

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	3,4	14,4	100,8	99,3	168,4	141,1	133,5	128,2	147,9	111,6	116,3	82,5	168,4
2002	7,0	52,6	58,9	197,0	186,4	126,8	151,7	210,5	158,4	178,0	47,4	11,8	210,5
2003	10,0	9,3	74,9	138,3	179,6	175,8	230,3	142,3	131,9	146,0	104,5	27,0	230,3
2004	2,3	58,5	59,6	150,0	316,7	214,9	194,4	176,8	112,9	104,8	73,7	40,4	316,7
2005	19,4	31,7	33,4	116,1	227,3	97,3	105,6	140,0	142,6	141,0	156,2	12,5	227,3
2006	33,7	0,7	115,1	164,1	124,2	276,8	149,6	198,5	81,2	188,3	93,0	37,7	276,8
2007	2,2	32,3	67,0	98,3	204,3	187,2	79,9	196,9	139,0	144,0	79,6	41,2	204,3
2008	10,3	19,7	60,4	49,1	168,1	228,1	211,6	103,3	134,4	87,8	125,4	24,2	228,1
2009	25,1	10,0	49,2	105,1	86,0	304,2	135,6	182,8	75,3	85,0	73,0	12,7	304,2
2010	1,3	44,0	86,9	168,3	224,1	101,7	242,0	97,9	63,9	125,4	147,8	102,3	242,0
2011	7,2	71,2	129,4	196,8	240,1	184,7	126,7	128,9	127,2	146,0	214,5	74,2	240,1
MAX	33,7	71,2	129,4	197,0	316,7	304,2	242,0	210,5	158,4	188,3	214,5	102,3	316,7

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	168,4	5240,44
2	2002	ENE	210,5	917,54
3	2003	FEB	230,3	110,06
4	2004	FEB	316,7	5762,19
5	2005	DIC	227,3	182,00
6	2006	MAR	276,8	1296,65
7	2007	FEB	204,3	1331,59
8	2008	DIC	228,1	161,06
9	2009	FEB	304,2	4020,71
10	2010	DIC	242,0	1,46
11	2011	ENE	240,1	0,48
Suma			2648,7	19024,19

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 240,79 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 43,62 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 34,01 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 221,16 \text{ mm}$$

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	233,6259	0,5000	263,9973
5	1,4999	272,1713	0,8000	307,5536
10	2,2504	297,6917	0,9000	336,3916
25	3,1985	329,9368	0,9600	372,8286
50	3,9019	353,8580	0,9800	399,8596
75	4,3108	367,7620	0,9867	415,5710
100	4,6001	377,6027	0,9900	426,6910
500	6,2136	432,4728	0,9980	488,6943

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. Período de Retorno							
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24 hr	X24	264,0	307,6	336,4	372,8	399,9	415,6	426,7	488,7
18 hr	X18 = 91%	240,2	279,9	306,1	339,3	363,9	378,2	388,3	444,7
12 hr	X12 = 80%	211,2	246,0	269,1	298,3	319,9	332,5	341,4	391,0
8 hr	X8 = 68%	179,5	209,1	228,7	253,5	271,9	282,6	290,1	332,3
6 hr	X6 = 61%	161,0	187,6	205,2	227,4	243,9	253,5	260,3	298,1
5 hr	X5 = 57%	150,5	175,3	191,7	212,5	227,9	236,9	243,2	278,6
4 hr	X4 = 52%	137,3	159,9	174,9	193,9	207,9	216,1	221,9	254,1
3 hr	X3 = 46%	121,4	141,5	154,7	171,5	183,9	191,2	196,3	224,8
2 hr	X2 = 39%	103,0	119,9	131,2	145,4	155,9	162,1	166,4	190,6
1 hr	X1 = 30%	79,2	92,3	100,9	111,8	120,0	124,7	128,0	146,6

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	10,9999	12,8147	14,0163	15,5345	16,6608	17,3155	17,7788	20,3623
18 hr	1080	13,3465	15,5485	17,0065	18,8486	20,2151	21,0094	21,5716	24,7062
12 hr	720	17,5998	20,5036	22,4261	24,8552	26,6573	27,7047	28,4461	32,5796
8 hr	480	22,4398	26,1421	28,5933	31,6904	33,9881	35,3235	36,2687	41,5390
6 hr	360	26,8397	31,2679	34,1998	37,9042	40,6524	42,2497	43,3803	49,6839
5 hr	300	30,0957	35,0611	38,3486	42,5025	45,5840	47,3751	48,6428	55,7112
4 hr	240	34,3196	39,9820	43,7309	48,4677	51,9817	54,0242	55,4698	63,5303
3 hr	180	40,4796	47,1582	51,5800	57,1670	61,3118	63,7209	65,4260	74,9331
2 hr	120	51,4795	59,9729	65,5964	72,7016	77,9726	81,0364	83,2047	95,2954
1 hr	60	79,1992	92,2661	#####	111,8486	119,9579	124,6713	128,0073	146,6083

