

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
SUMA	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
MEDIA	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	2,5	15,0	25,6	75,1	135,9	120,5	148,4	153,4	132,2	97,4	76,7	56,6	153,4
2002	7,4	17,9	57,0	147,8	215,8	140,5	176,1	228,2	120,4	60,1	59,8	5,9	228,2
2003	0,0	11,3	51,0	96,0	176,5	288,0	362,0	189,0	102,5	115,0	58,0	38,5	362,0
2004	12,5	35,0	63,0	122,0	244,5	275,2	204,9	211,5	131,4	114,9	78,0	14,0	275,2
2005	33,9	59,5	46,5	110,2	258,0	127,7	98,3	149,6	136,9	118,4	164,3	12,0	258,0
2006	64,7	0,5	95,1	208,9	123,9	212,1	157,2	128,8	65,7	119,0	47,0	26,0	212,1
2007	0,5	17,5	58,0	154,0	211,0	168,7	62,5	120,5	98,0	66,0	57,0	19,5	211,0
2008	15,0	5,0	14,5	73,5	137,0	242,8	184,2	99,5	126,1	95,7	153,8	11,5	242,8
2009	17,5	12,0	33,0	101,0	100,0	215,9	112,8	172,5	65,4	72,6	59,9	0,0	215,9
2010	0,0	20,5	109,0	148,5	152,1	128,0	161,8	89,3	43,3	71,0	117,0	38,5	161,8
2011	7,5	29,5	111,2	134,3	249,2	178,7	119,2	115,7	123,1	166,4	177,0	57,0	249,2
MAX	28,0	44,0	144,2	169,1	124,0	144,0	271,8	196,1	85,2	59,5	66,0	19,0	362,0

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	153,4	6432,04
2	2002	ENE	228,2	29,16
3	2003	FEB	362,0	16486,56
4	2004	FEB	275,2	1730,56
5	2005	DIC	258,0	595,36
6	2006	MAR	212,1	462,25
7	2007	FEB	211,0	510,76
8	2008	DIC	242,8	84,64
9	2009	FEB	215,9	313,29
10	2010	DIC	161,8	5155,24
11	2011	ENE	249,2	243,36
Suma			2569,6	32043,22

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 233,60 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 56,61 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 44,14 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 208,12 \text{ mm}$$

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. WELLS, 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	224,3011	0,5000	253,4602
5	1,4999	274,3261	0,8000	309,9885
10	2,2504	307,4471	0,9000	347,4152
25	3,1985	349,2954	0,9600	394,7038
50	3,9019	380,3410	0,9800	429,7853
75	4,3108	398,3858	0,9867	450,1759
100	4,6001	411,1572	0,9900	464,6077
500	6,2136	482,3690	0,9980	545,0769

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	253,5	310,0	347,4	394,7	429,8	450,2	464,6	545,1
18 hr	X18 = 91%	230,6	282,1	316,1	359,2	391,1	409,7	422,8	496,0
12 hr	X12 = 80%	202,8	248,0	277,9	315,8	343,8	360,1	371,7	436,1
8 hr	X8 = 68%	172,4	210,8	236,2	268,4	292,3	306,1	315,9	370,7
6 hr	X6 = 61%	154,6	189,1	211,9	240,8	262,2	274,6	283,4	332,5
5 hr	X5 = 57%	144,5	176,7	198,0	225,0	245,0	256,6	264,8	310,7
4 hr	X4 = 52%	131,8	161,2	180,7	205,2	223,5	234,1	241,6	283,4
3 hr	X3 = 46%	116,6	142,6	159,8	181,6	197,7	207,1	213,7	250,7
2 hr	X2 = 39%	98,8	120,9	135,5	153,9	167,6	175,6	181,2	212,6
1 hr	X1 = 30%	76,0	93,0	104,2	118,4	128,9	135,1	139,4	163,5

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	10,5608	12,9162	14,4756	16,4460	17,9077	18,7573	19,3587	22,7115
18 hr	1080	12,8138	15,6716	17,5638	19,9545	21,7280	22,7589	23,4885	27,5567
12 hr	720	16,8973	20,6659	23,1610	26,3136	28,6524	30,0117	30,9738	36,3385
8 hr	480	21,5441	26,3490	29,5303	33,5498	36,5317	38,2650	39,4917	46,3315
6 hr	360	25,7685	31,5155	35,3205	40,1282	43,6948	45,7679	47,2351	55,4162
5 hr	300	28,8945	35,3387	39,6053	44,9962	48,9955	51,3201	52,9653	62,1388
4 hr	240	32,9498	40,2985	45,1640	51,3115	55,8721	58,5229	60,3990	70,8600
3 hr	180	38,8639	47,5316	53,2703	60,5213	65,9004	69,0270	71,2398	83,5785
2 hr	120	49,4247	60,4478	67,7460	76,9672	83,8081	87,7843	90,5985	106,2900
1 hr	60	76,0381	92,9966	#####	118,4112	128,9356	135,0528	139,3823	163,5231

