

TERMÓMETROS DE RESISTÊNCIA (RTD)

2.ª PARTE

CIRCUITOS DE MEDIDA DE PT100

O termómetro de resistência liga-se a uma **ponte de Wheatstone** (Figura 1) que consiste num rectângulo formado por resistências (R_x é a resistência desconhecida e R_1, R_2, R_3 são reostatos calibrados) cujos extremos opostos estão ligados, um a uma fonte de tensão constante e o outro a um galvanómetro colocado entre os pontos A e B.

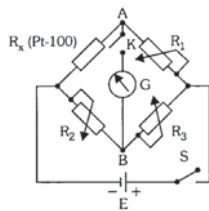


Figura 1 - Ponte de Wheatstone.

Ligando S e depois K os potenciómetros R_1, R_2 e R_3 são regulados por forma a que o galvanómetro marque zero. Nestas circunstâncias A e B estão ao mesmo potencial, e a ponte diz-se equilibrada. Assim pelo ramo R_x e R_1 passará uma determinada corrente I_1 e pelo ramo inferior R_2 e R_3 passará outra corrente I_2 .

Como A e B estão ao mesmo potencial, ter-se-á:

$$R_x \times I_1 = R_2 \times I_2$$

$$R_1 \times I_1 = R_3 \times I_2$$

que dividindo dá:

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

isto é:

$$R_x = \frac{R_1}{R_3} \times R_2$$

E assim é possível saber o valor de qualquer resistência pelo método de comparação directo ou indirecto a partir do valor conhecido de três resistências calibradas usando o processo da ponte de Wheatstone. De acordo com o comprimento dos condutores entre o sensor e o galvanómetro, e de acordo com a exactidão desejada, serão usados circuitos de dois, três ou quatro fios: O **circuito a dois fios** quase não se usa visto que não só exige um circuito de supressão de resistência do cabo de ligação, como também não é possível eliminar o erro devido à variação da resistência do cabo por variação da temperatura ambiente.

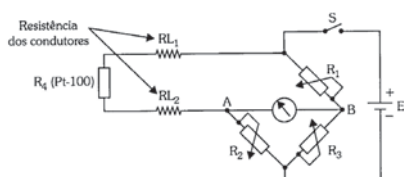


Figura 2 - Termo: Resistência em circuito de dois condutores.

O **circuito a três fios** é o mais usado e permite a transmissão a grande distância (cerca de 5 ~ 200 Ω por linha) dependendo da marca/modelo do equipamento instalado a jusante. Entretanto os três condutores terão necessariamente de ter a mesma resistência óhmica, em virtude de qualquer diferença entre eles se traduzir num erro de medição.

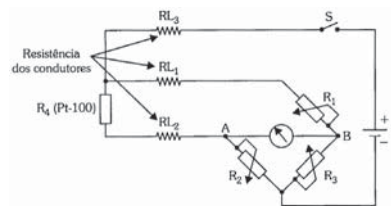


Figura 3 - Termo: resistência em circuito de três condutores.

O **circuito a quatro fios** é o sistema usado na medição de temperaturas com grande exactidão. Trata-se dum sistema com uma fonte de corrente constante (1 mA) e um amplificador de alta impedância de entrada. Dois condutores são usados para a alimentação da Pt100 e os outros dois para medição do potencial na referida Pt100. Como o amplificador é de alta impedância a corrente no circuito de medida é desprezível. Por esta razão o valor da resistência dos condutores ou a diferença de valores entre eles não afecta a medição. Para medição rigorosa de resistências e ampliação das possibilidades de medida, a ponte de Wheatstone aparece habitualmente na forma representada na figura 4. O galvanómetro é usado com um *shunt* de protecção a usar quando a ponte está consideravelmente desequilibrada ou quando se aplica tensões elevadas. O *shunt* torna o galvanómetro menos sensível, portanto, para máximo rigor ele deve ser desligado na fase final do equilíbrio da ponte.

