

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	3,5	8,1	23,5	81,4	146,1	125,8	149,2	129,4	143,8	134,3	86,0	39,4	149,2
2002	10,1	18,5	49,6	155,7	207,7	144,2	185,9	237,3	136,8	67,8	45,0	9,2	237,3
2003	14,5	13,9	73,2	84,7	187,8	191,2	178,8	147,0	117,5	116,6	69,5	50,6	191,2
2004	16,8	45,7	56,2	127,0	265,2	276,8	225,1	181,8	92,6	107,0	82,7	13,7	276,8
2005	28,7	73,8	30,9	135,9	248,0	123,9	97,0	153,3	159,6	135,4	94,9	5,0	248,0
2006	79,4	1,9	100,9	181,2	100,1	234,0	160,8	129,7	76,3	121,8	48,3	24,7	234,0
2007	0,6	22,5	66,9	135,6	195,5	178,9	74,0	147,2	127,0	91,7	61,7	26,4	195,5
2008	14,1	8,4	25,5	81,5	168,5	265,4	196,1	103,2	136,6	128,1	181,8	23,9	265,4
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	293,4

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	149,2	5390,23
2	2002	ENE	237,3	215,56
3	2003	FEB	191,2	987,10
4	2004	FEB	276,8	2935,67
5	2005	DIC	248,0	644,24
6	2006	MAR	234,0	129,55
7	2007	FEB	195,5	735,40
8	2008	DIC	265,4	1830,28
9	2009	FEB	178,7	1928,81
10	2010	DIC	179,3	1876,46
11	2011	ENE	293,4	5010,07
Suma			2448,8	21683,36

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 222,62 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 46,57 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 36,31 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 201,66 \text{ mm}$$

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	214,9688	0,5000	242,9147
5	1,4999	256,1200	0,8000	289,4156
10	2,2504	283,3657	0,9000	320,2032
25	3,1985	317,7907	0,9600	359,1035
50	3,9019	343,3291	0,9800	387,9619
75	4,3108	358,1730	0,9867	404,7355
100	4,6001	368,6789	0,9900	416,6072
500	6,2136	427,2586	0,9980	482,8022

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	242,9	289,4	320,2	359,1	388,0	404,7	416,6	482,8
18 hr	X18 = 91%	221,1	263,4	291,4	326,8	353,0	368,3	379,1	439,3
12 hr	X12 = 80%	194,3	231,5	256,2	287,3	310,4	323,8	333,3	386,2
8 hr	X8 = 68%	165,2	196,8	217,7	244,2	263,8	275,2	283,3	328,3
6 hr	X6 = 61%	148,2	176,5	195,3	219,1	236,7	246,9	254,1	294,5
5 hr	X5 = 57%	138,5	165,0	182,5	204,7	221,1	230,7	237,5	275,2
4 hr	X4 = 52%	126,3	150,5	166,5	186,7	201,7	210,5	216,6	251,1
3 hr	X3 = 46%	111,7	133,1	147,3	165,2	178,5	186,2	191,6	222,1
2 hr	X2 = 39%	94,7	112,9	124,9	140,1	151,3	157,8	162,5	188,3
1 hr	X1 = 30%	72,9	86,8	96,1	107,7	116,4	121,4	125,0	144,8

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	10,1214	12,0590	13,3418	14,9626	16,1651	16,8640	17,3586	20,1168
18 hr	1080	12,2807	14,6316	16,1881	18,1547	19,6136	20,4616	21,0618	24,4083
12 hr	720	16,1943	19,2944	21,3469	23,9402	25,8641	26,9824	27,7738	32,1868
8 hr	480	20,6478	24,6003	27,2173	30,5238	32,9768	34,4025	35,4116	41,0382
6 hr	360	24,6963	29,4239	32,5540	36,5089	39,4428	41,1481	42,3551	49,0849
5 hr	300	27,6923	32,9934	36,5032	40,9378	44,2277	46,1398	47,4932	55,0395
4 hr	240	31,5789	37,6240	41,6264	46,6834	50,4350	52,6156	54,1589	62,7643
3 hr	180	37,2469	44,3771	49,0978	55,0625	59,4875	62,0594	63,8798	74,0297
2 hr	120	47,3684	56,4360	62,4396	70,0252	75,6526	78,9234	81,2384	94,1464
1 hr	60	72,8744	86,8247	96,0610	107,7310	116,3886	121,4206	124,9822	144,8407

