



PARTE IV:
ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN DE GENERACIÓN A 7 MW

PARTE V:
CONCLUSIONES



Empresa:	GEO Energies	Fecha:	Diciembre, 2019
Referencia de la SdC:	CONSULTORIA PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y COSTE DE REHABILITACIÓN DE LA CHE DE RIABA REFERENCIA: GEF SE4ALL		
Producto:	INFORME FINAL		



PARTE IV: VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN A 7 MW DE LA CHE DE RIABA

9. VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN A 7 MW DE LA CHE DE RIABA	181
9.1 ESTUDIO DE LA CUENCA	181
9.1.1. SECCIÓN DE CIERRE DE LA CUENCA	181
9.1.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA CUENCA	182
9.1.3. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	183
9.1.4. PARAMETROS GEOMETRICOS DE LA CUENCA	185
9.1.5. ELEVACIONES Y PENDIENTES DE LA CUENCA	186
9.1.6. GEOLOGÍA DE LOS SUELOS DE LA CUENCA	188
9.1.7. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO DE LA CUENCA	189
9.1.8. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA MEDIO DE LA CUENCA	190
9.1.9. PLUVIOMETRIA DE LA CUENCA	191
9.2. CAUDALES DEL RÍO EN EL CIERRE	193
9.3. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS. CAUDALES TURBINABLES DE DISEÑO.	194
9.4. CAUDAL DE CRECIDAS. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.	195
9.5. CAPACIDAD DEL CANAL DE DERIVACIÓN	199
9.6. CAPACIDAD DE LA Balsa DE DECANTACIÓN	200
9.7. CAPACIDAD DE LA TUBERÍA DE CARGA	201
9.8. GENERACIÓN HE CON CAUDALES DE CRECIDAS	203
9.9. CONCLUSIONES	204

PARTE V: CONCLUSIONES

9. CO NCLUSIONES	207
10.1. REFERENTE A LA REHABILITACIÓN	207
10.2. REFERENTE A SU AMPLIACIÓN.	210



PARTE IV:

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN DE GENERACIÓN A 7 MW



Empresa:	GEO Energies	Fecha:	Diciembre, 2019
Referencia de la SdC:	CONSULTORIA PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y COSTE DE REHABILITACIÓN DE LA CHE DE RIABA REFERENCIA: GEF SE4ALL		
Producto:	INFORME FINAL		

9. PARTE V: VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN A 7 MW DE LA CHE DE RIABA

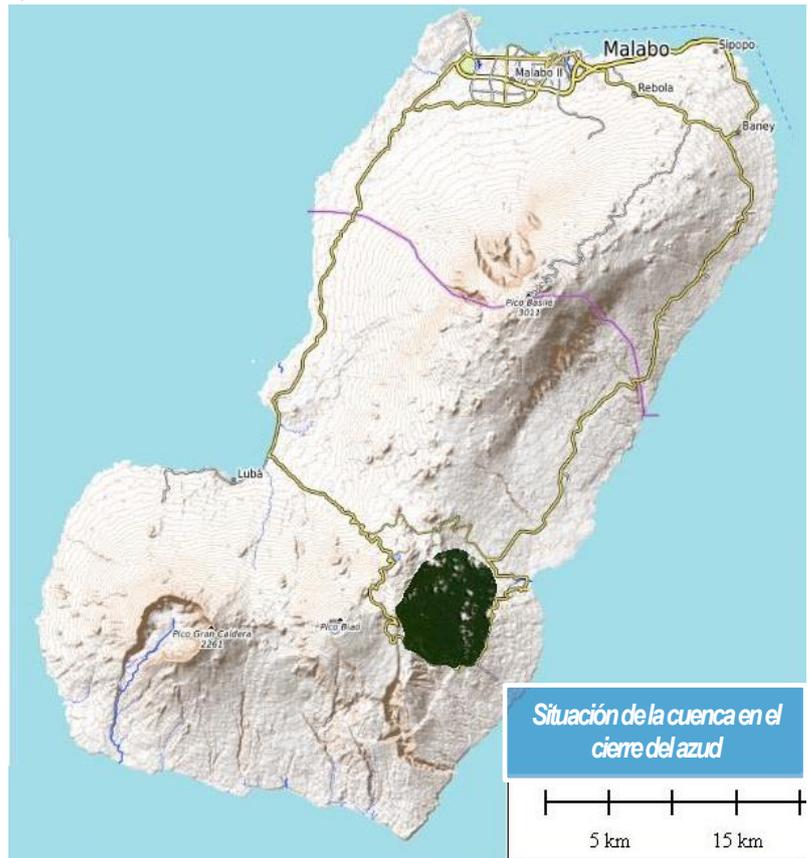
Una vez determinadas y estudiadas las características y estado de la CHE de Riaba, se realiza en esta parte de la consultoría, una pre evaluación de las posibilidades de ampliación con el objetivo de lograr 7 MW de generación. Este es solamente un estudio previo, que tendrá que validarse con los datos reales a tomar en el aforo del azud o los realizados por las empresas ACEC, Page Ibérica y los operadores de la CHE (SEGESA) en el periodo 1989 a 2005, así como los registros pluviométricos de la estación meteorológica.

9.1 ESTUDIO DE LA CUENCA

9.1.1. SECCIÓN DE CIERRE EN EL AZUD DE LA CUENCA

El azud de toma de agua del río se sitúa aguas debajo de donde se juntan el Río Ruma y Río Grande para formar el Río Riaba.

La cuenca formada en el cierre se ha delimitado con trabajos previos en gabinete y campo apoyado en cartografía generada empleando un modelo de Combinación SRTM de resolución 3-arc segundo y el 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional de España

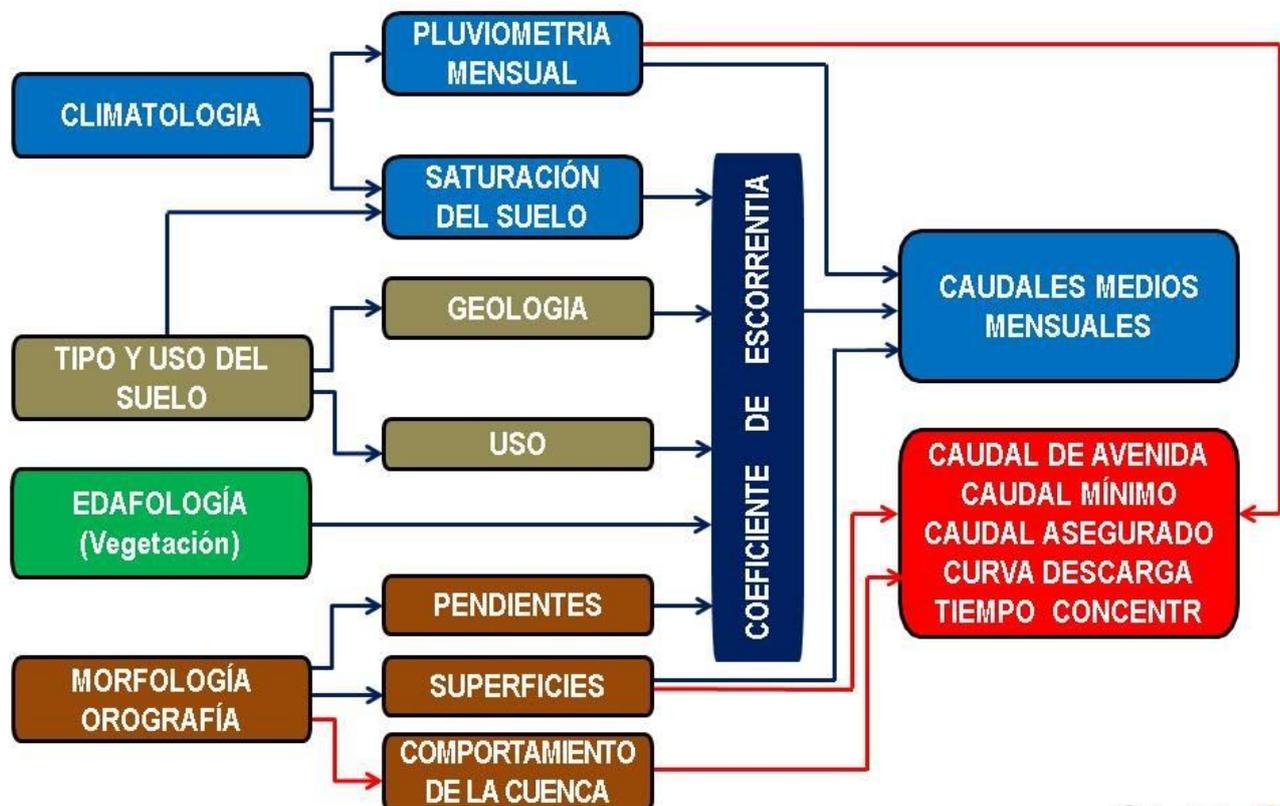


9.1.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA CUENCA

Realizaremos un modelo hidrológico de la cuenca, determinando sus características morfológicas, tipos y uso de sus suelos, cobertura vegetal, para junto con los datos climatológicos obtener un modelo hidrográfico que reproduzca su comportamiento y podamos realizar el balance hídrico y de caudales en el cierre del azud. Usando los datos de la estación de aforo de la CHE de Riaba y los registros pluviométricos de la estación meteorológica, con su información histórica de caudales obtendremos la curva altura-caudal y las relaciones lluvia-escorrentía para el diseño, dimensionamiento, evaluación y valoración de la posible ampliación a 7 MW, obteniendo una interpretación fiable lluvia-escorrentía útil y precisa y obtener estimaciones fiables de la frecuencia de caudales que se pueden generar.

De esta forma con la aplicación de modelos matemáticos-hidrológicos de generación de caudales medios mensuales y de crecidas, permitirá contar con información hidrológica y considerando la directa dependencia o relación de la escorrentía respecto a la precipitación en la cuenca, y permitirá realizar modelaciones matemáticas que simulen dicha relación, es decir se emplee modelos de comportamiento hidrológico, la transformación lluvia-escorrentía. Mediante estos modelos hidrológicos Precipitación-Escorrentía estimaremos el balance entre las entradas (precipitación) de agua al sistema y las salidas del mismo (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y aporte a los acuíferos) reproduciendo simplificado el proceso del ciclo hidrológico. Obtendremos de estos modelos los caudales asegurados, turbinables y de crecida que serán validados por mediciones realizadas in situ del caudal del Río, reduciendo la incertidumbre y proporcionando la posibilidad de contrastar y validar los modelos e información utilizados y tener un análisis fiable de los parámetros técnicos económicos de la ampliación a 7 MW.

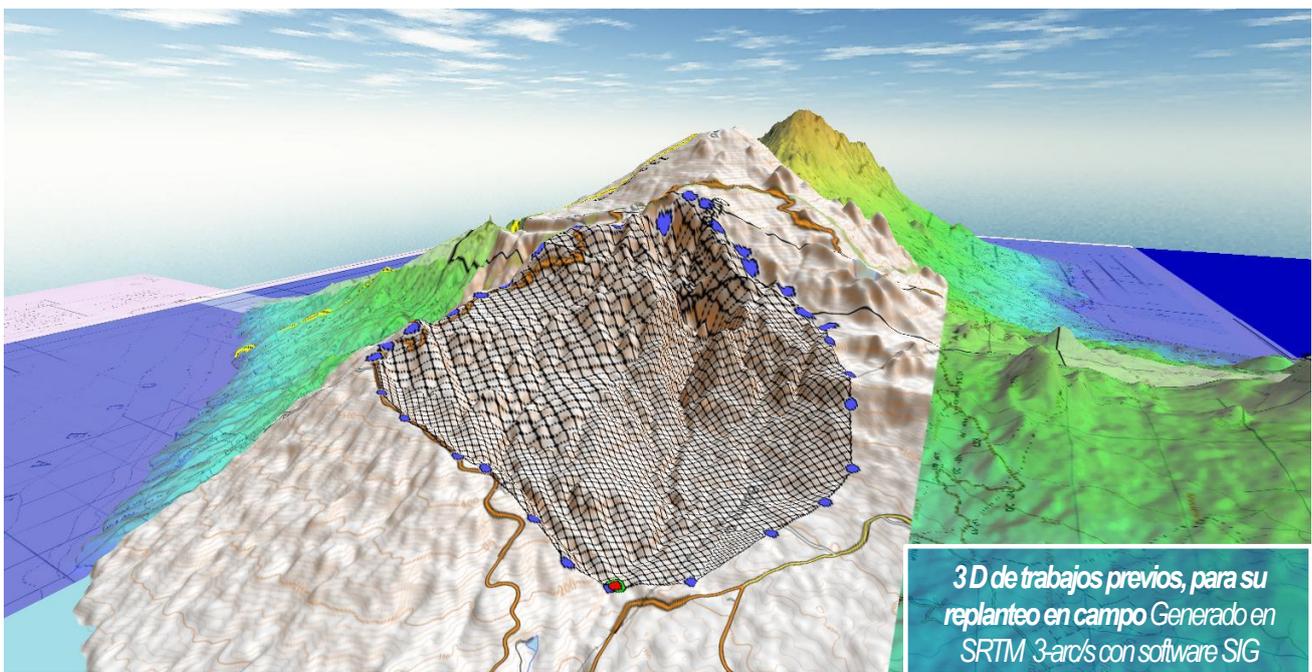
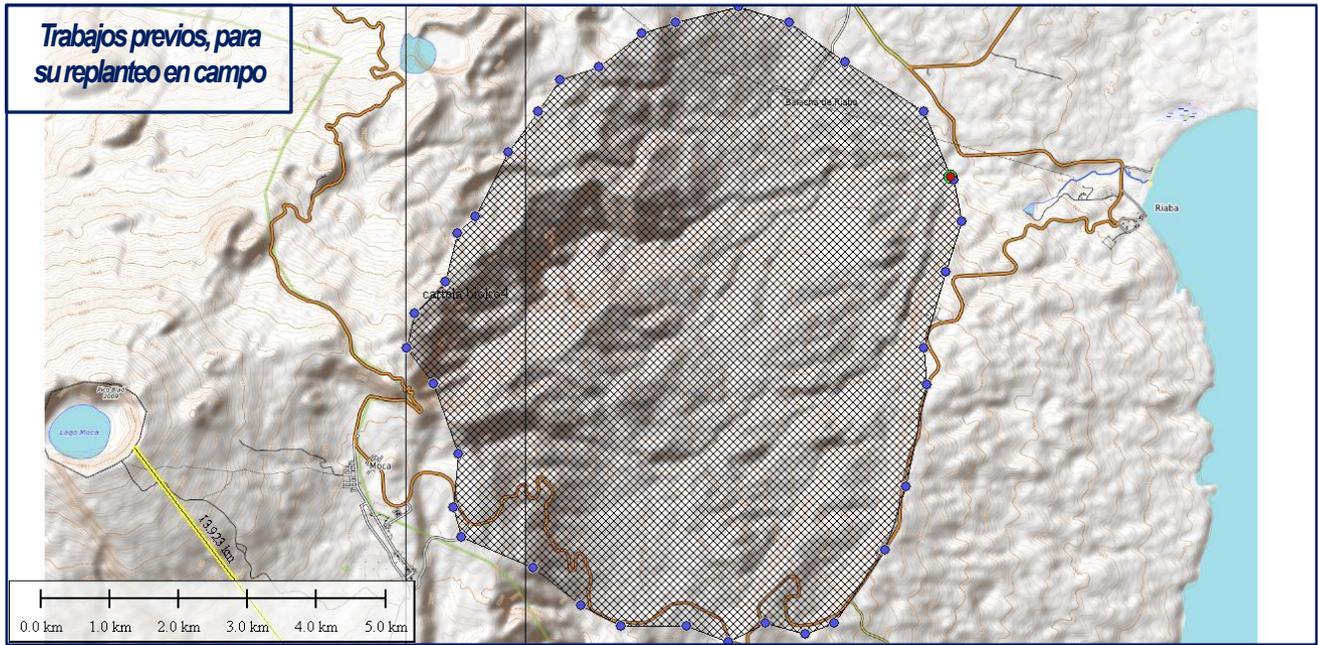
MODELO HIDROLÓGICO:



