

Estación:  
 Departamento:  
 Provincia:

**DATOS DE : PRECIPITACIÓN TOTAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
2001	10,8	26,9	18,8	47,1	133,5	111	108,3
2002	2	32	106,6	156	170,2	196,4	91,8
2003	7,2	16,1	97,7	102,4	133,6	115,9	174,5
2004	9,5	25,3	21,1	131,7	210,7	132,1	127
2005	23	35,2	38,8	86,9	116,9	107,1	66,4
2006		146,5	136,2	115,4	223	121,9	97,9
2007	8,7	11,4	46,3	106,1	135,1	126,4	117,2
2008	22,5	10,5	143	69	169,2	159,7	152,7
2009	44	45,2	100,4	86,2	79,4	100,4	118
2010	4,5	9,3	53,2	172,1	221,7	115,8	278,5
2011	22,1	91,2	86,3	214,9	211,4		
<b>SUMA</b>	154,3	449,6	848,4	1287,8	1804,7	1286,7	1332,3
<b>MEDIA</b>	7,5	20,8	49,5	99,0	149,1	124,1	116,1

**DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
2001	0,3	18,3	24,7	37,6	96,3	129,6	62,4
2002	1,7	12,1	82,2	95,1	111,7	167,5	96
2003	0	12	52,7	78,4	86,6	85,1	142,1
2004	15,1	21,6	42,9	124,3	160,5	144,2	110,3
2005	19	10,6	33,5	84,4	123,3	92,6	90,6
2006	37,5	0	140,1	179,8	259,1	413,7	423
2007	2	9,5	81,7	165,1	288,6	273,3	245,1
2008	50,4	67,4	80	66,4	187,2	282,6	255
2009	44,4	27	104,2	142,9	84,5	179,6	128
2010	4,2	40,7	54,9	157,3	155,1	167,1	312,3
2011	39,9	75,4	225,9	261,2	372,5		
<b>MAX</b>	50,4	75,4	225,9	261,2	372,5	413,7	423,0

Este  
Norte  
Altura m/s/n/m:

. (mm)

AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
136,8	120	70	85,3	65,8	934,3
139,1	88,03	53,1	55,3	22,5	1113,0
81	113,4	145,2	115,8	58,2	1161,0
140,1	98,7	77,1	81,2	41,5	1096,0
131,3	103	152,2			860,8
78,1	145,8	128,2	36,3		1229,3
183,2	73,8	147,5	69,7	47,7	1073,1
166,7	69,2	132,2	203,9	59,5	1358,1
125,3	85,5	38,6	9,5		832,5
52,6	49,5	149,3	168,3	61,1	1335,9
					625,9
1234,2	946,9	1093,4	825,3	356,3	11619,9
107,7	86,9	87,5	43,1	45,1	936,3

∨ 24 Hrs. (mm)

AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
163,4	107,7	63,3	58,3	38,5	163,4
147,6	85,9	59,1	38	19	167,5
76,6	87,2	124,5	49	62,3	142,1
131,6	88,8	70,8	60,9	33,6	160,5
109,9	110,1		79,9	11,7	123,3
375,5	369,5	239,8	151	31,7	423,0
382,5		303,3	180,1	127,6	382,5
216,1	157,9	156,8	183,9	63,7	282,6
149,7	59,2	132,6	37,2	14	179,6
85,2	97	209,6	230,2	86,5	312,3
					372,5
382,5	369,5	303,3	230,2	127,6	423,0

## **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 Bolívar.

**Registros pluviométricos Estación Bolívar - Método Gumbel**

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2001	DIC	163,4	6872,41
2	2002	ENE	167,5	6209,44
3	2003	FEB	142,1	10857,64
4	2004	FEB	160,5	7361,64
5	2005	DIC	123,3	15129,00
6	2006	MAR	423,0	31222,89
7	2007	FEB	382,5	18550,44
8	2008	DIC	282,6	1317,69
9	2009	FEB	179,6	4448,89
10	2010	DIC	312,3	4356,00
11	2011	ENE	372,5	15926,44
<i>Suma</i>			2709,3	122252,48

