

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	8,1	8,0	25,9	72,8	141,5	138,8	172,9	146,1	188,8	105,0	68,5	105,4	188,8
2002	3,8	23,5	57,3	118,4	218,3	173,4	180,5	224,8	148,3	91,7	69,0	12,8	224,8
2003	1,7	12,5	79,1	128,4	197,7	192,5	239,2	175,3	121,4	92,2	156,9	65,9	239,2
2004	11,5	57,8	64,3	145,8	307,7	266,1	241,2	214,2	83,0	91,5	69,9	21,6	307,7
2005	25,0	55,3	23,1	122,9	246,3	153,1	89,9	156,4	157,6	134,7	133,1	5,1	246,3
2006	45,3	0,9	162,3	145,1	140,8	334,0	177,5	154,3	89,7	178,5	101,8	17,8	334,0
2007	1,1	25,7	61,6	113,4	290,3	188,9	82,9	189,5	161,1	102,9	73,3	45,9	290,3
2008	15,3	13,7	46,0	50,9	182,8	281,4	218,1	113,2	127,1	98,9	166,8	15	281,4
2009	21,8	17,1	82,4	116,0	91,9	181,3	140,0	191,8	76,8	111,2	47,1	5,3	191,8
2010	1,7	28,9	95,3	138,4	232,3	137,8	234,5	106,7	56,6	114,3	186,1	55	234,5
2011	16,0	79,3	102,4	177,9	242,6	225,6	152,5	131,1	196,9	183,9	263,7	58,8	263,7
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	334,0

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	188,8	4352,40
2	2002	ENE	224,8	898,36
3	2003	FEB	239,2	242,51
4	2004	FEB	307,7	2801,30
5	2005	DIC	246,3	71,79
6	2006	MAR	334,0	6276,96
7	2007	FEB	290,3	1262,19
8	2008	DIC	281,4	709,01
9	2009	FEB	191,8	3965,56
10	2010	DIC	234,5	410,98
11	2011	ENE	263,7	79,70
Suma			2802,5	21070,76

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 254,77 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 45,90 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 35,79 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 234,11 \text{ mm}$$

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	247,2322	0,5000	279,3723
5	1,4999	287,7979	0,8000	325,2116
10	2,2504	314,6560	0,9000	355,5612
25	3,1985	348,5912	0,9600	393,9080
50	3,9019	373,7663	0,9800	422,3559
75	4,3108	388,3990	0,9867	438,8909
100	4,6001	398,7555	0,9900	450,5937
500	6,2136	456,5017	0,9980	515,8469

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	279,4	325,2	355,6	393,9	422,4	438,9	450,6	515,8
18 hr	X18 = 91%	254,2	295,9	323,6	358,5	384,3	399,4	410,0	469,4
12 hr	X12 = 80%	223,5	260,2	284,4	315,1	337,9	351,1	360,5	412,7
8 hr	X8 = 68%	190,0	221,1	241,8	267,9	287,2	298,4	306,4	350,8
6 hr	X6 = 61%	170,4	198,4	216,9	240,3	257,6	267,7	274,9	314,7
5 hr	X5 = 57%	159,2	185,4	202,7	224,5	240,7	250,2	256,8	294,0
4 hr	X4 = 52%	145,3	169,1	184,9	204,8	219,6	228,2	234,3	268,2
3 hr	X3 = 46%	128,5	149,6	163,6	181,2	194,3	201,9	207,3	237,3
2 hr	X2 = 39%	109,0	126,8	138,7	153,6	164,7	171,2	175,7	201,2
1 hr	X1 = 30%	83,8	97,6	106,7	118,2	126,7	131,7	135,2	154,8

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	11,6405	13,5505	14,8151	16,4128	17,5982	18,2871	18,7747	21,4936
18 hr	1080	14,1238	16,4413	17,9756	19,9142	21,3524	22,1884	22,7800	26,0789
12 hr	720	18,6248	21,6808	23,7041	26,2605	28,1571	29,2594	30,0396	34,3898
8 hr	480	23,7466	27,6430	30,2227	33,4822	35,9002	37,3057	38,3005	43,8470
6 hr	360	28,4029	33,0632	36,1487	40,0473	42,9395	44,6206	45,8104	52,4444
5 hr	300	31,8484	37,0741	40,5340	44,9055	48,1486	50,0336	51,3677	58,8065
4 hr	240	36,3184	42,2775	46,2230	51,2080	54,9063	57,0558	58,5772	67,0601
3 hr	180	42,8371	49,8658	54,5194	60,3992	64,7612	67,2966	69,0910	79,0965
2 hr	120	54,4776	63,4163	69,3344	76,8121	82,3594	85,5837	87,8658	100,5901
1 hr	60	83,8117	97,5635	106,6684	118,1724	126,7068	131,6673	135,1781	154,7541