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	10,1214	7,2724	2,3147	16,8331	52,8878
2	1080	12,2807	6,9847	2,5080	17,5179	48,7863
3	720	16,1943	6,5793	2,7847	18,3210	43,2865
4	480	20,6478	6,1738	3,0276	18,6918	38,1156
5	360	24,6963	5,8861	3,2067	18,8747	34,6462
6	300	27,6923	5,7038	3,3212	18,9431	32,5331
7	240	31,5789	5,4806	3,4525	18,9218	30,0374
8	180	37,2469	5,1930	3,6176	18,7859	26,9668
9	120	47,3684	4,7875	3,8580	18,4699	22,9201
10	60	72,8744	4,0943	4,2887	17,5596	16,7637
10	4980	300,7014	58,1555	32,3795	182,9188	346,9435

Ln (A) = 6,8226 A = 918,3453 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	12,0590	7,2724	2,4898	18,1069	52,8878
2	1080	14,6316	6,9847	2,6832	18,7413	48,7863
3	720	19,2944	6,5793	2,9598	19,4734	43,2865
4	480	24,6003	6,1738	3,2028	19,7732	38,1156
5	360	29,4239	5,8861	3,3818	19,9057	34,6462
6	300	32,9934	5,7038	3,4963	19,9422	32,5331
7	240	37,6240	5,4806	3,6276	19,8818	30,0374
8	180	44,3771	5,1930	3,7927	19,6954	26,9668
9	120	56,4360	4,7875	4,0331	19,3085	22,9201
10	60	86,8247	4,0943	4,4639	18,2767	16,7637
10	4980	358,2644	58,1555	34,1310	193,1049	346,9435

$Ln(A) = 6,9977$ $A = 1094,1430$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13,3418	7,2724	2,5909	18,8421	52,8878
2	1080	16,1881	6,9847	2,7843	19,4474	48,7863
3	720	21,3469	6,5793	3,0609	20,1385	43,2865
4	480	27,2173	6,1738	3,3039	20,3973	38,1156
5	360	32,5540	5,8861	3,4829	20,5007	34,6462
6	300	36,5032	5,7038	3,5974	20,5188	32,5331
7	240	41,6264	5,4806	3,7287	20,4359	30,0374
8	180	49,0978	5,1930	3,8938	20,2204	26,9668
9	120	62,4396	4,7875	4,1342	19,7924	22,9201
10	60	96,0610	4,0943	4,5650	18,6906	16,7637
10	4980	396,3760	58,1555	35,1420	198,9840	346,9435

$Ln(A) = 7,0988$ $A = 1210,536$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14,9626	7,2724	2,7056	19,6759	52,8878
2	1080	18,1547	6,9847	2,8989	20,2482	48,7863
3	720	23,9402	6,5793	3,1756	20,8928	43,2865
4	480	30,5238	6,1738	3,4185	21,1051	38,1156
5	360	36,5089	5,8861	3,5976	21,1756	34,6462
6	300	40,9378	5,7038	3,7121	21,1727	32,5331
7	240	46,6834	5,4806	3,8434	21,0642	30,0374
8	180	55,0625	5,1930	4,0085	20,8158	26,9668
9	120	70,0252	4,7875	4,2489	20,3414	22,9201
10	60	107,7310	4,0943	4,6796	19,1600	16,7637
10	4980	444,5302	58,1555	36,2885	205,6518	346,9435

$Ln(A) = 7,2135$ $A = 1357,5997$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,1651	7,2724	2,7829	20,2380	52,8878
2	1080	19,6136	6,9847	2,9762	20,7881	48,7863
3	720	25,8641	6,5793	3,2529	21,4014	43,2865
4	480	32,9768	6,1738	3,4958	21,5823	38,1156
5	360	39,4428	5,8861	3,6749	21,6306	34,6462
6	300	44,2277	5,7038	3,7894	21,6136	32,5331
7	240	50,4350	5,4806	3,9207	21,4879	30,0374
8	180	59,4875	5,1930	4,0858	21,2172	26,9668
9	120	75,6526	4,7875	4,3262	20,7114	22,9201
10	60	116,3886	4,0943	4,7569	19,4765	16,7637
10	4980	480,2537	58,1555	37,0615	210,1470	346,9435

$Ln(A) = 7,2908$ $A = 1466,6996$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,8640	7,2724	2,8252	20,5458	52,8878
2	1080	20,4616	6,9847	3,0186	21,0837	48,7863
3	720	26,9824	6,5793	3,2952	21,6798	43,2865
4	480	34,4025	6,1738	3,5381	21,8437	38,1156
5	360	41,1481	5,8861	3,7172	21,8797	34,6462
6	300	46,1398	5,7038	3,8317	21,8551	32,5331
7	240	52,6156	5,4806	3,9630	21,7198	30,0374
8	180	62,0594	5,1930	4,1281	21,4370	26,9668
9	120	78,9234	4,7875	4,3685	20,9141	22,9201
10	60	121,4206	4,0943	4,7993	19,6498	16,7637
10	4980	501,0176	58,1555	37,4847	212,6085	346,9435