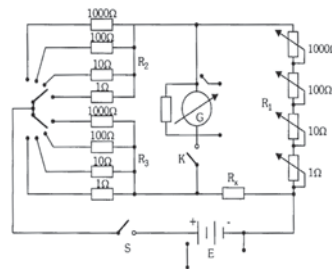


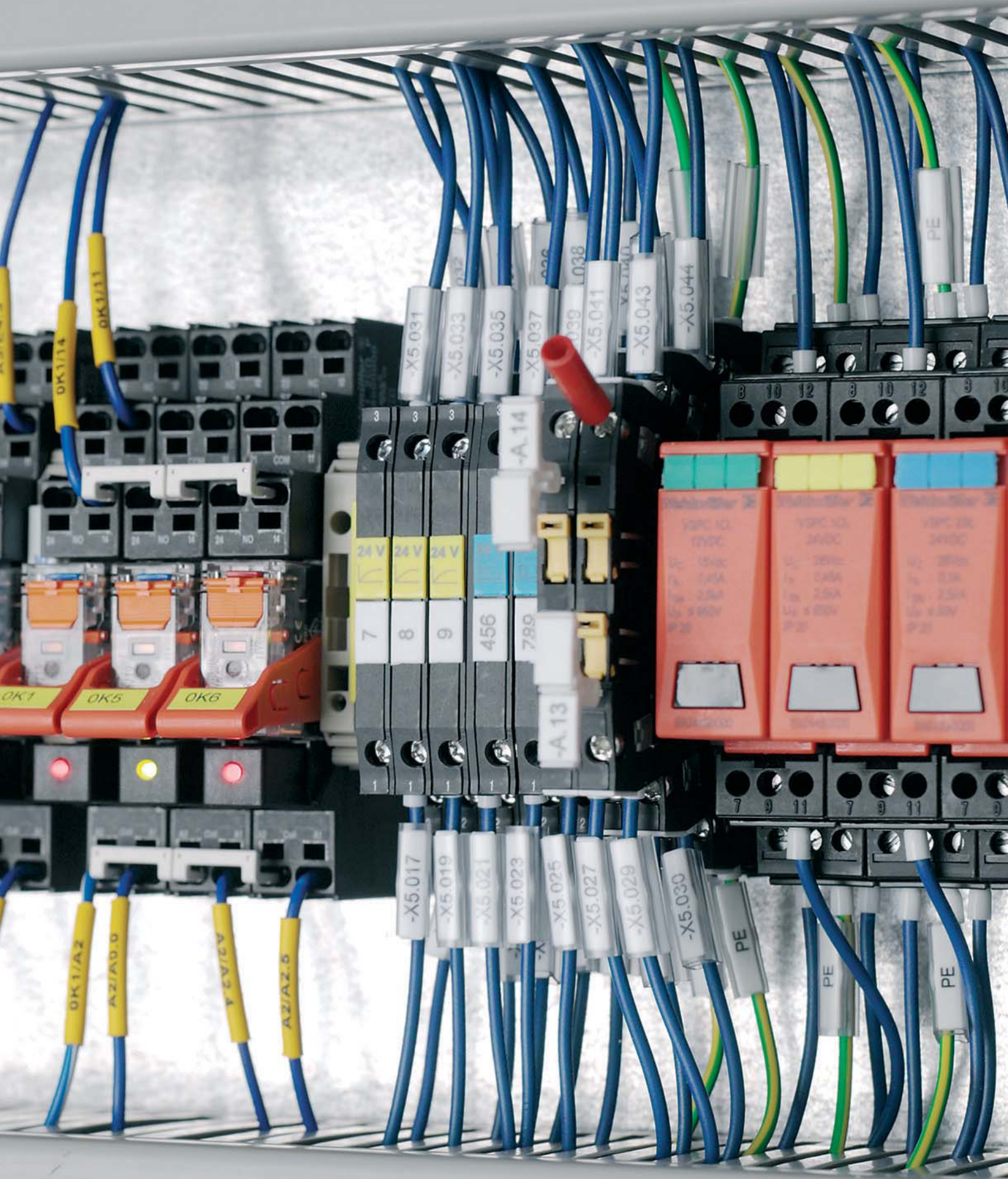
Figura 4 - Aspecto prático da ponte de Wheatstone.