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	11,6405	7,2724	2,4545	17,8500	52,8878
2	1080	14,1238	6,9847	2,6479	18,4946	48,7863
3	720	18,6248	6,5793	2,9245	19,2410	43,2865
4	480	23,7466	6,1738	3,1674	19,5551	38,1156
5	360	28,4029	5,8861	3,3465	19,6978	34,6462
6	300	31,8484	5,7038	3,4610	19,7407	32,5331
7	240	36,3184	5,4806	3,5923	19,6882	30,0374
8	180	42,8371	5,1930	3,7574	19,5120	26,9668
9	120	54,4776	4,7875	3,9978	19,1394	22,9201
10	60	83,8117	4,0943	4,4286	18,1321	16,7637
10	4980	345,8319	58,1555	33,7779	191,0510	346,9435

Ln (A) = 6,9624 A = 1056,1742 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	13,5505	7,2724	2,6064	18,9549	52,8878
2	1080	16,4413	6,9847	2,7998	19,5558	48,7863
3	720	21,6808	6,5793	3,0764	20,2406	43,2865
4	480	27,6430	6,1738	3,3194	20,4931	38,1156
5	360	33,0632	5,8861	3,4984	20,5921	34,6462
6	300	37,0741	5,7038	3,6129	20,6073	32,5331
7	240	42,2775	5,4806	3,7443	20,5209	30,0374
8	180	49,8658	5,1930	3,9093	20,3010	26,9668
9	120	63,4163	4,7875	4,1497	19,8668	22,9201
10	60	97,5635	4,0943	4,5805	18,7542	16,7637
10	4980	402,5759	58,1555	35,2972	199,8866	346,9435

$Ln(A) = 7,1143$ $A = 1229,4708$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14,8151	7,2724	2,6956	19,6038	52,8878
2	1080	17,9756	6,9847	2,8890	20,1790	48,7863
3	720	23,7041	6,5793	3,1656	20,8276	43,2865
4	480	30,2227	6,1738	3,4086	21,0439	38,1156
5	360	36,1487	5,8861	3,5876	21,1172	34,6462
6	300	40,5340	5,7038	3,7021	21,1162	32,5331
7	240	46,2230	5,4806	3,8335	21,0099	30,0374
8	180	54,5194	5,1930	3,9986	20,7643	26,9668
9	120	69,3344	4,7875	4,2389	20,2939	22,9201
10	60	106,6684	4,0943	4,6697	19,1195	16,7637
10	4980	440,1453	58,1555	36,1894	205,0753	346,9435

$Ln(A) = 7,2036$ $A = 1344,208$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,4128	7,2724	2,7981	20,3486	52,8878
2	1080	19,9142	6,9847	2,9914	20,8943	48,7863
3	720	26,2605	6,5793	3,2681	21,5014	43,2865
4	480	33,4822	6,1738	3,5110	21,6762	38,1156
5	360	40,0473	5,8861	3,6901	21,7201	34,6462
6	300	44,9055	5,7038	3,8046	21,7004	32,5331
7	240	51,2080	5,4806	3,9359	21,5712	30,0374
8	180	60,3992	5,1930	4,1010	21,2962	26,9668
9	120	76,8121	4,7875	4,3414	20,7842	22,9201
10	60	118,1724	4,0943	4,7721	19,5388	16,7637
10	4980	487,6144	58,1555	37,2136	211,0316	346,9435

$Ln(A) = 7,3060$ $A = 1489,1793$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,5982	7,2724	2,8678	20,8557	52,8878
2	1080	21,3524	6,9847	3,0612	21,3814	48,7863
3	720	28,1571	6,5793	3,3378	21,9602	43,2865
4	480	35,9002	6,1738	3,5807	22,1067	38,1156
5	360	42,9395	5,8861	3,7598	22,1305	34,6462
6	300	48,1486	5,7038	3,8743	22,0981	32,5331
7	240	54,9063	5,4806	4,0056	21,9534	30,0374
8	180	64,7612	5,1930	4,1707	21,6583	26,9668
9	120	82,3594	4,7875	4,4111	21,1181	22,9201
10	60	126,7068	4,0943	4,8419	19,8243	16,7637
10	4980	522,8297	58,1555	37,9109	215,0868	346,9435

