

# Estadísticas de costos unitarios

Por el Ingeniero

EMILIO ALANIS PATIÑO

Jefe del Depto. de Estadística de la Comisión Nacional de Irrigación

## *Ingeniería y previsión*

**M**UCHAS características deben tener los buenos ingenieros, pero quizás una de las más destacadas es la precisión, basada en una actitud y en un conjunto de conocimientos. La actitud significa el deseo de imaginar o pensar lo que puede ocurrir; los conocimientos representan la experiencia de otros muchos hombres. Cierta dosis de criterio o buen juicio y talento debe tener un ingeniero previsor, pero aun en las condiciones mejores, toda suposición o planeación del futuro tiene una pequeña probabilidad de fallar o fracasar. Las matemáticas puras y aplicadas, la observación experimental y la cooperación profesional, tienden a lograr que los fracasos de la ingeniería sean cada vez mucho más improbables.

Poco debe insistirse sobre las afirmaciones anteriores; sin embargo, recordaremos el caso de una presa de almacenamiento que se proyecta construir para regar cierta área cultivable. Es necesario, ante todo, el propósito firme de que la obra resulte eficiente y económica, lo que constituye una actitud sana. Luego es preciso reunir conocimientos del régimen hidrológico de la cuenca, de las condiciones geológicas del vaso y de la boquilla, de las propiedades que ofrecen los materiales de construcción disponibles, de las características agrológicas de las áreas posiblemente regables, de las condiciones físicas y químicas del agua que se aprovechará para los riegos, y de tantas otras circunstancias que directa o indirectamente afectarán la localización, el diseño, la construcción, la operación y la conservación de la obra. Si en alguno de los aspectos señalados hay carencia o insuficiencia o deficiencia de datos, el resultado de la obra podrá ser parcial o totalmente malo, y el conjunto de previsiones fracasará.

## *Costos técnicos vs. costos obtenidos*

Los muchos hechos que deben preverse para planear, construir y operar una obra, se reducen

a numerosas soluciones técnicas que tienen como denominador común el costo de su ejecución. Pero el costo depende, fundamentalmente, de las cantidades de trabajo, materiales y equipo necesario, tanto como del precio a que se adquieren estos elementos. Por lo tanto, el costo es una función dependiente de dos variables; sólo que la primera (cantidades de trabajo, materiales y equipo necesario), adquiere variaciones o valores diversos por virtud de estimaciones imprecisas o por cambios en los diseños, mientras que la segunda (precio) sufre por las variaciones de la oferta y la demanda, y por los cambios del poder adquisitivo de la moneda. Así se explica que las previsiones del costo estén sujetas a errores de grado relativamente considerable y en casos muy frecuentes.

Para ejemplificar lo dicho en el párrafo anterior, consideremos la Presa del Palmito, sobre el Río Nazas, Dgo. Los estudios de las obras para el almacenamiento de las aguas de este río, se iniciaron en 1897. Datos recopilados por Pearson & Son's asignaban a la Presa del Palmito un costo de \$ 11 188 000.00. La Comisión Nacional de Irrigación principió la construcción de esta presa en 1936, y en diciembre de aquel año se estimaba que el costo de la cortina (sin incluir el vertedor ni la obra de toma), sería de \$ 12 775 000.00, pero para fines de 1940, se consideraba que el costo total de la misma cortina (excluyendo vertedor y obra de toma), será de \$ 15 995 121.00, cantidad que es como un 25% superior a la calculada cuatro años antes; parte de esta diferencia se explica por la depreciación del peso mexicano, cuyo poder adquisitivo en 1940 fué inferior al de 1936 como 25% en el interior, y como 60% en el exterior. Diferencias análogas a las señaladas para esta presa, se observan en otras obras construídas en México, en Estados Unidos, en Argentina, etc., y se deben frecuentemente a carencia o insuficiencia de informes técnicos o económicos.

