

Estación:	Este
Departamento:	Norte
Provincia:	Altura m/s/n/m:

**DATOS DE : PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2001	10,8	26,9	18,8	47,1	133,5	111	108,3	136,8	120	70	85,3	65,8	934,3
2002	2	32	106,6	156	170,2	196,4	91,8	139,1	88,03	53,1	55,3	22,5	1113,0
2003	7,2	16,1	97,7	102,4	133,6	115,9	174,5	81	113,4	145,2	115,8	58,2	1161,0
2004	9,5	25,3	21,1	131,7	210,7	132,1	127	140,1	98,7	77,1	81,2	41,5	1096,0
2005	23	35,2	38,8	86,9	116,9	107,1	66,4	131,3	103	152,2			860,8
2006		146,5	136,2	115,4	223	121,9	97,9	78,1	145,8	128,2	36,3		1229,3
2007	8,7	11,4	46,3	106,1	135,1	126,4	117,2	183,2	73,8	147,5	69,7	47,7	1073,1
2008	22,5	10,5	143	69	169,2	159,7	152,7	166,7	69,2	132,2	203,9	59,5	1358,1
2009	44	45,2	100,4	86,2	79,4	100,4	118	125,3	85,5	38,6	9,5		832,5
2010	4,5	9,3	53,2	172,1	221,7	115,8	278,5	52,6	49,5	149,3	168,3	61,1	1335,9
2011	22,1	91,2	86,3	214,9	211,4								625,9
<b>SUMA</b>	154,3	449,6	848,4	1287,8	1804,7	1286,7	1332,3	1234,2	946,9	1093,4	825,3	356,3	11619,9
<b>MEDIA</b>	7,5	20,8	49,5	99,0	149,1	124,1	116,1	107,7	86,9	87,5	43,1	45,1	936,3

**DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2001	14,2	18,1	81,1	175,6	282,3	306,5	264,9	318,8	243,2	106,9	124,2	93,4	318,8
2002	15,2	25,1	117,3	213,0	436,3	374,5	397,6	417,6	242,9	136,7	89,7	34,7	436,3
2003	42,3	25,9	139,0	170,0	347,8	333,9	376,5	285,5	191,1	112,0	172,4	57,8	376,5
2004	3,4	68,9	98,0	159,6	506,1	537,3	356,5	346,6	186,7	145,2	104,8	32,9	537,3
2005	41,5	112,9	114,1	211,8	416,2	249,9	266,9	335,3	272,4	230,0	138,7	14,5	416,2
2006	83,2	12,3	179,6	230,8	249,1	459,7	308,3	266,7	127,1	153,9	87,8	55,8	459,7
2007	3,5	50,7	121,2	210,4	322,6	352,0	160,1	316,5	236,7	120,3	115,7	65,7	352,0
2008	19,1	21,2	55,9	85,4	254,7	484,8	310,1	205,1	225,9	171,7	191,5	30	484,8
2009	34,5	14,4	83,6	162,9	139,6	350,6	249,2	318,6	168,3	185,6	61,1	15,1	350,6
2010	3,4	43,1	213,1	218,8	323,1	254,4	283,4	220,3	100,6	144,9	211,9	97	323,1
2011	11,8	51,1	116,6	212,0	338,5	315,5	226,3	232,1	286,9	190,2	135,4	48,1	338,5
<b>MAX</b>	83,2	112,9	213,1	230,8	506,1	537,3	397,6	417,6	286,9	230,0	211,9	97,0	537,3

# HIDROLOGÍA

## MEMORIA DE CALCULO

En este acápite se determinan los caudales de las cuencas y subcuencas por el método racional.

Debido a la falta de pluviógrafos en las estaciones próximas al sitio de proyecto, que permitan una determinación directa de las curvas de intensidad - duración - frecuencia, se trabajó sobre la base de registros de máximas precipitaciones diarias.

