

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	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	26,8	9,5	64,4	110,3	84,8	178,7	128,9	178,4	74,0	71,3	46,6	1,2	178,7
2010	4,2	28,9	95,5	155,2	179,3	150,9	165,0	100,5	37,1	81,3	93,9	72,9	179,3
2011	5,0	48,2	85,7	254,3	293,4	249,6	127,3	154,3	161,0	183,6	218,9	35,6	293,4
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 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	153,4	6984,40
2	2002	ENE	228,2	76,96
3	2003	FEB	362,0	15631,82
4	2004	FEB	275,2	1461,32
5	2005	DIC	227,3	93,56
6	2006	MAR	276,8	1586,21
7	2007	FEB	204,3	1067,51
8	2008	DIC	228,1	78,73
9	2009	FEB	178,7	3395,71
10	2010	DIC	179,3	3326,14
11	2011	ENE	293,4	3184,04
Suma			2606,7	36886,40

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 236,97 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 60,73 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 47,35 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 209,64 \text{ mm}$$

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	226,9958	0,5000	256,5053
5	1,4999	280,6684	0,8000	317,1553
10	2,2504	316,2043	0,9000	357,3109
25	3,1985	361,1040	0,9600	408,0476
50	3,9019	394,4132	0,9800	445,6869
75	4,3108	413,7738	0,9867	467,5644
100	4,6001	427,4764	0,9900	483,0484
500	6,2136	503,8805	0,9980	569,3850

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	256,5	317,2	357,3	408,0	445,7	467,6	483,0	569,4
18 hr	X18 = 91%	233,4	288,6	325,2	371,3	405,6	425,5	439,6	518,1
12 hr	X12 = 80%	205,2	253,7	285,8	326,4	356,5	374,1	386,4	455,5
8 hr	X8 = 68%	174,4	215,7	243,0	277,5	303,1	317,9	328,5	387,2
6 hr	X6 = 61%	156,5	193,5	218,0	248,9	271,9	285,2	294,7	347,3
5 hr	X5 = 57%	146,2	180,8	203,7	232,6	254,0	266,5	275,3	324,5
4 hr	X4 = 52%	133,4	164,9	185,8	212,2	231,8	243,1	251,2	296,1
3 hr	X3 = 46%	118,0	145,9	164,4	187,7	205,0	215,1	222,2	261,9
2 hr	X2 = 39%	100,0	123,7	139,4	159,1	173,8	182,4	188,4	222,1
1 hr	X1 = 30%	77,0	95,1	107,2	122,4	133,7	140,3	144,9	170,8

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	10,6877	13,2148	14,8880	17,0020	18,5703	19,4818	20,1270	23,7244
18 hr	1080	12,9678	16,0340	18,0640	20,6291	22,5320	23,6380	24,4208	28,7856
12 hr	720	17,1004	21,1437	23,8207	27,2032	29,7125	31,1710	32,2032	37,9590
8 hr	480	21,8029	26,9582	30,3714	34,6840	37,8834	39,7430	41,0591	48,3977
6 hr	360	26,0780	32,2441	36,3266	41,4848	45,3115	47,5357	49,1099	57,8875
5 hr	300	29,2416	36,1557	40,7334	46,5174	50,8083	53,3023	55,0675	64,9099
4 hr	240	33,3457	41,2302	46,4504	53,0462	57,9393	60,7834	62,7963	74,0200
3 hr	180	39,3308	48,6305	54,7877	62,5673	68,3387	71,6932	74,0674	87,3057
2 hr	120	50,0185	61,8453	69,6756	79,5693	86,9090	91,1751	94,1944	111,0301
1 hr	60	76,9516	95,1466	107,1933	122,4143	133,7061	140,2693	144,9145	170,8155

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	10,6877	7,2724	2,3691	17,2290	52,8878
2	1080	12,9678	6,9847	2,5625	17,8981	48,7863
3	720	17,1004	6,5793	2,8391	18,6791	43,2865
4	480	21,8029	6,1738	3,0820	19,0279	38,1156
5	360	26,0780	5,8861	3,2611	19,1951	34,6462
6	300	29,2416	5,7038	3,3756	19,2536	32,5331
7	240	33,3457	5,4806	3,5069	19,2202	30,0374
8	180	39,3308	5,1930	3,6720	19,0686	26,9668
9	120	50,0185	4,7875	3,9124	18,7306	22,9201
10	60	76,9516	4,0943	4,3432	17,7825	16,7637
10	4980	317,5250	58,1555	32,9239	186,0847	346,9435