Cuando con fines sanos se estudien cuidado-

samente los motivos de las diferencias entre las inversiones presupuestadas y las efectivamente realizadas, se tendrá que precisar para cada estructura y aún para cada clase de trabajo (terraceras, concreto, etc.), qué parte de las diferencias se puede atribuir a cambio de diseños, qué parte corresponde a un cálculo erróneo de las cantidades de trabajo presupuestadas, y qué parte es asignable a equivocaciones en la elección de los informes y los métodos empleados para obtener los costos unitarios considerados

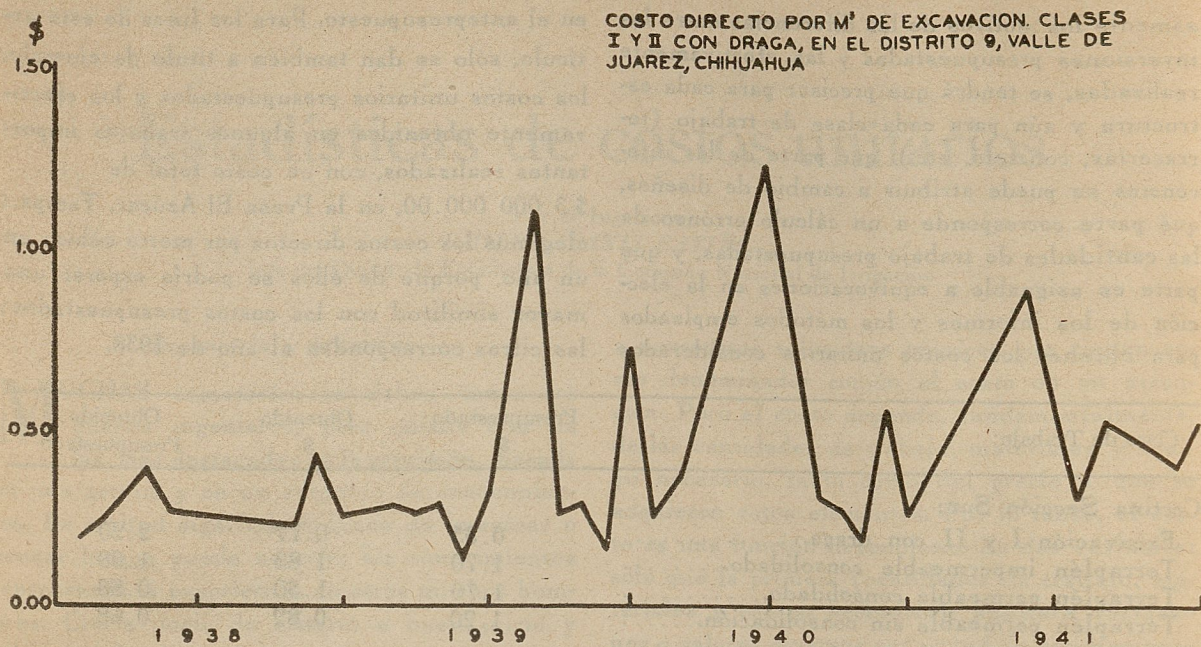
en el antepresupuesto. Para los fines de este artículo, sólo se dan también a título de ejemplo, los costos unitarios presupuestados y los efectivamente obtenidos en algunos trabajos importantes realizados, con un costo total de . . . . . \$ 3 000 000.00, en la Presa El Azúcar, Tamps.; elegimos los costos directos por metro cúbico en un año, porque de ellos se podría esperar una mayor similitud con los costos presupuestados; las cifras corresponden al año de 1938.

Clase de Trabajo:	Presupuestado \$	Obtenido \$	Obtenido Presupuesto
<b>Cortina Sección Sur:</b>			
Excavación I y II con draga.....	0.35	0.77	2.20
Terraplén impermeable consolidado.....	1.70	1.83	1.08
Terraplén permeable consolidado.....	1.70	1.50	0.88
Terraplén permeable sin consolidación.....	1.20	0.82	0.68
<b>Cortina Sección Norte:</b>			
Excavación I y II con draga.....	0.27	0.29	1.07
Terraplén impermeable consolidado.....	1.85	1.86	1.00
Terraplén permeable consolidado.....	1.75	1.76	1.01
Terraplén permeable sin consolidación.....	0.85	0.84	0.98
<b>Dentellón Norte:</b>			
Excavación IV a mano.....	25.00	20.00	0.80
Relleno consolidado con rodillo.....	1.70	1.84	1.08
Relleno consolidado a mano.....	12.00	17.76	1.78
Concreto "B". . . . .	35.00	29.45	0.84
<b>Vertedor de demasías:</b>			
Excavación II a máquina.....	0.60	0.53	0.88
Excavación III a máquina.....	1.30	1.24	0.95
Traspaleos . . . . .	0.50	0.43	0.86
Acarreos. . . . .	0.70	0.77	1.10

