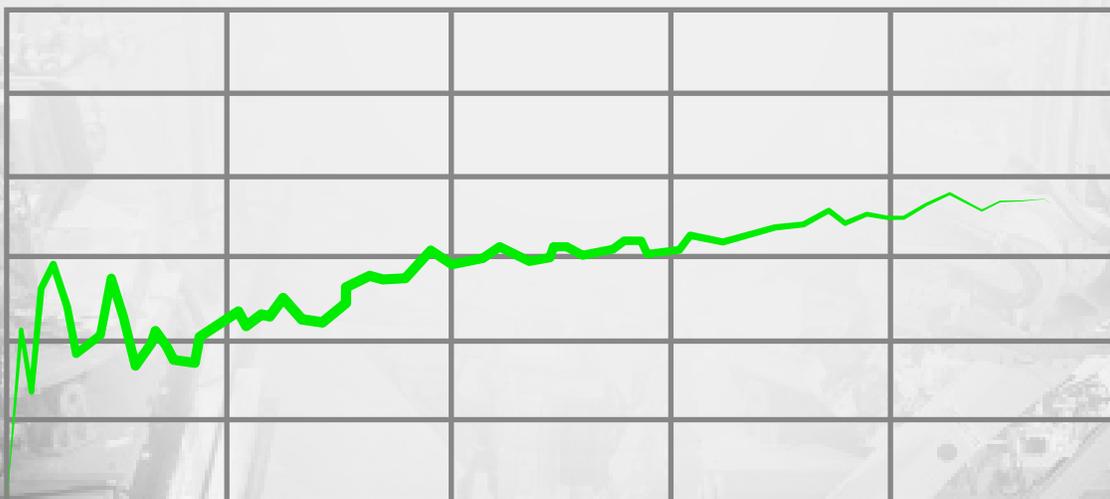


# ESTUDIO DE CARGAS DE TRABAJO



## Estudio de Cargas de Trabajo

### Muestreo de Trabajo

En 1927 L.H.C. Tippett ([https://en.wikipedia.org/wiki/L.\\_H.\\_C.\\_Tippett](https://en.wikipedia.org/wiki/L._H._C._Tippett)), un Ingeniero Industrial y Estadístico, tenía bajo su responsabilidad determinar las causas por las que los telares se detenían en la industria textil británica. Después de mucho análisis desarrolló el método de “Lecturas Instantáneas” para recolectar información. Esta técnica fue luego introducida en los Estados Unidos en 1940 por R.L. Morrow. Como inicialmente se aplicó para determinar demoras, se llamó “Ratio-Delay” y luego C. L. Brisley utilizó el término “Muestreo de Trabajo” en 1952.

### Definición de Muestreo de Trabajo

El muestreo de trabajo es un método para observar una actividad de trabajo por medio del muestreo aleatorio. Es una técnica estadística para determinar los hechos sin tener que observar todo el tiempo a todos los involucrados. Es muy diferente de hacer observaciones casuales sobre la calidad de un producto, actividades de los trabajadores, la utilización de las máquinas, en las que solo se obtendría una opinión subjetiva de lo que ocurre y varía de persona a persona. En vez de esto se realizan observaciones sistemáticas, bajo las cuales todos tendrían un mismo panorama.

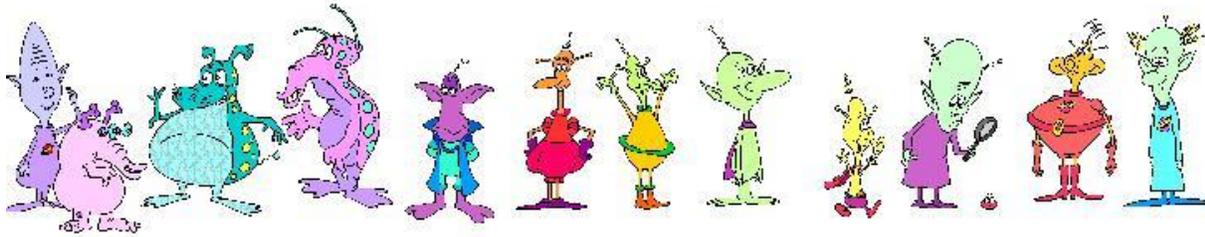
### Usos principales del Muestreo de Trabajo

Un estudio del trabajo por medio del muestreo estadístico se utiliza para determinar la proporción de demoras u otras clasificaciones de las actividades presentes en el ciclo total de trabajo. También se puede utilizar para medir el desempeño en tareas manuales y establecer un índice de desempeño observado durante el período del estudio.

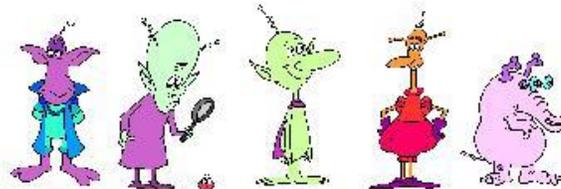


## Población y Muestra

Una población es un conjunto de elementos que pertenecen a una categoría específica. Una muestra es un subconjunto de la población. El muestreo se basa en las leyes de la probabilidad. Una muestra tomada aleatoriamente de una población tendrá un patrón de distribución similar a la población. Si la muestra es grande las diferencias serán pequeñas.



**Población de aliens**



**Muestra de aliens**

## Ejemplo de Muestreo de Trabajo

Suponga que se desea saber el porcentaje de tiempo que los clientes utilizan una ventanilla de servicio durante las horas de la mañana. Suponga que la ventanilla opera 4 horas en la mañana y se hacen 40 lecturas.

Estado	Lecturas	Total
Con Cliente		36
Sin Cliente		4

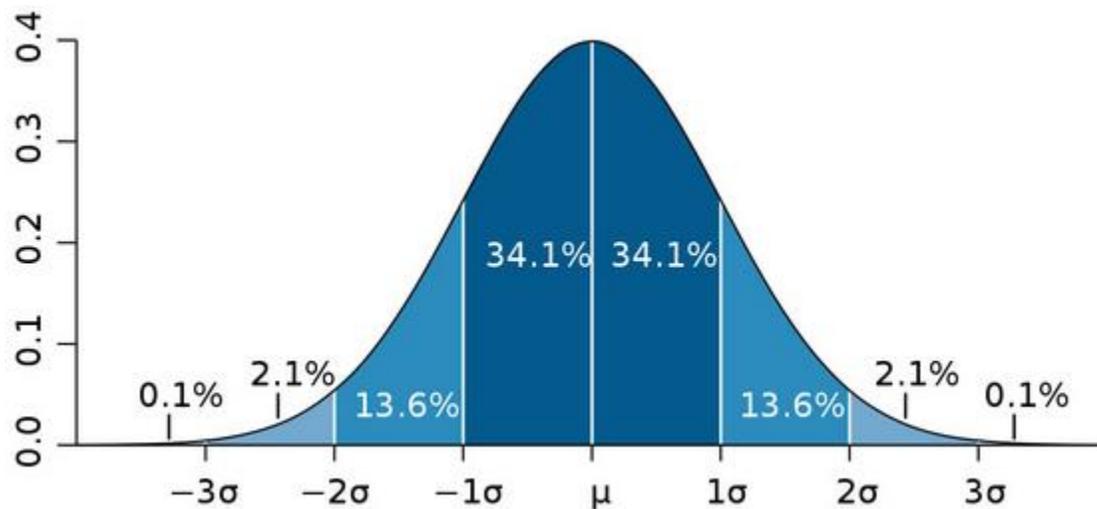
Los resultados se muestran en el cuadro arriba. La precisión dependerá del número total de lecturas que se tome. En este caso se realizaron observaciones aleatorias de una ventanilla para determinar si estaba ocupada o no. De las observaciones que se hicieron, en 36 ocasiones la ventanilla estaba ocupada y en 4 ocasiones estaba desocupada. El resultado sería que la proporción que está desocupada es de  $4/40 = 10\%$  y ocupada estaría  $36/40 = 90\%$ . Si el estudio cubrió 4 horas de trabajo, la

ventanilla estuvo desocupada 24 minutos (de un total de 240 minutos) y ocupada 216 minutos.