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	10,5608	7,2724	2,3572	17,1422	52,8878
2	1080	12,8138	6,9847	2,5505	17,8147	48,7863
3	720	16,8973	6,5793	2,8272	18,6006	43,2865
4	480	21,5441	6,1738	3,0701	18,9542	38,1156
5	360	25,7685	5,8861	3,2492	19,1248	34,6462
6	300	28,8945	5,7038	3,3637	19,1855	32,5331
7	240	32,9498	5,4806	3,4950	19,1548	30,0374
8	180	38,8639	5,1930	3,6601	19,0066	26,9668
9	120	49,4247	4,7875	3,9005	18,6734	22,9201
10	60	76,0381	4,0943	4,3312	17,7336	16,7637
10	4980	313,7556	58,1555	32,8045	185,3902	346,9435

$$\ln(A) = 6,8651 \quad A = 958,2128 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	12,9162	7,2724	2,5585	18,6063	52,8878
2	1080	15,6716	6,9847	2,7519	19,2209	48,7863
3	720	20,6659	6,5793	3,0285	19,9252	43,2865
4	480	26,3490	6,1738	3,2714	20,1971	38,1156
5	360	31,5155	5,8861	3,4505	20,3099	34,6462
6	300	35,3387	5,7038	3,5650	20,3339	32,5331
7	240	40,2985	5,4806	3,6963	20,2582	30,0374
8	180	47,5316	5,1930	3,8614	20,0521	26,9668
9	120	60,4478	4,7875	4,1018	19,6372	22,9201
10	60	92,9966	4,0943	4,5326	18,5579	16,7637
10	4980	383,7314	58,1555	34,8178	197,0986	346,9435

$Ln(A) = 7,0664$ $A = 1171,9195$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14,4756	7,2724	2,6725	19,4352	52,8878
2	1080	17,5638	6,9847	2,8658	20,0171	48,7863
3	720	23,1610	6,5793	3,1425	20,6751	43,2865
4	480	29,5303	6,1738	3,3854	20,9008	38,1156
5	360	35,3205	5,8861	3,5645	20,9808	34,6462
6	300	39,6053	5,7038	3,6790	20,9840	32,5331
7	240	45,1640	5,4806	3,8103	20,8829	30,0374
8	180	53,2703	5,1930	3,9754	20,6440	26,9668
9	120	67,7460	4,7875	4,2158	20,1829	22,9201
10	60	104,2246	4,0943	4,6465	19,0246	16,7637
10	4980	430,0614	58,1555	35,9576	203,7274	346,9435

$Ln(A) = 7,1804$ $A = 1313,412$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,4460	7,2724	2,8001	20,3633	52,8878
2	1080	19,9545	6,9847	2,9935	20,9084	48,7863
3	720	26,3136	6,5793	3,2701	21,5147	43,2865
4	480	33,5498	6,1738	3,5130	21,6887	38,1156
5	360	40,1282	5,8861	3,6921	21,7320	34,6462
6	300	44,9962	5,7038	3,8066	21,7119	32,5331
7	240	51,3115	5,4806	3,9379	21,5823	30,0374
8	180	60,5213	5,1930	4,1030	21,3067	26,9668
9	120	76,9672	4,7875	4,3434	20,7939	22,9201
10	60	118,4112	4,0943	4,7742	19,5471	16,7637
10	4980	488,5995	58,1555	37,2338	211,1489	346,9435

$Ln(A) = 7,3080$ $A = 1492,1878$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,9077	7,2724	2,8852	20,9826	52,8878
2	1080	21,7280	6,9847	3,0786	21,5032	48,7863
3	720	28,6524	6,5793	3,3552	22,0749	43,2865
4	480	36,5317	6,1738	3,5982	22,2144	38,1156
5	360	43,6948	5,8861	3,7772	22,2332	34,6462
6	300	48,9955	5,7038	3,8917	22,1976	32,5331
7	240	55,8721	5,4806	4,0231	22,0490	30,0374
8	180	65,9004	5,1930	4,1881	21,7489	26,9668
9	120	83,8081	4,7875	4,4285	21,2016	22,9201
10	60	128,9356	4,0943	4,8593	19,8957	16,7637
10	4980	532,0264	58,1555	38,0853	216,1009	346,9435