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 246,30 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 110,57 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 86,21 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 196,54 \text{ mm}$$

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

<b>Periodo</b>	<b>Variable</b>	<b>Precip.</b>	<b>Prob. de</b>	<b>Corrección</b>
<b>Retorno</b>	<b>Reducida</b>	<b>(mm)</b>	<b>ocurrencia</b>	<b>intervalo fijo</b>
<b>Años</b>	<b>YT</b>	<b>XT'(mm)</b>	<b>F(xT)</b>	<b>XT (mm)</b>
2	0,3665	228,1368	0,5000	257,7946
5	1,4999	325,8489	0,8000	368,2092
10	2,2504	390,5427	0,9000	441,3133
25	3,1985	472,2836	0,9600	533,6805
50	3,9019	532,9237	0,9800	602,2038
75	4,3108	568,1700	0,9867	642,0321
100	4,6001	593,1160	0,9900	670,2211

## ECUACIÓN DE INTENSIDAD

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. 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
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91

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 : 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 Reto						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años
24 hr	X24	257,8	368,2	441,3	533,7	602,2	642,0	670,2
18 hr	X18 = 91%	234,6	335,1	401,6	485,6	548,0	584,2	609,9
12 hr	X12 = 80%	206,2	294,6	353,1	426,9	481,8	513,6	536,2
8 hr	X8 = 68%	175,3	250,4	300,1	362,9	409,5	436,6	455,8
6 hr	X6 = 61%	157,3	224,6	269,2	325,5	367,3	391,6	408,8
5 hr	X5 = 57%	146,9	209,9	251,5	304,2	343,3	366,0	382,0
4 hr	X4 = 52%	134,1	191,5	229,5	277,5	313,1	333,9	348,5
3 hr	X3 = 46%	118,6	169,4	203,0	245,5	277,0	295,3	308,3
2 hr	X2 = 39%	100,5	143,6	172,1	208,1	234,9	250,4	261,4
1 hr	X1 = 30%	77,3	110,5	132,4	160,1	180,7	192,6	201,1

Basándose en los resultados de la anterior tabla, y los tiempos de duración adoptados, calcula 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 Período de Retor					
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años
24 hr	1440	10,7414	15,3421	18,3881	22,2367	25,0918	26,7513
18 hr	1080	13,0329	18,6150	22,3108	26,9805	30,4447	32,4583
12 hr	720	17,1863	24,5473	29,4209	35,5787	40,1469	42,8021
8 hr	480	21,9125	31,2978	37,5116	45,3628	51,1873	54,5727
6 hr	360	26,2091	37,4346	44,8669	54,2575	61,2241	65,2733
5 hr	300	29,3886	41,9758	50,3097	60,8396	68,6512	73,1917
4 hr	240	33,5133	47,8672	57,3707	69,3785	78,2865	83,4642
3 hr	180	39,5285	56,4587	67,6680	81,8310	92,3379	98,4449
2 hr	120	50,2699	71,8008	86,0561	104,0677	117,4297	125,1963
1 hr	60	77,3384	110,4628	#####	160,1042	180,6611	192,6096

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno, Sg. Bernard

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

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	10,7414	7,2724	2,3741	17,2655	52,8878
2	1080	13,0329	6,9847	2,5675	17,9331	48,7863
3	720	17,1863	6,5793	2,8441	18,7121	43,2865
4	480	21,9125	6,1738	3,0871	19,0588	38,1156
5	360	26,2091	5,8861	3,2661	19,2246	34,6462
6	300	29,3886	5,7038	3,3806	19,2822	32,5331
7	240	33,5133	5,4806	3,5119	19,2477	30,0374
8	180	39,5285	5,1930	3,6770	19,0946	26,9668
9	120	50,2699	4,7875	3,9174	18,7546	22,9201
10	60	77,3384	4,0943	4,3482	17,8030	16,7637
10	4980	319,1210	58,1555	32,9740	186,3763	346,9435