Para que el muestreo funcione no debe haber sesgo en la toma de las muestras. Cada muestra del total de muestras posibles debe tener la misma probabilidad de ser seleccionada.

### La Curva Normal

La distribución de probabilidades que describe una curva normal es muy importante en muestreo por que representa gráficamente la probabilidad de que un cierto evento ocurra. Esta curva además tiene proporciones específicas para distintas áreas de la curva, totalizando el área bajo la curva el 100%.



### Determinación del Tamaño de la Muestra

Bajo ciertas circunstancias el estudio de proporciones se puede estimar utilizando la curva normal. Básicamente el requisito es que la proporción que se desea estimar (o su complemento) no sea inferior al 1% y que el tamaño de la muestra sea grande. Bajo estas condiciones es posible determinar el nivel de confianza y el error máximo que se estaría permitiendo. La fórmula que se presenta a continuación permite el cálculo:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}{E^2}$$

Dónde:

$\alpha/2$ : Nivel de confianza del estudio

$Z_{\alpha/2}$ : Es el valor de la abscisa en la curva normal cuya área a la derecha de ese valor es  $\alpha/2$ .

p: es la proporción a estimar

E: El error máximo que se desea permitir

Para efectos prácticos si se desea un nivel de confianza del 95% el valor de  $Z_{\alpha/2}$  se establece en 1.96, lo que algunos autores redondean a 2.

Suponga que se desea calcular el número de observaciones requeridas para estimar el porcentaje de tiempo que trabaja la ventanilla de servicio que se mencionó anteriormente utilizando el muestreo de trabajo. Se desea un nivel de confianza del 95% y una exactitud de  $\pm 5\%$ . Se desea calcular el número de observaciones aleatorias que se requieren para estimar la proporción p. El problema que se presenta es que se requiere tener el valor de p para calcular el valor de n y ese es el propósito del estudio. Es un problema del tipo de qué es primero el huevo o la gallina. Si tuviéramos el valor de p no tendríamos que calcular n. Se procede pues a estimar un valor inicial de p con un estudio preliminar y luego se revisa si los supuestos del modelo se cumplen o no. Si se cumplen el problema está resuelto, pero si no se continúa con el estudio.

Suponga que para el estudio inicial que se realizarán 100 observaciones, y que en 4 oportunidades la ventanilla estuvo desocupada. De ese estudio se concluiría que el valor de p a estimar es de aproximadamente el 4%. Con estos datos se puede recalculer el valor de n y determinar si 100 observaciones son suficientes o se requieren más.

$$n = 0.04(1 - 0.04) \left( \frac{1.96}{0.05(0.04)} \right)^2 = 36879.36$$

El valor de n debe redondearse hacia arriba para mantener los supuestos de nivel de confianza y error máximo dentro de los límites establecidos. En este caso se requieren 36880 observaciones aleatorias.

Si en el estudio preliminar se hubiera determinado que en las 100 observaciones 40 estaba desocupada el valor a estimar era del 40% el valor de n baja sustancialmente, según se muestra a continuación.

$$n = 0.4(1 - 0.4) \left( \frac{1.96}{0.05(0.4)} \right)^2 = 2304.96$$

En este caso se requerirían 2305 observaciones.

Regresando al caso de que la proporción a estimar es del 4%, si el error máximo que se puede tolerar es del  $\pm 10\%$  en lugar de requerirse 36880 observaciones se requerirían 9220 observaciones.

$$n = 0.04(1 - 0.04) \left( \frac{1.96}{0.1(0.04)} \right)^2 = 9219.84$$

La tabla que se muestra en la siguiente página muestra el tamaño de la muestra requerido para estimar una proporción entre 1% y 99% con errores máximos de 1% hasta un 10%.



Proporción a Estimar	Error Máximo % Permitido									
	± 1.0%	± 2.0%	± 3.0%	± 4.0%	± 5.0%	± 6.0%	± 7.0%	± 8.0%	± 9.0%	± 10.0%
0.01	3,803,184	950,796	422,576	237,699	152,127	105,644	77,616	59,425	46,953	38,032
0.02	1,882,384	470,596	209,154	117,649	75,295	52,288	38,416	29,412	23,239	18,824
0.03	1,242,117	310,529	138,013	77,632	49,685	34,503	25,349	19,408	15,335	12,421
0.04	921,984	230,496	102,443	57,624	36,879	25,611	18,816	14,406	11,383	9,220
0.05	729,904	182,476	81,100	45,619	29,196	20,275	14,896	11,405	9,011	7,299
0.06	601,851	150,463	66,872	37,616	24,074	16,718	12,283	9,404	7,430	6,019
0.07	510,384	127,596	56,709	31,899	20,415	14,177	10,416	7,975	6,301	5,104
0.08	441,784	110,446	49,087	27,612	17,671	12,272	9,016	6,903	5,454	4,418
0.09	388,428	97,107	43,159	24,277	15,537	10,790	7,927	6,069	4,795	3,884
0.1	345,744	86,436	38,416	21,609	13,830	9,604	7,056	5,402	4,268	3,457
0.11	310,820	77,705	34,536	19,426	12,433	8,634	6,343	4,857	3,837	3,108
0.12	281,717	70,429	31,302	17,607	11,269	7,825	5,749	4,402	3,478	2,817
0.13	257,092	64,273	28,566	16,068	10,284	7,141	5,247	4,017	3,174	2,571
0.14	235,984	58,996	26,220	14,749	9,439	6,555	4,816	3,687	2,913	2,360
0.15	217,691	54,423	24,188	13,606	8,708	6,047	4,443	3,401	2,688	2,177
0.16	201,684	50,421	22,409	12,605	8,067	5,602	4,116	3,151	2,490	2,017
0.17	187,560	46,890	20,840	11,723	7,502	5,210	3,828	2,931	2,316	1,876
0.18	175,006	43,752	19,445	10,938	7,000	4,861	3,572	2,734	2,161	1,750
0.19	163,773	40,943	18,197	10,236	6,551	4,549	3,342	2,559	2,022	1,638
0.2	153,664	38,416	17,074	9,604	6,147	4,268	3,136	2,401	1,897	1,537
0.21	144,517	36,129	16,057	9,032	5,781	4,014	2,949	2,258	1,784	1,445
0.22	136,202	34,051	15,134	8,513	5,448	3,783	2,780	2,128	1,682	1,362
0.23	128,610	32,153	14,290	8,038	5,144	3,573	2,625	2,010	1,588	1,286
0.24	121,651	30,413	13,517	7,603	4,866	3,379	2,483	1,901	1,502	1,217
0.25	115,248	28,812	12,805	7,203	4,610	3,201	2,352	1,801	1,423	1,152
0.26	109,338	27,334	12,149	6,834	4,374	3,037	2,231	1,708	1,350	1,093
0.27	103,865	25,966	11,541	6,492	4,155	2,885	2,120	1,623	1,282	1,039
0.28	98,784	24,696	10,976	6,174	3,951	2,744	2,016	1,544	1,220	988
0.29	94,053	23,513	10,450	5,878	3,762	2,613	1,919	1,470	1,161	941
0.3	89,637	22,409	9,960	5,602	3,585	2,490	1,829	1,401	1,107	896
0.31	85,507	21,377	9,501	5,344	3,420	2,375	1,745	1,336	1,056	855
0.32	81,634	20,409	9,070	5,102	3,265	2,268	1,666	1,276	1,008	816
0.33	77,996	19,499	8,666	4,875	3,120	2,167	1,592	1,219	963	780
0.34	74,572	18,643	8,286	4,661	2,983	2,071	1,522	1,165	921	746
0.35	71,344	17,836	7,927	4,459	2,854	1,982	1,456	1,115	881	713
0.36	68,295	17,074	7,588	4,268	2,732	1,897	1,394	1,067	843	683
0.37	65,411	16,353	7,268	4,088	2,616	1,817	1,335	1,022	808	654
0.38	62,679	15,670	6,964	3,917	2,507	1,741	1,279	979	774	627
0.39	60,087	15,022	6,676	3,755	2,403	1,669	1,226	939	742	601
0.4	57,624	14,406	6,403	3,602	2,305	1,601	1,176	900	711	576
0.41	55,282	13,820	6,142	3,455	2,211	1,536	1,128	864	682	553
0.42	53,051	13,263	5,895	3,316	2,122	1,474	1,083	829	655	531
0.43	50,924	12,731	5,658	3,183	2,037	1,415	1,039	796	629	509
0.44	48,893	12,223	5,433	3,056	1,956	1,358	998	764	604	489
0.45	46,953	11,738	5,217	2,935	1,878	1,304	958	734	580	470
0.46	45,097	11,274	5,011	2,819	1,804	1,253	920	705	557	451
0.47	43,320	10,830	4,813	2,708	1,733	1,203	884	677	535	433
0.48	41,617	10,404	4,624	2,601	1,665	1,156	849	650	514	416

