

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	5,3	28,8	170,2	397,1	557,5	484,8	378,7	390,7	508,1	149,6	256,8	180,8	557,5
2002	14,8	22,9	211,8	318,8	640,6	433,5	549,7	547,9	330,6	342,9	160,7	114,9	640,6
2003	5,7	58,8	216,5	363,8	557,8	479,4	513,3	398,7	407,8	208,5	328,4	101,1	557,8
2004	22,7	63,0	297,2	337,7	955,6	785,5	696,1	483,6	450,3	339,3	218,7	95,7	955,6
2005	78,5	137,7	216,4	447,3	743,3	509,4	466,3	379,8	482,7	388,1	273,0	70,9	743,3
2006	193,6	42,7	233,8	496,3	439,9	703,3	391,4	295,7	198,4	320,8	232,3	61,8	703,3
2007	32,8	44,6	247,5	503,2	693,1	585,6	236,8	473,2	396,9	229,1	366,4	75,9	693,1
2008	75,4	33,3	48,2	174,9	549,9	752,3	563,2	521,5	434,2	306,1	283,7	89,0	752,3
2009	50,3	51,1	147,4	240,5	346,6	597,4	305,8	382,1	244,2	313,1	253,6	84,8	597,4
2010	0	70,2	277,6	380,8	524,2	473,7	370,3	267,5	205,9	250,2	219,2	185,0	524,2
2011	31,6	45,8	165,5	321,6	532,2	380,5	277,8	390,5	398,5	331,4	277,5	137,0	532,2
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	955,6

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	557,5	10455,99
2	2002	ENE	640,6	366,90
3	2003	FEB	557,8	10394,73
4	2004	FEB	955,6	87524,53
5	2005	DIC	743,3	6979,84
6	2006	MAR	703,3	1896,21
7	2007	FEB	693,1	1111,92
8	2008	DIC	752,3	8564,66
9	2009	FEB	597,4	3888,09
10	2010	DIC	524,2	18375,03
11	2011	ENE	532,2	16270,16
Suma			7257,3	#####

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 659,75 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 128,77 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 100,40 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 601,80 \text{ mm}$$

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	638,6005	0,5000	721,6186
5	1,4999	752,4021	0,8000	850,2144
10	2,2504	827,7487	0,9000	935,3560
25	3,1985	922,9493	0,9600	1042,9327
50	3,9019	993,5745	0,9800	1122,7392
75	4,3108	1034,6246	0,9867	1169,1258
100	4,6001	1063,6782	0,9900	1201,9564
500	6,2136	1225,6773	0,9980	1385,0153

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	721,6	850,2	935,4	1042,9	1122,7	1169,1	1202,0	1385,0
18 hr	X18 = 91%	656,7	773,7	851,2	949,1	1021,7	1063,9	1093,8	1260,4
12 hr	X12 = 80%	577,3	680,2	748,3	834,3	898,2	935,3	961,6	1108,0
8 hr	X8 = 68%	490,7	578,1	636,0	709,2	763,5	795,0	817,3	941,8
6 hr	X6 = 61%	440,2	518,6	570,6	636,2	684,9	713,2	733,2	844,9
5 hr	X5 = 57%	411,3	484,6	533,2	594,5	640,0	666,4	685,1	789,5
4 hr	X4 = 52%	375,2	442,1	486,4	542,3	583,8	607,9	625,0	720,2
3 hr	X3 = 46%	331,9	391,1	430,3	479,7	516,5	537,8	552,9	637,1
2 hr	X2 = 39%	281,4	331,6	364,8	406,7	437,9	456,0	468,8	540,2
1 hr	X1 = 30%	216,5	255,1	280,6	312,9	336,8	350,7	360,6	415,5

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	30,0674	35,4256	38,9732	43,4555	46,7808	48,7136	50,0815	57,7090
18 hr	1080	36,4818	42,9831	47,2874	52,7260	56,7607	59,1058	60,7656	70,0202
12 hr	720	48,1079	56,6810	62,3571	69,5288	74,8493	77,9417	80,1304	92,3344
8 hr	480	61,3376	72,2682	79,5053	88,6493	95,4328	99,3757	102,1663	117,7263
6 hr	360	73,3646	86,4385	95,0945	106,0315	114,1451	118,8611	122,1989	140,8099
5 hr	300	82,2645	96,9244	#####	118,8943	127,9923	133,2803	137,0230	157,8917
4 hr	240	93,8104	110,5279	#####	135,5812	145,9561	151,9863	156,2543	180,0520
3 hr	180	#####	130,3662	#####	159,9163	172,1533	179,2660	184,3000	212,3690
2 hr	120	#####	165,7918	#####	203,3719	218,9341	227,9795	234,3815	270,0780
1 hr	60	#####	255,0643	#####	312,8798	336,8218	350,7377	360,5869	415,5046

