

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	53.8	35.02
2	2002	ENE	0.0	2290.64
3	2003	FEB	47.7	0.03
4	2004	FEB	125.3	6001.50
5	2005	DIC	71.9	579.24
6	2006	MAR	85.9	1444.56
7	2007	FEB	49.0	1.34
8	2008	DIC	30.0	317.93
9	2009	FEB	31.4	270.62
10	2010	DIC	31.4	270.52
11	2011	ENE	0.0	2290.64
<i>Suma</i>			526.467	13502.05

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 47.86 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 36.75 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 28.65 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 31.32 \text{ mm}$$

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	41.8244	0.5000	47.2616
5	1.4999	74.2972	0.8000	83.9558
10	2.2504	95.7970	0.9000	108.2506
25	3.1985	122.9620	0.9600	138.9471
50	3.9019	143.1146	0.9800	161.7195
75	4.3108	154.8281	0.9867	174.9557
100	4.6001	163.1184	0.9900	184.3238
500	6.2136	209.3441	0.9980	236.5588

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	47.3	84.0	108.3	138.9	161.7	175.0	184.3	236.6	1
18 hr	X18 = 91%	43.0	76.4	98.5	126.4	147.2	159.2	167.7	215.3	0.91
12 hr	X12 = 80%	37.8	67.2	86.6	111.2	129.4	140.0	147.5	189.2	0.8
8 hr	X8 = 68%	32.1	57.1	73.6	94.5	110.0	119.0	125.3	160.9	0.68
6 hr	X6 = 61%	28.8	51.2	66.0	84.8	98.6	106.7	112.4	144.3	0.61
5 hr	X5 = 57%	26.9	47.9	61.7	79.2	92.2	99.7	105.1	134.8	0.57
4 hr	X4 = 52%	24.6	43.7	56.3	72.3	84.1	91.0	95.8	123.0	0.52
3 hr	X3 = 46%	21.7	38.6	49.8	63.9	74.4	80.5	84.8	108.8	0.46
2 hr	X2 = 39%	18.4	32.7	42.2	54.2	63.1	68.2	71.9	92.3	0.39
1 hr	X1 = 30%	14.2	25.2	32.5	41.7	48.5	52.5	55.3	71.0	0.3

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	1.9692	3.4982	4.5104	5.7895	6.7383	7.2898	7.6802	9.8566	
18 hr	1080	2.3893	4.2444	5.4727	7.0245	8.1758	8.8450	9.3186	11.9594	
12 hr	720	3.1508	5.5971	7.2167	9.2631	10.7813	11.6637	12.2883	15.7706	
8 hr	480	4.0172	7.1362	9.2013	11.8105	13.7462	14.8712	15.6675	20.1075	
6 hr	360	4.8049	8.5355	11.0055	14.1263	16.4415	17.7872	18.7396	24.0501	
5 hr	300	5.3878	9.5710	12.3406	15.8400	18.4360	19.9450	21.0129	26.9677	
4 hr	240	6.1440	10.9143	14.0726	18.0831	21.0235	22.7442	23.9621	30.7526	
3 hr	180	7.2468	12.8732	16.5984	21.3052	24.7970	26.8265	28.2630	36.2723	
2 hr	120	9.2160	16.3714	21.1089	27.0947	31.5353	34.1164	35.9431	46.1290	
1 hr	60	14.1785	25.1867	32.4752	41.6841	48.5159	52.4867	55.2971	70.9676	

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Periodo 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 = Periodo de retorno (años)
- a,b,c = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = a * T^b$$

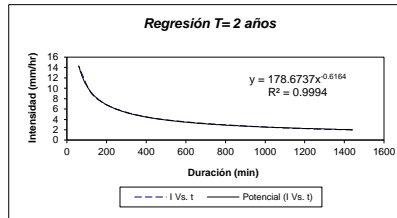
Número T

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	1.9692	7.2724	0.6776	4.9281	52.8878
2	1080	2.3893	6.9847	0.8710	6.0838	48.7863
3	720	3.1508	6.5793	1.1476	7.5507	43.2865
4	480	4.0172	6.1738	1.3906	8.5852	38.1156
5	360	4.8049	5.8861	1.5696	9.2391	34.6462
6	300	5.3878	5.7038	1.6841	9.6060	32.5331
7	240	6.1440	5.4806	1.8155	9.9500	30.0374
8	180	7.2468	5.1930	1.9806	10.2849	26.9668
9	120	9.2160	4.7875	2.2209	10.6327	22.9201
10	60	14.1785	4.0943	2.6517	10.8571	16.7637
10	4980	58.5046	58.1555	16.0094	87.7176	346.9435