Proporción a Estimar	Error Máximo % Permitido									
	± 1.0%	± 2.0%	± 3.0%	± 4.0%	± 5.0%	± 6.0%	± 7.0%	± 8.0%	± 9.0%	± 10.0%
0.49	39,984	9,996	4,443	2,499	1,599	1,111	816	625	494	400
0.5	38,416	9,604	4,268	2,401	1,537	1,067	784	600	474	384
0.51	36,909	9,227	4,101	2,307	1,476	1,025	753	577	456	369
0.52	35,461	8,865	3,940	2,216	1,418	985	724	554	438	355
0.53	34,067	8,517	3,785	2,129	1,363	946	695	532	421	341
0.54	32,725	8,181	3,636	2,045	1,309	909	668	511	404	327
0.55	31,431	7,858	3,492	1,964	1,257	873	641	491	388	314
0.56	30,184	7,546	3,354	1,887	1,207	838	616	472	373	302
0.57	28,980	7,245	3,220	1,811	1,159	805	591	453	358	290
0.58	27,818	6,955	3,091	1,739	1,113	773	568	435	343	278
0.59	26,696	6,674	2,966	1,668	1,068	742	545	417	330	267
0.6	25,611	6,403	2,846	1,601	1,024	711	523	400	316	256
0.61	24,561	6,140	2,729	1,535	982	682	501	384	303	246
0.62	23,545	5,886	2,616	1,472	942	654	481	368	291	235
0.63	22,562	5,640	2,507	1,410	902	627	460	353	279	226
0.64	21,609	5,402	2,401	1,351	864	600	441	338	267	216
0.65	20,686	5,171	2,298	1,293	827	575	422	323	255	207
0.66	19,790	4,948	2,199	1,237	792	550	404	309	244	198
0.67	18,921	4,730	2,102	1,183	757	526	386	296	234	189
0.68	18,078	4,520	2,009	1,130	723	502	369	282	223	181
0.69	17,259	4,315	1,918	1,079	690	479	352	270	213	173
0.7	16,464	4,116	1,829	1,029	659	457	336	257	203	165
0.71	15,691	3,923	1,743	981	628	436	320	245	194	157
0.72	14,940	3,735	1,660	934	598	415	305	233	184	149
0.73	14,209	3,552	1,579	888	568	395	290	222	175	142
0.74	13,498	3,374	1,500	844	540	375	275	211	167	135
0.75	12,805	3,201	1,423	800	512	356	261	200	158	128
0.76	12,131	3,033	1,348	758	485	337	248	190	150	121
0.77	11,475	2,869	1,275	717	459	319	234	179	142	115
0.78	10,835	2,709	1,204	677	433	301	221	169	134	108
0.79	10,212	2,553	1,135	638	408	284	208	160	126	102
0.8	9,604	2,401	1,067	600	384	267	196	150	119	96
0.81	9,011	2,253	1,001	563	360	250	184	141	111	90
0.82	8,433	2,108	937	527	337	234	172	132	104	84
0.83	7,868	1,967	874	492	315	219	161	123	97	79
0.84	7,317	1,829	813	457	293	203	149	114	90	73
0.85	6,779	1,695	753	424	271	188	138	106	84	68
0.86	6,254	1,563	695	391	250	174	128	98	77	63
0.87	5,740	1,435	638	359	230	159	117	90	71	57
0.88	5,239	1,310	582	327	210	146	107	82	65	52
0.89	4,748	1,187	528	297	190	132	97	74	59	47
0.9	4,268	1,067	474	267	171	119	87	67	53	43
0.91	3,799	950	422	237	152	106	78	59	47	38
0.92	3,341	835	371	209	134	93	68	52	41	33
0.93	2,892	723	321	181	116	80	59	45	36	29
0.94	2,452	613	272	153	98	68	50	38	30	25
0.95	2,022	505	225	126	81	56	41	32	25	20
0.96	1,601	400	178	100	64	44	33	25	20	16
0.97	1,188	297	132	74	48	33	24	19	15	12
0.98	784	196	87	49	31	22	16	12	10	8
0.99	388	97	43	24	16	11	8	6	5	4

Si se desea estimar el error máximo de un estudio realizado con una determinada cantidad de observaciones se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}{p}$$

Por ejemplo si se toman 4000 observaciones y en esas observaciones 1400 indican que la ventanilla estaba desocupada y 2600 indican que estaba ocupada, ¿cuál es el error porcentual máximo que se estaría tolerando en el estimado?

$$S = \frac{1.96 \sqrt{\frac{0.35(1-0.35)}{4000}}}{0.35} = 4.22\%$$

El error sería del 4.22%, lo que indica que estaría por debajo del requisito del 5% establecido con anterioridad. El error absoluto sería de  $(0.35)(0.0422) = 1.48\%$  de forma que el verdadero valor estaría entre  $0.35 \pm 0.0148$  lo que es lo mismo que decir que estaría entre 33.5% y 36.5% si las cifras se redondean a 1 decimal.

Como se puede observar la determinación del tamaño de la muestra se logra por un método de aproximaciones sucesivas.

### El Uso de las Tablas de Números Aleatorios

Para que el muestreo sea estadísticamente aceptable se requiere que cada observación instantánea tenga igual probabilidad de ser elegida. En otras palabras que cada observación sea independiente y aleatoria y sin sesgo. Esto garantiza la exactitud del estudio. Para lograr lo anterior la mejor forma es trabajar con una tabla de números aleatorios o generarlos por computadora. La tabla servirá para determinar el momento del día en que se debe hacer la toma de datos. También se puede usar para determinar el orden en que se deben observar las operaciones cuando se observan varias simultáneamente, o el lugar en dónde se debe hacer la observación si éstas se realizan en varios lugares.

Si se utiliza la tabla de números aleatorios, lo primero que se debe determinar es con cuál número iniciar. El primer número no debe ser el primero de la tabla, sino uno aleatorio. Suponga que la tabla de números contiene un total de 840 números aleatorios de 5 dígitos (ver tabla más adelante). Una forma de seleccionar uno al azar es utilizar la hora del día, digamos que el trabajo de planeación se está haciendo en este momento y que la hora es 4:26 pm. Si convertimos a minutos la hora nos daría (4:00pm serían las 16:00 horas) 16 multiplicado por 60 sería 960. Si a este número le sumamos 26 minutos más sería 986. Este número indica el número aleatorio inicial. Como la tabla solo tiene 840, el siguiente número, el 841 sería el primer número de la lista. Si restamos 960 menos 840 el resultado es 146. El primer número de la tabla que se usará será el 146. Ese número es el sexto número del tercer grupo de la tercera columna. Este número corresponde a 34547 en la tabla que se muestra abajo, es el número 146 desde el inicio de la tabla. A partir de aquí tomamos los números consecutivos hasta completar la cantidad que se requiera.