Ln (A) = 6,8770 A = 969,7246 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	13,2148	7,2724	2,5813	18,7725	52,8878
2	1080	16,0340	6,9847	2,7747	19,3806	48,7863
3	720	21,1437	6,5793	3,0513	20,0755	43,2865
4	480	26,9582	6,1738	3,2943	20,3382	38,1156
5	360	32,2441	5,8861	3,4733	20,4444	34,6462
6	300	36,1557	5,7038	3,5878	20,4642	32,5331
7	240	41,2302	5,4806	3,7192	20,3834	30,0374
8	180	48,6305	5,1930	3,8843	20,1707	26,9668
9	120	61,8453	4,7875	4,1246	19,7467	22,9201
10	60	95,1466	4,0943	4,5554	18,6515	16,7637
10	4980	392,6030	58,1555	35,0463	198,4278	346,9435

$Ln(A) = 7,0893$ $A = 1199,0135$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14,8880	7,2724	2,7006	19,6395	52,8878
2	1080	18,0640	6,9847	2,8939	20,2132	48,7863
3	720	23,8207	6,5793	3,1706	20,8599	43,2865
4	480	30,3714	6,1738	3,4135	21,0742	38,1156
5	360	36,3266	5,8861	3,5926	21,1461	34,6462
6	300	40,7334	5,7038	3,7070	21,1442	32,5331
7	240	46,4504	5,4806	3,8384	21,0368	30,0374
8	180	54,7877	5,1930	4,0035	20,7898	26,9668
9	120	69,6756	4,7875	4,2439	20,3174	22,9201
10	60	107,1933	4,0943	4,6746	19,1396	16,7637
10	4980	442,3111	58,1555	36,2385	205,3608	346,9435

$Ln(A) = 7,2085$ $A = 1350,823$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,0020	7,2724	2,8333	20,6051	52,8878
2	1080	20,6291	6,9847	3,0267	21,1406	48,7863
3	720	27,2032	6,5793	3,3033	21,7335	43,2865
4	480	34,6840	6,1738	3,5463	21,8940	38,1156
5	360	41,4848	5,8861	3,7253	21,9277	34,6462
6	300	46,5174	5,7038	3,8398	21,9015	32,5331
7	240	53,0462	5,4806	3,9712	21,7645	30,0374
8	180	62,5673	5,1930	4,1362	21,4793	26,9668
9	120	79,5693	4,7875	4,3766	20,9531	22,9201
10	60	122,4143	4,0943	4,8074	19,6832	16,7637
10	4980	505,1175	58,1555	37,5662	213,0825	346,9435

$Ln(A) = 7,3412$ $A = 1542,6341$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,5703	7,2724	2,9216	21,2468	52,8878
2	1080	22,5320	6,9847	3,1149	21,7569	48,7863
3	720	29,7125	6,5793	3,3916	22,3140	43,2865
4	480	37,8834	6,1738	3,6345	22,4387	38,1156
5	360	45,3115	5,8861	3,8136	22,4470	34,6462
6	300	50,8083	5,7038	3,9281	22,4048	32,5331
7	240	57,9393	5,4806	4,0594	22,2481	30,0374
8	180	68,3387	5,1930	4,2245	21,9375	26,9668
9	120	86,9090	4,7875	4,4649	21,3755	22,9201
10	60	133,7061	4,0943	4,8956	20,0445	16,7637
10	4980	551,7109	58,1555	38,4486	218,2137	346,9435

$Ln(A) = 7,4295$ $A = 1684,9307$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	19,4818	7,2724	2,9695	21,5953	52,8878
2	1080	23,6380	6,9847	3,1629	22,0916	48,7863
3	720	31,1710	6,5793	3,4395	22,6292	43,2865
4	480	39,7430	6,1738	3,6824	22,7346	38,1156
5	360	47,5357	5,8861	3,8615	22,7291	34,6462
6	300	53,3023	5,7038	3,9760	22,6781	32,5331
7	240	60,7834	5,4806	4,1073	22,5107	30,0374
8	180	71,6932	5,1930	4,2724	22,1864	26,9668
9	120	91,1751	4,7875	4,5128	21,6049	22,9201
10	60	140,2693	4,0943	4,9436	20,2407	16,7637
10	4980	578,7927	58,1555	38,9278	221,0006	346,9435