Ln (A) = 5.1856 A = 178.6737 B = -0.6164

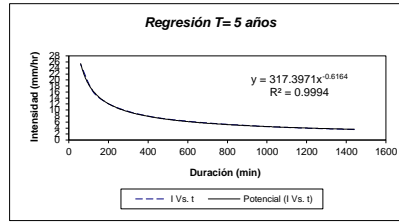


Serie T= 2 años	
x	y
1440	1.9692
1080	2.3893
720	3.1508
480	4.0172
360	4.8049
300	5.3878
240	6.1440
180	7.2468
120	9.2160
60	14.1785

Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	3.4982	7.2724	1.2522	9.1068	52.8878
2	1080	4.2444	6.9847	1.4456	10.0972	48.7863
3	720	5.5971	6.5793	1.7222	11.3311	43.2865
4	480	7.1362	6.1738	1.9652	12.1326	38.1156
5	360	8.5355	5.8861	2.1442	12.6212	34.6462
6	300	9.5710	5.7038	2.2587	12.8833	32.5331
7	240	10.9143	5.4806	2.3901	13.0991	30.0374
8	180	12.8732	5.1930	2.5551	13.2688	26.9668
9	120	16.3714	4.7875	2.7955	13.3836	22.9201
10	60	25.1867	4.0943	3.2263	13.2097	16.7637
10	4980	103.9280	58.1555	21.7553	121.1333	346.9435

Ln (A) = 5.7602 A = 317.3971 B = -0.6164



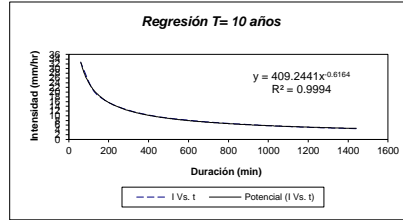
Serie T= 5 años

x	y
1440	3.4982
1080	4.2444
720	5.5971
480	7.1362
360	8.5355
300	9.5710
240	10.9143
180	12.8732
120	16.3714
60	25.1867

Periodo de retorno para T = 10 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	4.5104	7.2724	1.5064	10.9551	52.8878
2	1080	5.4727	6.9847	1.6998	11.8724	48.7863
3	720	7.2167	6.5793	1.9764	13.0032	43.2865
4	480	9.2013	6.1738	2.2193	13.7018	38.1156
5	360	11.0055	5.8861	2.3984	14.1172	34.6462
6	300	12.3406	5.7038	2.5129	14.3330	32.5331
7	240	14.0726	5.4806	2.6442	14.4921	30.0374
8	180	16.5984	5.1930	2.8093	14.5886	26.9668
9	120	21.1089	4.7875	3.0497	14.6004	22.9201
10	60	32.4752	4.0943	3.4805	14.2503	16.7637
10	4980	134.0022	58.1555	24.2969	135.9140	346.9435

Ln (A) = 6.0143 A = 409.244 B = -0.6164



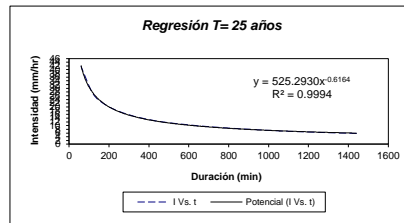
Serie T= 10 años

x	y
1440	4.5104
1080	5.4727
720	7.2167
480	9.2013
360	11.0055
300	12.3406
240	14.0726
180	16.5984
120	21.1089
60	32.4752

