

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	54,5	18,2	24,3	71,8	404,7	430,8	411,2	470,5	268,8	156,7	147,4	179,9	470,5
2002	7,63	18	43	108	213,9	160	207	269	150	63	36	6	269,0
2003	11,5	8	33,5	214,3	214,3	122,2	339,6	310,1	248,7	214,3	470,5	197,1	470,5
2004	14,15	18,2	8	310,1	658,3	280,6	248,7	333,7	214,3	156,7	133,5	57,08	658,3
2005	67,37	99,61	11,5	186,9	254,4	327,8	199,5	191,9	353,3	327,8	170,7	50,17	353,3
2006	69,96	33,44	141,6	123,6	204,6	378,7	536,9	469	105,6	278,4	353,3	42,74	536,9
2007	17,06	9,9	99,7	209,7	268,8	358,4	249,68	536,9	455,8	199,5	147,47	95,25	536,9
2008	42,74	24,73	56,8	163	222,31	404,18	345,68	264	141,6	204,6	151,3	58,01	404,2
2009	26	33,44	58,01	114,6	123,6	254,4	98,21	180,4	123,6	105,6	63,99	52,03	254,4
2010	5,82	6,93	39,2	290,4	488,6	552,1	316,7	123	179,9	101,4	238,6	169,4	552,1
2011	5	32,03	81	257									257,0
<b>MAX</b>	28,0	44,0	144,2	169,1	124,0	144,0	271,8	196,1	85,2	59,5	66,0	19,0	658,3

# 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 comunmente 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 Bolivar.

**Registros pluviométricos Estación Bolívar - Método Gumbel**

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2001	DIC	470,5	1405,70
2	2002	ENE	269,0	26898,39
3	2003	FEB	470,5	1405,70
4	2004	FEB	658,3	50756,81
5	2005	DIC	353,3	6353,25
6	2006	MAR	536,9	10793,70
7	2007	FEB	536,9	10793,70
8	2008	DIC	404,2	831,01
9	2009	FEB	254,4	31900,56
10	2010	DIC	552,1	14183,08
11	2011	ENE	257,0	30978,56
<b>Suma</b>			<b>4763,08</b>	<b>186300,46</b>

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 433,01 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 136,49 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 106,42 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 371,58 \text{ mm}$$

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

<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	410,5855	0,5000	463,9616
5	1,4999	531,2074	0,8000	600,2644
10	2,2504	611,0696	0,9000	690,5087
25	3,1985	711,9757	0,9600	804,5326
50	3,9019	786,8337	0,9800	889,1220
75	4,3108	830,3440	0,9867	938,2887
100	4,6001	861,1389	0,9900	973,0869
500	6,2136	1032,8468	0,9980	1167,1169

## 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	464,0	600,3	690,5	804,5	889,1	938,3	973,1	1167,1
18 hr	X18 = 91%	422,2	546,2	628,4	732,1	809,1	853,8	885,5	1062,1
12 hr	X12 = 80%	371,2	480,2	552,4	643,6	711,3	750,6	778,5	933,7
8 hr	X8 = 68%	315,5	408,2	469,5	547,1	604,6	638,0	661,7	793,6
6 hr	X6 = 61%	283,0	366,2	421,2	490,8	542,4	572,4	593,6	711,9
5 hr	X5 = 57%	264,5	342,2	393,6	458,6	506,8	534,8	554,7	665,3
4 hr	X4 = 52%	241,3	312,1	359,1	418,4	462,3	487,9	506,0	606,9
3 hr	X3 = 46%	213,4	276,1	317,6	370,1	409,0	431,6	447,6	536,9
2 hr	X2 = 39%	180,9	234,1	269,3	313,8	346,8	365,9	379,5	455,2
1 hr	X1 = 30%	139,2	180,1	207,2	241,4	266,7	281,5	291,9	350,1

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	19,3317	25,0110	28,7712	33,5222	37,0468	39,0954	40,5453	48,6299
18 hr	1080	23,4558	30,3467	34,9090	40,6736	44,9501	47,4357	49,1949	59,0042
12 hr	720	30,9308	40,0176	46,0339	53,6355	59,2748	62,5526	64,8725	77,8078
8 hr	480	39,4367	51,0225	58,6932	68,3853	75,5754	79,7545	82,7124	99,2049
6 hr	360	47,1694	61,0269	70,2017	81,7941	90,3941	95,3927	98,9305	118,6569
5 hr	300	52,8916	68,4301	78,7180	91,7167	101,3599	106,9649	110,9319	133,0513
4 hr	240	60,3150	78,0344	89,7661	104,5892	115,5859	121,9775	126,5013	151,7252
3 hr	180	71,1408	92,0405	105,8780	123,3617	136,3320	143,8709	149,2067	178,9579
2 hr	120	90,4725	117,0516	134,6492	156,8839	173,3788	182,9663	189,7519	227,5878
1 hr	60	#####	180,0793	207,1526	241,3598	266,7366	281,4866	291,9261	350,1351