Suponga que se estudiarán 10 ventanillas simultáneamente para determinar el porcentaje del tiempo que atienden público. Se estima que el porcentaje de desocupación es del 4% y mantiene su servicio al cliente desde las 8:00 AM hasta las 5:00 PM (9 horas). Se desea un error no mayor al 10%, que equivale al 0.4% (10% de un 4%). Un cálculo anterior indicaba que se requerían 9220 observaciones.

Tabla de Números Aleatorios

49631	96066	85304	66932	19768	39891	32581	14755	83605	31625	58924	26013	29834	40327
86285	38433	55282	39704	68210	28101	80808	53543	48894	15706	46052	33871	66279	20051
13426	45266	42650	79988	35730	34488	80269	11120	22586	97168	53142	76924	39792	23063
55161	83419	39849	59263	84207	69910	90081	62590	93107	39653	64220	38194	93542	10688
26173	65671	57675	89605	84995	38681	22974	31421	13672	78341	28200	35398	87610	72873
70818	11654	71003	84613	98919	82371	93320	67797	85005	12668	64829	61660	27744	92780
22197	50591	57726	38222	69177	50105	99466	65132	82087	90123	16552	48227	49211	83810
27893	89449	43598	40553	29272	87891	82020	63233	93335	73640	63175	49161	56911	25464
21048	27887	65393	26244	14627	16907	28577	53405	62900	64825	10209	34512	99076	70050
30003	41824	23820	64234	50886	31984	89372	36547	96707	39564	53551	86731	52809	90451
65684	46177	68893	12422	65016	11247	61911	88616	59755	26758	90495	56054	74750	97568
71113	52034	46025	41872	57334	85526	21112	88159	16704	70432	94911	31882	85732	80833
62462	12446	66454	42776	78161	54046	91969	27405	83060	13068	82176	23687	13988	96632
21422	48975	24471	25131	11942	36874	77138	22578	99785	53145	79388	39468	37460	40141
72968	96252	89194	79971	56690	14256	68231	51663	93491	61190	94644	92197	57620	35156
80987	39943	32321	77349	34323	65083	51961	97385	85570	24485	67809	59517	91792	54381
10357	49267	76099	77190	84427	31653	39414	40757	23165	88185	48192	71811	21541	47226
43301	84881	86131	51974	48750	36603	97591	35248	85375	69657	70429	58245	43936	10856
69888	73946	67237	13810	88549	66629	15746	42107	97800	44695	15759	10973	31399	96041
68403	74293	68330	92346	48524	80690	59460	47487	64080	27616	41094	21471	65499	60644
29116	85139	82102	79441	16082	17880	41923	65484	53483	91527	36362	66837	84333	28948
77290	71525	14607	25129	69818	81215	76490	16800	73104	95083	13643	95321	91305	48721
97578	32651	32951	21938	15229	60412	99142	89931	61764	58176	45174	82693	47438	54971
19719	25002	91051	46914	34199	24446	48406	92691	62549	78390	32814	85662	60537	48479
69121	39206	98941	99706	63126	82200	31309	17956	48394	92687	30786	29944	80537	87438
14516	17894	34547	31648	34872	29647	89614	21594	15357	73850	48392	92753	50892	24500
55760	42846	96933	82472	11879	11942	50407	25306	11567	19766	45267	84568	97118	56825
60114	92696	66705	96359	57139	69063	51939	99335	65936	85120	13792	28998	72609	39576
19206	47269	83375	13855	75961	72453	26424	19293	34557	69718	55393	47508	55150	21146
68788	62682	70242	60548	17287	50188	83138	82216	66936	57776	97932	32968	47931	99788
45942	68197	92056	91168	43351	34980	34813	61744	96083	87603	28030	79653	35532	49544
74861	17627	24062	76000	50799	18609	70932	16470	34602	24922	27843	42115	89103	68826
18990	36414	30083	22112	50237	53213	22706	90858	71367	10815	96858	94751	79768	59079
23433	93451	41711	42882	52688	14257	53443	58668	68120	68677	41188	23607	74904	12223
57402	99030	57841	33520	98482	42430	88100	97077	68748	19158	19495	46225	93873	33929
17081	20007	43533	26348	56299	72515	42345	97463	51936	46520	41664	54165	99411	64462
92251	94614	10732	78703	41229	72459	54891	93846	65072	87944	43992	72157	90554	94115
97861	72241	41134	85895	70742	12798	85876	21043	77540	73588	45075	31504	48884	95122
97571	64381	55337	88992	35299	20294	80818	63587	21335	17695	50865	12359	35016	99475
90909	16545	72989	56532	38644	14271	37615	54530	81392	39794	91007	41637	52295	43380
49001	47822	23331	26273	10251	73167	47750	95948	87141	31406	81311	45858	64252	67980
78248	87987	86568	63145	58104	94612	58157	72989	61054	23529	32928	28665	14884	10281
42025	44021	60256	48321	71461	97817	87451	83638	57816	20080	78780	83486	10205	32588
21583	73741	61162	64666	99881	58993	89266	86927	32886	93925	59239	93414	91234	35113
35287	25931	22058	23457	79931	10703	37072	22775	36923	80300	68630	17913	80834	87726
19357	84970	48230	59708	22658	86675	97683	46869	93034	90468	16894	68729	89660	53189
33575	41145	49539	50736	60809	33407	81864	20721	35810	10662	97194	41559	36997	82637
35509	23551	93335	54363	12640	75593	27062	89233	42522	71886	55785	72003	71091	52426
97202	53869	78277	61327	64621	72278	78215	54479	56564	93864	65192	91242	83118	66629
12732	11045	36669	82521	89336	68283	20528	89222	16740	29098	34478	82885	19414	72606
95903	55489	80511	91934	10045	18851	37794	49678	96196	15537	19509	64582	16221	80461
57639	18216	31785	40731	65585	61429	75549	96970	74660	10943	65011	46807	50577	32278
35509	34102	85610	24675	64203	70239	89814	78853	39840	52534	50473	56806	23052	77860
53470	72882	27251	48332	58798	43269	64359	76887	76636	16841	71481	29398	97320	52234
33291	61286	59487	48730	48683	93712	92428	45352	37541	81486	93978	32604	78896	65589
17884	48454	55658	71245	55106	93009	66795	48010	62192	78182	98840	77076	46859	25629
88787	58949	79138	21745	55117	70855	47591	88894	28166	39015	17122	88468	12497	41357
34007	69053	27247	56069	91204	56231	95493	99541	60035	78211	86776	99305	63984	63650
78867	28242	71657	33036	91527	93774	76565	75167	76490	52958	32302	34532	55657	53545
42392	85052	33801	38678	66644	91390	42024	97099	26200	63008	75942	75556	74960	58677

Si el estudio se realizará durante un mes y aleatoriamente se seleccionan 10 días de ese mes (también mediante el uso de números aleatorios) se requieren 922 observaciones por día. Si se realizan 10 observaciones simultáneas, se requieren 93 ( $922/10=92.2$ ) observaciones por día. Esto indica que se debe hacer una observación cada 5.8 minutos en promedio. Si redondeamos a 5 minutos promedio por observación, se pueden utilizar los números aleatorios para determinar las horas del día a que se debe hacer cada lectura. Si el primer número aleatorio era 34547 las observaciones se harían, la primera a las 8:03 AM, la segunda 4 minutos después, la que sigue 5 minutos después de la segunda y así sucesivamente. Con los números mayores que 5 se les resta 5, de forma que un 7 se convierte en 2, el 6 en 1, el 8 en 3, etc. etc. Como algunas horas se van a repetir ya que cuando sumamos cero minutos al tiempo anterior se repite la hora, hay después que eliminar todas las horas repetidas. Las horas quedarían como se muestra en la tabla siguiente:

Hora	Hora
8:00 a. m.	8:44 a. m.
8:03 a. m.	8:49 a. m.
8:07 a. m.	8:50 a. m.
8:12 a. m.	8:52 a. m.
8:16 a. m.	8:56 a. m.
8:17 a. m.	8:58 a. m.
8:20 a. m.	9:01 a. m.
8:23 a. m.	9:03 a. m.
8:26 a. m.	9:08 a. m.
8:29 a. m.	9:10 a. m.
8:30 a. m.	9:14 a. m.
8:35 a. m.	9:16 a. m.
8:37 a. m.	9:19 a. m.
8:40 a. m.	9:21 a. m.
8:43 a. m.	9:24 a. m.