## ESTIMACION DE LA PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE

La precipitación máxima probable es aquella magnitud de lluvia que ocurre sobre una cuenca particular, en la cual generará un gasto de avenida, para el que virtualmente no existe riesgo de ser excedido.

Los diversos procedimientos de estimación de la precipitación máxima probable no están normalizados, ya que varían principalmente con la cantidad y calidad de los datos disponibles; además, cambian con el tamaño de la cuenca, su emplazamiento y su topografía, con los tipos de temporales que producen las precipitaciones extremas y con el clima. Los métodos de estimación de fácil y rápida aplicación son los empíricos y el estadístico.

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. Las lluvias máximas horarias o diarias por lo común se ajustan bien a la distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, a la Log-Pearson tipo III y a la gamma incompleta. En este proyecto se empleó la distribución Gumbel.

Se trabajará con la serie anual de máximos correspondiente a la estación Bolívar.

**Registros pluviométricos Estación Bolívar - Método Gumbel**

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2001	DIC	318,8	6502,22
2	2002	ENE	436,3	1358,93
3	2003	FEB	376,5	526,08
4	2004	FEB	537,3	19006,38
5	2005	DIC	416,2	281,02
6	2006	MAR	459,7	3631,71
7	2007	FEB	352,0	2250,21
8	2008	DIC	484,8	7286,95
9	2009	FEB	350,6	2384,99
10	2010	DIC	323,1	5827,24
11	2011	ENE	338,5	3713,24
<b>Suma</b>			<b>4393,8</b>	<b>52768,97</b>

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 399,44 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 72,64 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 56,64 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 366,74 \text{ mm}$$

Para el modelo de probabilidad:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Según el estudio de miles de estaciones - año de datos de lluvia, realizado por L. L. Wels, los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. Por tanto el valor representativo adoptado para la cuenca será multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación.

### **Cálculo de las láminas para distintas frecuencias**

Fuente: Elaboración propia

<i>Periodo</i>	<i>Variable</i>	<i>Precip.</i>	<i>Prob. de</i>	<i>Corrección</i>
<i>Retorno</i>	<i>Reducida</i>	<i>(mm)</i>	<i>ocurrencia</i>	<i>intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	387,5033	0,5000	437,8787
5	1,4999	451,6994	0,8000	510,4203
10	2,2504	494,2028	0,9000	558,4491
25	3,1985	547,9059	0,9600	619,1337
50	3,9019	587,7460	0,9800	664,1530
75	4,3108	610,9026	0,9867	690,3199
100	4,6001	627,2919	0,9900	708,8399
500	6,2136	718,6764	0,9980	812,1044

## ECUACIÓN DE INTENSIDAD

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. D. F. Campos A. propone los siguientes cocientes:

### Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Estos datos serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la *precipitación máxima probable* para 24 horas, para cada período de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados.

### Tabla 7.7 - Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Fuente: Elaboración propia

Tiempo de Duración	Cociente	P.M.P. (mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de Retorno							
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24 hr	X24	437,9	510,4	558,4	619,1	664,2	690,3	708,8	812,1
18 hr	X18 = 91%	398,5	464,5	508,2	563,4	604,4	628,2	645,0	739,0
12 hr	X12 = 80%	350,3	408,3	446,8	495,3	531,3	552,3	567,1	649,7
8 hr	X8 = 68%	297,8	347,1	379,7	421,0	451,6	469,4	482,0	552,2
6 hr	X6 = 61%	267,1	311,4	340,7	377,7	405,1	421,1	432,4	495,4
5 hr	X5 = 57%	249,6	290,9	318,3	352,9	378,6	393,5	404,0	462,9
4 hr	X4 = 52%	227,7	265,4	290,4	321,9	345,4	359,0	368,6	422,3
3 hr	X3 = 46%	201,4	234,8	256,9	284,8	305,5	317,5	326,1	373,6
2 hr	X2 = 39%	170,8	199,1	217,8	241,5	259,0	269,2	276,4	316,7
1 hr	X1 = 30%	131,4	153,1	167,5	185,7	199,2	207,1	212,7	243,6