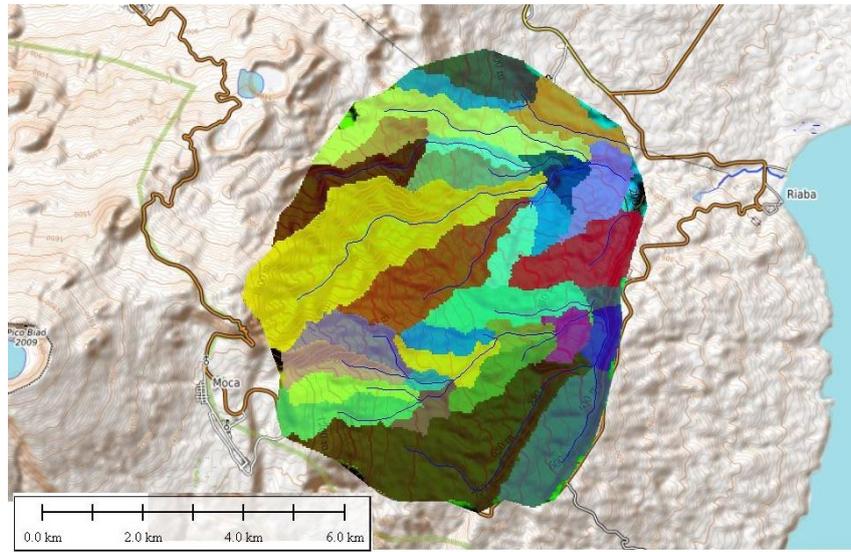
9.1.3. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

En esta pre evaluación, para la delimitación de la cuenca se han realizado trabajos en gabinete, que posteriormente con un reconocimiento del terreno se deberán validar comprobando las divisorias de vertientes que sean accesibles.

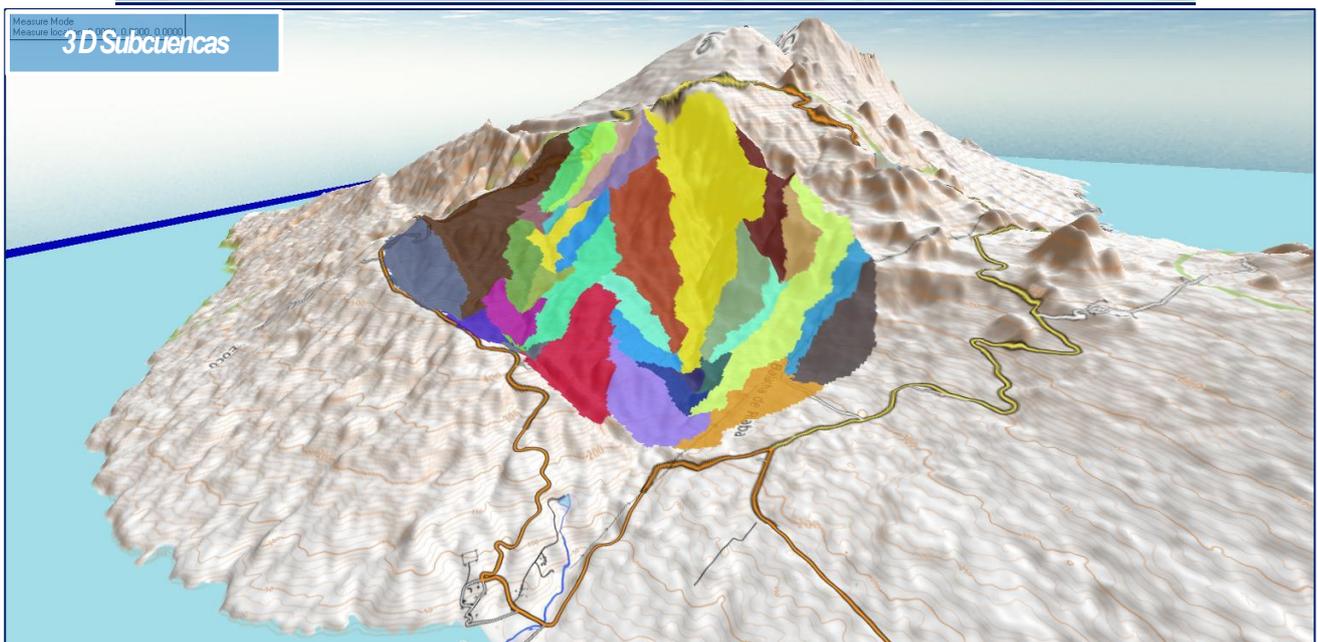
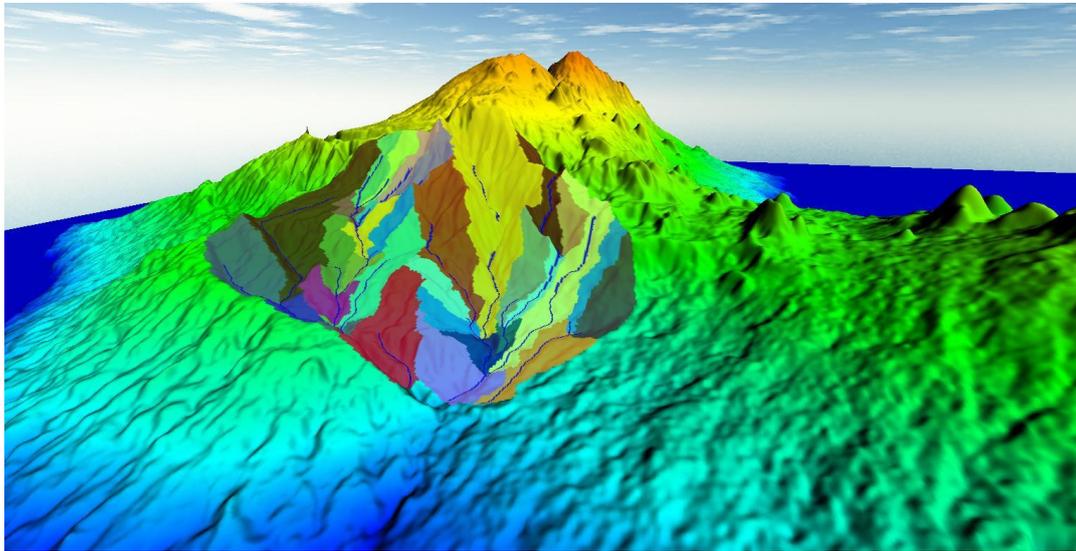
En esta pre evaluación hemos delimitado la cuenca en el cierre de azud utilizando el modelo de elevación SRTM 3-arc/s y software SIG de delimitación por pixel de cuencas.



Con el pixelado de las cuencas, se determinan las que vierten a los ríos Ruma y Grande, y se muestra a continuación:

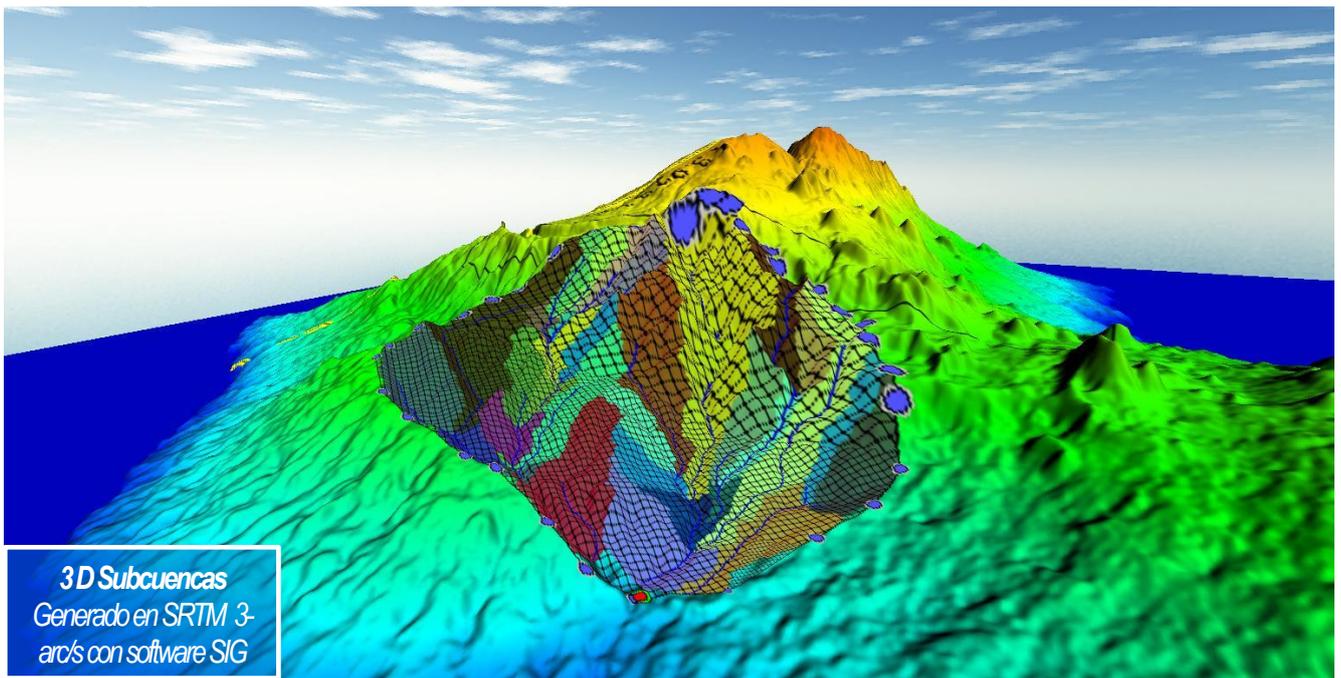
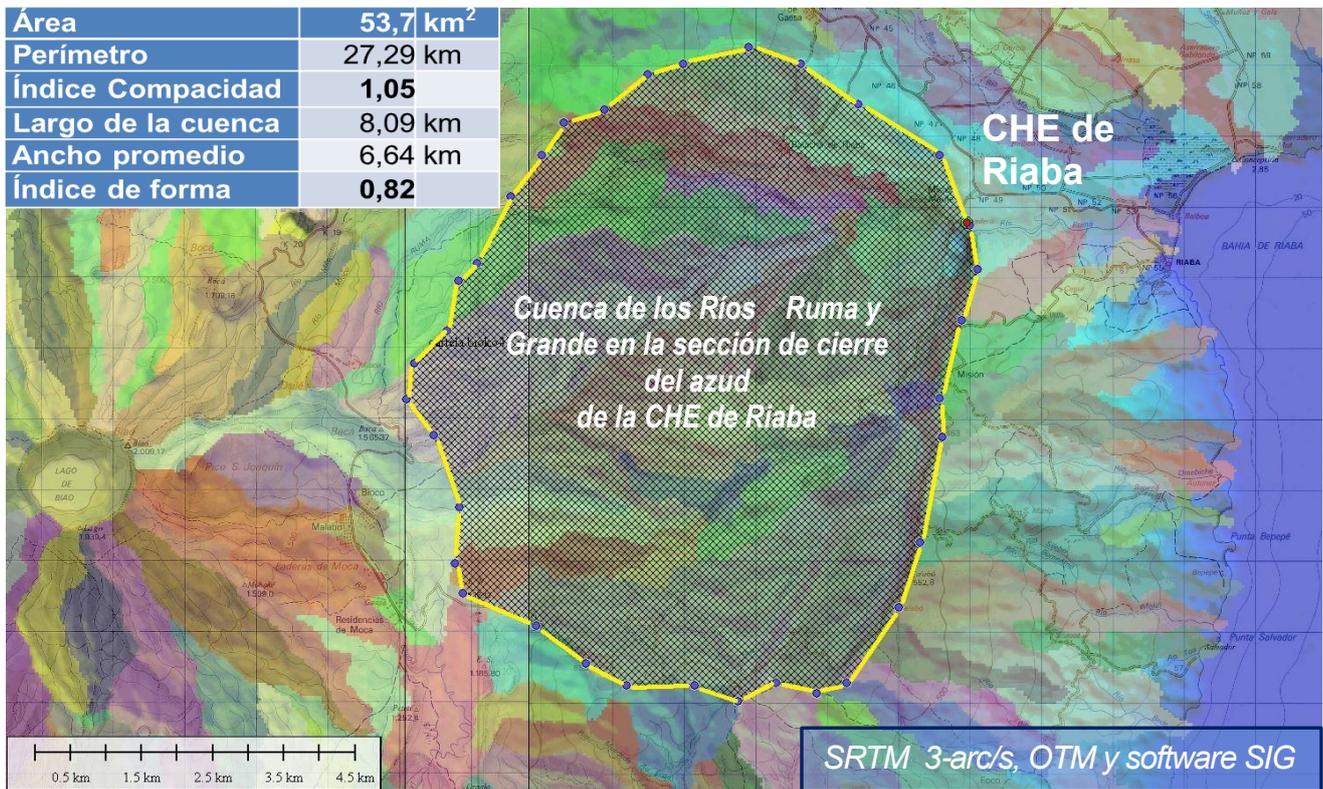


