

Aplicación de las herramientas de Ishikawa para el análisis de la productividad en la construcción

Pablo Acevedo

Ingeniero investigador. Departamento Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Santiago, Chile.

Mauricio Acuña

Ingeniero investigador. Departamento Ingeniería de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Santiago, Chile.

RESUMEN: Las siete herramientas creadas por Kaoru Ishikawa (planilla de registro, diagrama causa y efecto, gráfico de líneas, histogramas, gráfico de dispersión, diagrama de Pareto y gráfico de control) para el mejoramiento de la productividad y la calidad en la industria manufacturera están siendo ampliamente utilizadas en todo el mundo. Este artículo representa un esfuerzo por aplicar en forma introductoria, estas herramientas a la industria de la construcción, demostrando la simplicidad de su uso y la gran cantidad de información que se puede obtener de ellas.

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se intenta demostrar la utilidad de las siete herramientas de Ishikawa para el análisis y control de la productividad de actividades y operaciones de construcción. Para graficar lo anterior, se ha obtenido información de la actividad de hormigonado en altura de una obra real. Con estos datos se muestra la efectividad de las herramientas de Ishikawa para analizar y detectar la presencia de problemas, además de lograr ubicar las causas de los mismos. De igual forma, se muestra lo simple que resulta el uso de estas herramientas y su gran aplicabilidad para este tipo de estudios.

A continuación se entrega en primer lugar, una descripción de la actividad observada y de los datos obtenidos en obra. Posteriormente, junto con una descripción de las herramientas, se muestra su aplicación para el análisis de desempeño en la ejecución de esta actividad, como también, para aspectos más globales del problema de productividad en obra.

II. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANALIZADA Y DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA

La información utilizada corresponde a datos obtenidos por el Servicio de Productividad y Gestión del Departamento de Ingeniería de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Estos datos corresponden al seguimiento de una obra de edificación en altura y, dentro de ésta, se ha seleccionado la operación de hormigonado. A continuación, se explica el proceso de hormigonado, para luego entregar una tabla con los datos utilizados en el estudio.

2.1 Descripción del proceso de hormigonado

El proceso de hormigonado en altura es un proceso cíclico que se repite cada un cierto intervalo de tiempo, determinado por la velocidad de los medios de transporte y

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

por la velocidad de colocación del hormigón. Típicamente el ciclo de hormigonado se compone de 3 actividades:

- 1) **Instalación de moldajes:** actividad que es realizada por un grupo de carpinteros apoyados por jornales, los cuales revisan el estado de los moldajes a utilizar, los colocan y finalmente los nivelan, dándoles la verticalidad y horizontalidad requerida.
- 2) **Enfierradura:** consiste en colocar todo el fierro de las armaduras de los elementos a hormigonar. Esta actividad la lleva a cabo una cuadrilla de enfierradores, y se inicia en la zona de almacenaje del fierro, con el corte y doblado de cada barra de acero que será colocada en el elemento.
- 3) **Hormigonado:** una vez colocado el fierro, se procede a llenar los moldajes con hormigón fresco. Esta actividad se puede realizar a través de distintos métodos (capachos elevados con grúa, ascensores de hormigón, bombas, etc.). La actividad la realiza un grupo de concreteros y jornaleros.

Considerando los puntos anteriores, la recolección de datos estuvo centrada en el análisis de las actividades del personal de las especialidades de jornaleros, carpinteros, enfierradores y concreteros. Los datos se obtuvieron de muestreos del trabajo realizados durante la ejecución del proceso de hormigonado. El método de muestreo del trabajo, de uso relativamente nuevo en nuestro país, consiste en dividir el trabajo en categorías preestablecidas de tipo de trabajo, para posteriormente, a través del muestreo en obra, indicar lo que cada trabajador estaba haciendo, usando las categorías previamente definidas. Las categorías más utilizadas y que fueron las seleccionadas para este trabajo son:

1. **Trabajo productivo:** trabajo/actividad que aporta en forma directa al avance físico del proceso constructivo.
2. **Trabajo contributorio:** trabajo/actividad que no aporta en forma directa al avance, pero que es necesario realizar como apoyo para ejecutar el trabajo productivo.
3. **Trabajo no contributorio:** trabajo/actividad que no está considerado en las dos categorías anteriores.