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	10,9999	7,2724	2,3979	17,4384	52,8878
2	1080	13,3465	6,9847	2,5913	18,0992	48,7863
3	720	17,5998	6,5793	2,8679	18,8686	43,2865
4	480	22,4398	6,1738	3,1108	19,2056	38,1156
5	360	26,8397	5,8861	3,2899	19,3646	34,6462
6	300	30,0957	5,7038	3,4044	19,4179	32,5331
7	240	34,3196	5,4806	3,5357	19,3780	30,0374
8	180	40,4796	5,1930	3,7008	19,2181	26,9668
9	120	51,4795	4,7875	3,9412	18,8684	22,9201
10	60	79,1992	4,0943	4,3720	17,9003	16,7637
10	4980	326,7993	58,1555	33,2118	187,7590	346,9435

Ln (A) = 6,9058

A = 998,0483

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	12,8147	7,2724	2,5506	18,5489	52,8878
2	1080	15,5485	6,9847	2,7440	19,1658	48,7863
3	720	20,5036	6,5793	3,0206	19,8733	43,2865
4	480	26,1421	6,1738	3,2635	20,1484	38,1156
5	360	31,2679	5,8861	3,4426	20,2635	34,6462
6	300	35,0611	5,7038	3,5571	20,2889	32,5331
7	240	39,9820	5,4806	3,6884	20,2149	30,0374
8	180	47,1582	5,1930	3,8535	20,0111	26,9668
9	120	59,9729	4,7875	4,0939	19,5995	22,9201
10	60	92,2661	4,0943	4,5247	18,5256	16,7637
10	4980	380,7171	58,1555	34,7389	196,6399	346,9435

$$\ln(A) = 7,0585 \quad A = 1162,7140 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para $T = 10$ años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14,0163	7,2724	2,6402	19,2007	52,8878
2	1080	17,0065	6,9847	2,8336	19,7918	48,7863
3	720	22,4261	6,5793	3,1102	20,4630	43,2865
4	480	28,5933	6,1738	3,3532	20,7018	38,1156
5	360	34,1998	5,8861	3,5322	20,7910	34,6462
6	300	38,3486	5,7038	3,6467	20,8001	32,5331
7	240	43,7309	5,4806	3,7781	20,7062	30,0374
8	180	51,5800	5,1930	3,9431	20,4765	26,9668
9	120	65,5964	4,7875	4,1835	20,0286	22,9201
10	60	100,9175	4,0943	4,6143	18,8925	16,7637
10	4980	416,4154	58,1555	35,6352	201,8522	346,9435

$$\ln(A) = 7,1481 \quad A = 1271,737 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para $T = 25$ años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15,5345	7,2724	2,7431	19,9487	52,8878
2	1080	18,8486	6,9847	2,9364	20,5102	48,7863
3	720	24,8552	6,5793	3,2131	21,1396	43,2865
4	480	31,6904	6,1738	3,4560	21,3367	38,1156
5	360	37,9042	5,8861	3,6351	21,3964	34,6462
6	300	42,5025	5,7038	3,7496	21,3867	32,5331
7	240	48,4677	5,4806	3,8809	21,2698	30,0374
8	180	57,1670	5,1930	4,0460	21,0106	26,9668
9	120	72,7016	4,7875	4,2864	20,5209	22,9201
10	60	111,8486	4,0943	4,7171	19,3136	16,7637
10	4980	461,5203	58,1555	36,6636	207,8331	346,9435

$$\ln(A) = 7,2510 \quad A = 1409,4878 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,6608	7,2724	2,8131	20,4577	52,8878
2	1080	20,2151	6,9847	3,0064	20,9991	48,7863
3	720	26,6573	6,5793	3,2831	21,6001	43,2865
4	480	33,9881	6,1738	3,5260	21,7688	38,1156
5	360	40,6524	5,8861	3,7051	21,8084	34,6462
6	300	45,5840	5,7038	3,8196	21,7859	32,5331
7	240	51,9817	5,4806	3,9509	21,6534	30,0374
8	180	61,3118	5,1930	4,1160	21,3741	26,9668
9	120	77,9726	4,7875	4,3564	20,8560	22,9201
10	60	119,9579	4,0943	4,7871	19,6002	16,7637
10	4980	494,9817	58,1555	37,3635	211,9037	346,9435

