inundación esperables para los distintos períodos de retorno e hipótesis de distribución temporal de precipitación consideradas en el punto anterior.

Posteriormente estos caudales se introducirán en el modelo HEC-RAS disponible facilitado para la preparación del anterior informe IN-02; no obstante, este modelo se ha modificado para tener en consideración la existencia del puente situado en el tramo simulado y que no aparece en el fichero proporcionado (esta duda fue planteada en la reunión celebrada el 28/08/14, su inclusión se considera muy importante debido a que tiene una influencia importante en los niveles aguas arriba del mismo).

La inclusión del puente se ha hecho de manera aproximada, elaborándose un modelo a partir de la topografía y fotografías disponibles del mismo. Se adjunta detalle del puente modelizado en HEC-RAS:

Gráfico 3: modelización del puente existente en el estero

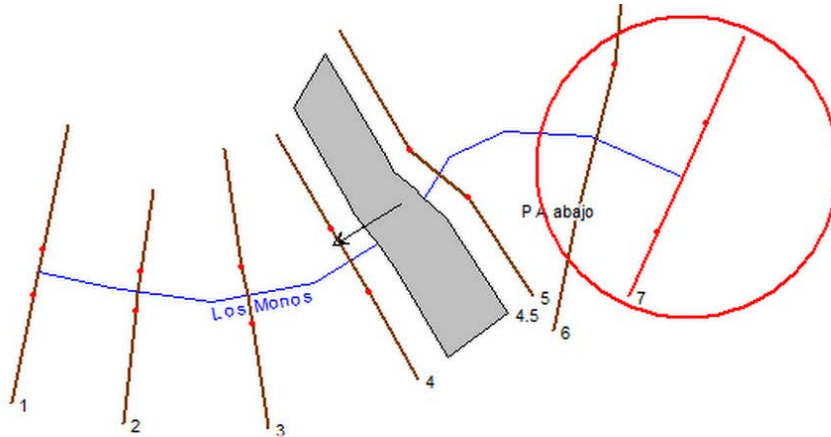


Fuente: equipo consultor – SEG

Como se ha indicado anteriormente, la inclusión del puente obedece al hecho de que a partir de un cierto nivel de caudal puede generar sobreelevaciones de la lámina de agua aguas arriba, afectando directamente a la parcela.

Se adjunta relación de niveles junto con croquis de referencia de las secciones de cálculo:

