

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	4	1,8	120,3	323,3	483,7	474,5	558,3	468,3	456,4	254	276,9	315,9	558,3
2002	9,6		322,1	264,9	768,1	576,6	731,6	423,2	356	261	191,7	94,8	768,1
2003		8,1	191,2	517,6	542,3	491,6	531,8	442,1	438,2	328,2	446,9	97,9	542,3
2004	4,5	130,6	160,4	468,7	107,9	568,7	534,9	466	322,2	294,3	219,2	157,8	568,7
2005	44,2	151,1	140,1	503,4	750,7	530,6	492,5	359,1	477,9	475,1	290,3	104,5	750,7
2006	134,7	6,3	134,6	412,8	634,2	665,2	382,8	397,5	218,7	314,7	298	40,7	665,2
2007	0,5	39,9	234,2	351	635,3	530	250,7	458,8	499,8	398,5	144,2	60,6	635,3
2008	15	23,5	40,2	226,2	546,3	906,9	598,6	353,5	639,3	351,2	254,2	36,1	906,9
2009	103,3	32,8	122,1	285,2	329,4	619,2	512,1	552,3	316,6	261,6	267,2	31	619,2
2010		95,7	451,1	414,7	678,3	408,3	518,9	352,1	213,3	237,4	395		678,3
2011	28,5	22,1	76,5	393,1	776,6								776,6
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	906,9

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
1	2001	DIC	558,3	14581,66
2	2002	ENE	768,1	7929,09
3	2003	FEB	542,3	18701,81
4	2004	FEB	568,7	12178,13
5	2005	DIC	750,7	5133,07
6	2006	MAR	665,2	191,95
7	2007	FEB	635,3	1914,46
8	2008	DIC	906,9	51913,55
9	2009	FEB	619,2	3582,57
10	2010	DIC	678,3	0,57
11	2011	ENE	776,6	9515,12
Suma			7469,6	125641,97

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 679,05 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 112,09 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 87,40 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 628,61 \text{ mm}$$

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	660,6413	0,5000	746,5246
5	1,4999	759,6986	0,8000	858,4594
10	2,2504	825,2832	0,9000	932,5700
25	3,1985	908,1495	0,9600	1026,2089
50	3,9019	969,6244	0,9800	1095,6756
75	4,3108	1005,3560	0,9867	1136,0523
100	4,6001	1030,6455	0,9900	1164,6294
500	6,2136	1171,6558	0,9980	1323,9710

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	746,5	858,5	932,6	1026,2	1095,7	1136,1	1164,6	1324,0
18 hr	X18 = 91%	679,3	781,2	848,6	933,9	997,1	1033,8	1059,8	1204,8
12 hr	X12 = 80%	597,2	686,8	746,1	821,0	876,5	908,8	931,7	1059,2
8 hr	X8 = 68%	507,6	583,8	634,1	697,8	745,1	772,5	791,9	900,3
6 hr	X6 = 61%	455,4	523,7	568,9	626,0	668,4	693,0	710,4	807,6
5 hr	X5 = 57%	425,5	489,3	531,6	584,9	624,5	647,5	663,8	754,7
4 hr	X4 = 52%	388,2	446,4	484,9	533,6	569,8	590,7	605,6	688,5
3 hr	X3 = 46%	343,4	394,9	429,0	472,1	504,0	522,6	535,7	609,0
2 hr	X2 = 39%	291,1	334,8	363,7	400,2	427,3	443,1	454,2	516,3
1 hr	X1 = 30%	224,0	257,5	279,8	307,9	328,7	340,8	349,4	397,2

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	31,1052	35,7691	38,8571	42,7587	45,6532	47,3355	48,5262	55,1655
18 hr	1080	37,7410	43,3999	47,1466	51,8806	55,3925	57,4338	58,8785	66,9341
12 hr	720	49,7683	57,2306	62,1713	68,4139	73,0450	75,7368	77,6420	88,2647
8 hr	480	63,4546	72,9691	79,2685	87,2278	93,1324	96,5644	98,9935	112,5375
6 hr	360	75,8967	87,2767	94,8113	104,3312	111,3937	115,4987	118,4040	134,6037
5 hr	300	85,1038	97,8644	106,3130	116,9878	124,9070	129,5100	132,7678	150,9327
4 hr	240	97,0482	111,5997	121,2341	133,4072	142,4378	147,6868	151,4018	172,1162
3 hr	180	114,4671	131,6304	142,9941	157,3520	168,0036	174,1947	178,5765	203,0089
2 hr	120	145,5723	167,3996	181,8512	200,1107	213,6567	221,5302	227,1027	258,1743
1 hr	60	223,9574	257,5378	279,7710	307,8627	328,7027	340,8157	349,3888	397,1913