$$\ln(A) = 6,8820 \quad A = 974,5989 \quad B = -0,6164$$

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15,3421	7,2724	2,7306	19,8580	52,8878
2	1080	18,6150	6,9847	2,9240	20,4231	48,7863
3	720	24,5473	6,5793	3,2006	21,0576	43,2865
4	480	31,2978	6,1738	3,4435	21,2597	38,1156
5	360	37,4346	5,8861	3,6226	21,3230	34,6462
6	300	41,9758	5,7038	3,7371	21,3156	32,5331
7	240	47,8672	5,4806	3,8684	21,2015	30,0374
8	180	56,4587	5,1930	4,0335	20,9458	26,9668
9	120	71,8008	4,7875	4,2739	20,4612	22,9201
10	60	110,4628	4,0943	4,7047	19,2626	16,7637
10	4980	455,8021	58,1555	36,5389	207,1080	346,9435

$Ln(A) = 7,2385$        $A = 1392,0242$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18,3881	7,2724	2,9117	21,1751	52,8878
2	1080	22,3108	6,9847	3,1051	21,6881	48,7863
3	720	29,4209	6,5793	3,3817	22,2491	43,2865
4	480	37,5116	6,1738	3,6247	22,3778	38,1156
5	360	44,8669	5,8861	3,8037	22,3890	34,6462
6	300	50,3097	5,7038	3,9182	22,3486	32,5331
7	240	57,3707	5,4806	4,0495	22,1940	30,0374
8	180	67,6680	5,1930	4,2146	21,8863	26,9668
9	120	86,0561	4,7875	4,4550	21,3283	22,9201
10	60	132,3940	4,0943	4,8858	20,0041	16,7637
10	4980	546,2968	58,1555	38,3500	217,6402	346,9435

$Ln(A) = 7,4196$        $A = 1668,396$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	22,2367	7,2724	3,1017	22,5571	52,8878
2	1080	26,9805	6,9847	3,2951	23,0154	48,7863
3	720	35,5787	6,5793	3,5717	23,4994	43,2865
4	480	45,3628	6,1738	3,8147	23,5511	38,1156
5	360	54,2575	5,8861	3,9937	23,5076	34,6462
6	300	60,8396	5,7038	4,1082	23,4325	32,5331
7	240	69,3785	5,4806	4,2396	23,2356	30,0374
8	180	81,8310	5,1930	4,4047	22,8732	26,9668
9	120	104,0677	4,7875	4,6450	22,2381	22,9201
10	60	160,1042	4,0943	5,0758	20,7822	16,7637
10	4980	660,6372	58,1555	40,2504	228,6922	346,9435

$Ln(A) = 7,6097$        $A = 2017,5926$        $B = -0,6164$



Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	25,0918	7,2724	3,2225	23,4356	52,8878
2	1080	30,4447	6,9847	3,4159	23,8592	48,7863
3	720	40,1469	6,5793	3,6925	24,2942	43,2865
4	480	51,1873	6,1738	3,9355	24,2969	38,1156
5	360	61,2241	5,8861	4,1145	24,2186	34,6462
6	300	68,6512	5,7038	4,2290	24,1215	32,5331
7	240	78,2865	5,4806	4,3604	23,8976	30,0374
8	180	92,3379	5,1930	4,5255	23,5005	26,9668
9	120	117,4297	4,7875	4,7658	22,8164	22,9201
10	60	180,6611	4,0943	5,1966	21,2768	16,7637
10	4980	745,4614	58,1555	41,4584	235,7173	346,9435

