

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	3,4	11,9	27,0	52,0	178,9	181,5	154,3	188,1	201,4	126,7	157,7	75,2	201,4
2002	3,7	28,4	61,7	144,2	187,8	216,3	175,0	243,1	143,8	92,9	64,1	19,6	243,1
2003	2,9	6,8	65,3	110,0	161,7	162,9	260,6	130,2	153,9	134,0	97,8	107,9	260,6
2004	15,4	49,1	41,0	129,5	277,0	233,7	213,1	208,1	82,0	143,8	103,7	27,7	277,0
2005	20,8	64,7	38,6	107,8	209,8	175,0	109,0	123,8	175,1	152,4	121,1	35,2	209,8
2006	64,1	4,9	118,5	134,3	131,3	313,6	175,9	170,1	97,0	220,8	149,9	28,2	313,6
2007	7,3	20,1	61,3	149,6	148,3	206,2	93,6	235,2	129,7	147,7	117,1	60,3	235,2
2008	17,9	28,7	45,1	31,9	352,2	261,9	236,6	134,6	129,4	93,3	193,7	27,4	352,2
2009	31,1	15,0	87,2	92,9	87,3	163,8	152,5	190,1	88,4	86,2	54,5	7,0	190,1
2010	1,2	47,2	68,9	186,6	246,3	166,0	310,7	112,9	72,6	114,2	163,2	119,1	310,7
2011	10,5	75,8	149,9	225,1	231,2	201,9	137,7	151,5	149,4	226,6	232,8	90,3	232,8
<b>MAX</b>	64,1	75,8	149,9	225,1	352,2	313,6	310,7	243,1	201,4	226,6	232,8	119,1	352,2

## 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.	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2001	DIC	201,4	3086,31
2	2002	ENE	243,1	191,95
3	2003	FEB	260,6	13,29
4	2004	FEB	277,0	401,82
5	2005	DIC	209,8	2223,55
6	2006	MAR	313,6	3208,71
7	2007	FEB	235,2	473,26
8	2008	DIC	352,2	9071,70
9	2009	FEB	190,1	4469,53
10	2010	DIC	310,7	2888,57
11	2011	ENE	232,8	583,44
Suma			2826,5	26612,13

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 256,95 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 51,59 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 40,22 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0,5772 * \alpha = 233,74 \text{ mm}$$

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. Welss, 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

Periodo	Variable	Precip.	Prob. de	Corrección
Retorno	Reducida	(mm)	ocurrencia	intervalo fijo
Años	YT	XT (mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0,3665	248,4803	0,5000	280,7827
5	1,4999	294,0692	0,8000	332,2981
10	2,2504	324,2530	0,9000	366,4059
25	3,1985	362,3903	0,9600	409,5011
50	3,9019	390,6828	0,9800	441,4715
75	4,3108	407,1274	0,9867	460,0540
100	4,6001	418,7663	0,9900	473,2059
500	6,2136	483,6631	0,9980	546,5393

## 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	280,8	332,3	366,4	409,5	441,5	460,1	473,2	546,5
18 hr	X18 = 91%	255,5	302,4	333,4	372,6	401,7	418,6	430,6	497,4
12 hr	X12 = 80%	224,6	265,8	293,1	327,6	353,2	368,0	378,6	437,2
8 hr	X8 = 68%	190,9	226,0	249,2	278,5	300,2	312,8	321,8	371,6
6 hr	X6 = 61%	171,3	202,7	223,5	249,8	269,3	280,6	288,7	333,4
5 hr	X5 = 57%	160,0	189,4	208,9	233,4	251,6	262,2	269,7	311,5
4 hr	X4 = 52%	146,0	172,8	190,5	212,9	229,6	239,2	246,1	284,2
3 hr	X3 = 46%	129,2	152,9	168,5	188,4	203,1	211,6	217,7	251,4
2 hr	X2 = 39%	109,5	129,6	142,9	159,7	172,2	179,4	184,6	213,2
1 hr	X1 = 30%	84,2	99,7	109,9	122,9	132,4	138,0	142,0	164,0

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	11,6993	13,8458	15,2669	17,0625	18,3946	19,1689	19,7169	22,7725
18 hr	1080	14,1951	16,7995	18,5239	20,7026	22,3188	23,2583	23,9232	27,6306
12 hr	720	18,7188	22,1532	24,4271	27,3001	29,4314	30,6703	31,5471	36,4360
8 hr	480	23,8665	28,2453	31,1445	34,8076	37,5251	39,1046	40,2225	46,4558
6 hr	360	28,5462	33,7836	37,2513	41,6326	44,8829	46,7722	48,1093	55,5648
5 hr	300	32,0092	37,8820	41,7703	46,6831	50,3278	52,4462	53,9455	62,3055
4 hr	240	36,5017	43,1988	47,6328	53,2351	57,3913	59,8070	61,5168	71,0501
3 hr	180	43,0533	50,9524	56,1822	62,7902	67,6923	70,5416	72,5582	83,8027
2 hr	120	54,7526	64,7981	71,4491	79,8527	86,0869	89,7105	92,2752	106,5752
1 hr	60	84,2348	99,6894	109,9218	122,8503	132,4415	138,0162	141,9618	163,9618