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	19,3317	7,2724	2,9617	21,5390	52,8878
2	1080	23,4558	6,9847	3,1551	22,0376	48,7863
3	720	30,9308	6,5793	3,4318	22,5784	43,2865
4	480	39,4367	6,1738	3,6747	22,6868	38,1156
5	360	47,1694	5,8861	3,8537	22,6835	34,6462
6	300	52,8916	5,7038	3,9682	22,6340	32,5331
7	240	60,3150	5,4806	4,0996	22,4683	30,0374
8	180	71,1408	5,1930	4,2647	22,1462	26,9668
9	120	90,4725	4,7875	4,5050	21,5679	22,9201
10	60	139,1885	4,0943	4,9358	20,2090	16,7637
10	4980	574,3329	58,1555	38,8504	220,5507	346,9435

Ln (A) = 7,4697      A = 1754,0184      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	25,0110	7,2724	3,2193	23,4122	52,8878
2	1080	30,3467	6,9847	3,4127	23,8367	48,7863
3	720	40,0176	6,5793	3,6893	24,2730	43,2865
4	480	51,0225	6,1738	3,9323	24,2770	38,1156
5	360	61,0269	5,8861	4,1113	24,1996	34,6462
6	300	68,4301	5,7038	4,2258	24,1031	32,5331
7	240	78,0344	5,4806	4,3571	23,8800	30,0374
8	180	92,0405	5,1930	4,5222	23,4837	26,9668
9	120	117,0516	4,7875	4,7626	22,8010	22,9201
10	60	180,0793	4,0943	5,1934	21,2636	16,7637
10	4980	743,0606	58,1555	41,4261	235,5297	346,9435

$Ln(A) = 7,7272$        $A = 2269,3146$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	28,7712	7,2724	3,3594	24,4307	52,8878
2	1080	34,9090	6,9847	3,5527	24,8149	48,7863
3	720	46,0339	6,5793	3,8294	25,1944	43,2865
4	480	58,6932	6,1738	4,0723	25,1417	38,1156
5	360	70,2017	5,8861	4,2514	25,0240	34,6462
6	300	78,7180	5,7038	4,3659	24,9020	32,5331
7	240	89,7661	5,4806	4,4972	24,6476	30,0374
8	180	105,8780	5,1930	4,6623	24,2111	26,9668
9	120	134,6492	4,7875	4,9027	23,4715	22,9201
10	60	207,1526	4,0943	5,3335	21,8370	16,7637
10	4980	854,7730	58,1555	42,8267	243,6749	346,9435

$Ln(A) = 7,8673$        $A = 2610,485$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	33,5222	7,2724	3,5122	25,5422	52,8878
2	1080	40,6736	6,9847	3,7056	25,8824	48,7863
3	720	53,6355	6,5793	3,9822	26,2000	43,2865
4	480	68,3853	6,1738	4,2252	26,0852	38,1156
5	360	81,7941	5,8861	4,4042	25,9236	34,6462
6	300	91,7167	5,7038	4,5187	25,7737	32,5331
7	240	104,5892	5,4806	4,6500	25,4852	30,0374
8	180	123,3617	5,1930	4,8151	25,0047	26,9668
9	120	156,8839	4,7875	5,0555	24,2032	22,9201
10	60	241,3598	4,0943	5,4863	22,4628	16,7637
10	4980	995,9220	58,1555	44,3550	252,5630	346,9435

$Ln(A) = 8,0201$        $A = 3041,5558$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	37,0468	7,2724	3,6122	26,2692	52,8878
2	1080	44,9501	6,9847	3,8056	26,5807	48,7863
3	720	59,2748	6,5793	4,0822	26,8577	43,2865
4	480	75,5754	6,1738	4,3251	26,7024	38,1156
5	360	90,3941	5,8861	4,5042	26,5121	34,6462
6	300	101,3599	5,7038	4,6187	26,3439	32,5331
7	240	115,5859	5,4806	4,7500	26,0331	30,0374
8	180	136,3320	5,1930	4,9151	25,5239	26,9668
9	120	173,3788	4,7875	5,1555	24,6818	22,9201
10	60	266,7366	4,0943	5,5863	22,8721	16,7637
10	4980	1100,6343	58,1555	45,3548	258,3769	346,9435