Gráfico 4: croquis de modelización en planta para referencia de secciones



Fuente: equipo consultor – SEG

Tabla 10: tabla de resultados – simulación HEC-RAS con puente

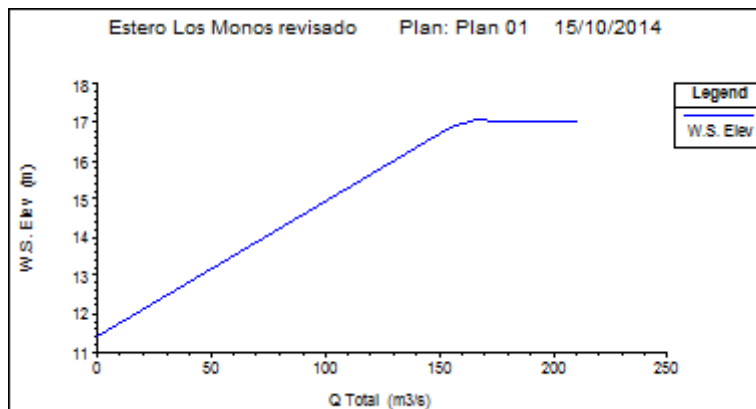
HEC-RAS 4.1.0												
Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Los Monos Reach: F												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
P.A abajo	7	SCS50yr	167.00	11.69	17.11		17.26	0.000486	1.89	110.36	28.46	0.26
P.A abajo	7	SCS100yr	190.40	11.69	17.67		17.82	0.000427	1.90	126.62	29.43	0.25
P.A abajo	7	Sifalda50yr	166.00	11.69	17.10		17.24	0.000485	1.88	109.93	28.43	0.26
P.A abajo	7	Sifalda100yr	188.20	11.69	17.63		17.78	0.000429	1.89	125.46	29.37	0.25
P.A abajo	7	Triangular50yr	154.30	11.69	16.92		17.06	0.000480	1.83	104.81	28.12	0.26
P.A abajo	7	Triangular100yr	174.50	11.69	17.39		17.53	0.000436	1.85	118.21	28.93	0.25
P.A abajo	7	Bloques50yr	180.50	11.69	17.50		17.64	0.000433	1.87	121.39	29.12	0.25
P.A abajo	7	Bloques100yr	210.30	11.69	18.03		18.18	0.000416	1.95	137.16	30.00	0.25
P.A abajo	6	SCS50yr	167.00	11.66	17.16		17.23	0.000248	1.36	159.52	45.43	0.19
P.A abajo	6	SCS100yr	190.40	11.66	17.72		17.79	0.000211	1.34	185.62	47.16	0.18
P.A abajo	6	Sifalda50yr	166.00	11.66	17.15		17.22	0.000248	1.36	158.82	45.38	0.19
P.A abajo	6	Sifalda100yr	188.20	11.66	17.68		17.75	0.000213	1.34	183.74	47.04	0.18
P.A abajo	6	Triangular50yr	154.30	11.66	16.96		17.03	0.000241	1.31	150.70	43.07	0.19
P.A abajo	6	Triangular100yr	174.50	11.66	17.43		17.50	0.000220	1.32	172.02	46.27	0.18
P.A abajo	6	Bloques50yr	180.50	11.66	17.54		17.61	0.000216	1.33	177.16	46.60	0.18
P.A abajo	6	Bloques100yr	210.30	11.66	18.08		18.15	0.000201	1.37	202.69	48.00	0.18
P.A abajo	5	SCS50yr	167.00	11.41	17.08	14.62	17.22	0.000559	2.03	114.01	32.08	0.28
P.A abajo	5	SCS100yr	190.40	11.41	17.65	14.84	17.78	0.000479	2.01	132.74	33.88	0.26
P.A abajo	5	Sifalda50yr	166.00	11.41	17.06	14.60	17.21	0.000559	2.03	113.53	32.03	0.28
P.A abajo	5	Sifalda100yr	188.20	11.41	17.61	14.83	17.74	0.000481	2.01	131.39	33.75	0.26
P.A abajo	5	Triangular50yr	154.30	11.41	16.88	14.48	17.02	0.000557	1.98	107.76	31.45	0.27
P.A abajo	5	Triangular100yr	174.50	11.41	17.36	14.71	17.49	0.000495	1.98	123.06	32.96	0.26
P.A abajo	5	Bloques50yr	180.50	11.41	17.47	14.76	17.60	0.000489	1.99	126.70	33.31	0.26
P.A abajo	5	Bloques100yr	210.30	11.41	18.00	14.98	18.14	0.000459	2.04	145.02	35.00	0.26
P.A abajo	4.5	Bridge										

Fuente: equipo consultor – SEG

Los valores de niveles tanto para $Tr=50$ años como $Tr=100$ años presentan valores similares entre modelos, salvo en el caso del hietograma de bloques alternos donde se detectan diferencias apreciables, debido al carácter conservador de esta distribución de precipitación (con puntas concentradas, que generan mayores caudales punta de avenida, estos valores pueden considerarse como una cota superior de niveles para un determinado nivel de precipitación de cálculo).

Por otro lado, se comprueba que a partir de un caudal aproximado de 170 m³/s comienza la entrada en carga del puente (se observa que se mantiene el calado constante a partir de este caudal):

Gráfico 4: gráfica caudales / calado en puente simulado



Fuente: equipo consultor – SEG

Esa referencia es importante, dado que a partir de este valor de caudal se produciría un aumento significativo de niveles aguas arriba debido al agotamiento de la sección; este hecho puede comprobarse en la siguiente tabla donde se recogen los niveles que se registran en el cauce para los mismos caudales de diseño:

Tabla 11: tabla de resultados – simulación HEC-RAS sin puente

HEC-RAS 4.1.0												
Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Los Monos Reach: P												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
P A abajo	7	SCS50yr	167.00	11.69	17.10		17.25	0.000491	1.89	109.94	28.43	0.26
P A abajo	7	SCS100yr	190.40	11.69	17.42		17.59	0.000506	2.00	119.27	29.00	0.27
P A abajo	7	Sifalda50yr	166.00	11.69	17.08		17.23	0.000490	1.89	109.52	28.41	0.26
P A abajo	7	Sifalda100yr	188.20	11.69	17.39		17.56	0.000505	1.99	118.42	28.95	0.27
P A abajo	7	Triangular50yr	154.30	11.69	16.91		17.05	0.000483	1.83	104.59	28.10	0.26
P A abajo	7	Triangular100yr	174.50	11.69	17.21		17.36	0.000496	1.93	113.01	28.62	0.27
P A abajo	7	Bloques50yr	180.50	11.69	17.29		17.45	0.000500	1.96	115.41	28.76	0.27
P A abajo	7	Bloques100yr	210.30	11.69	17.68		17.86	0.000519	2.09	126.79	29.44	0.28
P A abajo	6	SCS50yr	167.00	11.66	17.15		17.22	0.000251	1.37	158.86	45.39	0.19
P A abajo	6	SCS100yr	190.40	11.66	17.48		17.56	0.000253	1.43	174.10	46.40	0.19
P A abajo	6	Sifalda50yr	166.00	11.66	17.13		17.21	0.000251	1.36	158.19	45.34	0.19
P A abajo	6	Sifalda100yr	188.20	11.66	17.45		17.53	0.000253	1.42	172.71	46.31	0.19
P A abajo	6	Triangular50yr	154.30	11.66	16.95		17.02	0.000243	1.31	150.36	43.06	0.19
P A abajo	6	Triangular100yr	174.50	11.66	17.26		17.33	0.000251	1.39	163.87	45.72	0.19
P A abajo	6	Bloques50yr	180.50	11.66	17.34		17.42	0.000252	1.40	167.78	45.98	0.19
P A abajo	6	Bloques100yr	210.30	11.66	17.74		17.83	0.000255	1.48	186.44	47.21	0.20
P A abajo	5	SCS50yr	167.00	11.41	17.06		17.21	0.000566	2.04	113.52	32.03	0.28
P A abajo	5	SCS100yr	190.40	11.41	17.39		17.54	0.000576	2.14	124.09	33.06	0.28
P A abajo	5	Sifalda50yr	166.00	11.41	17.05		17.19	0.000565	2.04	113.05	31.98	0.28
P A abajo	5	Sifalda100yr	188.20	11.41	17.36		17.51	0.000575	2.13	123.12	32.97	0.28
P A abajo	5	Triangular50yr	154.30	11.41	16.87		17.01	0.000561	1.99	107.50	31.42	0.28
P A abajo	5	Triangular100yr	174.50	11.41	17.17		17.32	0.000569	2.07	116.98	32.37	0.28
P A abajo	5	Bloques50yr	180.50	11.41	17.26		17.40	0.000572	2.10	119.70	32.63	0.28
P A abajo	5	Bloques100yr	210.30	11.41	17.65		17.81	0.000585	2.22	132.72	33.88	0.29
P A abajo	4	SCS50yr	167.00	11.40	16.95		17.19	0.000840	2.52	91.22	26.49	0.35
P A abajo	4	SCS100yr	190.40	11.40	17.27		17.52	0.000862	2.65	99.71	27.55	0.35
P A abajo	4	Sifalda50yr	166.00	11.40	16.94		17.17	0.000839	2.51	90.84	26.44	0.35
P A abajo	4	Sifalda100yr	188.20	11.40	17.24		17.49	0.000860	2.64	98.93	27.45	0.35
P A abajo	4	Triangular50yr	154.30	11.40	16.77		16.99	0.000829	2.44	86.40	25.87	0.34
P A abajo	4	Triangular100yr	174.50	11.40	17.06		17.30	0.000847	2.56	93.99	26.84	0.35
P A abajo	4	Bloques50yr	180.50	11.40	17.14		17.39	0.000853	2.59	96.18	27.11	0.35
P A abajo	4	Bloques100yr	210.30	11.40	17.52		17.79	0.000879	2.75	106.69	28.38	0.36