Basándose en los resultados de la anterior tabla, y los tiempos de duración adoptados, calculamos la intensidad equivalente para cada caso, según:

$$I = \frac{P[mm]}{t_{duración} [hr.]}$$

**Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración**

Fuente: Elaboración propia

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno							
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24 hr	1440	18,2449	21,2675	23,2687	25,7972	27,6730	28,7633	29,5350	33,8377
18 hr	1080	22,1372	25,8046	28,2327	31,3006	33,5766	34,8995	35,8358	41,0564
12 hr	720	29,1919	34,0280	37,2299	41,2756	44,2769	46,0213	47,2560	54,1403
8 hr	480	37,2197	43,3857	47,4682	52,6264	56,4530	58,6772	60,2514	69,0289
6 hr	360	44,5177	51,8927	56,7757	62,9453	67,5222	70,1825	72,0654	82,5639
5 hr	300	49,9182	58,1879	63,6632	70,5812	75,7134	78,6965	80,8077	92,5799
4 hr	240	56,9242	66,3546	72,5984	80,4874	86,3399	89,7416	92,1492	105,5736
3 hr	180	67,1414	78,2644	85,6289	94,9338	101,8368	105,8491	108,6888	124,5227
2 hr	120	85,3863	99,5320	#####	120,7311	129,5098	134,6124	138,2238	158,3604
1 hr	60	#####	153,1261	#####	185,7401	199,2459	207,0960	212,6520	243,6313

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno, Sg. Bernard es:

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

en la cual:

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)
- a,b,c = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = a * T^b$$

De donde:

$$I = \frac{d}{t^c} \Rightarrow I = d * t^{-c}$$

Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,2449	7,2724	2,9039	21,1182	52,8878
2	1080	22,1372	6,9847	3,0973	21,6335	48,7863
3	720	29,1919	6,5793	3,3739	22,1977	43,2865
4	480	37,2197	6,1738	3,6168	22,3296	38,1156
5	360	44,5177	5,8861	3,7959	22,3430	34,6462
6	300	49,9182	5,7038	3,9104	22,3040	32,5331
7	240	56,9242	5,4806	4,0417	22,1512	30,0374
8	180	67,1414	5,1930	4,2068	21,8457	26,9668
9	120	85,3863	4,7875	4,4472	21,2909	22,9201
10	60	131,3636	4,0943	4,8780	19,9721	16,7637
10	4980	542,0452	58,1555	38,2718	217,1858	346,9435

$$\ln(A) = 7,4118 \quad A = 1655,4115 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para  $T = 5$  años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	21,2675	7,2724	3,0572	22,2330	52,8878
2	1080	25,8046	6,9847	3,2506	22,7042	48,7863
3	720	34,0280	6,5793	3,5272	23,2062	43,2865
4	480	43,3857	6,1738	3,7701	23,2760	38,1156
5	360	51,8927	5,8861	3,9492	23,2453	34,6462
6	300	58,1879	5,7038	4,0637	23,1783	32,5331
7	240	66,3546	5,4806	4,1950	22,9914	30,0374
8	180	78,2644	5,1930	4,3601	22,6418	26,9668
9	120	99,5320	4,7875	4,6005	22,0248	22,9201
10	60	153,1261	4,0943	5,0313	20,5997	16,7637
10	4980	631,8436	58,1555	39,8048	226,1006	346,9435

