

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	0,6	10,0	32,4	71,9	128,8	121,7	144,7	123,0	135,7	95,9	85,8	43,3	144,7
2002	12,1	27,6	64,8	146,9	239,7	147,5	168,1	194,3	127,0	78,1	37,2	13,2	239,7
2003	3,0	20,7	70,8	106,4	190,9	173,9	179,4	173,0	142,7	92,6	75,5	40,1	190,9
2004	7,1	45,0	55,2	127,4	285,2	265,4	261,4	182,7	81,8	100,3	78,3	14,8	285,2
2005	15,2	59,5	34,7	153,4	238,2	121,3	93,2	138,5	137,3	168,2	97,0	0,8	238,2
2006	37,4	5,0	141,7	197,2	120,4	210,5	124,4	109,6	68,0	120,7	56,8	16,6	210,5
2007	0,0	24,8	68,5	147,9	179,4	180,0	57,8	152,5	112,2	97,6	68,8	13,3	180,0
2008	15,3	18,9	21,8	55,7	160,0	296,6	189,1	109,5	148,1	90,8	149,1	20,5	296,6
2009	18,7	21,4	41,7	99,2	110,7	167,2	147,8	156,6	73,9	68,1	66,0	2,5	167,2
2010	0,5	32,5	89,9	137,4	208,9	145,4	170,4	114,1	54,0	73,1	87,8	73,6	208,9
2011	6,2	38,6	122,5	167,7	270,9	191,6	99,7	120,9	131,5	137,3	154,8	55,9	270,9
MAX	37,4	59,5	141,7	197,2	285,2	296,6	261,4	194,3	148,1	168,2	154,8	73,6	296,6

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	144,7	5846,69
2	2002	ENE	239,7	343,60
3	2003	FEB	190,9	915,89
4	2004	FEB	285,2	4100,66
5	2005	DIC	238,2	290,24
6	2006	MAR	210,5	113,71
7	2007	FEB	180,0	1694,44
8	2008	DIC	296,6	5690,64
9	2009	FEB	167,2	2912,07
10	2010	DIC	208,9	150,40
11	2011	ENE	270,9	2473,71
<i>Suma</i>			2432,8	24532,05

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 221,16 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 49,53 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 38,62 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 198,87 \text{ mm}$$

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

Periodo	Variable	Precip.	Prob. de	Corrección
Retorno	Reducida	(mm)	ocurrencia	intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0,3665	213,0273	0,5000	240,7208
5	1,4999	256,7982	0,8000	290,1820
10	2,2504	285,7784	0,9000	322,9296
25	3,1985	322,3950	0,9600	364,3063
50	3,9019	349,5592	0,9800	395,0019
75	4,3108	365,3481	0,9867	412,8434
100	4,6001	376,5229	0,9900	425,4709
500	6,2136	438,8318	0,9980	495,8800

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	240,7	290,2	322,9	364,3	395,0	412,8	425,5	495,9
18 hr	X18 = 91%	219,1	264,1	293,9	331,5	359,5	375,7	387,2	451,3
12 hr	X12 = 80%	192,6	232,1	258,3	291,4	316,0	330,3	340,4	396,7
8 hr	X8 = 68%	163,7	197,3	219,6	247,7	268,6	280,7	289,3	337,2
6 hr	X6 = 61%	146,8	177,0	197,0	222,2	241,0	251,8	259,5	302,5
5 hr	X5 = 57%	137,2	165,4	184,1	207,7	225,2	235,3	242,5	282,7
4 hr	X4 = 52%	125,2	150,9	167,9	189,4	205,4	214,7	221,2	257,9
3 hr	X3 = 46%	110,7	133,5	148,5	167,6	181,7	189,9	195,7	228,1
2 hr	X2 = 39%	93,9	113,2	125,9	142,1	154,1	161,0	165,9	193,4
1 hr	X1 = 30%	72,2	87,1	96,9	109,3	118,5	123,9	127,6	148,8

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	10,0300	12,0909	13,4554	15,1794	16,4584	17,2018	17,7280	20,6617
18 hr	1080	12,1698	14,6703	16,3259	18,4177	19,9695	20,8715	21,5099	25,0695
12 hr	720	16,0481	19,3455	21,5286	24,2871	26,3335	27,5229	28,3647	33,0587
8 hr	480	20,4613	24,6655	27,4490	30,9660	33,5752	35,0917	36,1650	42,1498
6 hr	360	24,4733	29,5018	32,8312	37,0378	40,1585	41,9724	43,2562	50,4145
5 hr	300	27,4422	33,0807	36,8140	41,5309	45,0302	47,0641	48,5037	56,5303
4 hr	240	31,2937	37,7237	41,9809	47,3598	51,3503	53,6696	55,3112	64,4644
3 hr	180	36,9105	44,4946	49,5159	55,8603	60,5670	63,3027	65,2389	76,0349
2 hr	120	46,9406	56,5855	62,9713	71,0397	77,0254	80,5045	82,9668	96,6966
1 hr	60	72,2162	87,0546	96,8789	109,2919	118,5006	123,8530	127,6413	148,7640