Periodo de retorno para T = 25 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	5.7895	7.2724	1.7560	12.7706	52.8878
2	1080	7.0245	6.9847	1.9494	13.6161	48.7863
3	720	9.2631	6.5793	2.2260	14.6457	43.2865
4	480	11.8105	6.1738	2.4690	15.2430	38.1156
5	360	14.1263	5.8861	2.6480	15.5866	34.6462
6	300	15.8400	5.7038	2.7625	15.7569	32.5331
7	240	18.0631	5.4806	2.8939	15.8603	30.0374
8	180	21.3052	5.1930	3.0590	15.8850	26.9668
9	120	27.0947	4.7875	3.2993	15.7956	22.9201
10	60	41.6841	4.0943	3.7301	15.2724	16.7637
10	4980	172.0011	58.1555	26.7933	150.4322	346.9435

Ln (A) = 6.2640 A = 525.2930 B = -0.6164



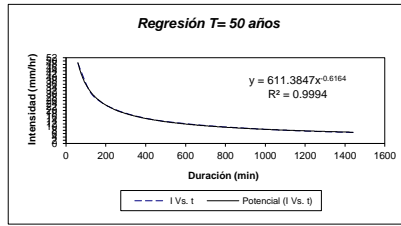
Serie T= 25 años

x	y
1440	5.7895
1080	7.0245
720	9.2631
480	11.8105
360	14.1263
300	15.8400
240	18.0631
180	21.3052
120	27.0947
60	41.6841

Periodo de retorno para T = 50 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)²
1	1440	6.7383	7.2724	1.9078	13.8744	52.8878
2	1080	8.1758	6.9847	2.1012	14.6762	48.7863
3	720	10.7813	6.5793	2.3778	15.6442	43.2865
4	480	13.7462	6.1738	2.6208	16.1800	38.1156
5	360	16.4415	5.8861	2.7998	16.4800	34.6462
6	300	18.4360	5.7038	2.9143	16.6226	32.5331
7	240	21.0235	5.4806	3.0456	16.6921	30.0374
8	180	24.7970	5.1930	3.2107	16.6731	26.9668
9	120	31.5353	4.7875	3.4511	16.5221	22.9201
10	60	48.5159	4.0943	3.8819	15.8938	16.7637
10	4980	200.1908	58.1555	28.3110	159.2584	346.9435

Ln (A) = 6.4157 A = 611.3847 B = -0.6164



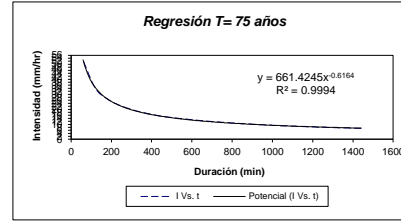
Serie T= 50 años

x	y
1440	6.7383
1080	8.1758
720	10.7813
480	13.7462
360	16.4415
300	18.4360
240	21.0235
180	24.7970
120	31.5353
60	48.5159

Periodo de retorno para T = 75 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)²
1	1440	7.2898	7.2724	1.9865	14.4465	52.8878
2	1080	8.8450	6.9847	2.1799	15.2256	48.7863
3	720	11.6637	6.5793	2.4565	16.1618	43.2865
4	480	14.8712	6.1738	2.6994	16.6657	38.1156
5	360	17.7872	5.8861	2.8785	16.9430	34.6462
6	300	19.9450	5.7038	2.9930	17.0713	32.5331
7	240	22.7442	5.4806	3.1243	17.1232	30.0374
8	180	26.8265	5.1930	3.2894	17.0817	26.9668
9	120	34.1164	4.7875	3.5298	16.8988	22.9201
10	60	52.4867	4.0943	3.9606	16.2159	16.7637
10	4980	216.5757	58.1555	29.0977	163.8335	346.9435

Ln (A) = 6.4944 A = 661.4245 B = -0.6164



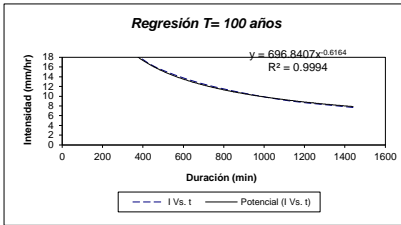
Serie T= 75 años

x	y
1440	7.2898
1080	8.8450
720	11.6637
480	14.8712
360	17.7872
300	19.9450
240	22.7442
180	26.8265
120	34.1164
60	52.4867