Se observa que en los datos seleccionados, aproximadamente la mitad de los costos obtenidos superan a los presupuestados y la otra mitad es inferior a los respectivos costos presupuestados. El aumento relativamente más considerable, es de 120% sobre el costo presupuestado y corresponde a excavación clases I y II con draga en la Sección Sur de la Cortina; la disminución proporcionalmente menor es de 32% del costo presupuestado y se observa en el terraplén permeable sin consolidar, Sección Sur de la Cortina. En este caso el valor de los trabajos ejecutados calculado con los costos de presupuesto, es, aproximadamente, igual a la inversión efectivamente realizada, pero es muy probable que haya varias obras en que la inversión presupuestada sea inferior a la real.

Las diferencias entre costos presupuestados

y costos obtenidos, posiblemente varían según la clase de trabajo, la estructura o parte de obra, la obra, la época y las circunstancias en que el trabajo se realiza, de modo que lo señalado para El Azúcar no debe generalizarse, y únicamente nos sirve para mostrar cómo hay diferencias que posiblemente puedan disminuirse; cómo y hasta qué grado, son dos cuestiones de contestación difícil, que aquí no intentaremos, sólo procuraremos destacar en los párrafos que siguen, la utilidad que tienen los datos de la Contaduría de Costos y las estadísticas que de ellos pueden derivarse. Tal vez las cifras contables y estadísticas de costos, manejadas juntamente con informes básicos sobre la dinámica de los precios y sometiendo el conjunto a los principios y la experiencia de la ingeniería, permitan afinar mejor los



GRAFICA I

presupuestos de inversiones futuras por lo que toca a los costos.

#### *Empleo de datos sobre costos*

En otros números de "Irrigación en México", han aparecido artículos en que se indican los elementos que integran los costos y los procedimientos que se siguen para obtenerlos; estos últimos se han mejorado y ampliado notablemente a partir de 1937, y en la actualidad cada mes se obtiene un informe de costos para cada una de todas las grandes obras en estudio, construcción u operación, y para muchas de las obras de categoría menor. Los costos obtenidos tienen una finalidad inmediata e ininterrumpida, en la vigilancia de los trabajos que se hacen en la obra, y otro fin mediano y esporádico, en la planeación o contratación de obras similares; la primera representa una experiencia fresca, aprovechable íntegramente y con plena confianza en la obra respectiva; la segunda generalmente significa una experiencia lejana en el espacio y en el tiempo, que debe usarse con mucha discreción; la primera sirve principalmente a los ingenieros superintendentes, la segunda a los ingenieros proyectistas y a quienes determinan los costos a que se contrata un trabajo.

Los ingenieros superintendentes tal vez desearían tener diariamente un sencillo informe de los costos directos obtenidos en los principales trabajos que están bajo su responsabilidad, con el objeto de comparar las cifras de un día con