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	10,0300	7,2724	2,3056	16,7671	52,8878
2	1080	12,1698	6,9847	2,4990	17,4545	48,7863
3	720	16,0481	6,5793	2,7756	18,2613	43,2865
4	480	20,4613	6,1738	3,0185	18,6358	38,1156
5	360	24,4733	5,8861	3,1976	18,8213	34,6462
6	300	27,4422	5,7038	3,3121	18,8914	32,5331
7	240	31,2937	5,4806	3,4434	18,8721	30,0374
8	180	36,9105	5,1930	3,6085	18,7388	26,9668
9	120	46,9406	4,7875	3,8489	18,4265	22,9201
10	60	72,2162	4,0943	4,2797	17,5224	16,7637
10	4980	297,9856	58,1555	32,2888	182,3912	346,9435

$$\ln(A) = 6,8135 \quad A = 910,0511 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	12,0909	7,2724	2,4925	18,1261	52,8878
2	1080	14,6703	6,9847	2,6858	18,7597	48,7863
3	720	19,3455	6,5793	2,9625	19,4908	43,2865
4	480	24,6655	6,1738	3,2054	19,7895	38,1156
5	360	29,5018	5,8861	3,3845	19,9212	34,6462
6	300	33,0807	5,7038	3,4990	19,9573	32,5331
7	240	37,7237	5,4806	3,6303	19,8963	30,0374
8	180	44,4946	5,1930	3,7954	19,7092	26,9668
9	120	56,5855	4,7875	4,0358	19,3211	22,9201
10	60	87,0546	4,0943	4,4665	18,2875	16,7637
10	4980	359,2131	58,1555	34,1575	193,2587	346,9435

$$\ln(A) = 7,0004 \quad A = 1097,0404 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13,4554	7,2724	2,5994	18,9037	52,8878
2	1080	16,3259	6,9847	2,7928	19,5066	48,7863
3	720	21,5286	6,5793	3,0694	20,1943	43,2865
4	480	27,4490	6,1738	3,3123	20,4496	38,1156
5	360	32,8312	5,8861	3,4914	20,5506	34,6462
6	300	36,8140	5,7038	3,6059	20,5671	32,5331
7	240	41,9809	5,4806	3,7372	20,4823	30,0374
8	180	49,5159	5,1930	3,9023	20,2644	26,9668
9	120	62,9713	4,7875	4,1427	19,8330	22,9201
10	60	96,8789	4,0943	4,5735	18,7253	16,7637
10	4980	399,7510	58,1555	35,2268	199,4771	346,9435

$$\ln(A) = 7,1073 \quad A = 1220,844 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15,1794	7,2724	2,7199	19,7805	52,8878
2	1080	18,4177	6,9847	2,9133	20,3487	48,7863
3	720	24,2871	6,5793	3,1899	20,9874	43,2865
4	480	30,9660	6,1738	3,4329	21,1939	38,1156
5	360	37,0378	5,8861	3,6119	21,2603	34,6462
6	300	41,5309	5,7038	3,7264	21,2548	32,5331
7	240	47,3598	5,4806	3,8578	21,1431	30,0374
8	180	55,8603	5,1930	4,0229	20,8905	26,9668
9	120	71,0397	4,7875	4,2632	20,4102	22,9201
10	60	109,2919	4,0943	4,6940	19,2189	16,7637
10	4980	450,9708	58,1555	36,4324	206,4883	346,9435

$$\ln(A) = 7,2279 \quad A = 1377,2693 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	16,4584	7,2724	2,8008	20,3688	52,8878
2	1080	19,9695	6,9847	2,9942	20,9137	48,7863
3	720	26,3335	6,5793	3,2708	21,5197	43,2865
4	480	33,5752	6,1738	3,5138	21,6934	38,1156
5	360	40,1585	5,8861	3,6928	21,7364	34,6462
6	300	45,0302	5,7038	3,8073	21,7162	32,5331
7	240	51,3503	5,4806	3,9387	21,5864	30,0374
8	180	60,5670	5,1930	4,1037	21,3106	26,9668
9	120	77,0254	4,7875	4,3441	20,7975	22,9201
10	60	118,5006	4,0943	4,7749	19,5502	16,7637
10	4980	488,9685	58,1555	37,2413	211,1929	346,9435