Periodo de retorno para T = 100 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)²
1	1440	7.6802	7.2724	2.0386	14.8258	52.8878
2	1080	9.3186	6.9847	2.2320	15.5900	48.7863
3	720	12.2883	6.5793	2.5086	16.5050	43.2865
4	480	15.6675	6.1738	2.7516	16.9877	38.1156
5	360	18.7396	5.8861	2.9306	17.2500	34.6462
6	300	21.0129	5.7038	3.0451	17.3688	32.5331
7	240	23.9621	5.4806	3.1765	17.4091	30.0374
8	180	28.2630	5.1930	3.3416	17.3525	26.9668
9	120	35.9431	4.7875	3.5819	17.1485	22.9201
10	60	55.2971	4.0943	4.0127	16.4295	16.7637
10	4980	228.1724	58.1555	29.6193	166.8669	346.9435

Ln (A) = 6.5466 A = 696.8407 B = -0.6164



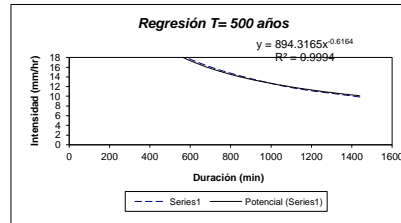
Serie T= 100 años

x	y
1440	7.6802
1080	9.3186
720	12.2883
480	15.6675
360	18.7396
300	21.0129
240	23.9621
180	28.2630
120	35.9431
60	55.2971

Periodo de retorno para T = 500 años

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)²
1	1440	9.8566	7.2724	2.2881	16.4403	52.8878
2	1080	11.9594	6.9847	2.4815	17.3327	48.7863
3	720	15.7706	6.5793	2.7581	18.1465	43.2865
4	480	20.1075	6.1738	3.0011	18.5281	38.1156
5	360	24.0501	5.8861	3.1801	18.7186	34.6462
6	300	26.9677	5.7038	3.2946	18.7919	32.5331
7	240	30.7526	5.4806	3.4260	18.7765	30.0374
8	180	36.2723	5.1930	3.5911	18.6482	26.9668
9	120	46.1290	4.7875	3.8314	18.3430	22.9201
10	60	70.9676	4.0943	4.2622	17.4510	16.7637
10	4980	292.8335	58.1555	32.1144	181.3769	346.9435

Ln (A) = 6.7961 A = 894.3165 B = -0.6164



Serie T= 500 años

x	y
1440	9.8566
1080	11.9594
720	15.7706
480	20.1075
360	24.0501
300	26.9677
240	30.7526
180	36.2723
120	46.1290
60	70.9676

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
2	178.67372780225	-0.6163860881
5	317.39713885028	-0.6163860881
10	409.24410768635	-0.6163860881
25	525.29299629233	-0.6163860881
50	611.38489124046	-0.6163860881
75	661.42446662508	-0.6163860881
100	696.84069862696	-0.6163860881
500	894.31648617226	-0.6163860881
Promedio =	536.82178916200	-0.6163860881

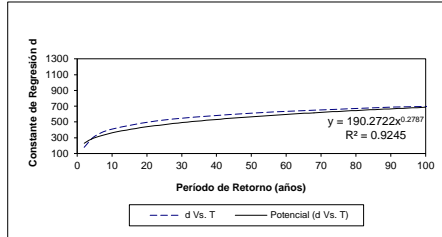
En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = a * T^b$$

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)²
1	2	178.6737	0.6931	5.1856	3.5944	0.4805
2	5	317.3971	1.6094	5.7602	9.2706	2.5903
3	10	409.2441	2.3026	6.0143	13.8485	5.3019
4	25	525.2930	3.2189	6.2640	20.1629	10.3612
5	50	611.3847	3.9120	6.4157	25.0985	15.3039
6	75	661.4245	4.3175	6.4944	28.0395	18.6407
7	100	696.8407	4.6052	6.5466	30.1480	21.2076
8	500	894.3165	6.2146	6.7961	42.2348	38.6214
8	767	4294.5743	26.8733	49.4767	172.3971	112.5074