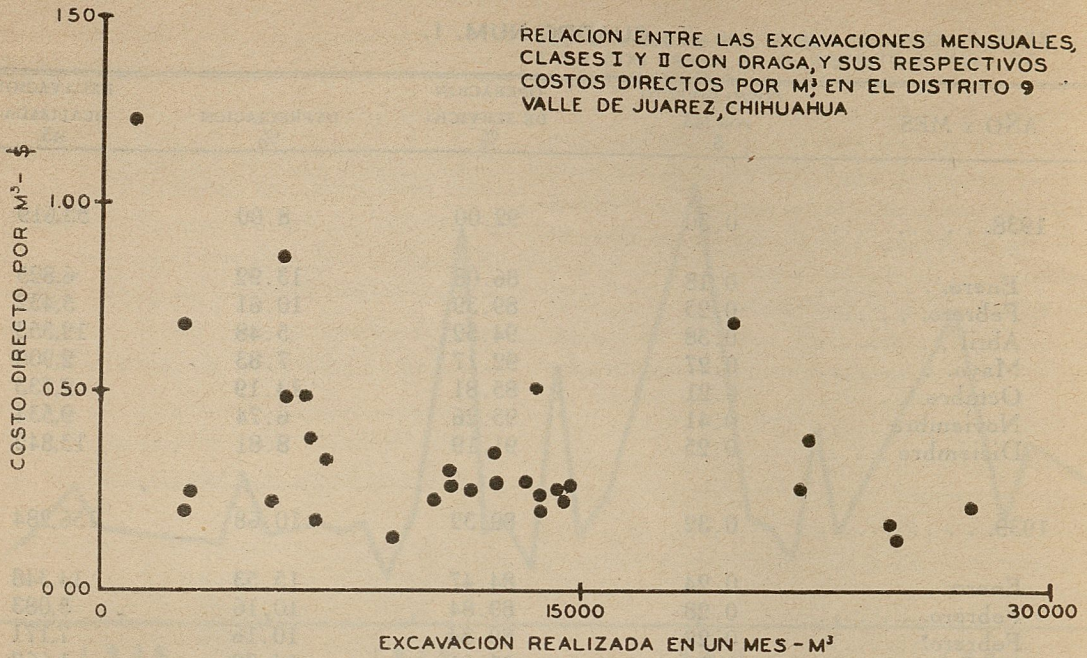
las de los anteriores, lo que les permitirá intervenir oportunamente para evitar cualquier elevación indebida de los costos, y aún para mantener la tendencia decreciente de los costos hasta su límite mínimo. No podemos afirmar si los costos mensuales que se están obteniendo deben complementarse necesariamente con informes sintéticos de los costos diarios, ni sabemos si esto último es posible. Por ahora nos proponemos examinar someramente ciertos costos mensuales y anuales, para ilustrar algunas observaciones posteriores; dichos costos son menos variables que los que resultarían de los informes diarios, puesto que éstos estarían más influidos por circunstancias accidentales.

#### *Variabilidad de los costos*

Escogimos los datos del Distrito 9, Valle Juárez, Chih., para el examen de sus variaciones. En el D-9 se han hecho excavaciones clases I y II con draga, en drenes profundos, de manera casi continua durante los últimos años; aquí se dan los costos directos por el período de 1938 a 1941, que se descomponen en depreciación y operación de servicio, incluyéndose en esta última, los salarios y destajos, los materiales, las refacciones, los combustibles y los lubricantes; algunos meses aparecen con dos o tres costos, correspondientes a otras tantas dragas; las cifras se han tomado de los informes de costos mensuales.

CUADRO NUM. 1.