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	30,0674	7,2724	3,4034	24,7512	52,8878
2	1080	36,4818	6,9847	3,5968	25,1227	48,7863
3	720	48,1079	6,5793	3,8734	25,4844	43,2865
4	480	61,3376	6,1738	4,1164	25,4137	38,1156
5	360	73,3646	5,8861	4,2954	25,2834	34,6462
6	300	82,2645	5,7038	4,4099	25,1533	32,5331
7	240	93,8104	5,4806	4,5413	24,8891	30,0374
8	180	110,6482	5,1930	4,7064	24,4399	26,9668
9	120	140,7156	4,7875	4,9467	23,6825	22,9201
10	60	216,4856	4,0943	5,3775	22,0174	16,7637
10	4980	893,2837	58,1555	43,2674	246,2377	346,9435

$$\ln(A) = 7,9114 \quad A = 2728,0973 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para $T = 5$ años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	35,4256	7,2724	3,5674	25,9438	52,8878
2	1080	42,9831	6,9847	3,7608	26,2682	48,7863
3	720	56,6810	6,5793	4,0374	26,5633	43,2865
4	480	72,2682	6,1738	4,2804	26,4262	38,1156
5	360	86,4385	5,8861	4,4594	26,2487	34,6462
6	300	96,9244	5,7038	4,5739	26,0887	32,5331
7	240	110,5279	5,4806	4,7053	25,7879	30,0374
8	180	130,3662	5,1930	4,8703	25,2915	26,9668
9	120	165,7918	4,7875	5,1107	24,4676	22,9201
10	60	255,0643	4,0943	5,5415	22,6889	16,7637
10	4980	1052,4710	58,1555	44,9073	255,7747	346,9435

$Ln(A) = 8,0754$ $A = 3214,2570$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para $T = 10$ años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	38,9732	7,2724	3,6629	26,6379	52,8878
2	1080	47,2874	6,9847	3,8562	26,9348	48,7863
3	720	62,3571	6,5793	4,1329	27,1912	43,2865
4	480	79,5053	6,1738	4,3758	27,0154	38,1156
5	360	95,0945	5,8861	4,5549	26,8104	34,6462
6	300	106,6306	5,7038	4,6694	26,6331	32,5331
7	240	121,5963	5,4806	4,8007	26,3109	30,0374
8	180	143,4213	5,1930	4,9658	25,7871	26,9668
9	120	182,3944	4,7875	5,2062	24,9245	22,9201
10	60	280,6068	4,0943	5,6370	23,0796	16,7637
10	4980	1157,8668	58,1555	45,8617	261,3250	346,9435

$Ln(A) = 8,1708$ $A = 3536,137$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para $T = 25$ años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	43,4555	7,2724	3,7717	27,4296	52,8878
2	1080	52,7260	6,9847	3,9651	27,6952	48,7863
3	720	69,5288	6,5793	4,2417	27,9075	43,2865
4	480	88,6493	6,1738	4,4847	27,6875	38,1156
5	360	106,0315	5,8861	4,6637	27,4512	34,6462
6	300	118,8943	5,7038	4,7782	27,2540	32,5331
7	240	135,5812	5,4806	4,9096	26,9076	30,0374
8	180	159,9163	5,1930	5,0747	26,3524	26,9668
9	120	203,3719	4,7875	5,3150	25,4457	22,9201
10	60	312,8798	4,0943	5,7458	23,5254	16,7637
10	4980	1291,0348	58,1555	46,9503	267,6561	346,9435

$Ln(A) = 8,2797$ $A = 3942,8333$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	46,7808	7,2724	3,8455	27,9658	52,8878
2	1080	56,7607	6,9847	4,0388	28,2102	48,7863
3	720	74,8493	6,5793	4,3155	28,3926	43,2865
4	480	95,4328	6,1738	4,5584	28,1427	38,1156
5	360	114,1451	5,8861	4,7375	27,8852	34,6462
6	300	127,9923	5,7038	4,8520	27,6746	32,5331
7	240	145,9561	5,4806	4,9833	27,3117	30,0374
8	180	172,1533	5,1930	5,1484	26,7353	26,9668
9	120	218,9341	4,7875	5,3888	25,7987	22,9201
10	60	336,8218	4,0943	5,8196	23,8273	16,7637
10	4980	1389,8264	58,1555	47,6877	271,9441	346,9435