$Ln(A) = 7,3210$ $A = 1511,6792$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,3155	7,2724	2,8516	20,7380	52,8878
2	1080	21,0094	6,9847	3,0450	21,2683	48,7863
3	720	27,7047	6,5793	3,3216	21,8537	43,2865
4	480	35,3235	6,1738	3,5645	22,0068	38,1156
5	360	42,2497	5,8861	3,7436	22,0352	34,6462
6	300	47,3751	5,7038	3,8581	22,0057	32,5331
7	240	54,0242	5,4806	3,9894	21,8646	30,0374
8	180	63,7209	5,1930	4,1545	21,5742	26,9668
9	120	81,0364	4,7875	4,3949	21,0405	22,9201
10	60	124,6713	4,0943	4,8257	19,7580	16,7637
10	4980	514,4308	58,1555	37,7489	214,1450	346,9435

$Ln(A) = 7,3595$ $A = 1571,0768$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,7788	7,2724	2,8780	20,9300	52,8878
2	1080	21,5716	6,9847	3,0714	21,4527	48,7863
3	720	28,4461	6,5793	3,3480	22,0274	43,2865
4	480	36,2687	6,1738	3,5910	22,1698	38,1156
5	360	43,3803	5,8861	3,7700	22,1906	34,6462
6	300	48,6428	5,7038	3,8845	22,1564	32,5331
7	240	55,4698	5,4806	4,0158	22,0094	30,0374
8	180	65,4260	5,1930	4,1809	21,7113	26,9668
9	120	83,2047	4,7875	4,4213	21,1670	22,9201
10	60	128,0073	4,0943	4,8521	19,8661	16,7637
10	4980	528,1960	58,1555	38,0130	215,6807	346,9435

$Ln(A) = 7,3859$ $A = 1613,1161$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	20,3623	7,2724	3,0137	21,9167	52,8878
2	1080	24,7062	6,9847	3,2071	22,4004	48,7863
3	720	32,5796	6,5793	3,4837	22,9201	43,2865
4	480	41,5390	6,1738	3,7266	23,0074	38,1156
5	360	49,6839	5,8861	3,9057	22,9892	34,6462
6	300	55,7112	5,7038	4,0202	22,9302	32,5331
7	240	63,5303	5,4806	4,1515	22,7530	30,0374
8	180	74,9331	5,1930	4,3166	22,4159	26,9668
9	120	95,2954	4,7875	4,5570	21,8165	22,9201
10	60	146,6083	4,0943	4,9878	20,4216	16,7637
10	4980	604,9493	58,1555	39,3698	223,5710	346,9435

$Ln(A) = 7,5216$ $A = 1847,5212$ $B = -0,6164$

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	998,04832861129	-0,6163860881
5	1162,71397097769	-0,6163860881
10	1271,73695425456	-0,6163860881
25	1409,48778263920	-0,6163860881
50	1511,67921625476	-0,6163860881
75	1571,07677356200	-0,6163860881
100	1613,11608436564	-0,6163860881
500	1847,52120144214	-0,6163860881
Promedio =	1423,17253901341	-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	998,0483	0,6931	6,9058	4,7867	0,4805
2	5	1162,7140	1,6094	7,0585	11,3602	2,5903
3	10	1271,7370	2,3026	7,1481	16,4592	5,3019
4	25	1409,4878	3,2189	7,2510	23,3400	10,3612
5	50	1511,6792	3,9120	7,3210	28,6398	15,3039
6	75	1571,0768	4,3175	7,3595	31,7746	18,6407
7	100	1613,1161	4,6052	7,3859	34,0134	21,2076
8	500	1847,5212	6,2146	7,5216	46,7438	38,6214
8	767	11385,3803	26,8733	57,9515	197,1179	112,5074

$$\ln(A) = 6,8739 \quad A = 966,7234 \quad B = 0,1102$$

Término constante de regresión (a) = 966,7234

Coef. de regresión (b) = 0,110152

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

$$I = \frac{966,7234 * T^{0,110152}}{t}$$

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 - Periodo de retorno

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	386,92	252,39	196,58	164,64	143,48	128,23
5	428,02	279,20	217,45	182,12	158,72	141,85
10	461,98	301,35	234,71	196,57	171,31	153,10
25	511,04	333,35	259,63	217,45	189,50	169,36
50	551,58	359,80	280,23	234,70	204,54	182,80
75	576,78	376,23	293,03	245,42	213,88	191,15
100	595,35	388,35	302,47	253,32	220,77	197,30
500	710,83	463,67	361,14	302,46	263,59	235,57

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	116,61	107,39	99,87	93,59	88,25	83,64
5	128,99	118,80	110,48	103,53	97,62	92,53
10	139,22	128,22	119,24	111,75	105,37	99,87
25	154,01	141,84	131,91	123,61	116,56	110,47
50	166,23	153,09	142,37	133,42	125,81	119,24
75	173,82	160,09	148,88	139,52	131,56	124,69
100	179,42	165,24	153,67	144,01	135,79	128,70
500	214,22	197,29	183,48	171,94	162,13	153,66