AÑO Y MES	COSTO DIRECTO	OPERACION	DEPRECIACION	EXCAVACION
	POR M <sup>3</sup> . \$	DE SERVICIO %	DEPRECIACION %	REALIZADA M <sup>3</sup> .
1938. . . . .	0.30	92.00	8.00	53,619
Enero. . . . .	0.18	86.08	13.92	6,825
Febrero. . . . .	0.23	89.39	10.61	5,432
Abril . . . . .	0.38	94.52	5.48	12,353
Mayo. . . . .	0.27	92.17	7.83	2,900
Octubre. . . . .	0.21	85.81	14.19	2,733
Noviembre . . . . .	0.41	93.26	6.74	9,534
Diciembre . . . . .	0.25	91.19	8.81	13,842
1939. . . . .	0.32	89.32	10.68	156,284
Enero. . . . .	0.24	84.47	15.53	14,348
Febrero. . . . .	0.28	89.84	10.16	5,083
Febrero. . . . .	0.28	89.84	10.16	7,171
Marzo. . . . .	0.26	85.61	14.39	1,662
Marzo. . . . .	0.27	85.61	14.39	278
Marzo. . . . .	0.26	85.61	14.39	9,811
Abril. . . . .	0.57	96.63	3.37	1,261
Abril. . . . .	0.24	88.48	11.52	9,669
Mayo. . . . .	0.20	97.09	2.91	2,019
Mayo . . . . .	0.12	82.51	17.49	7,432
Mayo . . . . .	0.12	82.51	17.49	12,873
Junio. . . . .	0.24	90.40	9.60	6,412
Junio. . . . .	0.35	87.05	12.95	7,313
Junio. . . . .	0.34	90.86	9.14	13,947
Agosto. . . . .	1.09	95.20	4.80	2,768
Septiembre . . . . .	0.25	86.48	13.52	10,384
Octubre. . . . .	0.27	87.35	12.65	14,508
Noviembre. . . . .	0.16	95.50	4.50	9,358
Diciembre. . . . .	1.61	96.98	3.02	6,496
Diciembre . . . . .	0.28	73.12	26.88	13,491
1940. . . . .	0.30	84.92	15.08	91,337
Enero. . . . .	0.26	76.16	23.84	14,495
Febrero. . . . .	0.34	61.25	38.75	7,151
Junio. . . . .	1.24	88.61	11.39	960
Agosto. . . . .	0.31	84.75	15.25	3,000
Septiembre. . . . .	0.28	91.16	8.84	10,545
Septiembre. . . . .	0.27	91.16	8.84	2,770
Octubre. . . . .	0.18	87.04	12.96	25,014
Noviembre. . . . .	0.55	89.12	10.88	13,560
Diciembre . . . . .	0.25	91.19	8.81	13,842
1941. . . . .	0.43	80.07	19.93	44,858
Mayo. . . . .	0.89	86.88	13.12	5,530
Julio. . . . .	0.25	78.81	21.19	15,110
Julio. . . . .	0.40	78.81	21.19	5,036
Agosto . . . . .	0.48	76.40	23.60	6,554
Noviembre. . . . .	0.37	72.42	27.58	6,748
Diciembre. . . . .	0.48	.....	.....	5,880



GRAFICA II

El costo unitario anual se eleva notable y bruscamente de 1940 al año siguiente, como resultado de los altos costos obtenidos en los meses de mayo, agosto y diciembre. Los costos unitarios mensuales varían entre un mínimo de \$ 0.12 en mayo de 1939 y un máximo de \$ 1.61

en diciembre del mismo año; ambos extremos difieren mucho del costo obtenido en todo el año de 1939. Los 42 datos de costos mensuales se distribuyen entre sus valores mínimo y máximo, del modo siguiente:

COSTO MENSUAL POR M. <sup>3</sup> \$	NUMERO DE DATOS	COSTO MENSUAL POR M. <sup>3</sup> \$	NUMERO DE DATOS
0.12 - 0.23.....	8	0.84 - 0.95.....	1
0.24 - 0.35.....	22	0.96 - 1.07.....	
0.36 - 0.47.....	4	1.08 - 1.19.....	1
0.48 - 0.59.....	4	1.20 - 1.31.....	1
0.60 - 0.71.....		1.32 - 1.43.....	
0.72 - 0.83.....		1.44 - 1.65.....	1

Es evidente que en los cuatro años de que se trata y dentro de las condiciones en que trabajaron las dragas del D-9, los costos unitarios muy frecuentemente quedan comprendidos entre \$ 0.24 y \$ 0.35; los costos que están fuera de estos límites pueden considerarse raros y obtenidos en condiciones anormales, mereciendo la atención del ingeniero superintendente y la revisión de los cargos hechos por el contador de costos.