Si el muestreo ha de hacerse ininterrumpidamente es posible que se requieran dos personas entrenadas para realizarlo de esa forma, las dos pueden tener períodos de descanso. Puede ser que se asignen las horas de forma alternada o que ellos escojan la mejor forma de repartirse el trabajo.

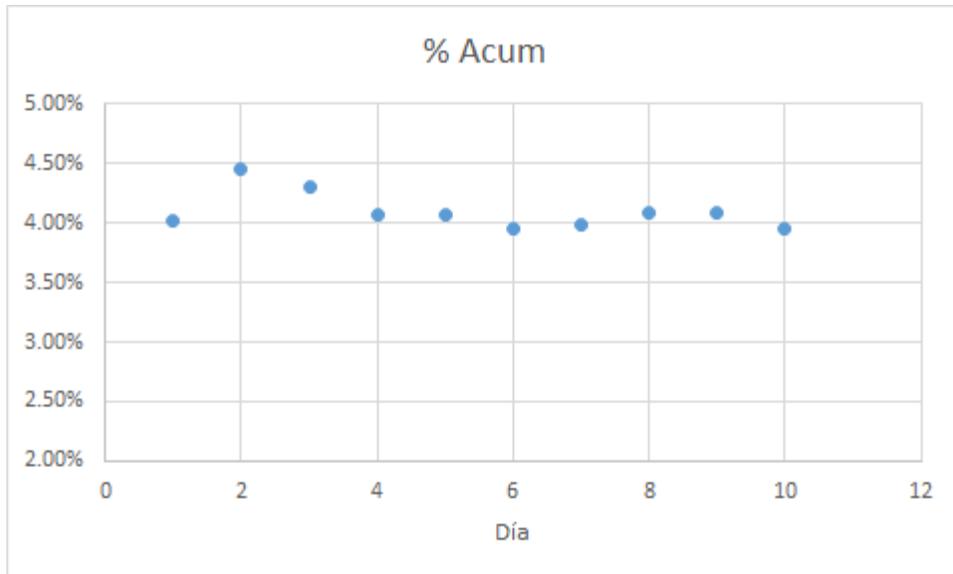
## Método Gráfico para Evaluar la Convergencia

El uso de las fórmulas matemáticas ha mostrado que el número de observaciones a realizar depende del porcentaje de ocurrencia de la actividad a medir y el error máximo tolerado. Utilizando un método gráfico se puede medir el progreso hacia el cumplimiento de los dos objetivos mencionados (la frecuencia de ocurrencia y el error).

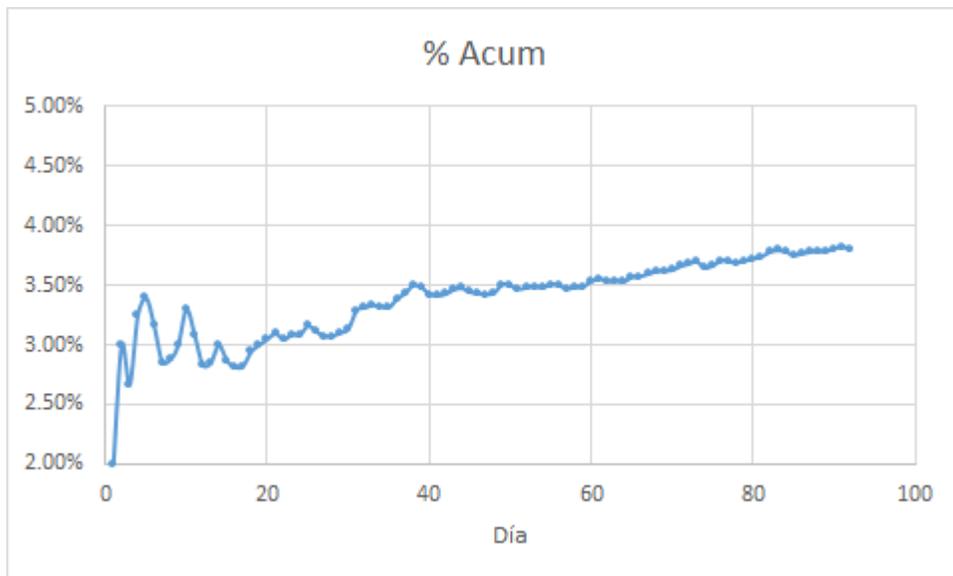
Suponga que se programan 92 observaciones de 10 ventanillas por día, durante 10 días para determinar el porcentaje de tiempo que se encuentra desocupada. Los resultados día a día se muestran en la siguiente tabla.

Día	Observaciones	Desocupadas	%	Obs Acum	Desoc Acum	% Acum
1	920	37	0.040	920	37	0.040
2	920	45	0.049	1840	82	0.045
3	920	37	0.040	2760	119	0.043
4	920	31	0.034	3680	150	0.041
5	920	37	0.040	4600	187	0.041
6	920	31	0.034	5520	218	0.039
7	920	39	0.042	6440	257	0.040
8	920	44	0.048	7360	301	0.041
9	920	38	0.041	8280	339	0.041
10	920	24	0.026	9200	363	0.039

Si se grafican los valores del % Acumulado por día como se muestra en el gráfico abajo, se puede observar cómo los valores fluctúan más los primeros días que en los últimos días. Esto indica que el valor está convergiendo a una cifra conforme se acumulan las lecturas. En éste caso al 4%.



El proceso de convergencia se puede ver mejor si las lecturas se hubieran espaciado más en el tiempo. Si en vez de tomar 92 lecturas diarias de 10 ventanillas cada una durante 10 días, se hubieran tomado 10 lecturas durante 92 días el gráfico de convergencia mostraría mejor la tendencia.



En adición a calcular analíticamente el error para cada cantidad de observaciones hechas se puede ver gráficamente que al final los valores están concentrados en una pequeña región alrededor del 4%

## Planeando el Muestreo de Trabajo

Antes de planear la realización del Muestreo de Trabajo se debe comenzar por estandarizar las operaciones. Se debe definir las herramientas, los protocolos y procedimientos y equipos que se deben usar. Las personas que realizarán la operación deberán entrenarse en el la ejecución y haber superado la curva de aprendizaje.

Realizar una investigación preliminar es indispensable. Se debe observar la actividad a observar, discutir con los supervisores del área el alcance del estudio y de ser necesario definir los registros a utilizar para documentar las actividades. En este punto, la actividad que se realiza, el producto o servicio que se procesa, la distribución de la instalación, el equipo que se usa, las herramientas y cualquier otro aspecto importante de la operación debe documentarse. No debe perderse de vista que la misión del Muestreo de Trabajo es determinar los hechos y realizar mediciones. Si se piensa reducir los costos, mejorar los métodos o estandarizar las operaciones, se requerirá además otras técnicas de análisis.