Subcuencas
Generado en SRTM
3-arc/s con software
SIG



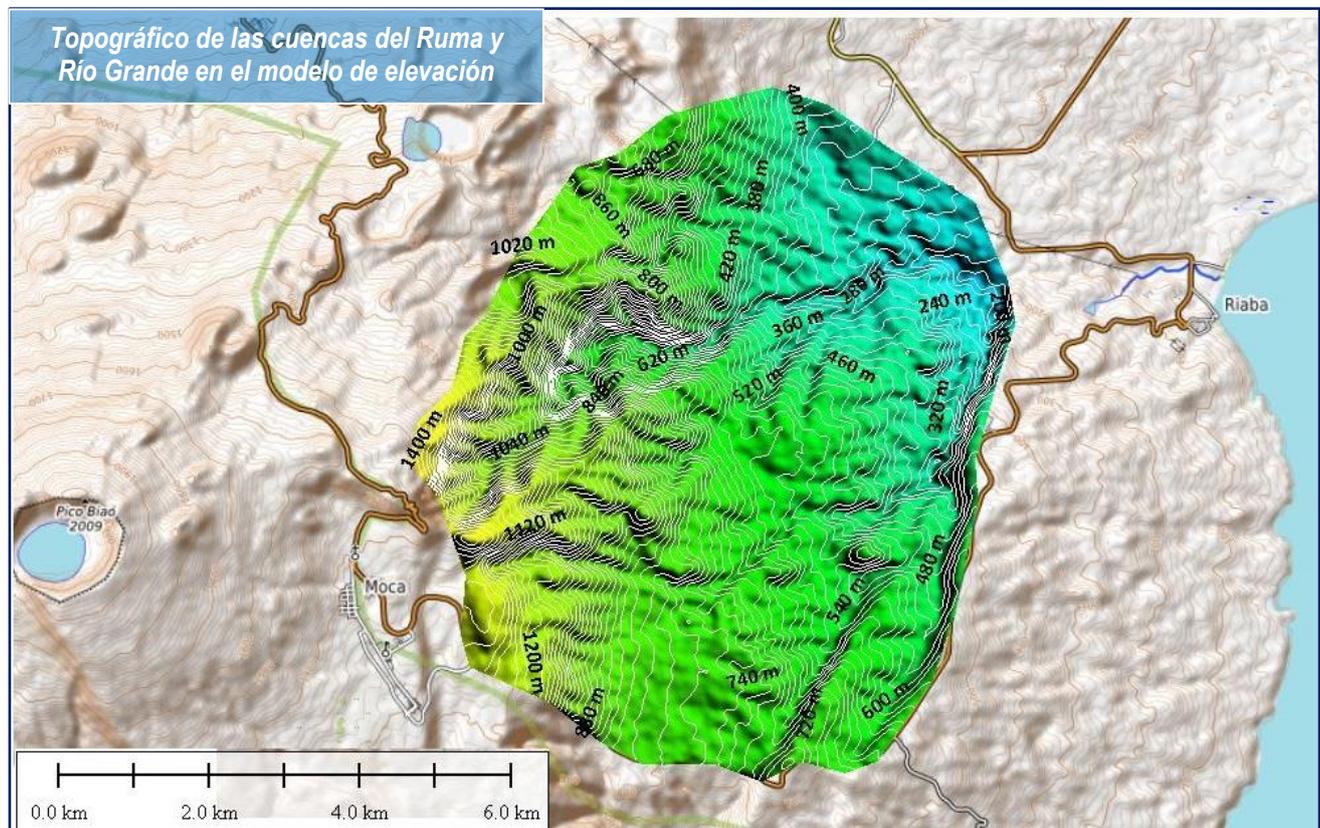
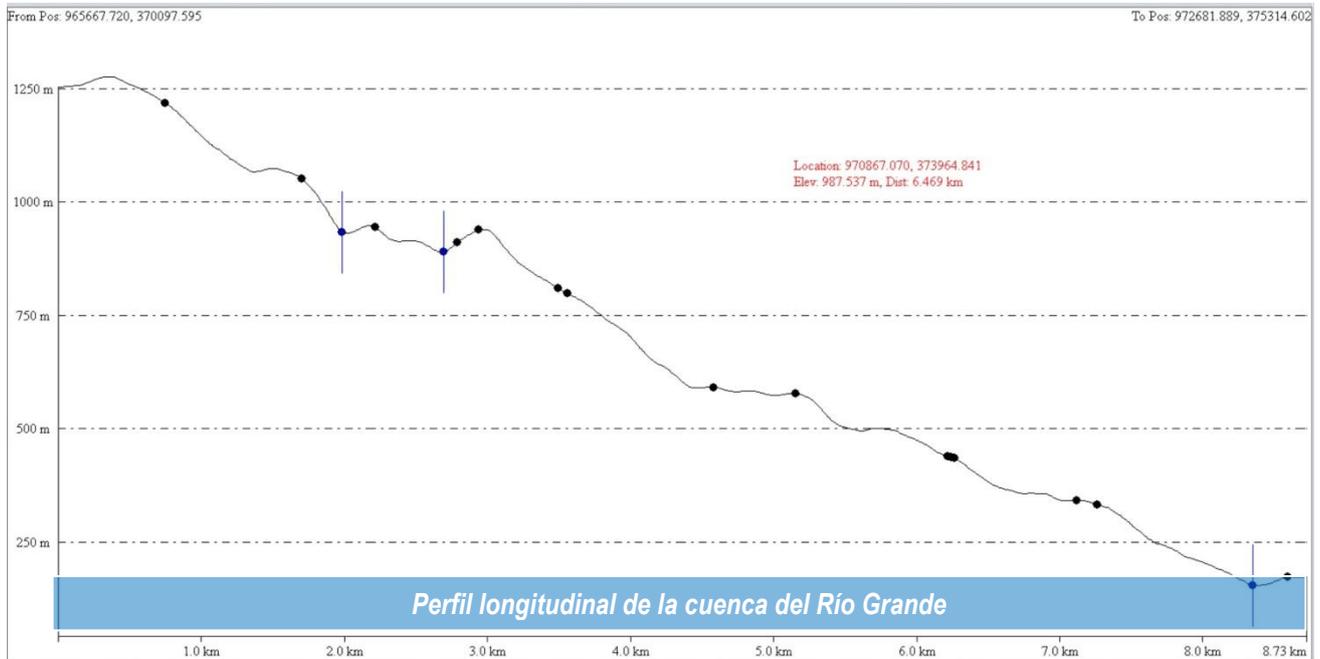
9.1.4. PARAMETROS GEOMETRICOS DE LA CUENCA

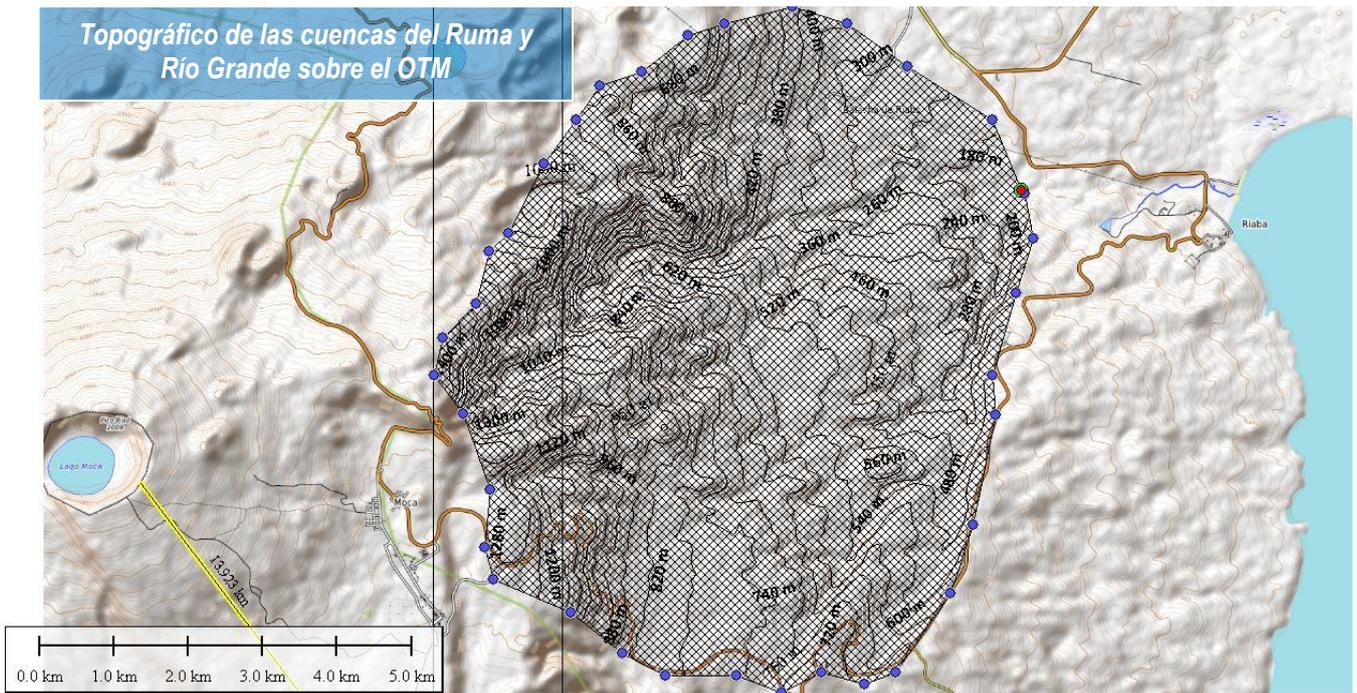
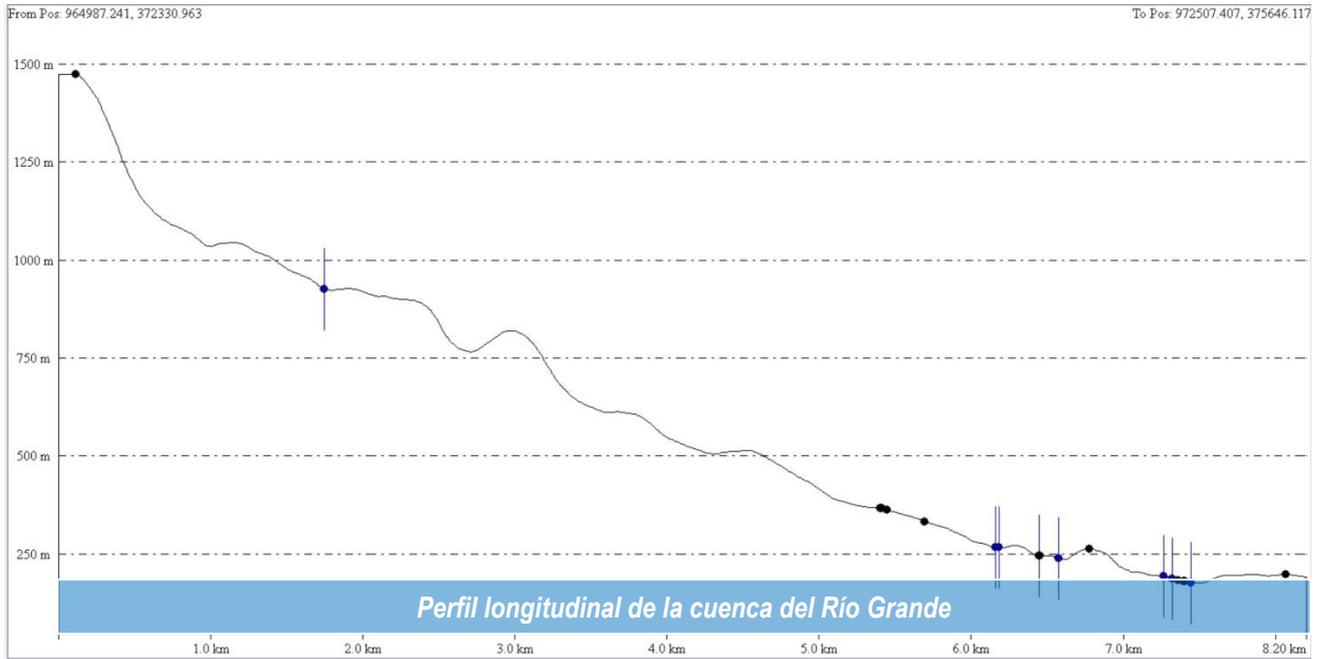
La cuenca tiene un área de 53.7 km² en el punto de cierre del Azud, y un largo de 8090 m con un ancho de 6640 m. Su índice de compacidad es de 1.05, casi 1, es una cuenca casi circular, lo que producirá unos caudales de avenida considerables. Su índice de forma es de 0.82. El tiempo de concentración se calcula más adelante y es de 132 minutos



9.1.5. ELEVACIONES Y PENDIENTES DE LA CUENCA

Hemos realizado y estudiado las pendientes del terreno de las cuencas del Río Ruma y del Río grande sobre sus secciones longitudinales con los siguientes resultados:

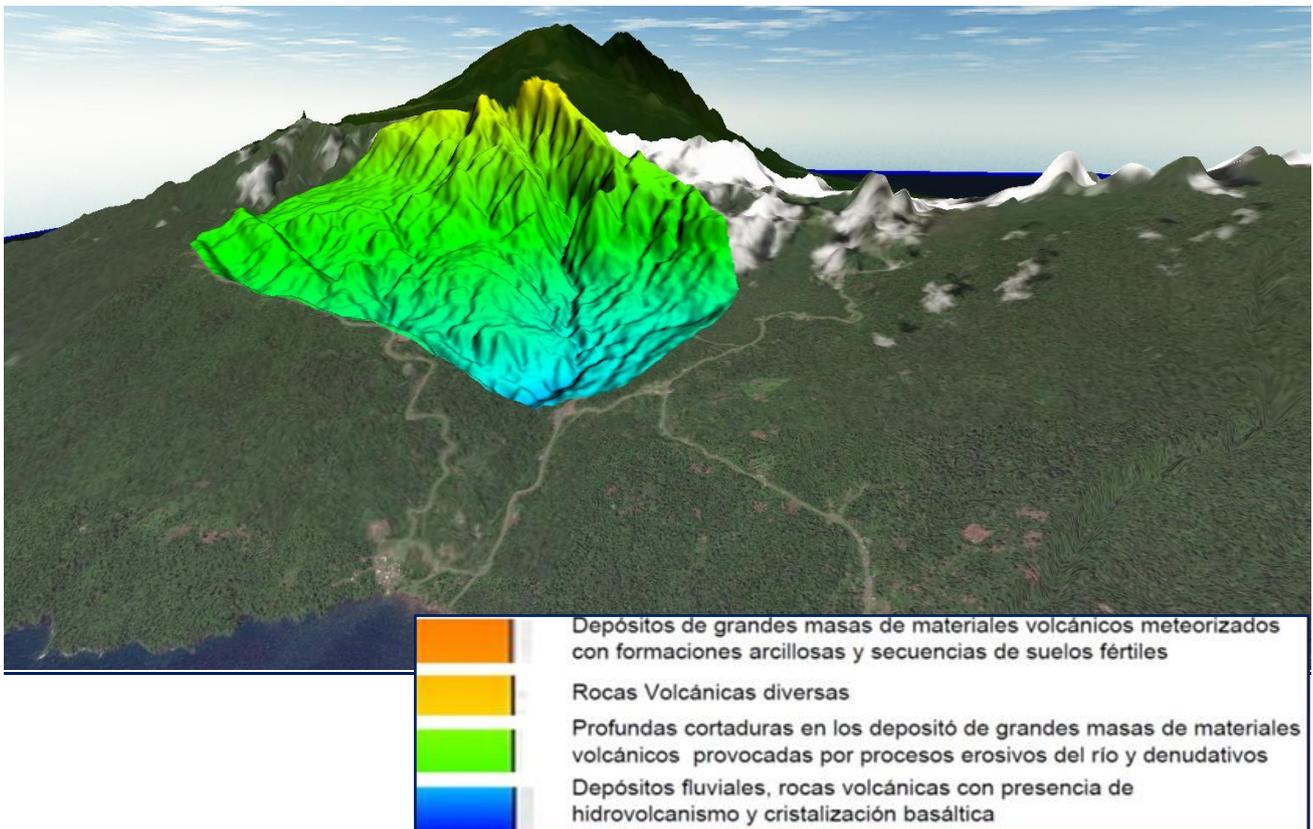
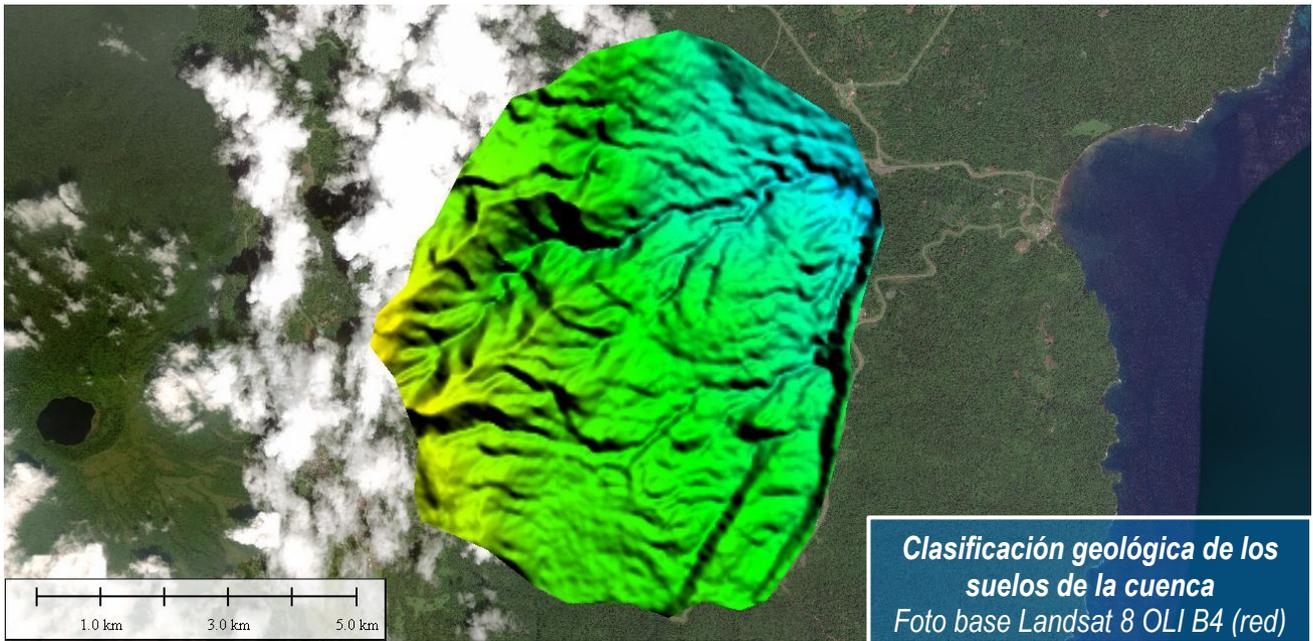




CUENCA	Cota Superior	Cota Inferior	Desnivel	Longitud	Pendientes
Río Grande	+1275 m	+225 m	1050 m	8500 m	12%
Río Ruma	+1875 m		1600 m	8000 m	20%
TOTAL					14%

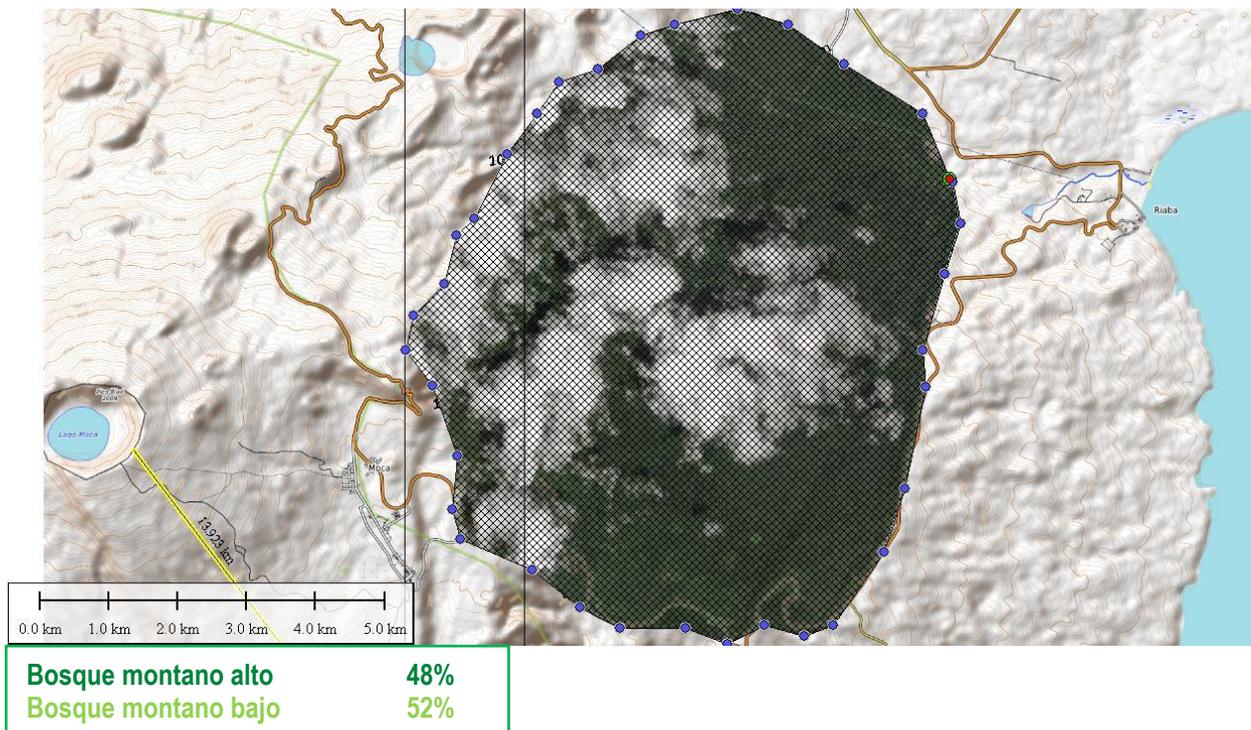
9.1.6. GEOLOGÍA DE LOS SUELOS DE LA CUENCA

Los suelos de la cuenca son arcillosos por meteorización de sus capas de origen sedimentovolcanicos, formados por potentes coladas de lava del extinto volcán del Pico Biaó, con depósitos de grandes masas de materiales, profundas cortaduras de origen erosivo fluvial (formando profundas gargantas). En las zonas bajas de la cuenca los suelos son aluviales.

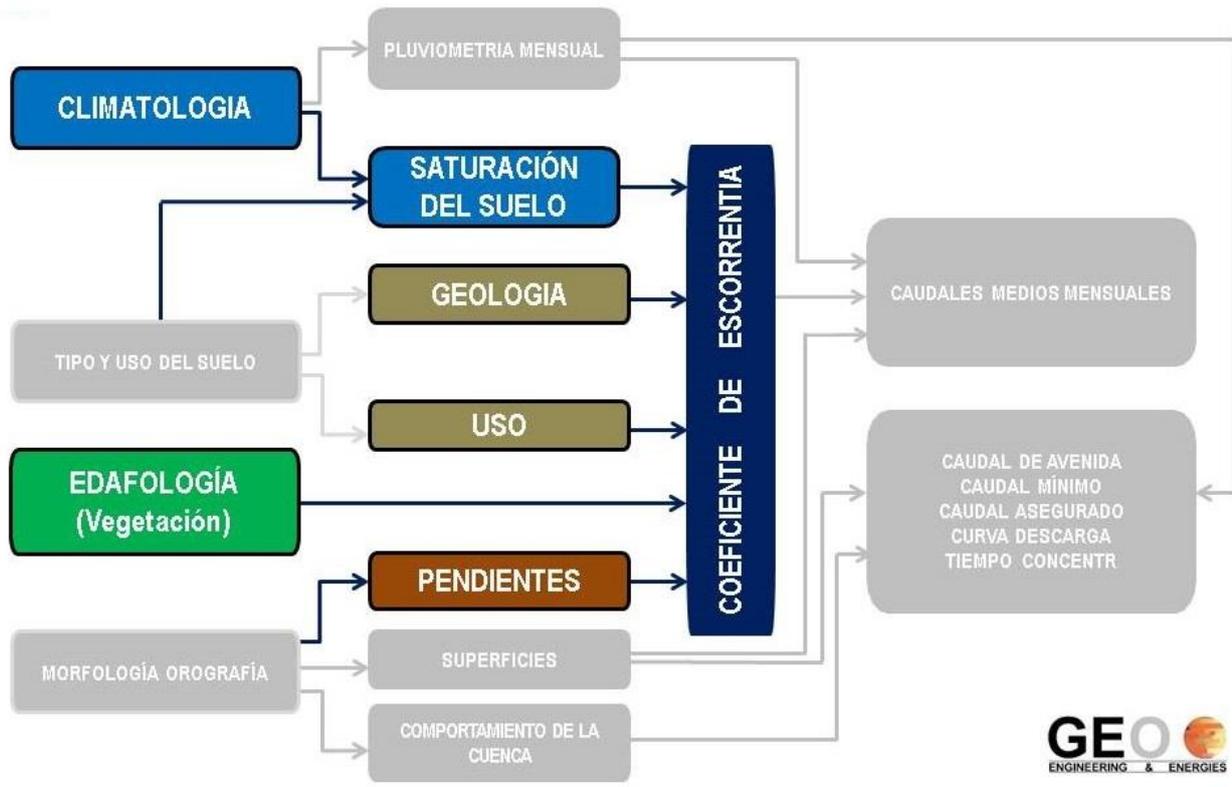


9.1.7. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO DE LA CUENCA

Prácticamente el 100% de la superficie de la cuenca está cubierta de bosques afromontanos, en las zonas bajas son bosques secundarios y terciarios, como consecuencia de antiguos aprovechamientos agrícolas y en las partes altas bosque de pluvisilva primaria, con presencia de nieblas casi permanentes y atmosferas saturadas de humedad.



9.1.8. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA MEDIO DE LA CUENCA



Con los datos de las pendientes de la cuenca, de los tipos de suelo, sus usos y cobertura vegetal determinamos el coeficiente de escorrentía de la cuenca, dividiéndola y porcentuandola en dos, la del Río Ruma y la del Río Grande, mediante la fórmula:

$$C = \sum_{k=0}^n (C_i \times S_i) / S_T$$

Coeficiente Escorrentía de la cuenca = 0,61

COEFICIENTE POR EL MÉTODO DE PREVERT				
Uso del suelo	Pendiente %	Textura del suelo		
		Arenoso-limoso	Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,40	0,60
	>30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0-5	0,15	0,35	0,45
	5-10	0,30	0,40	0,55
	10-30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	Bancal	0,10	0,15	0,20
	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,66	0,70
	10-30	0,50	0,70	0,80
	>30	0,53	0,74	0,84

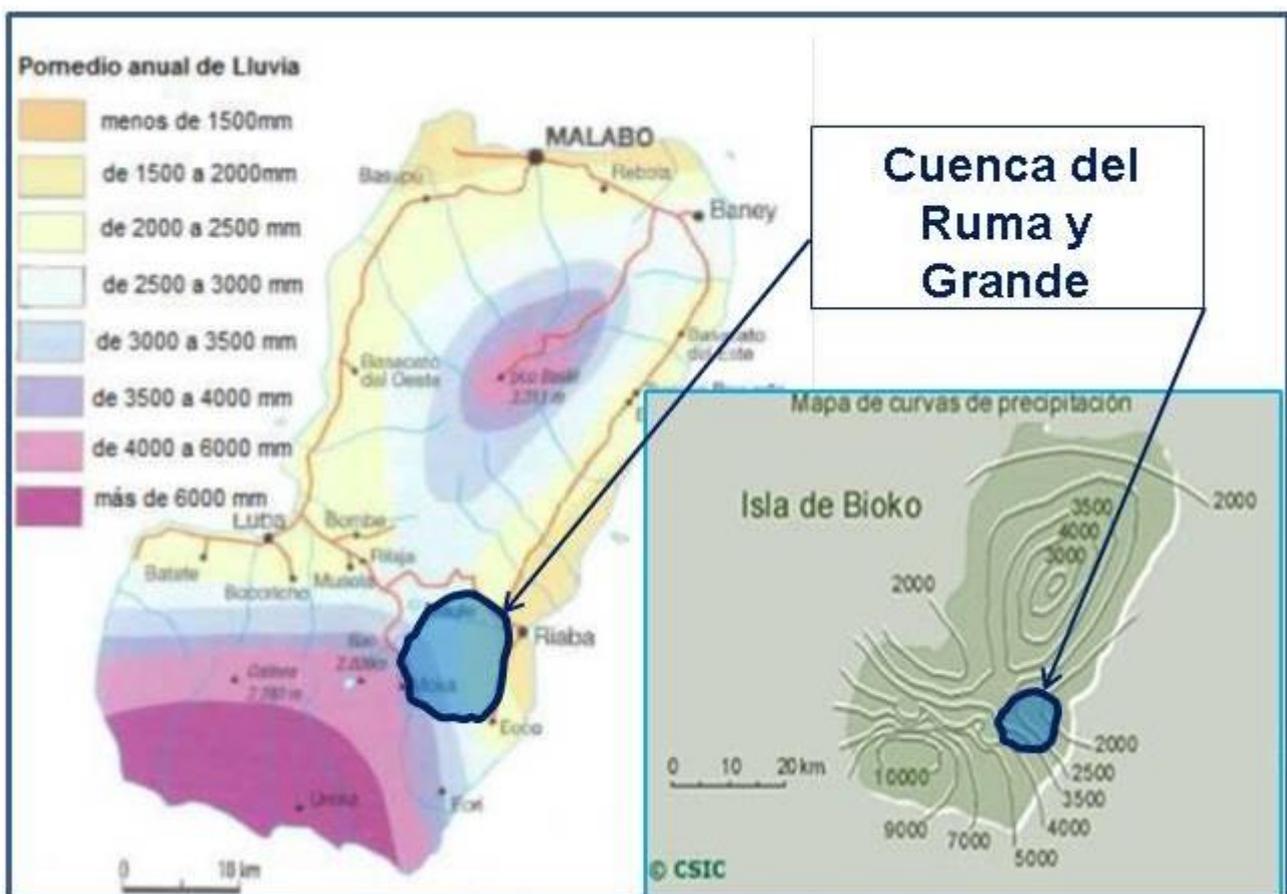
CUENCA	Desnivel	Longitud	pendiente	% Sup.	Suelo	Ci	C
Grande	1050	8500	12%	41%	Arcillas	0,6	0,246
Ruma	1600	8000	20%	59%	Arcillas	0,62	0,36
TOTAL			14%	100%			0,61