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	31,1052	7,2724	3,4374	24,9980	52,8878
2	1080	37,7410	6,9847	3,6307	25,3597	48,7863
3	720	49,7683	6,5793	3,9074	25,7076	43,2865
4	480	63,4546	6,1738	4,1503	25,6232	38,1156
5	360	75,8967	5,8861	4,3294	25,4831	34,6462
6	300	85,1038	5,7038	4,4439	25,3469	32,5331
7	240	97,0482	5,4806	4,5752	25,0751	30,0374
8	180	114,4671	5,1930	4,7403	24,6161	26,9668
9	120	145,5723	4,7875	4,9807	23,8449	22,9201
10	60	223,9574	4,0943	5,4115	22,1564	16,7637
10	4980	924,1146	58,1555	43,6067	248,2110	346,9435

$$\ln(A) = 7,9453 \quad A = 2822,2552 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	35,7691	7,2724	3,5771	26,0140	52,8878
2	1080	43,3999	6,9847	3,7705	26,3356	48,7863
3	720	57,2306	6,5793	4,0471	26,6268	43,2865
4	480	72,9691	6,1738	4,2900	26,4858	38,1156
5	360	87,2767	5,8861	4,4691	26,3055	34,6462
6	300	97,8644	5,7038	4,5836	26,1438	32,5331
7	240	111,5997	5,4806	4,7149	25,8408	30,0374
8	180	131,6304	5,1930	4,8800	25,3416	26,9668
9	120	167,3996	4,7875	5,1204	24,5138	22,9201
10	60	257,5378	4,0943	5,5512	22,7284	16,7637
10	4980	1062,6774	58,1555	45,0038	256,3360	346,9435

$Ln(A) = 8,0850$ $A = 3245,4276$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	38,8571	7,2724	3,6599	26,6162	52,8878
2	1080	47,1466	6,9847	3,8533	26,9139	48,7863
3	720	62,1713	6,5793	4,1299	27,1716	43,2865
4	480	79,2685	6,1738	4,3728	26,9970	38,1156
5	360	94,8113	5,8861	4,5519	26,7929	34,6462
6	300	106,3130	5,7038	4,6664	26,6161	32,5331
7	240	121,2341	5,4806	4,7977	26,2946	30,0374
8	180	142,9941	5,1930	4,9628	25,7716	26,9668
9	120	181,8512	4,7875	5,2032	24,9102	22,9201
10	60	279,7710	4,0943	5,6340	23,0674	16,7637
10	4980	1154,4181	58,1555	45,8318	261,1515	346,9435

$Ln(A) = 8,1678$ $A = 3525,604$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	42,7587	7,2724	3,7556	27,3120	52,8878
2	1080	51,8806	6,9847	3,9489	27,5823	48,7863
3	720	68,4139	6,5793	4,2256	27,8011	43,2865
4	480	87,2278	6,1738	4,4685	27,5877	38,1156
5	360	104,3312	5,8861	4,6476	27,3561	34,6462
6	300	116,9878	5,7038	4,7621	27,1618	32,5331
7	240	133,4072	5,4806	4,8934	26,8190	30,0374
8	180	157,3520	5,1930	5,0585	26,2685	26,9668
9	120	200,1107	4,7875	5,2989	25,3683	22,9201
10	60	307,8627	4,0943	5,7297	23,4592	16,7637
10	4980	1270,3326	58,1555	46,7887	266,7160	346,9435

$Ln(A) = 8,2635$ $A = 3879,6088$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	45,6532	7,2724	3,8211	27,7884	52,8878
2	1080	55,3925	6,9847	4,0144	28,0398	48,7863
3	720	73,0450	6,5793	4,2911	28,2321	43,2865
4	480	93,1324	6,1738	4,5340	27,9921	38,1156
5	360	111,3937	5,8861	4,7131	27,7416	34,6462
6	300	124,9070	5,7038	4,8276	27,5354	32,5331
7	240	142,4378	5,4806	4,9589	27,1780	30,0374
8	180	168,0036	5,1930	5,1240	26,6086	26,9668
9	120	213,6567	4,7875	5,3644	25,6819	22,9201
10	60	328,7027	4,0943	5,7952	23,7274	16,7637
10	4980	1356,3247	58,1555	47,4437	270,5251	346,9435