Fuente: equipo consultor – SEG

Para los valores de $Q < 170$ m³/s los niveles son muy similares entre una simulación y otra (se producen incrementos de la lámina de agua de unos pocos centímetros, si se compara esta tabla con la de la página anterior). En cambio, a partir de este valor crítico el incremento de niveles se mueve en el entorno de los 20 cm para $Tr = 50$ años y hasta 35 cm para $Tr = 100$ años.

Se trata por tanto de un efecto que debe incorporarse para el análisis de los niveles máximos esperables en la zona de estudio. A este respecto, sería conveniente que se realizara en campo una revisión de las dimensiones reales para tratar de mejorar la precisión del modelo hidráulico; en caso de que se registraran diferencias significativas. Sería relativamente rápido volver a cargar el modelo con las dimensiones correctas y obtener con mayor precisión los niveles de referencia.

Por otro lado, se observa que por norma general los niveles registrados son ligeramente

superiores al nivel máximo tomado por GeoGis en campo (16.95 entre las secciones de control 4-5, según se indicó en reunión del 28/08 por parte de GeoGis) que se asocia a la avenida del año 1998.

Asimismo, se comprueba que adoptando los hietogramas sintéticos propuestos ajustados al valor de precipitación de 24 horas registrado en esa fecha (194.5 mm), se obtienen valores de niveles del orden de magnitud al registrado, aunque tal hecho puede considerarse casual debido a la imposibilidad de reproducir, siquiera de manera aproximada, el citado episodio con los datos disponibles (no se conoce la distribución temporal de precipitación, ni las condiciones antecedentes de humedad de la cuenca ni tampoco si los aportes al cauce proceden exclusivamente de la cuenca del Estero de Los Monos como se ha supuesto o bien se suman aportes de otras cuencas, como la del río Chimbo).

6 RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Se ha realizado una actualización de la revisión del estudio hidrológico realizado por GeoGis para ADELCA para la determinación de la cota de inundación en la zona de implantación de la acería prevista en la zona industrial de Milagro realizando una estimación de cuantiles de precipitación para $Tr=50$ y 100 años y actualizando el modelo de simulación del cauce elaborado. Las principales conclusiones del presente informe son las siguientes:

- 1) Se han obtenido una estimación de cuantiles de precipitación para los períodos de retorno de 50 y 100 años, si bien se hace hincapié en que la longitud de la serie estadística disponible es corta, lo que resta fiabilidad a los resultados obtenidos.
- 2) Con los resultados obtenidos, se asume que la precipitación máxima registrada de la serie (año 1998) es de unos 38 años para ley de distribución de precipitación supuesta.
- 3) A partir de estos valores de precipitación, se ha realizado una estimación de caudales de avenida y los niveles asociados a los mismos, obteniéndose en la sección más desfavorable $Tr=50$ años niveles situados entre los 16.96 metros a 17.54 metros según la distribución de precipitación considerada. Por su parte, para $Tr=100$ años se obtienen niveles situados entre los 17.43 a 18.08. En los resultados anteriores se destaca que los valores superiores corresponden al hietograma de bloques alternos que proporciona valores conservadores.
- 4) Se ha analizado la influencia del puente existente en el cauce y que no estaba considerado en el modelo HECRAS facilitado del cauce para la revisión recogida en el informe IN-02. Su inclusión en el modelo genera incrementos de nivel aguas arriba de unos 20 cm para $Tr=50$ años y 35 cm para $Tr=100$ años, que deben ser tenidos en cuenta a la hora de fijar los niveles finales de inundación esperables.
- 5) En el modelo de puente simulado, se obtiene que el caudal de agotamiento de la sección es de unos 170 m³/s; la geometría y condiciones de este elemento



deben ser revisados en obra, dado que no se dispone de todos los datos geométricos del mismo para su correcta modelización (este aspecto tiene una influencia significativa en el conjunto de los resultados).