9.1.9. PLUVIOMETRIA DE LA CUENCA

Fuentes consultadas:

- NAPA Equatorial Guinea
- CSIC de España
- Atlas de África
- BBPP
- Real Botánico de Madrid
- ASEGNA
- Marathon Oil
- AEMet
- NOAA
- Cartografía de la vegetación de la Isla de Bioko
- Geografía de Guinea Ecuatorial

Distribución espacial de precipitaciones:



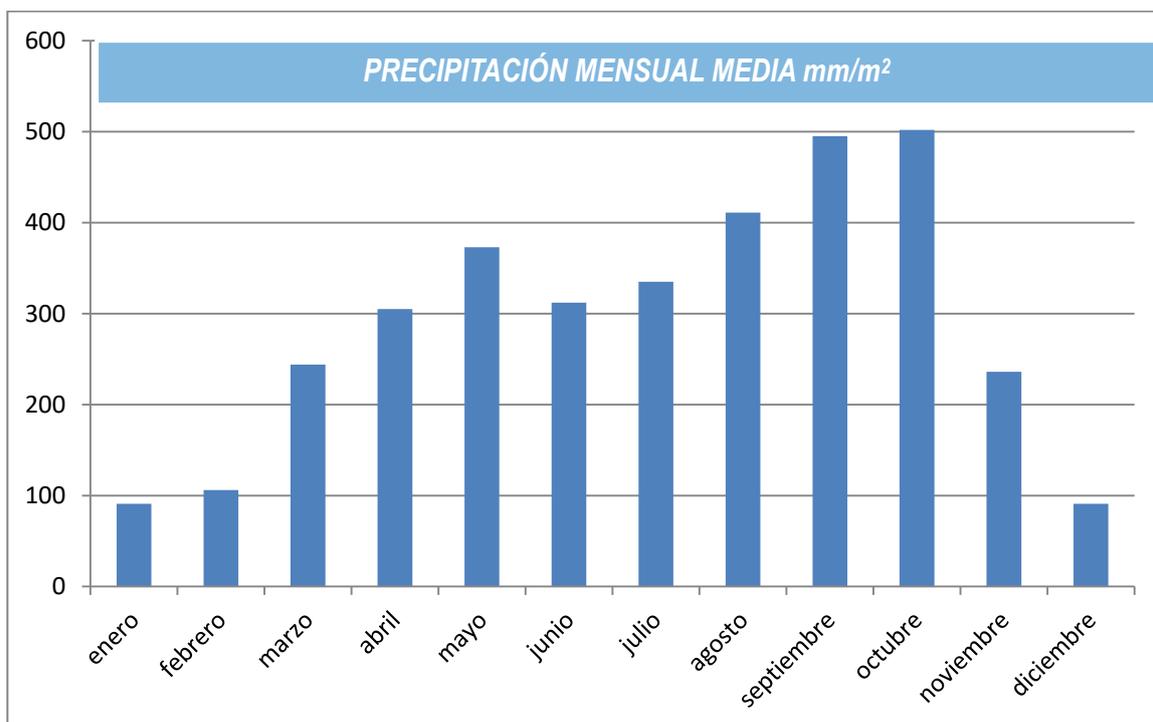
Según las fuentes citadas y el análisis sobre la cartografía de la cuenca, hemos adoptado como valor de la pluviosidad media anual en la cuenca **3.500 mm/m² al año**.

La distribución temporal por meses de esta precipitación de 3.500 mm/m² al año, en la cuenca estudiada es:

	Precipitación mensual media mm/mes	Precipitación diaria media mm/día
enero	91	2,9
febrero	106	3,8
marzo	244	7,9
abril	305	10,2
mayo	373	12,0
junio	312	10,4
julio	335	10,8
agosto	411	13,3
septiembre	495	16,5
octubre	502	16,2
noviembre	236	7,9
diciembre	91	2,9
TOTAL ANUAL	3.500 mm/m²	

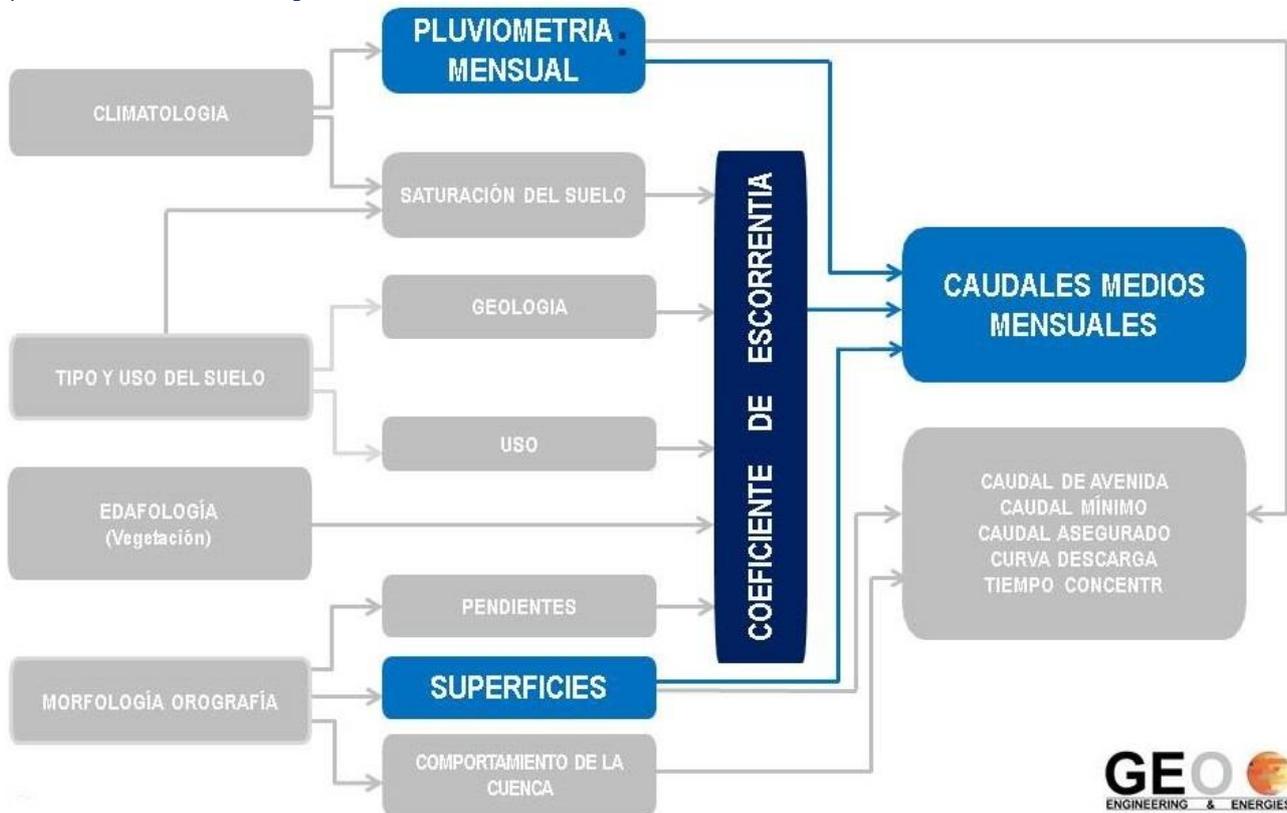
Los meses de mayores precipitaciones son septiembre y octubre, produciéndose una temporada de menores precipitaciones (temporada seca) entre diciembre (o finales de noviembre) y finales de marzo, desde este a noviembre es la temporada de lluvias.

Se muestra a continuación el gráfico de los registros medios mensuales de precipitaciones:



9.2. CAUDALES DEL RÍO EN EL CIERRE

Aplicando el modelo hidrológico:



Según la distribución temporal por meses anteriormente expuesta, el coeficiente de escorrentía de 0.61 calculado y la superficie de la cuenca de 53.7 km² en el punto de cierre del Azud, los caudales en el río en la sección del azud son:

	Precipitación diaria media mm/día	Precipitación media en la cuenca (en el cierre) m ³ /s	Caudales medios del río en el cierre m ³ /s	Caudal medios turbinables en el cierre -0.15 m ³ /s
enero	2,9	1,8	1,1	1,0
febrero	3,8	2,4	1,4	1,3
marzo	7,9	4,9	3,0	2,8
abril	10,2	6,3	3,8	3,7
mayo	12,0	7,5	4,6	4,4
junio	10,4	6,5	3,9	3,8
julio	10,8	6,7	4,1	3,9
agosto	13,3	8,2	5,0	4,9
septiembre	16,5	10,3	6,3	6,1
octubre	16,2	10,1	6,1	6,0
noviembre	7,9	4,9	3,0	2,8
diciembre	2,9	1,8	1,1	1,0
		COEFICIENTE DE ESCORRENTIA 0,61	CAUDAL ECOLÓGICO 0.15 m³/s	

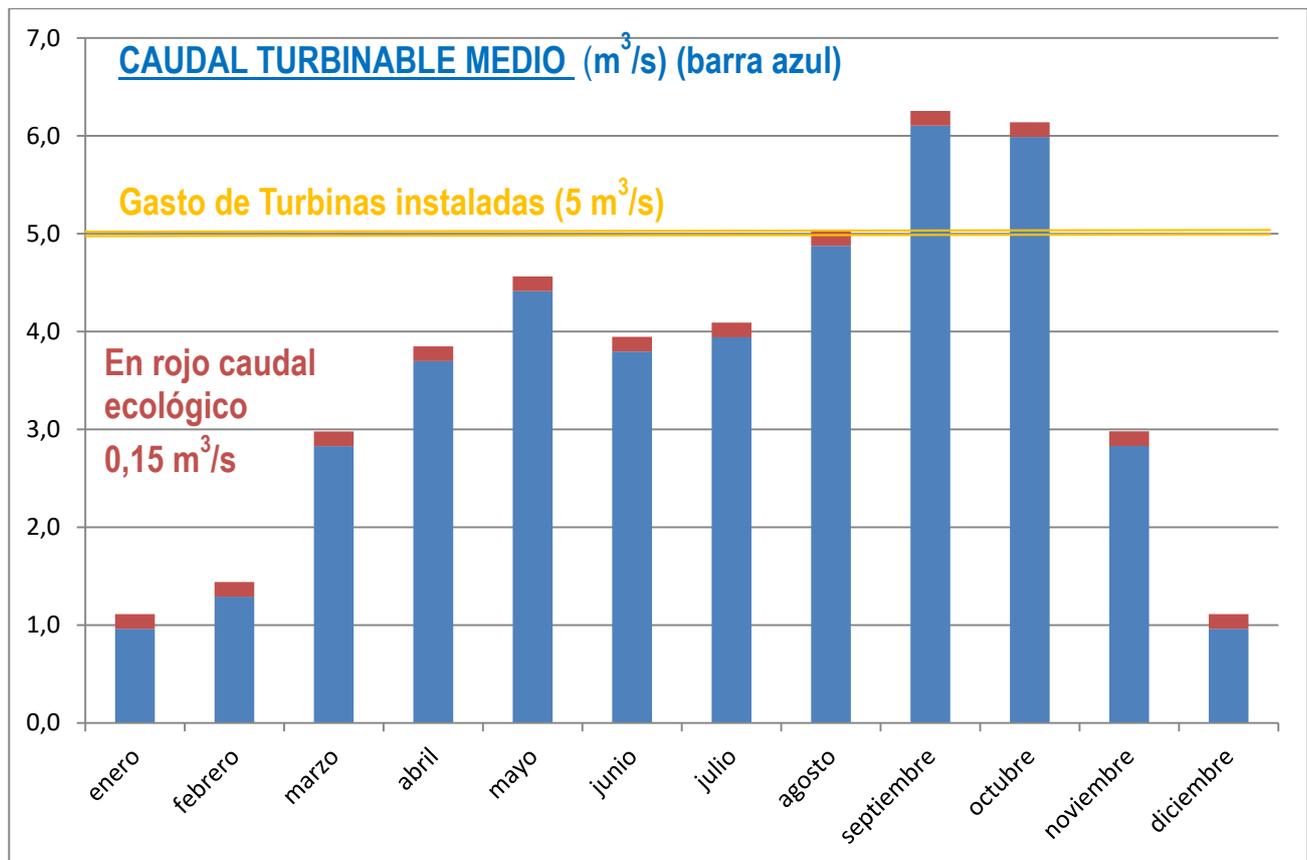
9.3. CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS DE LA CENTRAL. CAUDALES TURBINABLES DE DISEÑO.

TURBINAS (2 unidades):

Las dos turbinas instaladas son de las siguientes características:

- Carga Nominal: 87 m
- Potencia Nominal: 1978 kW cada una.
- Carga Hidráulica (H): 55 – 70 m
- Gasto (Q): 2.5 m³/s
- Velocidad Nominal: 750 rpm

Según lo expuesto, el gasto máximo de las dos turbinas (en el punto de máximo rendimiento de las dos turbinas 0.93) es de $2 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{s} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, que al compararlas con los caudales medios por mes, calculados en el apartado anterior tenemos la siguiente gráfica:



Tan solo en los meses de septiembre y octubre el caudal medio turbínable en el cauce: **6,1 y 6,0 m³/s**, es mayor que el gasto de las turbinas en su punto de diseño ($Q = 2 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{s} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ para generar $2 \times 1.978 \text{ kW} = 3.956 \text{ kW}$), por lo debemos evaluar los caudales de crecida, su derucción, frecuencia y amplitud para considerar la ampliación a los 7 MW de la generación de la CHE.