Coloca-se a seguir uma relação $\frac{R_2}{R_3}$ e faz-se variar R_1 de forma que o galvanómetro agora já sem o *shunt* marque zero. Se não for possível conseguir tal, deve-se mudar a razão $\frac{R_2}{R_3}$ e tentar de novo o equilíbrio com R_1 .

A bateria deve ser utilizada por períodos curtos de forma a evitar erros devido ao calor nas resistências calibradas e na desconhecida.

As **Tabela 1 e 2** mostram os valores de resistência função da temperatura de acordo com a Norma JIS.

Líderes em Electrónica



SECÇÃO INSTRUMENTAÇÃO

Tabela 1 - Valores de resistência para PT100 de acordo com a Norma JIS.

Temp. ° C	Rt/Ro	Nominal Resistance (Ω)		Temp. ° C	Rt/Ro	Nominal Resistance (Ω)	
		50	100			50	100
-200	0.1714	8.57	17.14	220	1.8458	92.29	184.58
-190	0.2146	10.73	21.46	230	1.8829	94.14	188.29
-180	0.2580	12.90	25.80	240	1.9199	95.99	191.99
-170	0.3012	15.06	30.12	250	1.9567	97.83	195.67
-160	0.3442	17.21	34.42	260	1.9935	99.67	199.35
-150	0.3868	19.34	38.68	270	2.0301	101.50	203.01
-140	0.4291	21.45	42.91	280	2.0666	103.33	206.66
-130	0.4711	23.55	47.11	290	2.1030	105.15	210.30
-120	0.5129	25.64	51.29	300	2.1393	106.96	213.93
-110	0.5544	27.72	55.44	310	2.1754	108.77	217.54
-100	0.5957	29.78	59.57	320	2.2115	110.57	221.15
-90	0.6368	31.84	63.68	330	2.2474	112.37	224.74
-80	0.6777	33.88	67.77	340	2.2832	114.16	228.32
-70	0.7185	35.92	71.85	350	2.3189	115.94	231.89
-60	0.7591	37.95	75.91	360	2.3545	117.72	235.45
-50	0.7996	39.98	79.96	370	2.3899	119.49	238.99
-40	0.8399	41.99	83.99	380	2.4253	121.26	242.53
-30	0.8801	44.00	88.01	390	2.4605	123.02	246.05
-20	0.9202	46.01	92.02	400	2.4956	124.78	249.56
-10	0.9602	48.01	96.02	410	2.5306	126.53	253.06
0	1.0000	50.00	100.00	420	2.5655	128.27	256.55
10	1.0397	51.98	103.97	430	2.6002	130.01	260.02
20	1.0793	53.96	107.93	440	2.6349	131.74	263.49
30	1.1188	55.94	111.88	450	2.6694	133.47	266.94
40	1.1581	57.90	115.81	460	2.7038	135.19	270.38
50	1.1973	59.86	119.73	470	2.7380	136.90	273.80
60	1.2364	61.82	123.64	480	2.7722	138.61	277.22
70	1.2754	63.77	127.54	490	2.8063	140.31	280.63
80	1.3142	65.71	131.42	500	2.8402	142.01	284.02
90	1.3530	67.65	135.30	510	2.8740	143.70	287.40
100	1.3916	69.58	139.16	520	2.9077	145.38	290.77
110	1.4301	71.50	143.01	530	2.9412	147.06	294.12
120	1.4685	73.42	146.85	540	2.9747	148.73	297.47
130	1.5067	75.33	150.67	550	3.0080	150.39	300.80
140	1.5449	77.24	154.49	560	3.0412	152.06	304.12
150	1.5829	79.14	158.29	570	3.0743	153.71	307.43
160	1.6208	81.04	162.08	580	3.1072	155.36	310.72
170	1.6586	82.93	165.86	590	3.1401	157.00	314.01
180	1.6963	84.81	169.63	600	3.1728	158.64	317.28
190	1.7338	86.69	173.38	610	3.2054	160.27	320.54
200	1.7713	88.56	177.13	620	3.2378	161.89	323.78
210	1.8086	90.43	180.86	630	3.2702	163.51	327.02