$Ln(A) = 7,3088$ $A = 1493,3148$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,2018	7,2724	2,8450	20,6901	52,8878
2	1080	20,8715	6,9847	3,0384	21,2223	48,7863
3	720	27,5229	6,5793	3,3150	21,8103	43,2865
4	480	35,0917	6,1738	3,5580	21,9661	38,1156
5	360	41,9724	5,8861	3,7370	21,9964	34,6462
6	300	47,0641	5,7038	3,8515	21,9682	32,5331
7	240	53,6696	5,4806	3,9828	21,8285	30,0374
8	180	63,3027	5,1930	4,1479	21,5400	26,9668
9	120	80,5045	4,7875	4,3883	21,0090	22,9201
10	60	123,8530	4,0943	4,8191	19,7310	16,7637
10	4980	511,0542	58,1555	37,6831	213,7620	346,9435

$Ln(A) = 7,3529$ $A = 1560,7649$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	17,7280	7,2724	2,8751	20,9092	52,8878
2	1080	21,5099	6,9847	3,0685	21,4327	48,7863
3	720	28,3647	6,5793	3,3451	22,0086	43,2865
4	480	36,1650	6,1738	3,5881	22,1521	38,1156
5	360	43,2562	5,8861	3,7671	22,1738	34,6462
6	300	48,5037	5,7038	3,8816	22,1400	32,5331
7	240	55,3112	5,4806	4,0130	21,9937	30,0374
8	180	65,2389	5,1930	4,1781	21,6965	26,9668
9	120	82,9668	4,7875	4,4184	21,1532	22,9201
10	60	127,6413	4,0943	4,8492	19,8544	16,7637
10	4980	526,6857	58,1555	37,9844	215,5141	346,9435

$Ln(A) = 7,3831$ $A = 1608,5034$ $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	20,6617	7,2724	3,0283	22,0229	52,8878
2	1080	25,0695	6,9847	3,2217	22,5023	48,7863
3	720	33,0587	6,5793	3,4983	23,0161	43,2865
4	480	42,1498	6,1738	3,7412	23,0976	38,1156
5	360	50,4145	5,8861	3,9203	23,0752	34,6462
6	300	56,5303	5,7038	4,0348	23,0135	32,5331
7	240	64,4644	5,4806	4,1661	22,8330	30,0374
8	180	76,0349	5,1930	4,3312	22,4917	26,9668
9	120	96,6966	4,7875	4,5716	21,8864	22,9201
10	60	148,7640	4,0943	5,0024	20,4814	16,7637
10	4980	613,8443	58,1555	39,5157	224,4199	346,9435

$Ln(A) = 7,5362$ $A = 1874,6868$ $B = -0,6164$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	910,05111086945	-0,6163860881
5	1097,04042819470	-0,6163860881
10	1220,84362674141	-0,6163860881
25	1377,26929630102	-0,6163860881
50	1493,31479391461	-0,6163860881
75	1560,76486140925	-0,6163860881
100	1608,50342978950	-0,6163860881
500	1874,68678285439	-0,6163860881
Promedio =	1392,80929125929	-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	910,0511	0,6931	6,8135	4,7228	0,4805
2	5	1097,0404	1,6094	7,0004	11,2667	2,5903
3	10	1220,8436	2,3026	7,1073	16,3652	5,3019
4	25	1377,2693	3,2189	7,2279	23,2656	10,3612
5	50	1493,3148	3,9120	7,3088	28,5920	15,3039
6	75	1560,7649	4,3175	7,3529	31,7462	18,6407
7	100	1608,5034	4,6052	7,3831	34,0002	21,2076
8	500	1874,6868	6,2146	7,5362	46,8345	38,6214
8	767	11142,4743	26,8733	57,7300	196,7931	112,5074

$$\ln(A) = 6,7829 \quad A = 882,6160 \quad B = 0,1290$$

Término constante de regresión (a) = 882,6160
Coef. de regresión (b) = 0,129007

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

$$I = \frac{882,6160 * T^{0,129007}}{0,61639 t}$$

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 - Período de retorno

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	357,91	233,46	181,84	152,29	132,72	118,61
5	402,82	262,76	204,65	171,40	149,37	133,50
10	440,50	287,34	223,80	187,43	163,35	145,98
25	495,77	323,39	251,88	210,95	183,84	164,30
50	542,14	353,64	275,44	230,68	201,04	179,67
75	571,26	372,63	290,23	243,07	211,83	189,32
100	592,86	386,72	301,20	252,26	219,84	196,48
500	729,66	475,96	370,71	310,47	270,57	241,81

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	107,86	99,34	92,38	86,57	81,63	77,37
5	121,40	111,80	103,97	97,44	91,88	87,08
10	132,75	122,26	113,70	106,55	100,47	95,23
25	149,41	137,60	127,97	119,92	113,08	107,17
50	163,38	150,47	139,94	131,14	123,66	117,20
75	172,16	158,56	147,45	138,18	130,30	123,49
100	178,67	164,55	153,03	143,40	135,22	128,16
500	219,90	202,52	188,34	176,50	166,43	157,74