$Ln(A) = 7,3931$ $A = 1624,8141$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,7573	7,2724	2,9316	21,3197	52,8878
2	1080	22,7589	6,9847	3,1250	21,8269	48,7863
3	720	30,0117	6,5793	3,4016	22,3799	43,2865
4	480	38,2650	6,1738	3,6445	22,5006	38,1156
5	360	45,7679	5,8861	3,8236	22,5060	34,6462
6	300	51,3201	5,7038	3,9381	22,4620	32,5331
7	240	58,5229	5,4806	4,0694	22,3030	30,0374
8	180	69,0270	5,1930	4,2345	21,9896	26,9668
9	120	87,7843	4,7875	4,4749	21,4235	22,9201
10	60	135,0528	4,0943	4,9057	20,0855	16,7637
10	4980	557,2678	58,1555	38,5488	218,7966	346,9435

$Ln(A) = 7,4395$ $A = 1701,9015$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	19,3587	7,2724	2,9631	21,5491	52,8878
2	1080	23,4885	6,9847	3,1565	22,0473	48,7863
3	720	30,9738	6,5793	3,4331	22,5875	43,2865
4	480	39,4917	6,1738	3,6761	22,6954	38,1156
5	360	47,2351	5,8861	3,8551	22,6917	34,6462
6	300	52,9653	5,7038	3,9696	22,6419	32,5331
7	240	60,3990	5,4806	4,1010	22,4759	30,0374
8	180	71,2398	5,1930	4,2661	22,1534	26,9668
9	120	90,5985	4,7875	4,5064	21,5745	22,9201
10	60	139,3823	4,0943	4,9372	20,2147	16,7637
10	4980	575,1327	58,1555	38,8643	220,6316	346,9435

$Ln(A) = 7,4711$ $A = 1756,4610$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	22,7115	7,2724	3,1229	22,7108	52,8878
2	1080	27,5567	6,9847	3,3162	23,1630	48,7863
3	720	36,3385	6,5793	3,5929	23,6384	43,2865
4	480	46,3315	6,1738	3,8358	23,6816	38,1156
5	360	55,4162	5,8861	4,0149	23,6319	34,6462
6	300	62,1388	5,7038	4,1294	23,5530	32,5331
7	240	70,8600	5,4806	4,2607	23,3514	30,0374
8	180	83,5785	5,1930	4,4258	22,9829	26,9668
9	120	106,2900	4,7875	4,6662	22,3393	22,9201
10	60	163,5231	4,0943	5,0970	20,8687	16,7637
10	4980	674,7447	58,1555	40,4617	229,9210	346,9435

$Ln(A) = 7,6308$ $A = 2060,6771$ $B = -0,6164$

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	958,21282855198	-0,6163860881
5	1171,91945639849	-0,6163860881
10	1313,41183926014	-0,6163860881
25	1492,18784009490	-0,6163860881
50	1624,81409022784	-0,6163860881
75	1701,90152323455	-0,6163860881
100	1756,46104894825	-0,6163860881
500	2060,67707361792	-0,6163860881
Promedio =	1509,94821254176	-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	958,2128	0,6931	6,8651	4,7585	0,4805
2	5	1171,9195	1,6094	7,0664	11,3729	2,5903
3	10	1313,4118	2,3026	7,1804	16,5334	5,3019
4	25	1492,1878	3,2189	7,3080	23,5235	10,3612
5	50	1624,8141	3,9120	7,3931	28,9222	15,3039
6	75	1701,9015	4,3175	7,4395	32,1200	18,6407
7	100	1756,4610	4,6052	7,4711	34,4055	21,2076
8	500	2060,6771	6,2146	7,6308	47,4224	38,6214
8	767	12079,5857	26,8733	58,3543	199,0584	112,5074

$$\ln(A) = 6,8356 \quad A = 930,3618 \quad B = 0,1366$$

Término constante de regresión (a) = 930,3618

Coef. de regresión (b) = 0,13658

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

$$I = \frac{930,3618 * T^{0,136558}}{t^{0,61639}}$$

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	379,25	247,39	192,68	161,37	140,63	125,68
5	429,80	280,36	218,36	182,88	159,38	142,44
10	472,47	308,19	240,04	201,04	175,20	156,58
25	535,45	349,27	272,04	227,83	198,55	177,45
50	588,60	383,95	299,04	250,45	218,27	195,07
75	622,11	405,81	316,07	264,71	230,69	206,17
100	647,04	422,07	328,73	275,32	239,94	214,43
500	806,09	525,81	409,53	342,99	298,91	267,14

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	114,29	105,26	97,89	91,74	86,50	81,98
5	129,53	119,29	110,94	103,96	98,03	92,91
10	142,39	131,14	121,95	114,28	107,76	102,14
25	161,36	148,62	138,21	129,52	122,13	115,75
50	177,39	163,37	151,93	142,38	134,25	127,24
75	187,48	172,67	160,58	150,48	141,90	134,49
100	195,00	179,59	167,01	156,51	147,58	139,87
500	242,93	223,73	208,07	194,98	183,86	174,26