Tabela 2 - Valores de resistência para Pt50 de acordo com a Norma JIS.

No caso da Pt100 o valor será o dobro. No caso da Pt25 o valor será metade.

Equações de cálculo:

$$R_t/R_o = 1 + At + Bt^2 \dots\dots\dots 0 \leq t \leq 630 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_t/R_o = 1 + At + Bt^2 + C(t-100)^3 \dots\dots\dots 0 \geq t \geq -200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0.3974778 \times 10^{-2} \quad B = -0.5877820 \times 10^{-6} \quad C = -0.349445 \times 10^{-11}$$

Temp. (° C)	Resist. (Ω)	Temp. (° C)	Resist. (Ω)	Temp. (° C)	Resist. (Ω)
-0	50.000	0	50.000	250	97.850
-5	49.005	5	50.995	260	99.685
-10	48.010	10	51.985	270	101.515
-15	47.015	15	52.975	280	103.345
-20	46.015	20	53.965	290	105.165
-25	45.015	25	54.950	300	106.975
-30	44.010	30	55.935	310	108.785
-35	43.005	35	56.920	320	110.585
-40	42.000	40	57.905	330	112.385
-45	40.995	45	58.885	340	114.175
-50	39.985	50	59.865	350	115.960
-55	38.975	55	60.840	360	117.735
-60	37.965	60	61.820	370	119.510
-65	36.950	65	62.795	380	121.275
-70	35.935	70	63.770	390	123.040
-75	34.915	75	64.740	400	124.795
-80	33.895	80	65.710	410	126.545
-85	32.875	85	66.680	420	128.285
-90	31.850	90	67.650	430	130.025
-95	30.825	95	68.615	440	131.760
-100	29.795	100	69.580	450	133.480
-110	27.735	110	71.505	460	135.200
-120	25.660	120	73.425	470	136.915
-130	23.580	130	75.340	480	138.625
-140	21.485	140	77.245	490	140.325
-150	19.380	150	79.150	500	142.020
-160	17.265	160	81.045	510	143.713
-170	15.135	170	82.935	520	145.397
-180	12.990	180	84.820	530	147.076
-190	10.830	190	86.700	540	148.749
-200	8.655	200	88.570	550	150.416
		210	90.440	560	152.077
		220	92.300	570	153.733
		230	94.155	580	155.382
		240	96.005	590	157.026
		250	97.850	600	158.663

Tabela 3 - Valores de resistência para PT100 de acordo com as Normas DIN/BS/IEC.

Temperatura em Graus Celsius (ITS-90)											
Resistência em ohms											
R ₀ = 100,00 Ω à 0°C											
ITS-90 °C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
RESISTÊNCIA EM OHMS											
-200	18.52										
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	18.52
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	22.83
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	27.10
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	31.34
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	35.54
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	39.72
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	43.88
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	48.00
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	52.11
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	56.19
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	60.26
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	64.30
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	68.33
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	72.33
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	76.33
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	80.31
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	84.27
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	88.22
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.56	92.16
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	96.09
ITS-90 °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51
100	138.51	138.89	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	146.07
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	149.83
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	153.58
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	157.33
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	161.05
160	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	164.77
170	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	168.48
180	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	172.17
190	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	175.86
200	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	179.53
210	179.53	179.89	180.26	180.63	180.9						