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	11,6993	7,2724	2,4595	17,8867	52,8878
2	1080	14,1951	6,9847	2,6529	18,5297	48,7863
3	720	18,7188	6,5793	2,9295	19,2741	43,2865
4	480	23,8665	6,1738	3,1725	19,5862	38,1156
5	360	28,5462	5,8861	3,3515	19,7274	34,6462
6	300	32,0092	5,7038	3,4660	19,7694	32,5331
7	240	36,5017	5,4806	3,5974	19,7158	30,0374
8	180	43,0533	5,1930	3,7624	19,5382	26,9668
9	120	54,7526	4,7875	4,0028	19,1635	22,9201
10	60	84,2348	4,0943	4,4336	18,1527	16,7637
10	4980	347,5778	58,1555	33,8282	191,3438	346,9435

$$\ln(A) = 6,9674$$

$$A = 1061,5060$$

$$B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13,8458	7,2724	2,6280	19,1117	52,8878
2	1080	16,7995	6,9847	2,8214	19,7063	48,7863
3	720	22,1532	6,5793	3,0980	20,3824	43,2865
4	480	28,2453	6,1738	3,3409	20,6262	38,1156
5	360	33,7836	5,8861	3,5200	20,7189	34,6462
6	300	37,8820	5,7038	3,6345	20,7303	32,5331
7	240	43,1988	5,4806	3,7658	20,6391	30,0374
8	180	50,9524	5,1930	3,9309	20,4130	26,9668
9	120	64,7981	4,7875	4,1713	19,9700	22,9201
10	60	99,6894	4,0943	4,6021	18,8424	16,7637
10	4980	411,3482	58,1555	35,5127	201,1402	346,9435

$Ln(A) = 7,1359$        $A = 1256,2615$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15,2669	7,2724	2,7257	19,8223	52,8878
2	1080	18,5239	6,9847	2,9191	20,3888	48,7863
3	720	24,4271	6,5793	3,1957	21,0253	43,2865
4	480	31,1445	6,1738	3,4386	21,2294	38,1156
5	360	37,2513	5,8861	3,6177	21,2941	34,6462
6	300	41,7703	5,7038	3,7322	21,2876	32,5331
7	240	47,6328	5,4806	3,8635	21,1746	30,0374
8	180	56,1822	5,1930	4,0286	20,9203	26,9668
9	120	71,4491	4,7875	4,2690	20,4377	22,9201
10	60	109,9218	4,0943	4,6998	19,2425	16,7637
10	4980	453,5697	58,1555	36,4898	206,8225	346,9435

$Ln(A) = 7,2336$        $A = 1385,207$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,0625	7,2724	2,8369	20,6310	52,8878
2	1080	20,7026	6,9847	3,0303	21,1655	48,7863
3	720	27,3001	6,5793	3,3069	21,7569	43,2865
4	480	34,8076	6,1738	3,5498	21,9159	38,1156
5	360	41,6326	5,8861	3,7289	21,9486	34,6462
6	300	46,6831	5,7038	3,8434	21,9218	32,5331
7	240	53,2351	5,4806	3,9747	21,7840	30,0374
8	180	62,7902	5,1930	4,1398	21,4978	26,9668
9	120	79,8527	4,7875	4,3802	20,9701	22,9201
10	60	122,8503	4,0943	4,8110	19,6978	16,7637
10	4980	506,9168	58,1555	37,6018	213,2893	346,9435

$Ln(A) = 7,3448$        $A = 1548,1291$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,3946	7,2724	2,9121	21,1777	52,8878
2	1080	22,3188	6,9847	3,1054	21,6906	48,7863
3	720	29,4314	6,5793	3,3821	22,2514	43,2865
4	480	37,5251	6,1738	3,6250	22,3800	38,1156
5	360	44,8829	5,8861	3,8041	22,3911	34,6462
6	300	50,3278	5,7038	3,9186	22,3506	32,5331
7	240	57,3913	5,4806	4,0499	22,1960	30,0374
8	180	67,6923	5,1930	4,2150	21,8882	26,9668
9	120	86,0869	4,7875	4,4554	21,3300	22,9201
10	60	132,4415	4,0943	4,8861	20,0055	16,7637
10	4980	546,4927	58,1555	38,3535	217,6611	346,9435