El método de muestreo del trabajo aporta una idea general del nivel de actividad del proceso en ejecución y permite detectar áreas con problemas, pero no entrega en forma explícita las causas del problema. La Tabla 1 presenta los valores obtenidos en el muestreo realizado entre el 3 de octubre de 1990 y el 13 de Febrero de 1991, con un total de 76 mediciones.

Tabla 1: Datos utilizados para realizar el estudio.

SEMANA	JORNALES			CARPINTEROS			ENFIERRADORES			CONCRETEROS		
	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC
1	34	41	25	45	39	16	53	24	23	40	37	23
2	24	42	34	38	40	23	52	32	16	44	33	23
3	16	44	40	40	34	26	51	29	21	37	37	27
4	25	43	32	41	40	19	58	20	22	44	26	31
5	24	44	32	44	36	20	61	21	18	37	28	35
6	30	42	28	50	31	19	67	18	15	42	26	32

7	30	42	29	46	38	16	66	17	18	36	39	25
8	20	52	27	42	36	23	61	14	25	22	29	50
9	16	46	38	39	39	22	56	22	22	36	22	42
10	19	45	36	33	41	26	57	30	13	21	25	54
11	27	38	35	28	42	30	61	19	21	33	33	34
12	19	37	44	30	41	30	57	16	27	38	25	38
13	28	33	39	37	35	28	51	24	25	26	32	42
14	28	29	43	39	33	28	58	21	21	25	31	44
15	23	35	42	36	29	35	56	22	22	20	29	51
16	20	33	48	38	30	33	51	22	27	41	28	32
17	19	48	33	40	27	33	54	20	27	43	19	38
18	20	46	35	40	31	29	57	18	25	46	22	33

Para determinar las causas de los problemas, es necesario realizar un estudio en detalle del área que presenta problemas, a través de una herramienta de análisis de operaciones. Ello consiste en observar la actividad durante un período de tiempo y anotar todas las operaciones que se realizan en la ejecución de la actividad junto con los recursos utilizados. En la Tabla 2 se muestra una pequeña parte de la información obtenida de este estudio, correspondiente al proceso de hormigonado de losa mediante capacho. En esta tabla se muestra un resumen de los tiempos de ejecución de cada tarea dentro del proceso.

Tabla 2: Resumen de datos extraídos del análisis de operaciones para el proceso de hormigonado

ACTIVIDADES	TIEMPO (minutos)	PORCENTAJE	ACUMULADO
NADA	294	50,3	50,3
PLATACHANDO	87	14,9	65,2
PALEANDO	67	11,5	76,7
VIBRANDO	63	10,8	87,5
DESCARGA	39	6,7	94,2
REGLEANDO	16	2,7	96,9
MEMBRANA	8	1,4	98,3
TRASLADO	8	1,4	99,7
INSTRUCCIONES	2	0,3	100,0

III. EXPLICACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE ISHIKAWA

A continuación se entrega una breve descripción de las siete herramientas de Ishikawa (que en realidad, incluyendo el Diagrama de Flujo, son ocho) y un ejemplo gráfico de éstas utilizando la información correspondiente a la operación que se analiza.

3.1 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una fotografía del proceso (plano de planta) que se utiliza para visualizar en mejor forma y más fácilmente el proceso en estudio. Entre otras cosas, permite que todos visualicen el proceso de la misma forma, sirve como medio de comunicación entre dos entes distintos que participan en el proyecto, etc. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la operación de hormigonado en altura. En

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

éste se muestra el camino que siguen los materiales de construcción hasta llegar a conformar un elemento de hormigón armado.

3.2 Planilla de registro de datos

Corresponde solamente a una hoja donde se registran los datos que son necesarios para el análisis. El diseño de la hoja depende, como es natural, de la clase de datos que se necesite recolectar. Para el caso de la actividad estudiada, se muestra una manera ordenada de registrar una gran cantidad de la información que se genera en un proyecto. La planilla en sí es fácil de entender dado que se entrega para cada especialidad de trabajo y para cada día el porcentaje de tiempo utilizado en Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo No Contributorio, tal como se presentó en la Tabla 1.