$Ln(A) = 7,4774$ $A = 1767,6389$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	20,1270	7,2724	3,0021	21,8322	52,8878
2	1080	24,4208	6,9847	3,1954	22,3192	48,7863
3	720	32,2032	6,5793	3,4721	22,8436	43,2865
4	480	41,0591	6,1738	3,7150	22,9357	38,1156
5	360	49,1099	5,8861	3,8941	22,9208	34,6462
6	300	55,0675	5,7038	4,0086	22,8640	32,5331
7	240	62,7963	5,4806	4,1399	22,6893	30,0374
8	180	74,0674	5,1930	4,3050	22,3556	26,9668
9	120	94,1944	4,7875	4,5454	21,7609	22,9201
10	60	144,9145	4,0943	4,9761	20,3740	16,7637
10	4980	597,9602	58,1555	39,2536	222,8953	346,9435

$Ln(A) = 7,5100$ $A = 1826,1766$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	23,7244	7,2724	3,1665	23,0281	52,8878
2	1080	28,7856	6,9847	3,3599	23,4678	48,7863
3	720	37,9590	6,5793	3,6365	23,9255	43,2865
4	480	48,3977	6,1738	3,8795	23,9509	38,1156
5	360	57,8875	5,8861	4,0585	23,8888	34,6462
6	300	64,9099	5,7038	4,1730	23,8019	32,5331
7	240	74,0200	5,4806	4,3043	23,5905	30,0374
8	180	87,3057	5,1930	4,4694	23,2095	26,9668
9	120	111,0301	4,7875	4,7098	22,5481	22,9201
10	60	170,8155	4,0943	5,1406	21,0473	16,7637
10	4980	704,8354	58,1555	40,8980	232,4583	346,9435

$Ln(A) = 7,6744$ $A = 2152,5743$ $B = -0,6164$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	969,72458397208	-0,6163860881
5	1199,01350051977	-0,6163860881
10	1350,82271436124	-0,6163860881
25	1542,63405848849	-0,6163860881
50	1684,93067092957	-0,6163860881
75	1767,63888719631	-0,6163860881
100	1826,17658752090	-0,6163860881
500	2152,57433847429	-0,6163860881
Promedio =	1561,68941768283	-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	<i>Regresión potencial</i>	
					ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	969,7246	0,6931	6,8770	4,7668	0,4805
2	5	1199,0135	1,6094	7,0893	11,4097	2,5903
3	10	1350,8227	2,3026	7,2085	16,5981	5,3019
4	25	1542,6341	3,2189	7,3412	23,6306	10,3612
5	50	1684,9307	3,9120	7,4295	29,0643	15,3039
6	75	1767,6389	4,3175	7,4774	32,2836	18,6407
7	100	1826,1766	4,6052	7,5100	34,5847	21,2076
8	500	2152,5743	6,2146	7,6744	47,6935	38,6214
8	767	12493,5153	26,8733	58,6073	200,0313	112,5074

$$\ln(A) = 6,8486 \quad A = 942,5208 \quad B = 0,1421$$

Termino constante de regresión (a) = 942,5208
Coef. de regresión (b) = 0,142104

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

$$I = \frac{942,5208 * T^{0,142104}}{t^{0,61639}}$$

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	385,69	251,58	195,95	164,11	143,02	127,82
5	439,32	286,57	223,20	186,93	162,91	145,59
10	484,80	316,23	246,30	206,28	179,77	160,66
25	552,21	360,21	280,55	234,97	204,77	183,01
50	609,38	397,50	309,60	259,29	225,97	201,95
75	645,52	421,07	327,96	274,67	239,37	213,93
100	672,45	438,64	341,64	286,13	249,36	222,85
500	845,26	551,36	429,44	359,66	313,44	280,12

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	116,23	107,05	99,55	93,29	87,97	83,38
5	132,40	121,94	113,40	106,27	100,20	94,97
10	146,10	134,56	125,13	117,27	110,58	104,80
25	166,42	153,27	142,54	133,57	125,95	119,38
50	183,64	169,13	157,29	147,40	138,99	131,73
75	194,54	179,17	166,62	156,14	147,23	139,55
100	202,65	186,64	173,57	162,66	153,38	145,37
500	254,73	234,60	218,18	204,46	192,79	182,72