$Ln(A) = 7,4200$        $A = 1668,9942$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	19,1689	7,2724	2,9533	21,4775	52,8878
2	1080	23,2583	6,9847	3,1467	21,9785	48,7863
3	720	30,6703	6,5793	3,4233	22,5227	43,2865
4	480	39,1046	6,1738	3,6662	22,6346	38,1156
5	360	46,7722	5,8861	3,8453	22,6338	34,6462
6	300	52,4462	5,7038	3,9598	22,5858	32,5331
7	240	59,8070	5,4806	4,0911	22,4220	30,0374
8	180	70,5416	5,1930	4,2562	22,1023	26,9668
9	120	89,7105	4,7875	4,4966	21,5274	22,9201
10	60	138,0162	4,0943	4,9274	20,1744	16,7637
10	4980	569,4957	58,1555	38,7658	220,0588	346,9435

$Ln(A) = 7,4612$        $A = 1739,2457$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	19,7169	7,2724	2,9815	21,6825	52,8878
2	1080	23,9232	6,9847	3,1748	22,1754	48,7863
3	720	31,5471	6,5793	3,4515	22,7082	43,2865
4	480	40,2225	6,1738	3,6944	22,8086	38,1156
5	360	48,1093	5,8861	3,8735	22,7997	34,6462
6	300	53,9455	5,7038	3,9880	22,7465	32,5331
7	240	61,5168	5,4806	4,1193	22,5764	30,0374
8	180	72,5582	5,1930	4,2844	22,2487	26,9668
9	120	92,2752	4,7875	4,5248	21,6623	22,9201
10	60	141,9618	4,0943	4,9556	20,2898	16,7637
10	4980	585,7764	58,1555	39,0477	221,6981	346,9435

$Ln(A) = 7,4894$        $A = 1788,9670$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	22,7725	7,2724	3,1256	22,7303	52,8878
2	1080	27,6306	6,9847	3,3189	23,1817	48,7863
3	720	36,4360	6,5793	3,5956	23,6561	43,2865
4	480	46,4558	6,1738	3,8385	23,6981	38,1156
5	360	55,5648	5,8861	4,0176	23,6477	34,6462
6	300	62,3055	5,7038	4,1320	23,5683	32,5331
7	240	71,0501	5,4806	4,2634	23,3661	30,0374
8	180	83,8027	5,1930	4,4285	22,9968	26,9668
9	120	106,5752	4,7875	4,6689	22,3521	22,9201
10	60	163,9618	4,0943	5,0996	20,8797	16,7637
10	4980	676,5549	58,1555	40,4885	230,0768	346,9435

$Ln(A) = 7,6335$        $A = 2066,2056$        $B = -0,6164$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [ c ]
2	1061,50602692816	-0,6163860881
5	1256,26151812865	-0,6163860881
10	1385,20659953787	-0,6163860881
25	1548,12905172510	-0,6163860881
50	1668,99423382547	-0,6163860881
75	1739,24568569631	-0,6163860881
100	1788,96696639360	-0,6163860881
500	2066,20563658657	-0,6163860881
Promedio =	1564,31446485272	-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:

$$d = a * T^b$$

<i>Regresión potencial</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	1061,5060	0,6931	6,9674	4,8295	0,4805
2	5	1256,2615	1,6094	7,1359	11,4848	2,5903
3	10	1385,2066	2,3026	7,2336	16,6560	5,3019
4	25	1548,1291	3,2189	7,3448	23,6420	10,3612
5	50	1668,9942	3,9120	7,4200	29,0271	15,3039
6	75	1739,2457	4,3175	7,4612	32,2137	18,6407
7	100	1788,9670	4,6052	7,4894	34,4899	21,2076
8	500	2066,2056	6,2146	7,6335	47,4390	38,6214
8	767	12514,5157	26,8733	58,6858	199,7820	112,5074

$$\ln(A) = 6,9359 \quad A = 1028,5364 \quad B = 0,1190$$

Término constante de regresión ( $a$ ) = 1028,5364

Coef. de regresión ( $b$ ) = 0,119027

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

$$I = \frac{1028,5364 * T^{0,119027}}{t^{0,61639}}$$

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	414,20	270,19	210,44	176,24	153,60	137,27
5	461,93	301,32	234,69	196,55	171,30	153,09
10	501,66	327,24	254,87	213,46	186,03	166,25
25	559,47	364,94	284,24	238,05	207,46	185,41
50	607,59	396,33	308,69	258,53	225,31	201,36
75	637,63	415,93	323,95	271,31	236,45	211,31
100	659,84	430,42	335,23	280,76	244,68	218,67
500	799,16	521,30	406,02	340,04	296,35	264,85

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	124,83	114,96	106,91	100,19	94,47	89,54
5	139,21	128,21	119,23	111,74	105,36	99,86
10	151,18	139,24	129,49	121,35	114,42	108,45
25	168,60	155,28	144,41	135,33	127,61	120,94
50	183,11	168,64	156,83	146,97	138,58	131,35
75	192,16	176,98	164,58	154,23	145,43	137,84
100	198,85	183,14	170,32	159,61	150,50	142,64
500	240,84	221,81	206,28	193,31	182,28	172,76