Los valores extremos o sea \$ 0.12 y \$ 1.61, son de muy poca importancia para el cálculo del antepresupuesto de nuevas excavaciones clases I y II con draga en el mismo D-9 o en otro lu-

gar donde se piense utilizar el mismo equipo, en condiciones similares de precios, de combustibles, salarios, etc., y para dicho cálculo más bien puede servir el costo \$ 0.275 que puede considerarse el más frecuente, siempre que no haya habido cambios apreciables en los elementos del costo. En este caso el costo medio calculado aritméticamente es \$ 0.33 algo superior al costo más frecuente, mientras que la mediana o sea la media de los costos que ocupan los dos puestos centrales, cuando se ordenen de manera creciente o decreciente, es de \$ 0.27. Pero este último valor que casi coincide con el del costo más frecuente, multiplicado por el volumen de

las excavaciones realizadas, dará un producto menor que el monto de las inversiones realmente hechas en tales excavaciones, lo que no ocurre considerando el costo medio aritmético.

La gráfica I muestra las variaciones de los costos unitarios del cuadro 1; para los meses que aparecen en dos o más costos, se calculó su costo medio, que fué el que se usó en la gráfica. Esta parece revelar una tendencia creciente de los costos, pero, sobre todo, señala una variabilidad notable, de motivos seguramente complejos. ¿Estos costos unitarios varían dentro de los límites normales, o fueron excepcionalmente variables por razones también excepcionales? ¿Cuáles fueron estas razones? ¿Pudo haberse intervenido para lograr una mayor estabilidad de los costos? ¿Los costos relativamente constantes son ideales en la sana administración de una obra? Estas son cuestiones dignas de un estudio que proyectamos realizar pronto. Por ahora, nos referiremos a las dos primeras.

Difícilmente se precisará cuáles son "los límites normales" en que pueden variar los costos de excavaciones realizadas en materiales diversos y con equipos variables por sus características, por su estado de conservación o por su manejo. Sería fácil hablar de costos normales cuando se operara en condiciones casi inmutables, como sucede relativamente en algunas industrias. Se puede comparar la variabilidad de los costos unitarios de una obra con los similares de otra, obteniendo conclusiones cautelosas; de igual manera se puede comparar la variabilidad de los costos obtenidos en una excavación clase II con draga, verbigracia, con la variabilidad de los costos de excavación clase II a pico y pala, ejecutada en la misma obra y contemporáneamente, pero los resultados se deben tomar con reservas.

Entre los factores que influyen sobre el nivel de los costos, hay uno representado en la gráfica II y bien conocido por muchas personas; es el principio de que los costos tienden a decrecer cuando se hacen cantidades de trabajo cada vez mayores, cuya demostración clásica se halla en los trabajos de impresión tipográfica: si de una obra se editan 500 ejemplares, el costo por volumen es notablemente mayor que si la edición es de 20 000 ejemplares. De modo análogo, si un equipo se moviliza y se opera para excavar sólo 1 000 metros cúbicos en un mes, es casi seguro que el costo unitario es más ele-

vado que si el mismo equipo se utiliza para excavar 20 000 metros cúbicos en el mes, y así queda confirmado en la gráfica II, aunque con excepciones notables. Si este principio fuera el único que actuara sobre los costos, éstos variarían de acuerdo con una ley matemática, y los puntos de la gráfica se colocarían sobre una rama hiperbólica o parabólica. Las desviaciones de esta ley justamente son el resultado de todos los factores que influyen sobre los costos, excepto el de la disminución debida a los aumentos en las cantidades de trabajo ejecutado.

### *Estadística aplicada*

La técnica estadística permite dar un tratamiento adecuado a una masa de informaciones numéricas, aislando en ellas el efecto de una o de varias causas, de modo parecido a como se opera con los métodos químicos para analizar una sustancia. Pero la estadística trabaja muchas veces con datos referentes a hechos en los que el hombre interviene, introduciendo elementos complejos, grandemente variables y poco sujetos a pruebas repetidas o experimentales, mientras que el análisis químico se aplica a sustancias inertes y estables relativamente. La consecuencia de estas diferencias es que la estadística obtiene conclusiones no menos ciertas que las de la química, pero sí más afectadas por las leyes de la probabilidad. Esto explica la gran hermandad que hay entre la estadística y el cálculo de las probabilidades desde el nacimiento de éste. Las conclusiones estadísticas no por esto se hallan en situación de inferioridad, pues ahora se admite que no hay conocimientos absolutamente ciertos, sino que algunos son grandemente probables y otros son muy improbables.