Ln (A) = 5.2485 A = 190.2722 B = 0.2787

Término constante de regresión (a) = 190.2722
 Coef. de regresión (b) = 0.278681



x	y
2	178.6737
5	317.3971
10	409.2441
25	525.2930
50	611.3847
75	661.4245
100	696.8407
500	894.3165

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

$$I = \frac{190.2722 \cdot T^{0.278681}}{t^{0.61639}}$$

Donde:

- I = intensidad de precipitación (mm/hr)
- T = Periodo de Retorno (años)
- t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Frecuencia	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
años						
2	85.59	55.83	43.49	36.42	31.74	28.37
5	110.49	72.07	56.14	47.01	40.97	36.62
10	134.04	87.43	68.10	57.03	49.70	44.42
25	173.03	112.87	87.91	73.62	64.16	57.34
50	209.90	136.92	106.64	89.31	77.83	69.56
75	235.01	153.30	119.40	100.00	87.15	77.88
100	254.63	166.09	129.36	108.34	94.42	84.38
500	398.74	260.10	202.58	169.66	147.86	132.14

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

Frecuencia	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
años						
2	25.79	23.76	22.09	20.70	19.52	18.50
5	33.30	30.67	28.52	26.73	25.20	23.89
10	40.39	37.20	34.60	32.42	30.57	28.98
25	52.14	48.02	44.66	41.85	39.47	37.40
50	63.26	58.26	54.18	50.77	47.88	45.38
75	70.82	65.23	60.66	56.85	53.60	50.80
100	76.74	70.67	65.72	61.59	58.08	55.04
500	120.17	110.67	102.92	96.45	90.95	86.20

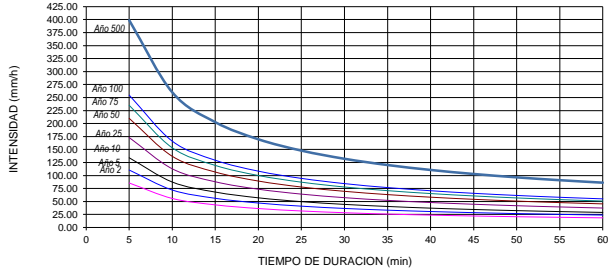


Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia	Duración en minutos										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
años											
2	85.59	55.83	43.49	36.42	31.74	28.37	25.79	23.76	22.09	20.70	18.50
5	110.49	72.07	56.14	47.01	40.97	36.62	33.30	30.67	28.52	26.73	23.89
10	134.04	87.43	68.10	57.03	49.70	44.42	40.39	37.20	34.60	32.42	28.98
25	173.03	112.87	87.91	73.62	64.16	57.34	52.14	48.02	44.66	41.85	37.40
50	209.90	136.92	106.64	89.31	77.83	69.56	63.26	58.26	54.18	50.77	45.38
75	235.01	153.30	119.40	100.00	87.15	77.88	70.82	65.23	60.66	56.85	50.80
100	254.63	166.09	129.36	108.34	94.42	84.38	76.74	70.67	65.72	61.59	55.04
500	398.74	260.10	202.58	169.66	147.86	132.14	120.17	110.67	102.92	96.45	86.20

Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia	Duración en minutos										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
años											
2	85.59	55.83	43.49	36.42	31.74	28.37	25.79	23.76	22.09	20.70	18.50
5	110.49	72.07	56.14	47.01	40.97	36.62	33.30	30.67	28.52	26.73	23.89
10	134.04	87.43	68.10	57.03	49.70	44.42	40.39	37.20	34.60	32.42	28.98
25	173.03	112.87	87.91	73.62	64.16	57.34	52.14	48.02	44.66	41.85	37.40
50	209.90	136.92	106.64	89.31	77.83	69.56	63.26	58.26	54.18	50.77	45.38
75	235.01	153.30	119.40	100.00	87.15	77.88	70.82	65.23	60.66	56.85	50.80
100	254.63	166.09	129.36	108.34	94.42	84.38	76.74	70.67	65.72	61.59	55.04
500	398.74	260.10	202.58	169.66	147.86	132.14	120.17	110.67	102.92	96.45	86.20