$Ln(A) = 7,3331$ $A = 1530,1127$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,3586	7,2724	2,8541	20,7561	52,8878
2	1080	21,0618	6,9847	3,0475	21,2857	48,7863
3	720	27,7738	6,5793	3,3241	21,8700	43,2865
4	480	35,4116	6,1738	3,5670	22,0221	38,1156
5	360	42,3551	5,8861	3,7461	22,0499	34,6462
6	300	47,4932	5,7038	3,8606	22,0199	32,5331
7	240	54,1589	5,4806	3,9919	21,8783	30,0374
8	180	63,8798	5,1930	4,1570	21,5871	26,9668
9	120	81,2384	4,7875	4,3974	21,0525	22,9201
10	60	124,9822	4,0943	4,8282	19,7682	16,7637
10	4980	515,7134	58,1555	37,7738	214,2898	346,9435

$Ln(A) = 7,3620$ $A = 1574,9940$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	20,1168	7,2724	3,0016	21,8285	52,8878
2	1080	24,4083	6,9847	3,1949	22,3156	48,7863
3	720	32,1868	6,5793	3,4716	22,8402	43,2865
4	480	41,0382	6,1738	3,7145	22,9325	38,1156
5	360	49,0849	5,8861	3,8936	22,9178	34,6462
6	300	55,0395	5,7038	4,0081	22,8610	32,5331
7	240	62,7643	5,4806	4,1394	22,6865	30,0374
8	180	74,0297	5,1930	4,3045	22,3529	26,9668
9	120	94,1464	4,7875	4,5449	21,7584	22,9201
10	60	144,8407	4,0943	4,9756	20,3720	16,7637
10	4980	597,6555	58,1555	39,2485	222,8656	346,9435

$Ln(A) = 7,5095$ $A = 1825,2459$ $B = -0,6164$

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	918,34527474345	-0,6163860881
5	1094,14296690170	-0,6163860881
10	1210,53633577234	-0,6163860881
25	1357,59966589334	-0,6163860881
50	1466,69964528061	-0,6163860881
75	1530,11271278144	-0,6163860881
100	1574,99404754561	-0,6163860881
500	1825,24587919629	-0,6163860881
Promedio =	1372,20956601435	-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	918,3453	0,6931	6,8226	4,7290	0,4805
2	5	1094,1430	1,6094	6,9977	11,2624	2,5903
3	10	1210,5363	2,3026	7,0988	16,3456	5,3019
4	25	1357,5997	3,2189	7,2135	23,2193	10,3612
5	50	1466,6996	3,9120	7,2908	28,5217	15,3039
6	75	1530,1127	4,3175	7,3331	31,6606	18,6407
7	100	1574,9940	4,6052	7,3620	33,9033	21,2076
8	500	1825,2459	6,2146	7,5095	46,6684	38,6214
8	767	10977,6765	26,8733	57,6279	196,3103	112,5074

$$\ln(A) = 6,7913 \quad A = 890,0689 \quad B = 0,1227$$

Termino constante de regresión (a) = 890,0689
Coef. de regresión (b) = 0,122707

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

$$I = \frac{890,0689 * T^{0,122707}}{t^{0,61639}}$$

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	359,36	234,41	182,57	152,91	133,26	119,09
5	402,12	262,30	204,30	171,10	149,11	133,26
10	437,82	285,59	222,44	186,29	162,35	145,10
25	489,92	319,58	248,91	208,46	181,67	162,36
50	533,41	347,95	271,00	226,97	197,80	176,78
75	560,62	365,70	284,83	238,54	207,89	185,79
100	580,77	378,84	295,06	247,12	215,36	192,47
500	707,57	461,55	359,48	301,07	262,38	234,49

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	108,30	99,74	92,76	86,92	81,96	77,68
5	121,19	111,61	103,79	97,27	91,72	86,93
10	131,94	121,52	113,01	105,90	99,86	94,65
25	147,64	135,98	126,46	118,51	111,74	105,91
50	160,75	148,05	137,68	129,03	121,66	115,31
75	168,95	155,60	144,71	135,61	127,87	121,19
100	175,02	161,19	149,91	140,48	132,47	125,55
500	213,24	196,39	182,64	171,15	161,39	152,96