9.4. CAUDAL DE CRECIDAS. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.



La cuenca tiene un área de 53.7 km² en el punto de cierre del Azud, y un largo de 8090 m con un ancho de 6640 m. Su índice de compacidad es de 1.05, casi 1, es una cuenca casi circular, lo que producirá unos caudales de avenida considerables. El tiempo de concentración es de 2,2 h (132 minutos):

T= Tiempo de concentración en horas.	2,2 h	132 '
L= Distancia máxima a la salida.	8,704 km	
D= Diámetro circulo de área equivalente a la de la cuenca en km.	8,271 km	
M= Área de la cuenca en km ²	53,7 km ²	
F= Pendiente media del cauce principal en porcentaje.	10%	

Fórmula de Bransby-Williams

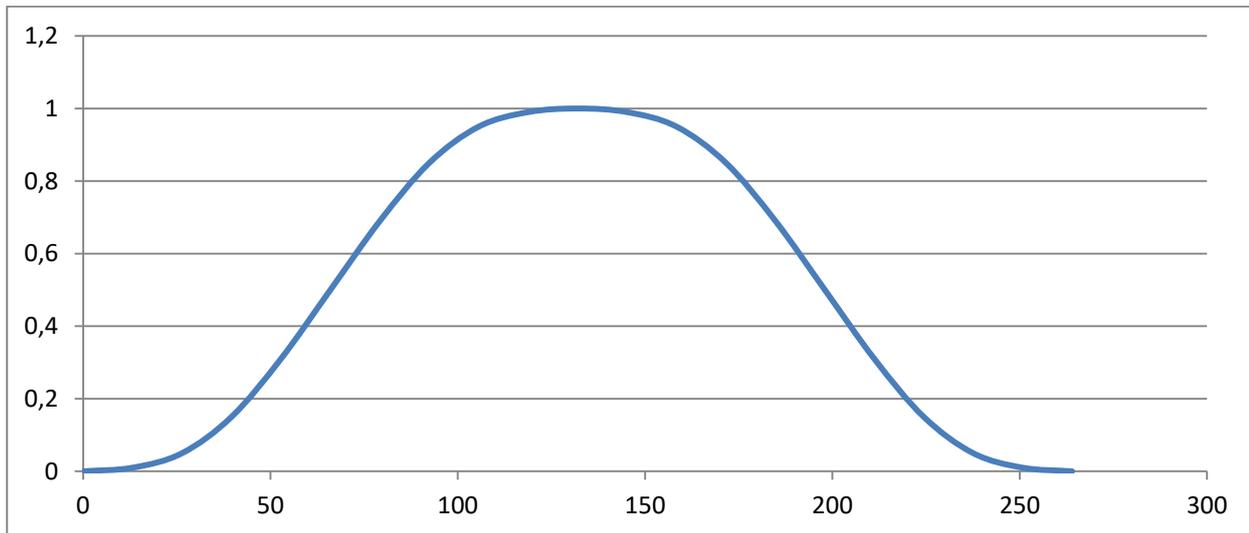
$$T = \frac{L}{1,5 D} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Área	53,7 km ²
Índice de Compacidad	1.05
Índice Forma	0.82
Nivel de Crecientes $Q_{Avenidas}$	36,4 m ³ /s
Tiempo de Concentración	132 minutos
Duración tormenta eventos meteorológicos	4 horas
Precipitación en eventos	4 mm/m ² hora
Precipitación total en eventos	16 mm/m ²
Caudal precipitación en la cuenca	59,7 m ³ /s
Qt Caudal Máx. Turbinable en tormentas 8h HE	42,5 m ³ /s

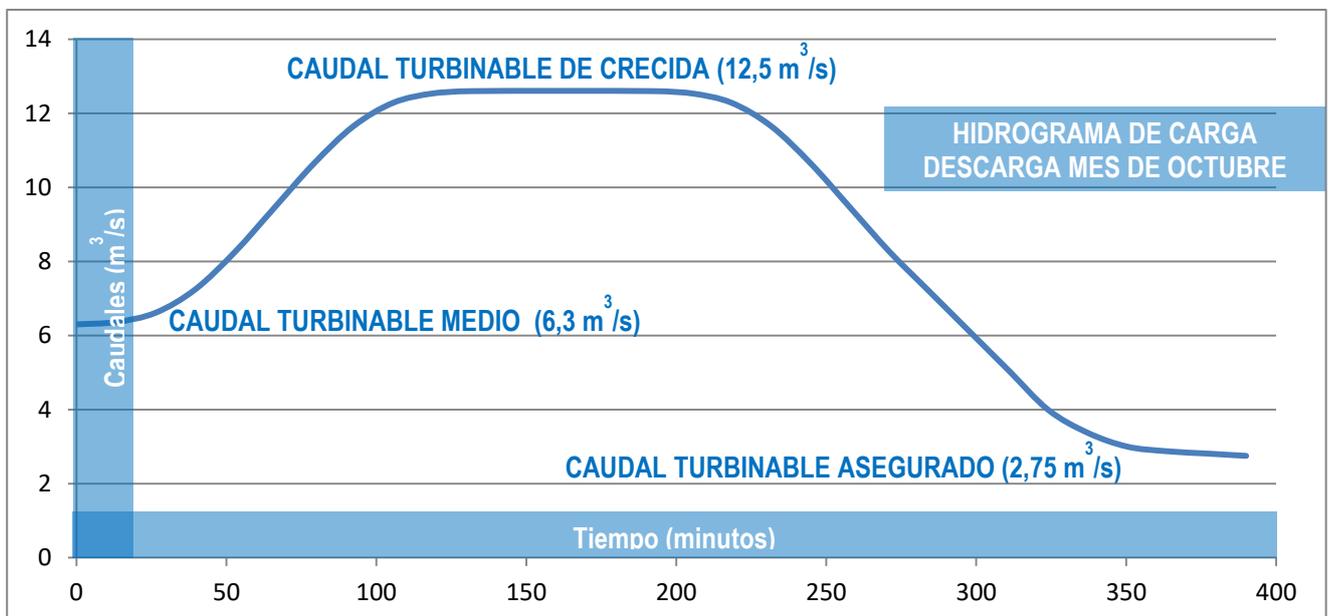


De acuerdo con los parámetros geomorfológicos de la cuenca, usos del suelo, cobertura vegetal,... para que se generen caudales de más de $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en el río, debemos tener tormentas de una intensidad en una hora de $1,38 \text{ mm}/\text{m}^2$ durante al menos el tiempo de concentración (2,2 h):

Hidrograma de carga:



De esta forma el hidrograma de crecida en el mes de octubre, considerando que el cauce tiene el caudal medio para este mes, previo a la tormenta, es el siguiente:



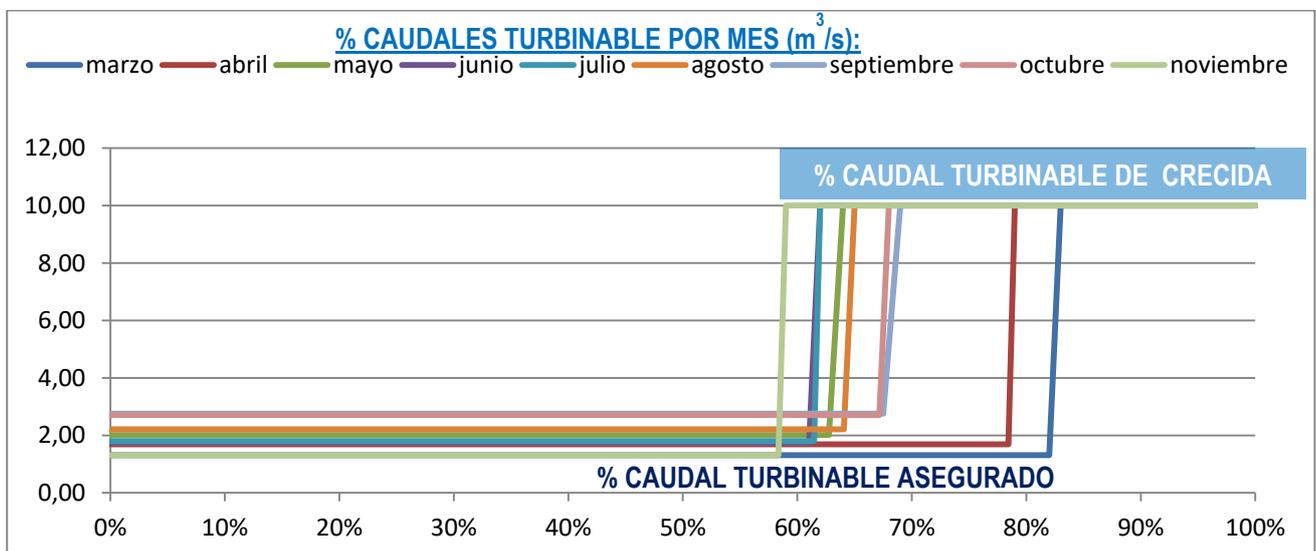


Extrapolando los registros pluviométricos de otras estaciones meteorológicas, que se deberán contrastar y validar con mediciones continuas en el aforo del azud y los registros de la estaciones meteorológicas de la cuenca en estudio, estimamos que **crecidas por encima de los 12.5 m³/s** en el río se dan en los siguientes porcentajes de tiempos:

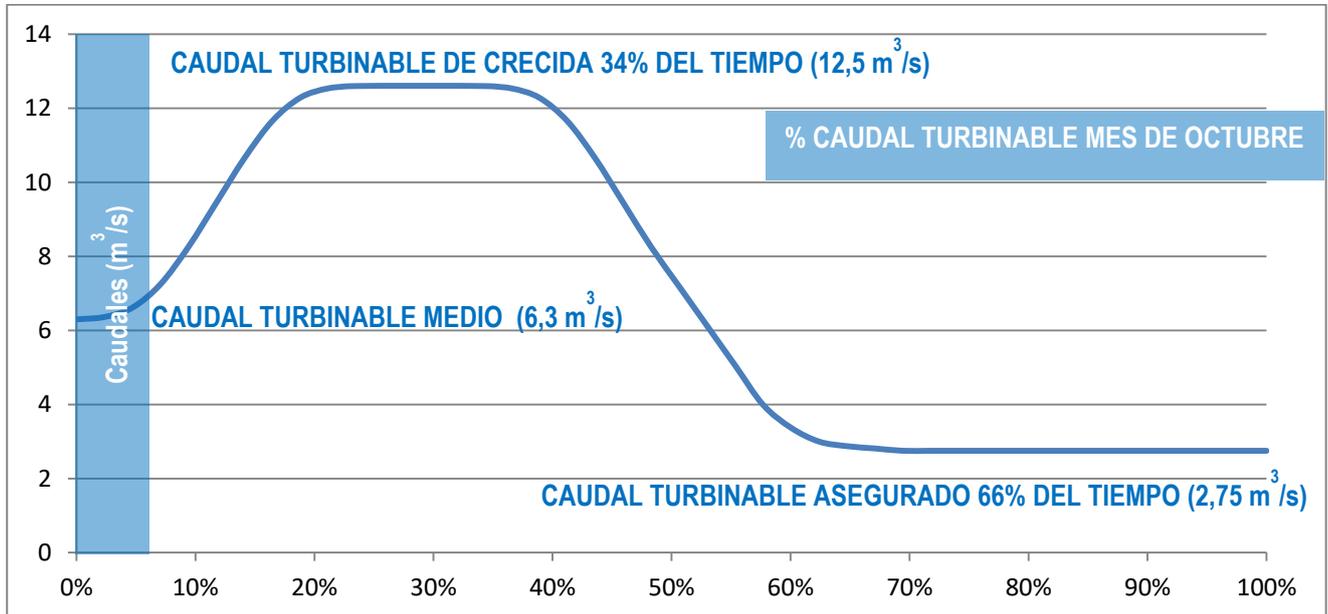
	Precipitación mensual media	Precipitación diaria media	Precipitación horaria media	Precipitación horaria de crecida	Porcentaje de tiempo de 13 m³/s
marzo	244	7,9	0,33	1,38	17%
abril	305	10,2	0,42		22%
mayo	373	12	0,50		26%
junio	312	10,4	0,43		22%
julio	335	10,8	0,45		23%
agosto	411	13,3	0,55		28%
septiembre	495	16,5	0,69		35%
octubre	502	16,2	0,67		34%
noviembre	236	7,9	0,33		17%
mm/m²					TOTAL 19%

Con lo que la distribución temporal en porcentajes de tiempo de los caudales asegurados por mes, caudal de crecida por encima de los 12.5 m³/s, son los que se muestran en la siguiente tabla y gráfico:

	Precipitación mensual media mm/mes	Precipitación diaria media mm/día	Precipitación horaria media mm/h	Precipitación horaria de crecida mm/h	porcentaje de tiempo que se mantienen 12,5 m³/s	Caudal asegurado con su porcentaje de tiempo		
marzo	244	7,9	0,33	1,38	12,50 m³/s	17%	1,31	83%
abril	305	10,2	0,42			22%	1,69	78%
mayo	373	12	0,50			26%	2,01	74%
junio	312	10,4	0,43			22%	1,74	78%
julio	335	10,8	0,45			23%	1,80	77%
agosto	411	13,3	0,55			28%	2,21	72%
septiembre	495	16,5	0,69			35%	2,75	65%
octubre	502	16,2	0,67			34%	2,70	66%
noviembre	236	7,9	0,33			17%	1,31	83%

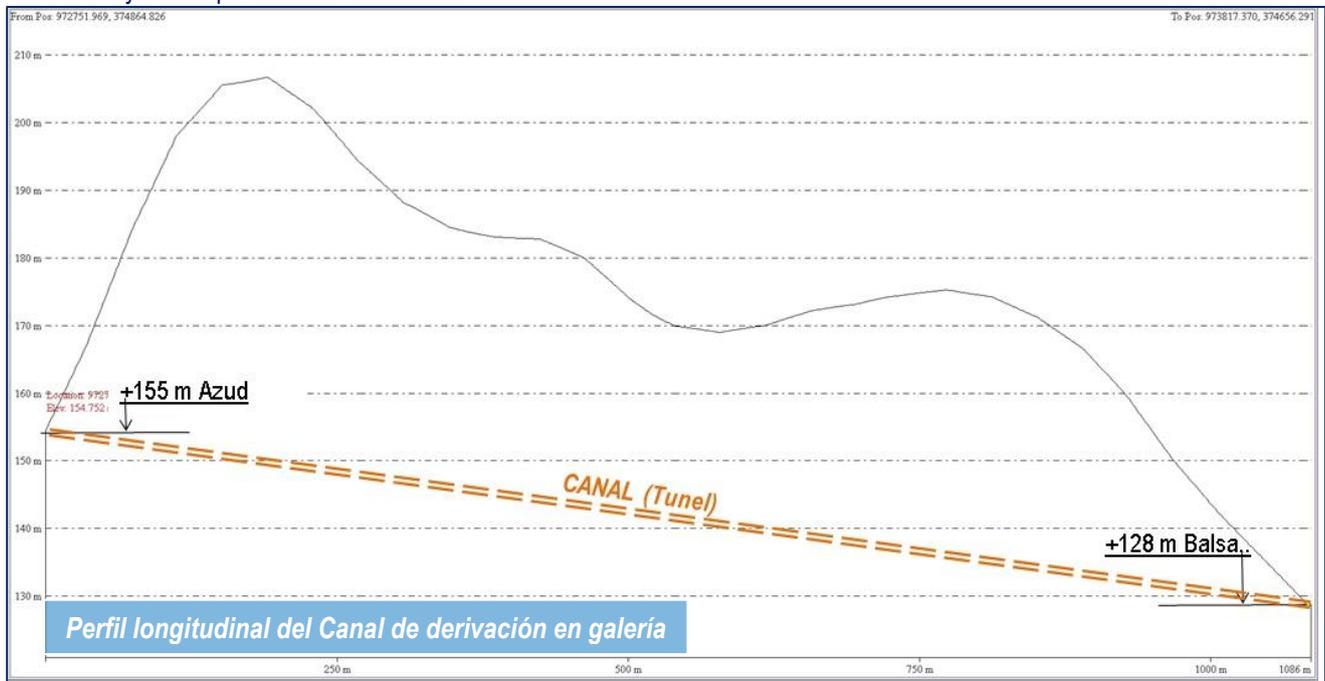


Se representa a continuación la curva gráfico de los caudales medios, asegurados y de crecida para el mes de octubre:



9.5. CAPACIDAD DEL CANAL DE DERIVACIÓN

Se trata de un canal en túnel-galería que parte del azud y desemboca en la balsa de decantación con un diámetro interior de 2.30 m y una capacidad actual de 5 m³/s:



Anchura de la base	2,21	m
Pendiente de lado 1 (horizontal / vertical)	0	
Pendiente de lado 2 (horizontal / vertical)	0	
Rugosidad según Manning, n ?	0,015	
Pendiente de canal (vertical / horizontal)	2,5	%
Profundidad de flujo	2	m
Bend Angle? (for riprap sizing)	0	
Stone specific gravity (2.65)	2,65	

CANAL GALERÍA DE DERIVACIÓN	
Labio coronación Azud	155 M
Descarga Canal (Balsa)	128 M
Diferencia Cota	27 M
Longitud H Canal	1086 M
Pendiente media	2,5%
Longitud Canal	1086 M

Por lo el canal de derivación en galería tiene capacidad suficiente (hasta 37 m³/s) para derivar los 12,5 m³/s necesarios para la ampliación hasta 9.1 MW planteados.

Resultados:		
Área del flujo	4.42	m ²
Perímetro mojado	6.21	m
Radio hidráulico	0.71	m
Velocidad, v	8.40	m/s
Caudal, q	37.14	m ³ /s
Presión (en M.C.As) por velocidad de flujo, h_v	3.60	m
Ancho de lámina libre, T	2.21	m
Número de Froude, F	1.90	
Tensión tangencial (fuerza de tracción), tau	174.49	N/m ²
Tamaño de roca del diseño ? basado en la dada rugosidad Manning	0.00	m
Tamaño de roca requerido en el fondo, D50, Maricopa County	0.34	m
Tamaño de roca requerido en el lado 1, D50, Maricopa County	0.34	m
Tamaño de roca requerido en el lado 2, D50, Maricopa County	0.34	m
Tamaño de roca requerido, D50, según Maynard, Ruff, y Abt (1989)	4.71	m
Tamaño de roca requerido, D50, según Searcy (1967)	1.55	m

9.6. CAPACIDAD DE LA Balsa DE DECANTACIÓN

Tiene 13.100 m² de lámina de agua, un perímetro de 521 m una profundidad máxima de 16 m y una capacidad de 52.000 m³.

La toma de agua de la tubería de carga y el desagüe de fondo se conducen a la misma cámara de la válvula de cabecera



Para un caudal turbinable de 12,5 m³/s la capacidad de la balsa de 52.000 m³ nos da un tiempo de remanso del agua de 1,16 horas, suficiente para laminar y decantar el agua antes de la entrada en la tubería de carga.

9.7. CAPACIDAD DE LA TUBERÍA DE CARGA

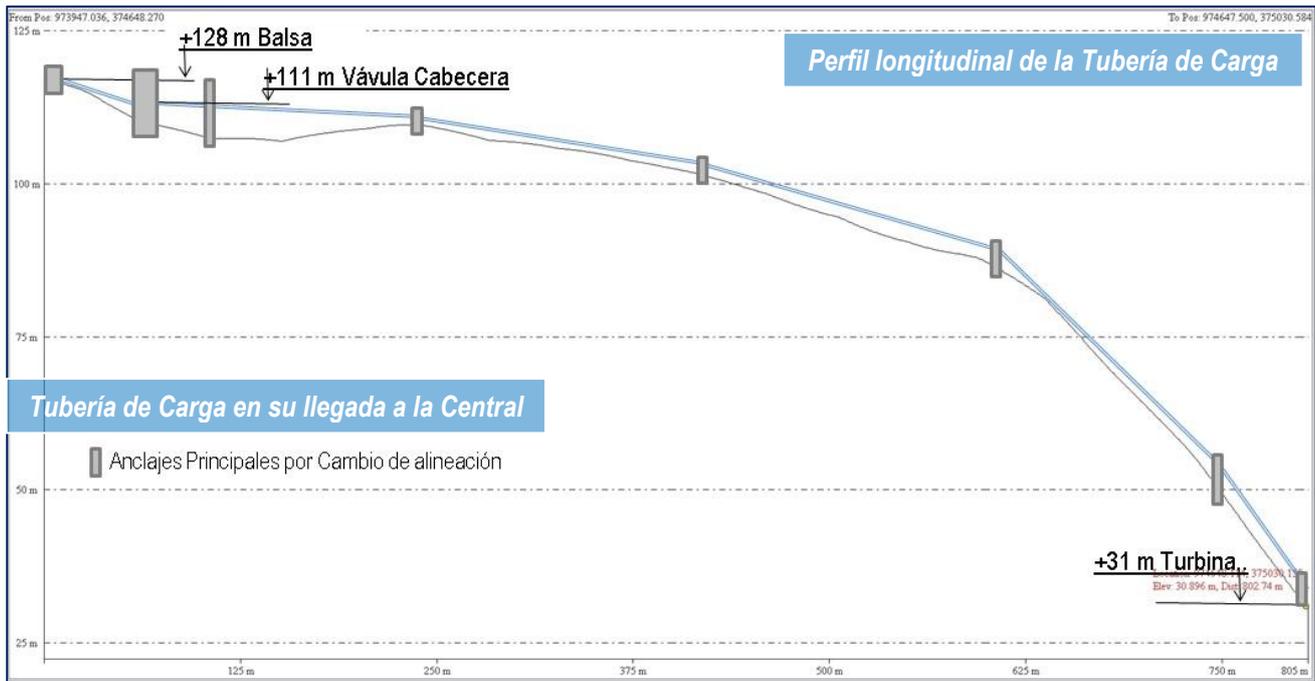
Parte de la toma de agua en la balsa y en instalación subterránea llega a la cámara de la válvula de cabecera.

Construida con chapa en palastro de acero negro conformada, tiene dos bocas de hombre para su registro y mantenimiento. De diámetro interior de 1.40 a 1.60 m y 8 mm de espesor.

Su perfil longitudinal, cotas, salto y magnitudes geométricas fundamentales se muestran en la tabla y gráfico adjun abajo de esta página:

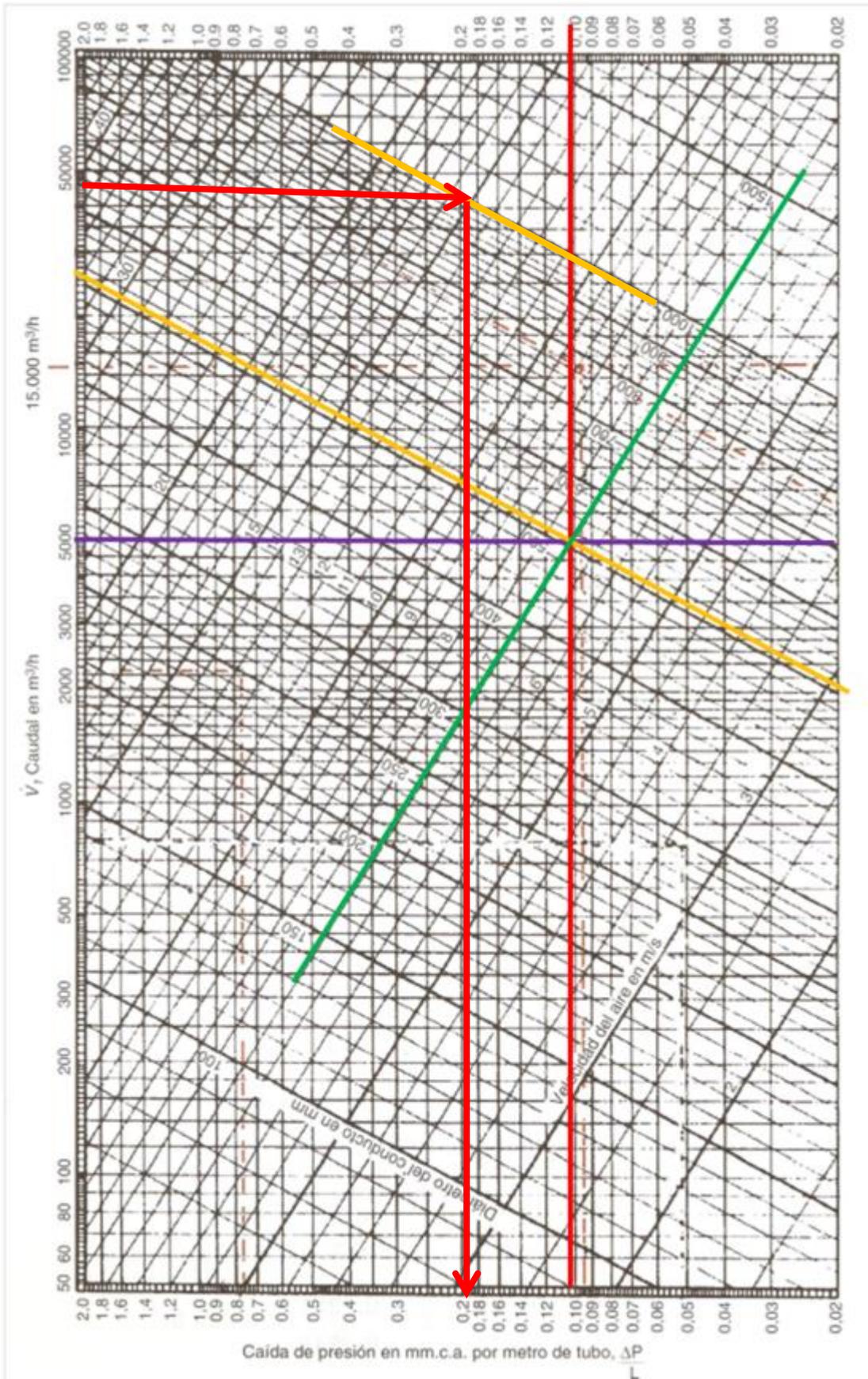
BALSA - TUBERÍA DE CARGA

Lámina agua Balsa	128 m
Válvula cabecera	110,7 m
Turbina	30,9 m
Diferencia Cota	97,1 m
Perdida de carga	10 m
Altura disponible en turbina	87 m
Longitud H Tubería	805 m
Pendiente media	12,1 %
Longitud Tubería	811 m



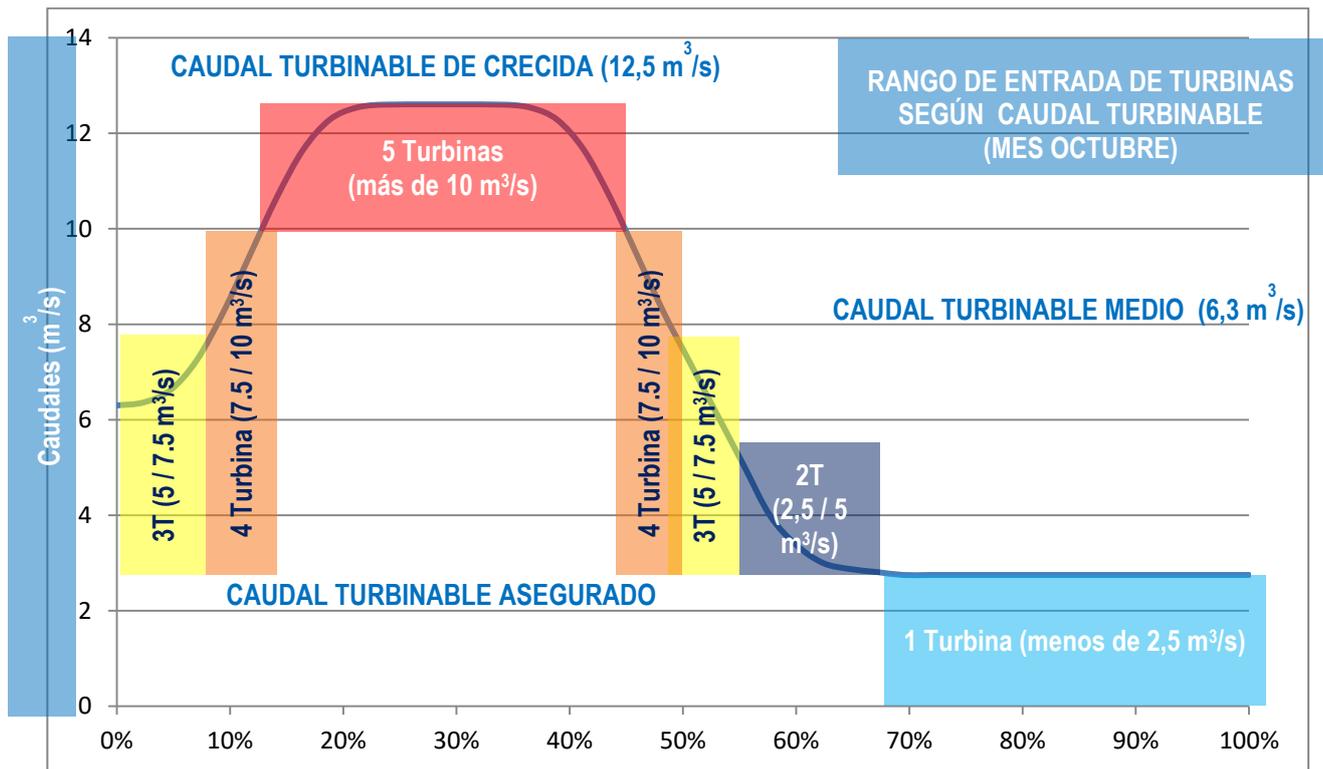
Para un caudal turbinable de 12,5 m³/s (45.000 m³/s), diámetro interior de tubería de 1.4 m, la **velocidad en la tubería** considerando el mínimo diámetro interior de 1.40 m sería **de 8.12 m/s**, que produciría una pérdida de carga de 0.2 mmca por m lineal de tubería, por lo que la pérdida en los 811 m totales de tubería sería de 162 mmca., 1 mm.c.d.a. = 0,09807 milibar

162 mmca x 0.0981 mb/mmca



9.8. GENERACIÓN HE CON CAUDALES DE CRECIDAS

Así en el estudio de viabilidad de la ampliación a 7 MW se considerará estos porcentajes de tiempos de caudales asegurado y de crecida, diseñando la ampliación de la CHE de forma que vayan entrando las distintas turbinas para que trabajen lo más cercana posible a su punto de máximo rendimiento, es decir al gasto de 2,5 m³/s, de forma que las turbinas entran según los siguientes escalones de carga:



De esta forma se estudiará la viabilidad de acuerdo con los aforos de caudales y sus porcentajes de tiempo obteniéndose en el supuesto considerado una potencia en turbinas de hasta 5 x 1978 kW para el 19% del tiempo total entre los meses de marzo y noviembre, lo que considerando un rendimiento del 92% en el punto óptimo de diseño de las turbinas y un cos fi de 0.8 obtendríamos una generación de 9.1 MW y 11.4 MVA.