La estadística que puede formarse con los datos de costos será un auxiliar valioso para los ingenieros de la Comisión, siempre que se maneje con la técnica y el criterio necesarios. Una elevación súbita de los costos, por ejemplo, debe alarmar sólo cuando se atribuya a hechos anormales o inesperados. Si un equipo se emplea para realizar una cantidad de trabajo inferior a lo que normalmente puede producir, se obtendrá un costo mayor que el que se obtendría normalmente con el equipo trabajando a toda su capacidad; la curva que sugieren los puntos de la gráfica II, cuya fórmula es posible determinar por métodos de interpolación, es un recurso que puede emplearse para definir cuál es la cantidad mínima de trabajo que puede ejecutarse econó-

micamente con este equipo; todo trabajo mensual (porque los datos de la gráfica son mensuales) que se realice en volumen inferior a dicha cantidad mínima, se obtendrá a costos grandemente elevados y antieconómicos. De este modo se puede disponer de dos datos para cada clase de trabajo y para cada equipo; el superior o ideal dado por la máxima capacidad de las máquinas o de la fuerza de trabajo humano, y el inferior abajo del cual se opera con fuertes pérdidas económicas.

El principio de los costos decrecientes se verifica en cualquier trabajo, equipo o lugar, variando únicamente el tipo de curva y los parámetros o constantes en un mismo tipo de curva. Sin embargo, suponiendo un grupo de datos que dé origen a una curva idéntica a la de otro grupo de datos, puede diferir de este último por su grado de adherencia; pero ahora no nos interesa la técnica que se emplea para el objeto, más bien nos importa señalar que si un grupo de datos se dispersa poco alrededor de la curva, ésta representa bien a aquéllos y, además, hay pocas influencias que perturben la ley de los costos decrecientes. Con frecuencia una curva resulta de puntos bastante dispersos, lo que puede explicarse: 1º, porque la relación que liga a los dos hechos (costos y altitud sobre el nivel del mar, por ejemplo), es poco rigurosa o inexistente, o 2º, porque la relación existe, pero muy afectada por otros factores. Hablar de una relación entre dos hechos (costos y cantidad de trabajo realizado) es una abstracción, puesto que en la formación de los costos intervienen muchos factores (clima, equipos, salarios, organización, etc.); es posible examinar estadísticamente los costos como una función de múltiples variables, pero los cálculos son más laboriosos y los resultados más complejos. En la gráfica I se denuncia cier-

ta repetición estacional o cíclica en la elevación de los costos, atribuible a repeticiones análogas en las lluvias o en el funcionamiento administrativo y burocrático; en el cuadro 1 se ve junio con tres costos diferentes que corresponden a otras tantas dragas, lo que da idea de las influencias que determinan la dispersión de los puntos dibujados en la gráfica II. La estadística permite aislar el efecto de cada influencia, señalando los factores que deben vigilarse más en la campaña de abatir los costos sin mengua de la calidad, ideal de los ingenieros superintendentes.

Este artículo es una modesta e incompleta, pero accesible revista de lo que puede obtenerse con el tratamiento estadístico de los datos de costos unitarios, y no es un estudio sistemático sobre costos, ni una exposición de estadística metodológica. Nos ha parecido innecesario subrayar fuertemente el importante y continuo empleo que los costos deben tener en la dirección de una obra; apenas si hemos indicado la útil comparación de los costos obtenidos en dos o más obras, por trabajos similares; omitimos el análisis de los costos en sus elementos primordiales (salarios, combustibles, lubricantes, refacciones, etc.); excluimos los datos de costos totales que dan oportunidad de referirse a los costos indirectos; sólo mencionamos levemente en los precios de los elementos que determinan el grave problema de las variaciones cronológicas las indicaciones precisas para formar las estadísticas de costos, todo por aligerar el contenido de este escrito. Esperamos que los temas esbozados atraigan la atención de los ingenieros hacia la estadística aplicada que, subordinada a sus intereses profesionales, puede ser de resultados fecundos.