$Ln(A) = 7,5651$        $A = 1929,6568$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para  $T = 10$  años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	23,2687	7,2724	3,1471	22,8870	52,8878
2	1080	28,2327	6,9847	3,3405	23,3323	48,7863
3	720	37,2299	6,5793	3,6171	23,7979	43,2865
4	480	47,4682	6,1738	3,8601	23,8312	38,1156
5	360	56,7757	5,8861	4,0391	23,7746	34,6462
6	300	63,6632	5,7038	4,1536	23,6913	32,5331
7	240	72,5984	5,4806	4,2849	23,4842	30,0374
8	180	85,6289	5,1930	4,4500	23,1088	26,9668
9	120	108,8976	4,7875	4,6904	22,4553	22,9201
10	60	167,5347	4,0943	5,1212	20,9679	16,7637
10	4980	691,2980	58,1555	40,7040	231,3305	346,9435

$Ln(A) = 7,6550$        $A = 2111,231$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para  $T = 25$  años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	25,7972	7,2724	3,2503	23,6372	52,8878
2	1080	31,3006	6,9847	3,4436	24,0528	48,7863
3	720	41,2756	6,5793	3,7203	24,4766	43,2865
4	480	52,6264	6,1738	3,9632	24,4681	38,1156
5	360	62,9453	5,8861	4,1423	24,3818	34,6462
6	300	70,5812	5,7038	4,2568	24,2797	32,5331
7	240	80,4874	5,4806	4,3881	24,0496	30,0374
8	180	94,9338	5,1930	4,5532	23,6445	26,9668
9	120	120,7311	4,7875	4,7936	22,9492	22,9201
10	60	185,7401	4,0943	5,2243	21,3903	16,7637
10	4980	766,4187	58,1555	41,7356	237,3297	346,9435

$Ln(A) = 7,7582$        $A = 2340,6506$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	27,6730	7,2724	3,3205	24,1477	52,8878
2	1080	33,5766	6,9847	3,5138	24,5431	48,7863
3	720	44,2769	6,5793	3,7905	24,9384	43,2865
4	480	56,4530	6,1738	4,0334	24,9014	38,1156
5	360	67,5222	5,8861	4,2125	24,7950	34,6462
6	300	75,7134	5,7038	4,3270	24,6800	32,5331
7	240	86,3399	5,4806	4,4583	24,4343	30,0374
8	180	101,8368	5,1930	4,6234	24,0090	26,9668
9	120	129,5098	4,7875	4,8638	23,2852	22,9201
10	60	199,2459	4,0943	5,2945	21,6777	16,7637
10	4980	822,1476	58,1555	42,4375	241,4117	346,9435

$Ln(A) = 7,8284$        $A = 2510,8471$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	28,7633	7,2724	3,3591	24,4287	52,8878
2	1080	34,8995	6,9847	3,5525	24,8130	48,7863
3	720	46,0213	6,5793	3,8291	25,1926	43,2865
4	480	58,6772	6,1738	4,0721	25,1400	38,1156
5	360	70,1825	5,8861	4,2511	25,0224	34,6462
6	300	78,6965	5,7038	4,3656	24,9004	32,5331
7	240	89,7416	5,4806	4,4969	24,6461	30,0374
8	180	105,8491	5,1930	4,6620	24,2096	26,9668
9	120	134,6124	4,7875	4,9024	23,4702	22,9201
10	60	207,0960	4,0943	5,3332	21,8359	16,7637
10	4980	854,5393	58,1555	42,8240	243,6590	346,9435

$Ln(A) = 7,8670$        $A = 2609,7718$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	29,5350	7,2724	3,3856	24,6213	52,8878
2	1080	35,8358	6,9847	3,5789	24,9979	48,7863
3	720	47,2560	6,5793	3,8556	25,3668	43,2865
4	480	60,2514	6,1738	4,0985	25,3034	38,1156
5	360	72,0654	5,8861	4,2776	25,1782	34,6462
6	300	80,8077	5,7038	4,3921	25,0514	32,5331
7	240	92,1492	5,4806	4,5234	24,7912	30,0374
8	180	108,6888	5,1930	4,6885	24,3471	26,9668
9	120	138,2238	4,7875	4,9289	23,5969	22,9201
10	60	212,6520	4,0943	5,3597	21,9443	16,7637
10	4980	877,4650	58,1555	43,0887	245,1986	346,9435