$Ln(A) = 8,3290$ $A = 4142,2294$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	47,3355	7,2724	3,8573	28,0515	52,8878
2	1080	57,4338	6,9847	4,0506	28,2925	48,7863
3	720	75,7368	6,5793	4,3273	28,4702	43,2865
4	480	96,5644	6,1738	4,5702	28,2155	38,1156
5	360	115,4987	5,8861	4,7493	27,9546	34,6462
6	300	129,5100	5,7038	4,8638	27,7418	32,5331
7	240	147,6868	5,4806	4,9951	27,3763	30,0374
8	180	174,1947	5,1930	5,1602	26,7966	26,9668
9	120	221,5302	4,7875	5,4006	25,8551	22,9201
10	60	340,8157	4,0943	5,8313	23,8755	16,7637
10	4980	1406,3065	58,1555	47,8056	272,6297	346,9435

$Ln(A) = 8,3652$ $A = 4294,8745$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	48,5262	7,2724	3,8821	28,2322	52,8878
2	1080	58,8785	6,9847	4,0755	28,4660	48,7863
3	720	77,6420	6,5793	4,3521	28,6336	43,2865
4	480	98,9935	6,1738	4,5951	28,3689	38,1156
5	360	118,4040	5,8861	4,7741	28,1009	34,6462
6	300	132,7678	5,7038	4,8886	27,8835	32,5331
7	240	151,4018	5,4806	5,0199	27,5125	30,0374
8	180	178,5765	5,1930	5,1850	26,9256	26,9668
9	120	227,1027	4,7875	5,4254	25,9741	22,9201
10	60	349,3888	4,0943	5,8562	23,9772	16,7637
10	4980	1441,6818	58,1555	48,0540	274,0745	346,9435

$Ln(A) = 8,3900$ $A = 4402,9108$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	55,1655	7,2724	4,0103	29,1648	52,8878
2	1080	66,9341	6,9847	4,2037	29,3617	48,7863
3	720	88,2647	6,5793	4,4803	29,4773	43,2865
4	480	112,5375	6,1738	4,7233	29,1606	38,1156
5	360	134,6037	5,8861	4,9023	28,8557	34,6462
6	300	150,9327	5,7038	5,0168	28,6149	32,5331
7	240	172,1162	5,4806	5,1482	28,2153	30,0374
8	180	203,0089	5,1930	5,3132	27,5915	26,9668
9	120	258,1743	4,7875	5,5536	26,5880	22,9201
10	60	397,1913	4,0943	5,9844	24,5023	16,7637
10	4980	1638,9290	58,1555	49,3363	281,5319	346,9435

$Ln(A) = 8,5183$ $A = 5005,3058$ $B = -0,6164$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	2822,25522090069	-0,6163860881
5	3245,42756739434	-0,6163860881
10	3525,60448221390	-0,6163860881
25	3879,60875682340	-0,6163860881
50	4142,22935048954	-0,6163860881
75	4294,87445204465	-0,6163860881
100	4402,91079491602	-0,6163860881
500	5005,30581793282	-0,6163860881
Promedio =	3914,77705533942	-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	2822,2552	0,6931	7,9453	5,5073	0,4805
2	5	3245,4276	1,6094	8,0850	13,0123	2,5903
3	10	3525,6045	2,3026	8,1678	18,8071	5,3019
4	25	3879,6088	3,2189	8,2635	26,5991	10,3612
5	50	4142,2294	3,9120	8,3290	32,5832	15,3039
6	75	4294,8745	4,3175	8,3652	36,1166	18,6407
7	100	4402,9108	4,6052	8,3900	38,6375	21,2076
8	500	5005,3058	6,2146	8,5183	52,9376	38,6214
8	767	31318,2164	26,8733	66,0640	224,2006	112,5074

$$\ln(A) = 7,9135 \quad A = 2733,8892 \quad B = 0,1026$$

Término constante de regresión (a) = 2733,8892

Coef. de regresión (b) = 0,102562

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

$$I = \frac{2733,8892 * T^{0,102562}}{0,61639 t}$$

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	1088,48	710,02	553,00	463,15	403,63	360,73
5	1195,73	779,98	607,49	508,78	443,40	396,27
10	1283,83	837,45	652,25	546,27	476,07	425,47
25	1410,33	919,96	716,52	600,09	522,98	467,39
50	1514,24	987,75	769,32	644,31	561,51	501,83
75	1578,54	1029,69	801,98	671,67	585,36	523,14
100	1625,81	1060,52	826,00	691,78	602,89	538,80
500	1917,60	1250,86	974,24	815,94	711,09	635,50

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	328,03	302,11	280,96	263,29	248,27	235,30
5	360,35	331,88	308,64	289,23	272,73	258,49
10	386,90	356,33	331,38	310,54	292,82	277,53
25	425,03	391,44	364,03	341,14	321,68	304,88
50	456,34	420,28	390,85	366,28	345,38	327,34
75	475,72	438,13	407,45	381,83	360,04	341,24
100	489,96	451,25	419,65	393,26	370,83	351,46
500	577,90	532,24	494,97	463,84	437,38	414,54