$Ln(A) = 8,1201$        $A = 3361,3483$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	39,0954	7,2724	3,6660	26,6606	52,8878
2	1080	47,4357	6,9847	3,8594	26,9566	48,7863
3	720	62,5526	6,5793	4,1360	27,2118	43,2865
4	480	79,7545	6,1738	4,3790	27,0347	38,1156
5	360	95,3927	5,8861	4,5580	26,8289	34,6462
6	300	106,9649	5,7038	4,6725	26,6509	32,5331
7	240	121,9775	5,4806	4,8038	26,3281	30,0374
8	180	143,8709	5,1930	4,9689	25,8034	26,9668
9	120	182,9663	4,7875	5,2093	24,9395	22,9201
10	60	281,4866	4,0943	5,6401	23,0925	16,7637
10	4980	1161,4971	58,1555	45,8930	261,5070	346,9435

$Ln(A) = 8,1739$        $A = 3547,2240$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	40,5453	7,2724	3,7024	26,9255	52,8878
2	1080	49,1949	6,9847	3,8958	27,2110	48,7863
3	720	64,8725	6,5793	4,1724	27,4514	43,2865
4	480	82,7124	6,1738	4,4154	27,2595	38,1156
5	360	98,9305	5,8861	4,5944	27,0432	34,6462
6	300	110,9319	5,7038	4,7089	26,8586	32,5331
7	240	126,5013	5,4806	4,8403	26,5277	30,0374
8	180	149,2067	5,1930	5,0053	25,9925	26,9668
9	120	189,7519	4,7875	5,2457	25,1138	22,9201
10	60	291,9261	4,0943	5,6765	23,2415	16,7637
10	4980	1204,5735	58,1555	46,2571	263,6248	346,9435

$Ln(A) = 8,2103$        $A = 3678,7796$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	48,6299	7,2724	3,8842	28,2477	52,8878
2	1080	59,0042	6,9847	4,0776	28,4809	48,7863
3	720	77,8078	6,5793	4,3542	28,6476	43,2865
4	480	99,2049	6,1738	4,5972	28,3821	38,1156
5	360	118,6569	5,8861	4,7762	28,1134	34,6462
6	300	133,0513	5,7038	4,8907	27,8957	32,5331
7	240	151,7252	5,4806	5,0221	27,5242	30,0374
8	180	178,9579	5,1930	5,1872	26,9366	26,9668
9	120	227,5878	4,7875	5,4275	25,9843	22,9201
10	60	350,1351	4,0943	5,8583	23,9860	16,7637



10      4980    1444,7610    58,1555    48,0753    274,1986    346,9435  
 $Ln(A) = 8,3922$        $A = 4412,3148$        $B = -0,6164$

Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [ c ]
2	1754,01844084465	-0,6163860881
5	2269,31457158535	-0,6163860881
10	2610,48544753126	-0,6163860881
25	3041,55575371547	-0,6163860881
50	3361,34833205919	-0,6163860881
75	3547,22397081406	-0,6163860881
100	3678,77961220223	-0,6163860881
500	4412,31484225634	-0,6163860881
Promedio =	3084,38012137607	-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	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	1754,0184	0,6931	7,4697	5,1776	0,4805
2	5	2269,3146	1,6094	7,7272	12,4365	2,5903
3	10	2610,4854	2,3026	7,8673	18,1151	5,3019
4	25	3041,5558	3,2189	8,0201	25,8158	10,3612
5	50	3361,3483	3,9120	8,1201	31,7660	15,3039
6	75	3547,2240	4,3175	8,1739	35,2908	18,6407
7	100	3678,7796	4,6052	8,2103	37,8100	21,2076
8	500	4412,3148	6,2146	8,3922	52,1540	38,6214
8	767	24675,0410	26,8733	63,9808	218,5657	112,5074

$$\ln(A) = 7,4472 \quad A = 1715,0066 \quad B = 0,1639$$

Término constante de regresión (a) = 1715,0066  
Coef. de regresión (b) = 0,163859

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

$$I = \frac{1715,0066 * T^{0,163859}}{t}$$

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 - Período de retorno*

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	712,45	464,74	361,96	303,15	264,19	236,11
5	827,87	540,02	420,60	352,26	306,99	274,36
10	927,45	604,98	471,19	394,63	343,92	307,36
25	1077,69	702,98	547,53	458,56	399,63	357,15
50	1207,32	787,54	613,38	513,71	447,70	400,11
75	1290,26	841,64	655,52	549,00	478,46	427,60
100	1352,54	882,26	687,16	575,50	501,55	448,24
500	1760,69	1148,50	894,52	749,17	652,90	583,50

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	214,71	197,74	183,90	172,33	162,50	154,02
5	249,49	229,78	213,69	200,25	188,83	178,97
10	279,50	257,42	239,39	224,34	211,54	200,49
25	324,78	299,12	278,17	260,68	245,81	232,97
50	363,84	335,10	311,63	292,04	275,37	260,99
75	388,84	358,12	333,04	312,10	294,29	278,92
100	407,61	375,40	349,11	327,16	308,50	292,39
500	530,61	488,69	454,46	425,89	401,59	380,62