$Ln(A) = 7,7305$        $A = 2276,6466$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	26,7513	7,2724	3,2866	23,9014	52,8878
2	1080	32,4583	6,9847	3,4800	24,3065	48,7863
3	720	42,8021	6,5793	3,7566	24,7155	43,2865
4	480	54,5727	6,1738	3,9995	24,6923	38,1156
5	360	65,2733	5,8861	4,1786	24,5956	34,6462
6	300	73,1917	5,7038	4,2931	24,4868	32,5331
7	240	83,4642	5,4806	4,4244	24,2486	30,0374
8	180	98,4449	5,1930	4,5895	23,8331	26,9668
9	120	125,1963	4,7875	4,8299	23,1230	22,9201
10	60	192,6096	4,0943	5,2607	21,5390	16,7637
10	4980	794,7644	58,1555	42,0988	239,4417	346,9435

$Ln(A) = 7,7945$        $A = 2427,2186$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	27,9259	7,2724	3,3296	24,2138	52,8878
2	1080	33,8834	6,9847	3,5229	24,6066	48,7863
3	720	44,6814	6,5793	3,7996	24,9982	43,2865
4	480	56,9688	6,1738	4,0425	24,9576	38,1156
5	360	68,1391	5,8861	4,2216	24,8485	34,6462
6	300	76,4052	5,7038	4,3361	24,7319	32,5331
7	240	87,1287	5,4806	4,4674	24,4841	30,0374
8	180	102,7672	5,1930	4,6325	24,0562	26,9668
9	120	130,6931	4,7875	4,8729	23,3287	22,9201
10	60	201,0663	4,0943	5,3036	21,7149	16,7637
10	4980	829,6592	58,1555	42,5285	241,9406	346,9435

$Ln(A) = 7,8375$        $A = 2533,7878$        $B = -0,6164$

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	34,4749	7,2724	3,5402	25,7460	52,8878
2	1080	41,8296	6,9847	3,7336	26,0782	48,7863

3	720	55,1599	6,5793	4,0102	26,3844	43,2865
4	480	70,3289	6,1738	4,2532	26,2582	38,1156
5	360	84,1189	5,8861	4,4322	26,0886	34,6462
6	300	94,3235	5,7038	4,5467	25,9336	32,5331
7	240	107,5618	5,4806	4,6781	25,6388	30,0374
8	180	126,8678	5,1930	4,8431	25,1502	26,9668
9	120	161,3427	4,7875	5,0835	24,3374	22,9201
10	60	248,2196	4,0943	5,5143	22,5775	16,7637
10	4980	1024,2277	58,1555	44,6353	254,1928	346,9435

$$\ln(A) = 8,0481$$

$$A = 3128,0017$$

$$B = -0,6164$$

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [ c ]
2	974,59890501825	-0,6163860881
5	1392,02419224591	-0,6163860881
10	1668,39605376340	-0,6163860881
25	2017,59263343818	-0,6163860881
50	2276,64660435876	-0,6163860881
75	2427,21864879541	-0,6163860881
100	2533,78776142212	-0,6163860881
500	3128,00172079531	-0,6163860881
Promedio =	2052,28331497967	-0,6163860881

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas periodo de retorno ( $T$ ) y el término constante de regresión ( $d$ ), para obtener valores de la ecuación:

$$d = a * T^b$$

<i>Regresión potencial</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	974,5989	0,6931	6,8820	4,7703	0,4805
2	5	1392,0242	1,6094	7,2385	11,6499	2,5903
3	10	1668,3961	2,3026	7,4196	17,0843	5,3019
4	25	2017,5926	3,2189	7,6097	24,4946	10,3612
5	50	2276,6466	3,9120	7,7305	30,2417	15,3039
6	75	2427,2186	4,3175	7,7945	33,6527	18,6407
7	100	2533,7878	4,6052	7,8375	36,0929	21,2076
8	500	3128,0017	6,2146	8,0481	50,0161	38,6214
8	767	16418,2665	26,8733	60,5604	208,0024	112,5074

$$\ln(A) = 6,8797 \quad A = 972,2899 \quad B = 0,2055$$

Término constante de regresión ( $a$ ) = 972,2899

Coef. de regresión ( $b$ ) = 0,205526

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

$$I = \frac{972,2899 * T^{0,205526}}{t^{0,61639}}$$

Donde:

$I$  = intensidad de precipitación (mm/hr)

$T$  = Periodo de Retorno (años)

$t$  = Tiempo de duración de precipitación (min)

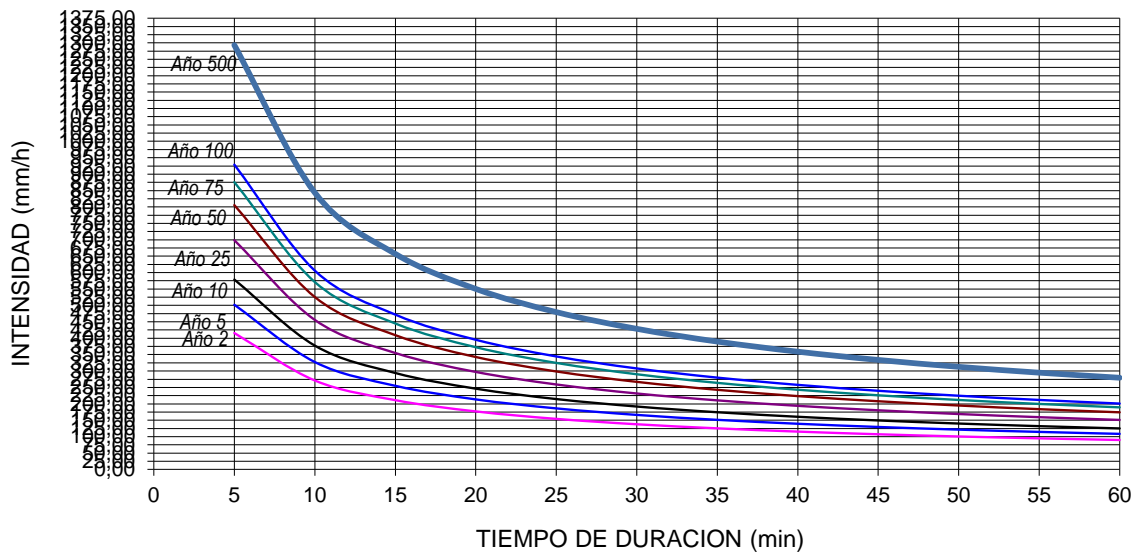
**Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno**

*Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno*

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	415,75	271,19	211,22	176,90	154,17	137,78
5	501,90	327,39	254,99	213,56	186,12	166,33
10	578,74	377,52	294,03	246,25	214,61	191,80
25	698,67	455,75	354,96	297,28	259,08	231,54
50	805,64	525,52	409,31	342,80	298,75	266,99
75	875,66	571,19	444,88	372,59	324,71	290,20
100	928,99	605,98	471,98	395,29	344,49	307,87
500	1293,21	843,56	657,02	550,26	479,55	428,58

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

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	125,29	115,39	107,31	100,56	94,83	89,87
5	151,26	139,30	129,55	121,40	114,48	108,50
10	174,41	160,63	149,38	139,99	132,00	125,11
25	210,56	193,92	180,34	169,00	159,36	151,04
50	242,79	223,61	207,95	194,88	183,76	174,16
75	263,89	243,04	226,02	211,81	199,73	189,30
100	279,97	257,85	239,79	224,71	211,89	200,83
500	389,73	358,94	333,80	312,81	294,96	279,56



as. D. F.

---

---

24
1,00

---

---

ra  
según los

orno
500 años
827,4
752,9
661,9
562,6
504,7
471,6
430,2
380,6
322,7
248,2

llamos la

no
100 años
27,9259
33,8834
44,6814
56,9688
68,1391
76,4052
87,1287
102,7672
130,6931
201,0663

es:









; del