3.3 Diagrama de fallas de Pareto

Es un gráfico de barras cuyo objetivo es mostrar las causas principales de fallas y la importancia relativa de éstas. Este gráfico se realizó con los datos de la Tabla 2 y representa el porcentaje de tiempo dedicado a cada tarea. Las actividades de platachado, vibrado, paleando, descarga capacho y colocación de membrana de curado, corresponden a tareas de trabajo propias del proceso de hormigonado. Este gráfico permite identificar claramente la tarea que demanda el mayor porcentaje de tiempo para realizarla. Las Figuras 2 y 3 muestran los gráficos resultantes para este caso.

3.4 Diagrama de causa y efecto

Este diagrama sirve para representar las relaciones entre un efecto y las causas que pueden provocarlo. En las Figuras 4 y 5 se muestran dos aplicaciones de esta herramienta. La primera de ellas describe las posibles causas de una baja productividad en una obra de construcción. La segunda gráfica las formas de mejorar la productividad de la mano de obra de una obra de construcción. Es importante destacar el grado de claridad que ofrece el diagrama pues, si se observa el segundo gráfico, por ejemplo, es difícil encontrar una manera más simple de mostrar tantas ideas relacionadas.

3.5 Gráfico de líneas

El objetivo de esta herramienta es graficar valores a medida que se conocen en el tiempo y observar si están cambiando los promedios de largo plazo, si hay una tendencia positiva, si se producen estacionalidades, etc. En la Figura 6 se gráfica el porcentaje de Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo No Contributorio correspondiente al desempeño de los jornales. Además se indica la línea promedio de las mediciones para tratar de identificar alguna tendencia en el tiempo. Se puede apreciar en este gráfico la aleatoriedad que se produce para todas las categorías de trabajo.

3.6 Histograma

El histograma es un gráfico de bloques que permite observar la distribución de un parámetro con respecto a su rango de variación. Para cada categoría de trabajo se realizó una subdivisión cada 5 puntos del 100% de Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo No Contributorio. Se midió la frecuencia con que se repetían las mediciones en estos rangos y se graficó el histograma, tratando de identificar alguna distribución característica para la especialidad de carpinteros. Ver Figuras 7 a 9.

3.7 Diagrama de dispersión

Es un diagrama que se usa cuando se tienen dos variables que se cree están relacionadas. Se grafica una variable versus la otra con el propósito de apreciar la posible presencia de correlaciones, sean éstas positivas o negativas y cuyas formas de relación pueden ser lineal, exponencial, etc. Como ejemplo se cruzaron aquellas variables que teóricamente podían tener alguna relación y de esta manera se realizaron gráficos que reunían el trabajo contributorio de los jornales (tarea principal de los jornales) con el trabajo productivo de las demás especialidades, para ver si se apreciaba en el gráfico la relación que se produce en terreno. No se obtuvieron resultados muy claros respecto a este aspecto, pero parece ser un buen punto para futuros análisis. Ver Figuras 10 a 12.

3.8 Gráfico de control

Su objetivo es controlar el desarrollo de una variable, la que puede ser el resultado de un proceso, como por ejemplo el largo de los tornillos, la cantidad de palos de fósforos en las cajas, etc., con límites superior e inferior estadísticamente determinados (esto quiere decir que se asume una distribución conocida para la variable en estudio, la que corresponde a una Normal), donde se grafican los promedios de las muestras que se obtienen (se grafica por ejemplo el promedio cada 5 muestras).