Definir el grupo sobre el cual se realizará el estudio, el equipo que usarán y las condiciones de trabajo, sobre las cuales los resultados del estudio serán válidos, es condición indispensable para el éxito

### *Defina los Elementos*

Las actividades deben dividirse en elementos para estudiarlos. Cuando solo se quiere tener un panorama general la división hacerse en unos pocos elementos. En otras ocasiones es necesario un desglose detallado de cada actividad o demora. Cuantos más elementos se tengan, más observaciones se requerirán y el análisis será más extenso.

Por ejemplo una división general puede ser trabajo efectivo y actividades que no agregan valor. Otra clasificación puede contemplar solo las actividades que agregan valor, pero desglosadas en actividades que se medirán y actividades no sujetas a estudio. Si se están analizando demoras se pueden clasificar en evitables e inevitables. Para las inevitables se harán provisiones para incluirlas en las tolerancias a conceder a las personas realizando la actividad y las inevitables no serán tomadas en cuenta. Si

las operaciones involucran equipo o maquinaria, el trabajo a realizar externamente a los ciclos de máquina se deberá separar de los elementos a realizar dentro de los ciclos de máquina (internos). Decida entonces el tipo y cantidad de datos a recolectar. Por ejemplo si se desea estimar las causas de la interrupción del servicio, separe la operación en elementos y defina todas las posibles causas de interrupción, considere luego la clasificación más práctica para la cual se requiere calcular los porcentajes. En este punto considere la consolidación final que hará en las conclusiones del análisis.

#### *Seleccione la Unidad de Medida*

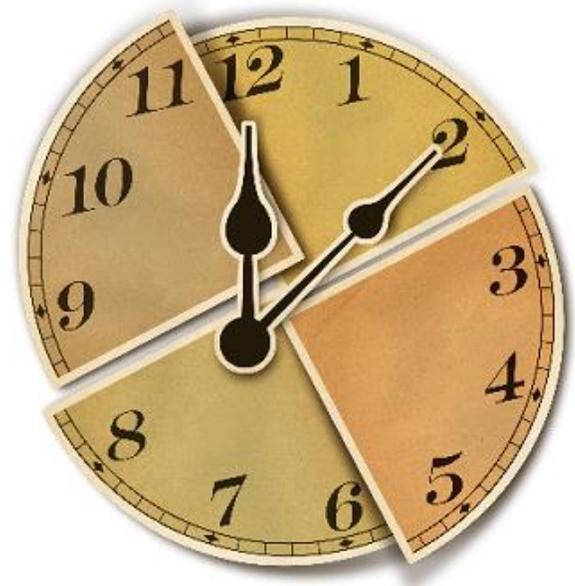
Cuando se hacen estudios por medio del muestreo de trabajo para la determinación de estándares, la unidad de medida debe definirse previamente. La mejor unidad de medida es la que se utiliza para medir la productividad y además es usual utilizarla en los informes de rendimiento. El número de unidades de medida es limitado y los elementos asociados a ésta según corresponda.

El estudio de las mediciones se diseña para obtener la requerida precisión relativa a la unidad de medida. Si se requiere más de una unidad de medida en una cierta actividad, aquella que ocupe el porcentaje más pequeño del tiempo del grupo se considerará la condición crítica.

#### *Tiempo del Estudio y Frecuencia de las Observaciones*

El período de tiempo que se utilizará para hacer el estudio, el detalle que se utilice y el número de las observaciones varían según los requerimientos particulares de cada estudio.

En vez de observar un grupo pequeño de trabajadores o estaciones de trabajo es preferible incluir muchas. El número de observaciones requeridas aumenta a medida que la variación aumenta y conforme se desea una mayor precisión en los resultados. La



precisión del estudio crece con la raíz cuadrada del tamaño de la muestra, de forma que para duplicar la precisión se requiere cuadruplicar el tamaño de la muestra.

El muestreo es más representativo conforme el período en el que se hacen las observaciones aumenta. Si algunas condiciones determinantes permanecen estables, el período que cubre el estudio puede disminuirse. En la práctica la frecuencia seleccionada para las observaciones depende de varios factores como la naturaleza de la operación, el tiempo con que se cuente para realizar el estudio, el número de analistas realizando las observaciones y sus limitaciones físicas. Por ejemplo operaciones repetitivas de ciclo corto, en las que todos los elementos ocurren en cada ciclo, pueden estudiarse en intervalos cortos. Operaciones no repetitivas, o elementos que ocurren poco frecuentemente, requerirán más observaciones.

Si por ejemplo se requieren 1500 observaciones en un período de 15 días, se deberán programar 100 por cada día. El número de observaciones por día dependerá también de la cantidad de observadores y el área que tendrán que cubrir.

Si se va a utilizar un equipo de ingenieros para realizar el muestreo, es esencial que los puntos de vista sean consistentes y sus esfuerzos efectivos. Cada observador debe conocer los fundamentos del muestreo y estar familiarizado con la operación en la que se trabajará. El propósito debe discutirse con ellos y entre todos hacer el desglose de elementos. Reconocer el terreno es parte importante del estudio, conocer físicamente las personas involucradas o estudiadas es vital especialmente si no tienen una estación de trabajo fija. Los miembros del equipo deben conocer detalladamente la operación analizada y poder clasificar los elementos con precisión. Deben además reconocer y evaluar las demoras encontradas, y muy importante poder evaluar el desempeño de los involucrados.

### *Los Formularios para el Levantamiento de los Datos*

Es impráctico diseñar formularios que se puedan utilizar en forma general para realizar las



observaciones. Cada estudio difiere en su tipo, cantidad y desglose de información requerida. Sin embargo, algunas características generales deben observarse. Los formularios deben ser lo más sencillos posible. No incluya información que no requiere para el análisis. Permita que la hora del día en que se recolectó la información aparezca asociada a cada observación, esto permitirá hacer análisis para comparar la evolución en el día y comparar un mismo período en varios días. Diseñe el formulario para que la toma de datos sea sencilla, y además para que se puedan hacer los cálculos de totales y promedios según sea el caso.

### *Cooperación para la Realización*

El éxito de cualquier emprendimiento que requiera de los esfuerzos concertados de un grupo de personas depende del liderazgo y la cooperación. Liderazgo, la capacidad de organizar, dirigir y obtener cooperación, es una fuerza intangible que necesita unir las personas con el propósito de cumplir con el objetivo. El supervisor del equipo realizando el Muestreo de Trabajo debe poseer esas cualidades.

La cooperación de todos los involucrados es esencial en cualquier estudio del comportamiento humano y en los estudios estadísticos que los evalúan. El supervisor del estudio debe comprender los principios básicos y cooperar en la planeación y evaluación del estudio. Los observadores deben ser entrenados y orientados apropiadamente. Ellos no deberán menospreciar o ignorar los procedimientos estándar o las precauciones que se deben tomar.

La cooperación de los supervisores del proceso bajo estudio es necesaria para mantener el flujo de trabajo de forma continua y mantener los servicios que requiere la actividad al nivel usual durante el estudio. Frecuentemente su conocimiento y consejo es esencial para evaluar apropiadamente la actividad. En algunas oportunidades ellos pueden explicar las razones y las causas de un comportamiento específico de sus subalternos.

A los observadores se les debe informar la naturaleza y propósito del muestreo antes del inicio del estudio. Las personas bajo estudio deberán persuadirse para que el comportamiento durante el estudio sea el usual aún con los observadores presentes.

De no hacerse así, es posible que se enfoquen en actividades innecesarias o pospongan las pausas usuales hasta que el observador no esté presente. En algunas oportunidades será necesario preguntarles las causas de algunas demoras.

El problema de las relaciones puede ser fácil o difícil dependiendo de las circunstancias. No hay una regla definida que se pueda aplicar universalmente. Las condiciones particulares establecerán el camino a seguir. El buen juicio asegurará el éxito.