9.9. CONCLUSIONES

La evaluación realizada, es solamente un estudio previo, que tendrá que validarse con los datos reales a tomar en el aforo del azud o los realizados por las empresas ACEC, Page Ibérica y los operadores de la CHE (SEGESA) en el periodo 1989 a 2005, así como los registros pluviométricos de la estación meteorológica.

De esta evaluación las principales conclusiones que se obtiene son:

- Tan solo en los meses de septiembre y octubre el caudal medio turbinable en el cauce: 6,1 y 6,0 m³/s, es mayor que el gasto de las turbinas en su punto de diseño ($Q = 2 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{s} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ para generar $2 \times 1.978 \text{ kW} = 3.956 \text{ kW}$), por lo el estudio para evaluarlo se ha realizado con los caudales de crecida, su duración, frecuencia y amplitud para considerar la ampliación a los 7 MW de la generación de la CHE.
- Extrapolando los registros pluviométricos de otras estaciones meteorológicas, que se deberán contrastar y validar con mediciones continuas en el aforo del azud y los registros de la estaciones meteorológicas de la cuenca en estudio, estimamos que crecidas por encima de los 12.5 m³/s en el río se dan en los siguientes porcentajes de tiempos
- Estos 12.5 m³/s necesarios se producen en un 17% de tiempo total desde el mes de marzo al mes de noviembre, en las crecidas de los cauces de los ríos Ruma y grande en tormentas de más de 2,2 horas de duración con una precipitación de 1,38 mm/m² hora.
- Para la ampliación de la capacidad de generación estudiada en esta parte de la consultoría de hasta 9,1 MW, las instalaciones hidráulicas de la CHE de Riaba (azud, canal de derivación, balsa de decantación y tubería de carga) son suficientes para soportar los 12.5 m³/s necesarios, por lo que no sería necesario invertir en estas obras más que el mantenimiento preventivo y correctivo descritos en la II Parte de este documento.
- Se instalaría para esta ampliación 3 nuevas turbinas de iguales características a las 2 existentes, formando un grupo de 5 que entrarían en escalones de carga de 2.5 m³/s generando $5 \times 1.978 \text{ kW} \times 92\%$ de rendimiento = 9.100 kW.
- También sería necesario la ampliación del edificio de la Central, instalar todos los sistemas asociados de regulación, protección, señales,...



)



PARTE V: CONCLUSIONES



Empresa:	GEO Energies	Fecha:	Diciembre, 2019
Referencia de la SdC:	CONSULTORIA PARA EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y COSTE DE REHABILITACIÓN DE LA CHE DE RIABA REFERENCIA: GEF SE4ALL		
Producto:	INFORME FINAL		



10. CONCLUSIONES

Resumimos a continuación las principales conclusiones obtenidas del estudio efectuado, tanto de diagnóstico del estado de las instalaciones y equipos, como de sus costes y plazos de ejecución, sus ventajas medioambientales y de mejora de mix energético de la Isla, así como un estudio previo de la viabilidad de la ampliación a 7 o 10 MW que deberá contrastarse con una campaña de toma de datos continuas en el aforo y estaciones meteorológicas.

10.1. REFERENTE A LA REHABILITACIÓN

Tras los trabajos de inspección, pruebas, medidas y ensayos descritos en los apartados anteriores las principales conclusiones y diagnósticos que se han obtenido son:

- La CHE se hizo con un buen proyecto y diseño, está bien equipada e instrumentada, y su proyecto y obras está documentado ampliamente.
- La ejecución de las obras fue de alta calidad y no han aparecido vicios ocultos a lo largo de casi 30 años desde su inauguración.
- Los equipos y materiales de la CHE son de primera calidad y los fabricantes de los principales equipos son líderes mundiales en sus sectores
- Aunque algunos equipos tienen 30 años de antigüedad están operativos y son equipos de alta fiabilidad, incluso la parte de protecciones y lógica de control, tan evolucionada en los últimos años, son soluciones que aún vigentes, operan y protegen centrales nucleares en Europa.
- La central estuvo mal mantenida y sus procedimientos de operación no se cumplieron, lo que llevó a su parada por avería.
- Su rotura principal está en el conjunto del eje y sus apoyos, rodamientos radial-axial, radial y en el semieje de la turbina, que sufrieron, daños debido a un calentamiento por fallo del sistema de refrigeración, lo cual hace necesario su reemplazo para poner en funcionamiento estas unidades.
- Este daño se produjo por mala operación de la Central, permitiendo que entrasen lodos y tierras a sus turbinas y sistemas de refrigeración, al no atender las alarmas de bajo nivel en la balsa de decantación (en las sucesivas inspecciones, no se ha encontrado la boya de nivel de la balsa, por lo que puede ser que no existiese en el momento de la avería y su alarma de parada estuviese anulada o puenteada) permitiendo que la toma de agua de la tubería succionase los lodos decantados en la balsa.
- Aparte de las roturas y averías, el abandono de más de 10 años ha llevado a que sea necesaria la reposición de múltiples equipos, entre ellos parte de la electrónica, baterías, cableado,...
- Otros equipos también necesitan su reposición debido a que se han retirado de la CHE para su utilización en otras instalaciones.
- Hay equipos que están en fase crítica de reutilización, debido a la humedad por falta de mantenimiento, pero todavía son reutilizables con un intenso mantenimiento



- En general, se produce una falta de mantenimiento a todo el equipamiento y la vegetación es abundante, en un ambiente agresivo y húmedo. La vegetación ha invadido sus instalaciones, los roedores han debilitado o eliminado el aislamiento de los conductores eléctricos, causando deterioros, corrosión, filtraciones
- La obra civil e hidráulica está en muy malas condiciones debido a la colmatación por arrastres y la invasión de vegetación de sus instalaciones.

A pesar de lo expuesto en cuanto al estado de conservación y ausencia de mantenimiento de la CHE, como consecuencia tanto del estudio económico, como el técnico y plazos de la rehabilitación, las principales conclusiones son:

- La rehabilitación de la CHE de Riaba se considera viable económicamente, por su relación costos/generación y sus plazos de ejecución.
- Las CHE tiene parámetros económicos aceptables, su rehabilitación sería viable técnica y económicamente, y sus números económicos son atractivos y la ejecución de sus obras de rehabilitación no son complejas y ni costosas, se trata de un mantenimiento general, otro preventivo y en algunos equipos correctivo.
- El presupuesto calculado de 1.905 millones de XFA abarca la rehabilitación de todas las instalaciones de la CHE, incluyendo las 5 viviendas, pavimentación de los accesos principales, medidas de protección ambiental, seguridad y salud en el trabajo,...
- Por motivos de costes de inversión en la rehabilitación, esta podría ejecutarse por fases:
 - Se podría ejecutar por fases la puesta en servicio de los grupos, dando prioridad primero a la rehabilitación y puesta en marcha del grupo turbina-generator N°2, para posteriormente hacerlo con el N°1
 - Se podrían aplazar acciones de la rehabilitación no esenciales, como las de las viviendas (Capítulo edificaciones: central, viviendas y cámaras 153.830.640 XFA), algunas partidas de los accesos (Capítulo accesos 249.971.861 XFA), de los exteriores (Capítulo Exteriores 62.837.982 XFA; Capítulo alumbrado exterior 55.259.192 XFA) también otras como los transformador de uso de planta,.... Con lo que el presupuesto se reduciría considerablemente (ver desglose del presupuesto por partidas)
- La CHE es reutilizable y dada la situación del mix energético de la Isla de Bioko esta rehabilitación se considera muy recomendable estratégicamente y por las reducciones de GEI.
- Una decisión estratégica, como la mejora del mix energético de la Isla, también justificaría la ejecución de la rehabilitación de la CHE incluso con ratios económicos más elevados (actualmente no hay mix pues el 100% de la generación se realiza en Punta Europa con turbinas de gas (ni tan siquiera combinadas con un ciclo de cogeneración).
- Sus plazos de ejecución son cortos, incluso para una generación al 50% podrían ser casi inmediatos, poniendo en servicio uno de los dos grupos.



- La línea eléctrica de vertido al Circuito Norte y su sincronización con la Red, permite disponer de su energía generada en los núcleos de consumo (principalmente Malabo-Sipopo, pero también puede abastecer a poblaciones como Riaba y Moka, y se realizase la conexión de los Circuitos Norte y Sur, abastecería a la costa Oeste de la Isla (Luba, Basacato del Oeste,...)
- El objetivo del GEF y su proyectos SE4ALL de: “... la puesta en marcha y la demostración de tecnologías de energías limpias (hidroeléctricas) para aportar beneficios mundiales evitando de forma directa las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el incremento de la capacidad de producción para ampliar la cobertura de electricidad en la isla de Bioko...” justifican invertir en esta CHE y sus obras de rehabilitación apenas producirían impactos en el medioambiente
- También existe la posibilidad de su ampliación, se ha realizado un pre estudio de la ampliación de su potencia de generación. Para el aprovechamiento HE de la cuenca, se suponía un caudal del río de al menos 5 m³/s, para generar unos 8 MW, se entiende como viable y sus conclusiones se exponen en el siguiente apartado.

Para lograr la puesta en marcha de la CHE de Riaba es importante:

1. Ejecutar la Reparación General a todos los equipos Principales y Auxiliares atendiendo al Programa de Mantenimiento y Reparación expuesto en esta consultoría.
2. Adquirir los equipos diagnosticados como inservibles para que puedan sustituirse.
3. Previsión de un Programa de Pruebas, Ajustes y Puesta en Marcha que abarque todos los equipos que intervienen en la operación de la central.
4. Preparar un Manual de Operación que regule todas las órdenes e instrucciones de operación que se seguirán en la CHE en cada uno de los regímenes de operación concebidos, temporales o permanentes, tales como: Arranques, Paradas Normales, Paradas por Emergencia, Restablecimiento de la Central a partir del actuación de cualquiera de las Protecciones tanto Mecánicas como Eléctricas, así como que considere el procedimiento de arranque de la CHE, la puesta en tensión de la línea y cuando se quiere tomar el Servicio de Planta de forma manual.
5. Establecer en el Manual anterior todas las Manipulaciones para Conceder una Vía Libre sobre cada uno de los dispositivos de desconexión, o Equipos que intervienen formando parte de este sistema tanto por Media o Alta Tensión, como los de Baja Tensión que forman el Sistema de Servicio de Planta, lo cual será de estricto cumplimiento tanto por los Operadores y Jefe de la CHE, como por cualquier Especialista o Jefes de Redes, Subestaciones, Transformadores, Jefes de Servicios o Jefes de la Dirección Técnica, los cuales solicitarán al Despacho de Carga el Permiso o Autorización de Trabajo para ejecutar una Reparación o Mantenimiento, y sin su aprobación y concesión no se podrá realizar trabajo alguno. Solo el Despachador del Sistema, ante la solicitud de los trabajos a realizar, conocido y aprobado por el Operador en Turno de la CHE, autorizará a los trabajos a ejecutar y su Vía Libre y posteriormente proceder a dejar la central en servicio.
6. La Programación de los Trabajos atendiendo al tiempo estimado en cada actividad a realizar para que sirva de referente a quien vaya a contratar los mismos, la relación de los equipos o partes, diagnosticadas anteriormente como deterioradas y que se recomienda sustituir.

10.2. REFERENTE A SU AMPLIACIÓN.

La evaluación realizada, es solamente un estudio previo, que tendrá que validarse con una campaña de al menos un año de toma de datos reales en el aforo del azud o los realizados por las empresas ACEC, Page Ibérica y los operadores de la CHE (SEGESA) en el periodo 1989 a 2005, así como los registros pluviométricos de la estación meteorológica.

De esta evaluación las principales conclusiones que se obtiene son:

- Tan solo en los meses de septiembre y octubre el caudal medio turbinable en el cauce: **6,1 y 6,0 m³/s**, es mayor que el gasto de las turbinas en su punto de diseño ($Q = 2 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{s} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ para generar $2 \times 1.978 \text{ kW} = 3.956 \text{ kW}$), por lo el estudio para evaluar la ampliación se ha realizado con los caudales de crecida, su duración, frecuencia y amplitud y así poder estimar y simular la ampliación a los 7 ó 10 MW de la generación de la CHE.
- Extrapolando los registros pluviométricos de otras estaciones meteorológicas, que se deberán contrastar y validar con mediciones continuas en el aforo del azud y los registros de la estaciones meteorológicas de la cuenca en estudio, estimamos que **crecidas por encima de los 12.5 m³/s** en el río se dan en los siguientes porcentajes de tiempos
- Estos 12.5 m³/s necesarios se producen en un 17% de tiempo total desde el mes de marzo al mes de noviembre, en las crecidas de los cauces de los ríos Ruma y grande en tormentas de más de 2,2 horas de duración con una precipitación de 1,38 mm/m² hora.
- Para la ampliación de la capacidad de generación estudiada en esta parte de la consultoría de hasta 9,1 MW, las instalaciones hidráulicas de la CHE de Riaba (azud, canal de derivación, balsa de decantación y tubería de carga) son suficientes para soportar los 12.5 m³/s necesarios, por lo que no sería necesario invertir en estas obras más que el mantenimiento preventivo y correctivo descritos en la II Parte de este documento.
- Se instalaría para esta ampliación 3 nuevas turbinas de iguales características a las 2 existentes, formando un grupo de 5 que entrarían en escalones de carga de 2.5 m³/s generando $5 \times 1.978 \text{ kW} \times 92\%$ de rendimiento = 9.100 kW.
- También sería necesario la ampliación del edificio de la Central, instalar todos los sistemas asociados de regulación, protección, señales,... y ampliar la SE instalando tres nuevos transformadores de potencia con sus celdas de protecciones, sincronismos, medidas etc..