$Ln(A) = 7,3757$ $A = 1596,7271$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,2871	7,2724	2,9062	21,1350	52,8878
2	1080	22,1884	6,9847	3,0996	21,6496	48,7863
3	720	29,2594	6,5793	3,3762	22,2129	43,2865
4	480	37,3057	6,1738	3,6191	22,3438	38,1156
5	360	44,6206	5,8861	3,7982	22,3566	34,6462
6	300	50,0336	5,7038	3,9127	22,3172	32,5331
7	240	57,0558	5,4806	4,0440	22,1639	30,0374
8	180	67,2966	5,1930	4,2091	21,8577	26,9668
9	120	85,5837	4,7875	4,4495	21,3019	22,9201
10	60	131,6673	4,0943	4,8803	19,9815	16,7637
10	4980	543,2981	58,1555	38,2949	217,3201	346,9435

$Ln(A) = 7,4141$ $A = 1659,2379$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,7747	7,2724	2,9325	21,3264	52,8878
2	1080	22,7800	6,9847	3,1259	21,8334	48,7863
3	720	30,0396	6,5793	3,4025	22,3860	43,2865
4	480	38,3005	6,1738	3,6455	22,5063	38,1156
5	360	45,8104	5,8861	3,8245	22,5115	34,6462
6	300	51,3677	5,7038	3,9390	22,4673	32,5331
7	240	58,5772	5,4806	4,0703	22,3081	30,0374
8	180	69,0910	5,1930	4,2354	21,9944	26,9668
9	120	87,8658	4,7875	4,4758	21,4279	22,9201
10	60	135,1781	4,0943	4,9066	20,0893	16,7637
10	4980	557,7849	58,1555	38,5581	218,8505	346,9435

$Ln(A) = 7,4404$ $A = 1703,4808$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	21,4936	7,2724	3,0678	22,3099	52,8878
2	1080	26,0789	6,9847	3,2611	22,7781	48,7863
3	720	34,3898	6,5793	3,5378	23,2758	43,2865
4	480	43,8470	6,1738	3,7807	23,3413	38,1156
5	360	52,4444	5,8861	3,9598	23,3075	34,6462
6	300	58,8065	5,7038	4,0743	23,2387	32,5331
7	240	67,0601	5,4806	4,2056	23,0493	30,0374
8	180	79,0965	5,1930	4,3707	22,6967	26,9668
9	120	100,5901	4,7875	4,6111	22,0754	22,9201
10	60	154,7541	4,0943	5,0418	20,6430	16,7637
10	4980	638,5611	58,1555	39,9105	226,7157	346,9435

$Ln(A) = 7,5757$ $A = 1950,1722$ $B = -0,6164$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	1056,17420016523	-0,6163860881
5	1229,47079718137	-0,6163860881
10	1344,20822344054	-0,6163860881
25	1489,17926568195	-0,6163860881
50	1596,72706639673	-0,6163860881
75	1659,23794847566	-0,6163860881
100	1703,48075103289	-0,6163860881
500	1950,17221944576	-0,6163860881
Promedio =	1503,58130897752	-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	1056,1742	0,6931	6,9624	4,8260	0,4805
2	5	1229,4708	1,6094	7,1143	11,4501	2,5903
3	10	1344,2082	2,3026	7,2036	16,5868	5,3019
4	25	1489,1793	3,2189	7,3060	23,5170	10,3612
5	50	1596,7271	3,9120	7,3757	28,8540	15,3039
6	75	1659,2379	4,3175	7,4141	32,0103	18,6407
7	100	1703,4808	4,6052	7,4404	34,2644	21,2076
8	500	1950,1722	6,2146	7,5757	47,0798	38,6214
8	767	12028,6505	26,8733	58,3922	198,5885	112,5074

$$\ln(A) = 6,9305 \quad A = 1023,0201 \quad B = 0,1097$$

Término constante de regresión (a) = 1023,0201

Coef. de regresión (b) = 0,109704

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

$$I = \frac{1023,0201 * T^{0,109704}}{0,61639 t}$$

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	409,33	267,01	207,96	174,17	151,79	135,65
5	452,61	295,24	229,95	192,59	167,84	150,00
10	488,37	318,57	248,12	207,80	181,10	161,85
25	540,02	352,25	274,36	229,78	200,25	178,96
50	582,68	380,09	296,03	247,93	216,07	193,10
75	609,19	397,37	309,50	259,21	225,90	201,89
100	628,72	410,11	319,42	267,52	233,14	208,36
500	750,13	489,31	381,10	319,18	278,16	248,60

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	123,36	113,61	105,66	99,01	93,36	88,49
5	136,40	125,63	116,83	109,48	103,24	97,84
10	147,18	135,55	126,06	118,13	111,39	105,57
25	162,74	149,88	139,39	130,62	123,17	116,74
50	175,60	161,73	150,40	140,94	132,90	125,96
75	183,59	169,08	157,24	147,35	138,95	131,69
100	189,47	174,50	162,28	152,08	143,40	135,91
500	226,06	208,20	193,62	181,45	171,09	162,16