### **Realización del estudio.**

Una vez determinados los elementos a medir, la unidad de medida, el tamaño de la muestra y la frecuencia, diseñado los formularios y conseguido el apoyo de las áreas funcionales bajo estudio, se puede proceder a la toma de datos.

Siempre es importante hacer una prueba o simulacro con los formularios diseñados antes de hacer el estudio formalmente y ajustarlos para simplificar la documentación de las observaciones. Esta prueba piloto puede revelar factores que no se hayan considerado anteriormente.

#### *Punto de Observación*

Es importante definir la ubicación específica desde la cual se harán la o las observaciones. Esto evitará sesgos que pueda introducir el observador. Si no se hiciera así el observador que puede estar interesado en una actividad o elemento específico podría retardar o acelerar las observaciones inconscientemente para lograr observar el elemento de interés. Esto introduciría un sesgo en el estudio inconveniente y el estudio perdería exactitud.



El observador no debe tratar de anticipar o prever las actividades que ocurren con tal de realizar las lecturas de su interés. Si los puntos de observación son varios se debe trazar la ruta previamente para evitar sesgos. Si los sujetos de estudio no tienen una

estación de trabajo fija se deberá escoger una ubicación para el observador que le permita hacer las lecturas mientras los sujetos se desplazan frente a él.

### *Método de Observación*

Al momento de su llegada al punto predeterminado de observación, el observador debe decidir el estatus de la actividad. Debe identificar la naturaleza de la acción de la operación observada y hace la anotación correspondiente. Al inicio puede ser difícil establecer el status instantáneo, pero con el tiempo se hace fácil. En algunas oportunidades resulta incorrecto anotar la actividad obvia observada ya que pueden estar ocurriendo dos actividades simultáneamente. En este caso la actividad dominante o principal debe anotarse. Por ejemplo puede que la ventanilla esté ocupada y sin embargo la persona que se encuentra en ella no es un cliente sino otro empleado o el supervisor de la oficina que de casualidad pasó y conversó con la persona que atiende los clientes. Durante las rondas de toma de datos el observador debe estar alerta para detectar condiciones anómalas que puedan afectar los resultados o el análisis.

### *Calificación del Desempeño*

Dependiendo del propósito del estudio, en algunas oportunidades es necesario consolidar el trabajo de grupos o departamentos. Además también considerar el nivel de desempeño o el esfuerzo realizado en términos de la calificación de la actuación de las personas ejecutando el trabajo. Los observadores deberán anotar además el paso o la tasa de actividad que



realizan los sujetos bajo estudio. Puede realizarse una calificación por actividad separadamente o por grupos de elementos en conjunto. Más adelante se incluirá una sección sobre este tema.

### *Análisis de las Observaciones y Resumen*

Es posible que los observadores hagan lecturas equivocadas o que ciertas circunstancias afecten las lecturas, como puede ser el que el observador sea interrumpido por su supervisor o alguna circunstancia especial y sea necesario anular dichas observaciones. También puede ser que el observador haya anotado que se dieron situaciones atípicas durante la toma de algunas lecturas. Una vez eliminadas las condiciones especiales se procede a resumir los datos según lo planeado. Con cada cantidad nueva de lecturas se debe actualizar el cálculo del tamaño de la muestra y el error máximo para corroborar que se encuentran entre lo planeado.

### *Interpretación de los resultados.*

Una vez terminadas las observaciones se debe resumir los resultados y presentar las conclusiones. Es importante que los supuestos sobre el error máximo aceptable sean corroborados antes de finalizar el estudio.



### *Los Estándares de Trabajo y el Muestreo de Trabajo*

La forma principal para el establecimiento de estándares de trabajo debe ser la medición realizada mediante la toma de tiempos con cronómetro. Esto es válido especialmente en operaciones de ciclo corto y repetitivo. Sin embargo en actividades de ciclo largo, donde los trabajadores participan en grupo y las actividades no se prestan para la toma de tiempos se puede utilizar el muestreo de trabajo. El muestreo de trabajo se utiliza para determinar tres elementos importantes del estándar. Primero el nivel de desempeño de las actividades. Segundo las demoras que ocurren durante la operación y el porcentaje del día que se le dedica a las actividades productivas. En el caso todos los pasos descritos en la sección “Planeando el Muestreo de Trabajo” y “Realización del Estudio” deben tomarse en cuenta. En estos casos se debe tomar en cuenta los elementos de demora, los elementos productivos, la evaluación del desempeño y la unidad de medida de la productividad de la operación. Si varias

personas participan en el grupo, el desempeño de todas debe ser evaluado. Como resultado del estudio se deberá, como mínimo, tener la proporción del tiempo que se realizaron tareas productivas, la proporción del tiempo que ocurrieron demoras y la calificación del desempeño de todas las personas involucradas.

#### *Ventajas de Establecer Estándares por Medio de Muestreo de Trabajo*

1. Algunas actividades en las que resulte impráctico o costoso hacer las mediciones mediante el estudio de tiempos se puede medir por el método del Muestreo de Trabajo.
2. Un mismo observador puede realizar un estudio sobre varios trabajadores o procesos. En los estudios de tiempos se requiere un observador por cada uno.
3. Usualmente se requiere menos horas-hombre para realizar los estudios por el método del Muestreo de Trabajo.
4. No es necesario utilizar Ingenieros entrenados en la toma de tiempos para realizar las observaciones, siempre que los observadores sean bien entrenados.
5. Son estudios más fáciles de realizar que las tomas de tiempo y por lo tanto menos fatigante y tediosos que los estudios de tiempo.
6. La cantidad de cálculos es menor que los requeridos en los estudios de tiempo (ver sección más adelante con el detalle de los cálculos de los estudios de tiempo)
7. No se requiere el uso de un cronómetro especial para realizar las mediciones.

#### *Desventajas de Establecer Estándares por Medio de Muestreo de Trabajo*

1. Por lo general el muestreo no es económico para estudiar una sola estación de trabajo.
2. El estudio de tiempos elemental (por elemento) es preferible cuando se tienen operaciones repetitivas de ciclo corto. Como alternativa se puede utilizar métodos de tiempos estándar como MTM.
3. Los estudios de tiempo permiten la descomposición de las operaciones en elementos más pequeños.

4. Las personas bajo estudio pueden alterar el procedimiento de trabajo estándar y no ser detectado por el o los observadores.
5. Los gerentes y supervisores pueden no comprender las bases del muestreo de trabajo tan bien como las de los estudios de tiempo.
6. Algunos observadores pueden subestimar la importancia de aplicar correctamente los principios del muestreo de trabajo, el error máximo tolerable, el tamaño requerido de la muestra, la importancia de que las muestras se tomen de forma aleatoria para evitar sesgos, la importancia de tomar lecturas instantáneas en las ubicaciones previamente establecidas o una cuidadosa descomposición de la operación en sus elementos fundamentales y un desglose apropiado de las demoras.

#### *Medición del Desempeño (Calificación de la Actuación)*

Al establecer mediciones del trabajo por medio del estudio de tiempos, una parte muy importante es la calificación del desempeño mostrado por las personas realizando las operaciones. El entrenamiento de los ingenieros para determinar la calificación de la actuación se puede hacer mediante videos o prácticas presenciales.

Existen varias operaciones estandarizadas que se pueden utilizar en el entrenamiento y que facilitan evaluar las operaciones realizadas. Tres muy usuales es el caminar, repartir una baraja de naipe de 52 cartas y el colocar bloques de madera en una ranura.

Caminar sobre una superficie plana sin carga, similar al de una planta de manufactura o una acera sin obstrucciones y sin curvas es muy usado para el entrenamiento. El paso normal equivale a 3 millas por hora (4.8 km/h aproximadamente). Recorrer una distancia de 50 pies (15.24 metros) en 0.19 minutos (11.36 segundos aproximadamente) se considera un paso del 100%.