$Ln(A) = 7,8935$        $A = 2679,7869$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	33,8377	7,2724	3,5216	25,6103	52,8878
2	1080	41,0564	6,9847	3,7149	25,9478	48,7863
3	720	54,1403	6,5793	3,9916	26,2616	43,2865
4	480	69,0289	6,1738	4,2345	26,1431	38,1156
5	360	82,5639	5,8861	4,4136	25,9788	34,6462
6	300	92,5799	5,7038	4,5281	25,8271	32,5331
7	240	105,5736	5,4806	4,6594	25,5365	30,0374
8	180	124,5227	5,1930	4,8245	25,0534	26,9668
9	120	158,3604	4,7875	5,0649	24,2480	22,9201
10	60	243,6313	4,0943	5,4957	22,5011	16,7637
10	4980	1005,2950	58,1555	44,4487	253,1077	346,9435

$Ln(A) = 8,0295$        $A = 3070,1811$        $B = -0,6164$



Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [ c ]
2	1655,41146515740	-0,6163860881
5	1929,65677287904	-0,6163860881
10	2111,23102946234	-0,6163860881
25	2340,65058399931	-0,6163860881
50	2510,84711531988	-0,6163860881
75	2609,77182813516	-0,6163860881
100	2679,78694216907	-0,6163860881
500	3070,18109203708	-0,6163860881
Promedio =	2363,44210364491	-0,6163860881

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno ( $T$ ) y el término constante de regresión ( $d$ ), para obtener valores de la ecuación:

$$d = a * T^b$$

Nº	x	y	ln x	ln y	Regresión potencial	
					ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	1655,4115	0,6931	7,4118	5,1375	0,4805
2	5	1929,6568	1,6094	7,5651	12,1756	2,5903
3	10	2111,2310	2,3026	7,6550	17,6263	5,3019
4	25	2340,6506	3,2189	7,7582	24,9726	10,3612
5	50	2510,8471	3,9120	7,8284	30,6248	15,3039
6	75	2609,7718	4,3175	7,8670	33,9658	18,6407
7	100	2679,7869	4,6052	7,8935	36,3509	21,2076
8	500	3070,1811	6,2146	8,0295	49,9001	38,6214
8	767	18907,5368	26,8733	62,0085	210,7536	112,5074

$$\ln(A) = 7,3799 \quad A = 1603,4613 \quad B = 0,1105$$

Término constante de regresión (a) = 1603,4613  
Coef. de regresión (b) = 0,110486

Finalmente se tiene la ecuación de intensidad válida para la cuenca:

$$I = \frac{1603,4613 * T^{0,110486}}{t^{0,61639}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)  
T = Periodo de Retorno (años)  
t = Tiempo de duración de precipitación (min)

**Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno**

*Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno*

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	641,92	418,73	326,13	273,14	238,04	212,74
5	710,31	463,34	360,88	302,24	263,40	235,40
10	766,85	500,22	389,60	326,29	284,36	254,14
25	848,55	553,51	431,11	361,06	314,66	281,21
50	916,09	597,56	465,42	389,79	339,70	303,59
75	958,06	624,94	486,74	407,65	355,27	317,50
100	989,00	645,13	502,46	420,82	366,74	327,76
500	1181,47	770,67	600,25	502,71	438,11	391,54

*Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)*

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	193,45	178,17	165,69	155,27	146,41	138,77
5	214,06	197,15	183,34	171,82	162,01	153,55
10	231,10	212,84	197,94	185,49	174,91	165,77
25	255,72	235,52	219,03	205,25	193,54	183,44
50	276,08	254,26	236,46	221,59	208,95	198,04
75	288,73	265,91	247,29	231,74	218,52	207,11
100	298,05	274,50	255,28	239,23	225,58	213,80
500	356,05	327,92	304,96	285,78	269,48	255,41