$Ln(A) = 8,3534$ $A = 4244,5438$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	48,7136	7,2724	3,8860	28,2602	52,8878
2	1080	59,1058	6,9847	4,0793	28,4930	48,7863
3	720	77,9417	6,5793	4,3560	28,6590	43,2865
4	480	99,3757	6,1738	4,5989	28,3927	38,1156
5	360	118,8611	5,8861	4,7780	28,1235	34,6462
6	300	133,2803	5,7038	4,8925	27,9055	32,5331
7	240	151,9863	5,4806	5,0238	27,5336	30,0374
8	180	179,2660	5,1930	5,1889	26,9456	26,9668
9	120	227,9795	4,7875	5,4293	25,9925	22,9201
10	60	350,7377	4,0943	5,8600	23,9930	16,7637
10	4980	1447,2478	58,1555	48,0925	274,2986	346,9435

$Ln(A) = 8,3939$ $A = 4419,9094$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	50,0815	7,2724	3,9137	28,4616	52,8878
2	1080	60,7656	6,9847	4,1070	28,6864	48,7863
3	720	80,1304	6,5793	4,3837	28,8412	43,2865
4	480	102,1663	6,1738	4,6266	28,5637	38,1156
5	360	122,1989	5,8861	4,8057	28,2866	34,6462
6	300	137,0230	5,7038	4,9201	28,0635	32,5331
7	240	156,2543	5,4806	5,0515	27,6854	30,0374
8	180	184,3000	5,1930	5,2166	27,0894	26,9668
9	120	234,3815	4,7875	5,4570	26,1251	22,9201
10	60	360,5869	4,0943	5,8877	24,1064	16,7637
10	4980	1487,8885	58,1555	48,3695	275,9091	346,9435

$Ln(A) = 8,4216$ $A = 4544,0265$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	57,7090	7,2724	4,0554	29,4926	52,8878
2	1080	70,0202	6,9847	4,2488	29,6766	48,7863
3	720	92,3344	6,5793	4,5254	29,7739	43,2865
4	480	117,7263	6,1738	4,7684	29,4388	38,1156
5	360	140,8099	5,8861	4,9474	29,1210	34,6462
6	300	157,8917	5,7038	5,0619	28,8720	32,5331
7	240	180,0520	5,4806	5,1932	28,4623	30,0374
8	180	212,3690	5,1930	5,3583	27,8256	26,9668
9	120	270,0780	4,7875	5,5987	26,8038	22,9201
10	60	415,5046	4,0943	6,0295	24,6868	16,7637
10	4980	1714,4951	58,1555	49,7871	284,1533	346,9435

$Ln(A) = 8,5633$ $A = 5236,0854$ $B = -0,6164$

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	2728,09734680832	-0,6163860881
5	3214,25702430021	-0,6163860881
10	3536,13703294940	-0,6163860881
25	3942,83327716450	-0,6163860881
50	4244,54378395317	-0,6163860881
75	4419,90943333388	-0,6163860881
100	4544,02650771915	-0,6163860881
500	5236,08536397264	-0,6163860881
Promedio =	3983,23622127516	-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	2728,0973	0,6931	7,9114	5,4837	0,4805
2	5	3214,2570	1,6094	8,0754	12,9968	2,5903
3	10	3536,1370	2,3026	8,1708	18,8139	5,3019
4	25	3942,8333	3,2189	8,2797	26,6512	10,3612
5	50	4244,5438	3,9120	8,3534	32,6787	15,3039
6	75	4419,9094	4,3175	8,3939	36,2405	18,6407
7	100	4544,0265	4,6052	8,4216	38,7828	21,2076
8	500	5236,0854	6,2146	8,5633	53,2177	38,6214
8	767	31865,8898	26,8733	66,1693	224,8652	112,5074

$$\ln(A) = 7,8797 \quad A = 2642,9912 \quad B = 0,1165$$

Término constante de regresión (a) = 2642,9912

Coef. de regresión (b) = 0,116546

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

$$I = \frac{2642,9912 * T^{0,116546}}{t^{0,61639}}$$

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	1062,54	693,10	539,83	452,11	394,01	352,13
5	1182,29	771,21	600,66	503,06	438,42	391,81
10	1281,76	836,10	651,20	545,39	475,30	424,78
25	1426,21	930,32	724,59	606,85	528,87	472,65
50	1546,21	1008,60	785,56	657,91	573,37	512,42
75	1621,03	1057,40	823,57	689,75	601,11	537,22
100	1676,30	1093,46	851,65	713,27	621,61	555,53
500	2022,16	1319,06	1027,36	860,43	749,86	670,15

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	320,21	294,91	274,26	257,01	242,35	229,70
5	356,30	328,15	305,17	285,98	269,66	255,58
10	386,28	355,76	330,85	310,04	292,35	277,09
25	429,81	395,85	368,13	344,98	325,30	308,31
50	465,97	429,16	399,10	374,01	352,67	334,25
75	488,52	449,92	418,42	392,11	369,74	350,43
100	505,18	465,27	432,68	405,48	382,34	362,38
500	609,41	561,26	521,96	489,14	461,23	437,14