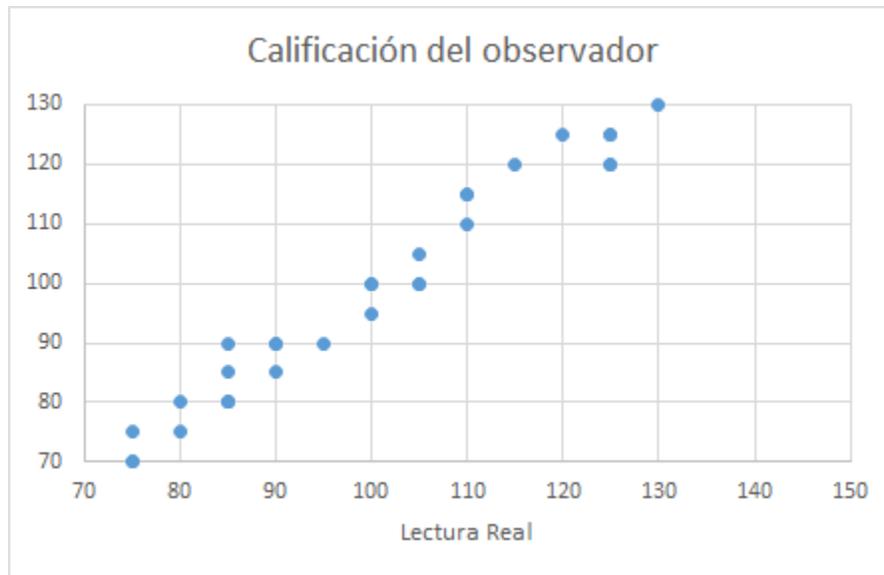
Para el entrenamiento se colocan dos pares de sillas espaciadas 50 pies unas de las otras como se muestra en el diagrama abajo. Las sillas se colocan espalda con espalda y separados los respaldares unos 80 centímetros uno de otro, de forma que una persona pueda caminar entre los respaldares. Se coloca una cuerda descansando

sobre los respaldares como interrumpiendo el paso al caminante. La distancia entre las cuerdas debe ser de 50 pies.

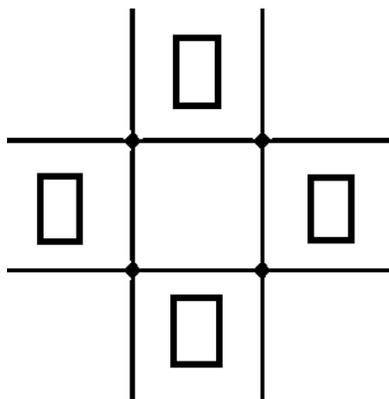


Una persona camina en el pasillo imaginario de 80 cm entre los respaldares y se toma el tiempo que requiere desde que toca una cuerda con el cuerpo hasta que toca la otra con el cuerpo. La persona camina varias veces a diferentes velocidades pero manteniendo constante el paso y se toman los tiempos. El ingeniero que se está entrenando califica el paso y lo anota en la hoja de lecturas. Después de realizar unas 30 lecturas a diferentes pasos que oscilen entre el 70% y el 130%, la persona que está tomando los tiempos le indica el desempeño medido en cada prueba para que compare. El observador realiza un gráfico con las lecturas reales y las que él asignó para ajustar su capacidad de evaluar.

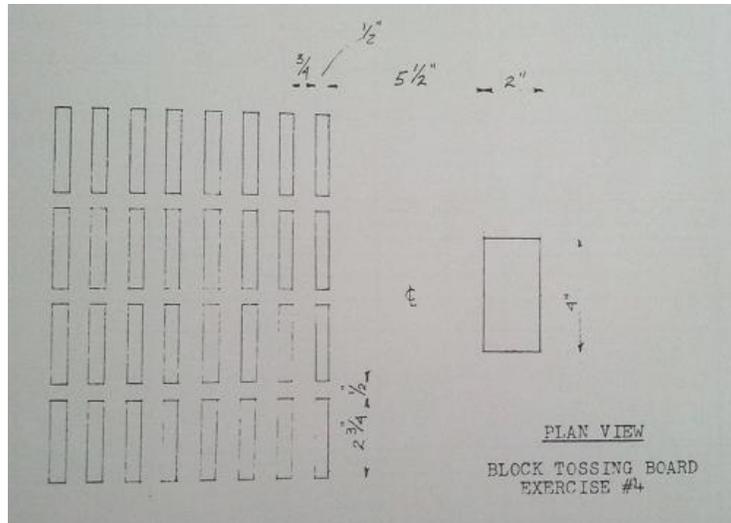
Abajo se muestra el resultado de un entrenamiento realizado entre el Ingeniero y su supervisor.



Otro entrenamiento que se utiliza es el repartir una baraja de naipes de 52 cartas sobre una mesa en cuadros de 6" por 6" separados entre sí por otro cuadro de 6" por 6", como muestra el dibujo abajo.



Se considera que repartir las 52 cartas en 0.5 minutos (30 segundos) corresponde a un 100 % de desempeño. En la siguiente dirección <https://www.youtube.com/watch?v=GyUB-JPj9QY> se puede observar el proceso, solo que la persona que lo hace utiliza 54 cartas en vez de 52 que es lo correcto.



Otra técnica que también se utiliza es utilizando bloques de madera sobre una mesa que tiene una ranura. Se usan 32 bloques de madera de  $2 \frac{3}{4}$ " de largo por media pulgada de alto y media pulgada de ancho colocados en 4 filas como se muestra en la ilustración de arriba. Tomarlos uno a uno y colocarlos en la ranura que se encuentra a 5.5" de distancia en 0.5 minutos (30 segundos) se considera un paso del 100%. Los bloques se toman iniciando en la fila que se encuentra más cerca del operador y se van tomando uno a uno hasta terminar con esa fila. Luego se continúa con la siguiente hasta terminar las cuatro. Si el operador es derecho los bloques se toman y se mueven hacia la derecha hasta la ranura como se muestra en el diagrama arriba. Si el operador es zurdo debe pararse al otro lado de la mesa y moverlos hacia la izquierda. En otras palabras, si el operador es derecho la ranura estaría a la derecha del operador y si es zurdo a su izquierda.

#### *Detalle de los Cálculos de los Estudios de Tiempos*

Para calcular los estándares de trabajo se parte de los tiempos observados para cada elemento y la calificación de desempeño de cada observación. La multiplicación de estos dos valores nos lleva al tiempo nivelado. El tiempo nivelado es tiempo que se debió tardar si el elemento se realizara al 100% de desempeño. El promedio de los tiempos nivelados nos da el tiempo promedio nivelado para cada elemento. Este valor se puede incorporar en una base de datos de tiempos estándar para ser utilizados más adelante para establecer tiempos estándar por operación sin necesidad de tomar

tiempos de operaciones similares, siempre que no se extrapolen los valores, sino que se interpolen. Además éste tiempo es el tiempo estándar permitido por ocurrencia para el elemento en cuestión. Este tiempo no incluye tolerancias por fatiga ni demoras. Cuando en una operación el elemento se realiza más de una vez por ciclo se hace necesario ajustar la frecuencia de ocurrencia de ese elemento multiplicándolo por la frecuencia de ocurrencia del elemento en el ciclo. Este último valor es el tiempo elemental permitido neto. Luego de que se totalizan los tiempos elementales permitidos netos se obtiene el total de tiempo permitido neto para todo el ciclo. A este valor se le aplican las tolerancias por fatiga y demoras que se van a conceder para la operación. Note que solo se conceden tolerancias para las demoras inevitables, aquellas que están fuera del alcance de la persona ejecutando la actividad. Este último tiempo es el tiempo total bruto permitido para la operación.