Es claro que los puntos que caen fuera de los límites representan fallas en el proceso, externas a la aleatoriedad propia de éste. Cabe señalar que esta herramienta es la única de las que se ha nombrado que requiere algún conocimiento estadístico, lo que no significa que sea complicado usarla. Como ejemplo en este caso, se gráfico los porcentajes de Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo No Contributorio de los enfierradores en gráficos de control (del tipo media, desviación estándar) que muestran la regularidad de los procesos estudiados (ver gráficos en Figuras 13 a 15). Los límites de control (UCL y LCL) se calcularon con la fórmula:

$$UCL, LCL = \text{media} \pm 3 \text{ desv. Estándar}$$

IV. CONCLUSIONES

Muchas y variadas pueden ser las conclusiones que se deriven de este artículo y de las aplicaciones utilizadas en el análisis de hormigonado. Sin embargo, existen claramente dos grupos de ellas que resultan importantes y fácilmente distinguibles. Por un lado aquellas que se pueden independizar de la actividad específica estudiada (hormigonado en altura), y por otra parte, aquellas que están directamente relacionadas

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

con el hormigonado. Dentro de las primeras de éstas, las principales conclusiones o comentarios son:

- Simplicidad de las herramientas: se puede observar que el entender las herramientas y aplicarlas no reviste mayor dificultad y que no se necesitan grandes conocimientos de estadística para emplearlas. Además, concluir resultados a través de estas herramientas, tampoco resulta complicado.
- Gran variedad: las diferentes herramientas permiten analizar características particulares de las variables en estudio, como también, relaciones relevantes entre ellas, tales como: causas y efectos de los posibles problemas, puntos conflictivos en una serie de producción de algún elemento, tendencias de alguna variable, descripción del sistema productivo, etc.
- Alcance de las herramientas: el grupo de herramientas en su conjunto abarca básicamente todos los puntos que pudieran resultar importantes de estudiar en un sistema productivo, cubriendo exhaustivamente las necesidades de análisis.
- Consistencia: las herramientas en sí se complementan, lo que hace difícil que una persona que esté utilizándolas se encuentre con el problema de extraer conclusiones que se contrapongan y cuyo origen provenga de dos herramientas distintas. Mejor aún, las herramientas se complementan en lo que se refiere a las conclusiones que se pueden desprender de ellas, siendo probable que algunas de las conclusiones que se extraigan a través de una herramienta, sirvan para enfocar la utilización de las demás en algún aspecto relevante.
- Autoexplicativas: la aplicación de las herramientas de Ishikawa no necesita más que un conocimiento básico de ellas.

En lo que respecta a las conclusiones sobre la aplicación de las herramientas en la actividad estudiada, se puede decir lo siguiente:

- La conclusión más importante tiene que ver con la aplicabilidad de las herramientas. El proceso constructivo siempre se ha diferenciado de los procesos manufactureros, pero este trabajo demuestra que las herramientas de Ishikawa son perfectamente aplicables y, mejor aún, son sumamente eficientes para analizar los procesos.
- En lo que a cada herramienta en particular se refiere es digno de destacar la efectividad del Diagrama de Causa y Efecto y el Diagrama de Pareto, que permiten visualizar en mejor forma la importancia de las distintas fallas.
- Una de las principales dificultades que generalmente se presentan en la introducción de nuevas herramientas de análisis en la construcción, se refiere a la capacidad de entendimiento y aplicación por parte de los operarios. En este caso, es posible destacar la simplicidad del uso de las herramientas de Ishikawa,

Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991

sirviendo más aún como medio de discusión entre operarios para el mejoramiento de los procesos en que se ven envueltos.

- Es importante destacar, que existen las herramientas computacionales adecuadas para llevar a cabo estos análisis, de manera de mantener un archivo con información que puede ser utilizada en el futuro, para así ir aprendiendo de los errores.

REFERENCIAS

1. Alarcón, L.F., Martínez, L.F. y Santana, J.M., "Experiencias en el estudio de la productividad en la construcción", Revista Ingeniería de Construcción, N° 6, Enero-Junio 1989.
2. Ishikawa, K. , ¿Qué es el control total de la calidad?, Editorial Norma, Bogotá, Colombia, 1986.
3. Walton, M., Cómo administrar con el método Deming, Editorial Norma, Bogotá, Colombia, 1988
4. Prado, C, "Evaluación de la calidad y de la productividad", Primer Congreso de Productividad y Calidad en la Empresa, Centro de Extensión, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1990.
5. Ferreiro, O. y Cruz, A., Metodologías para el mejoramiento de la calidad y la productividad, Apuntes de clases, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1991.

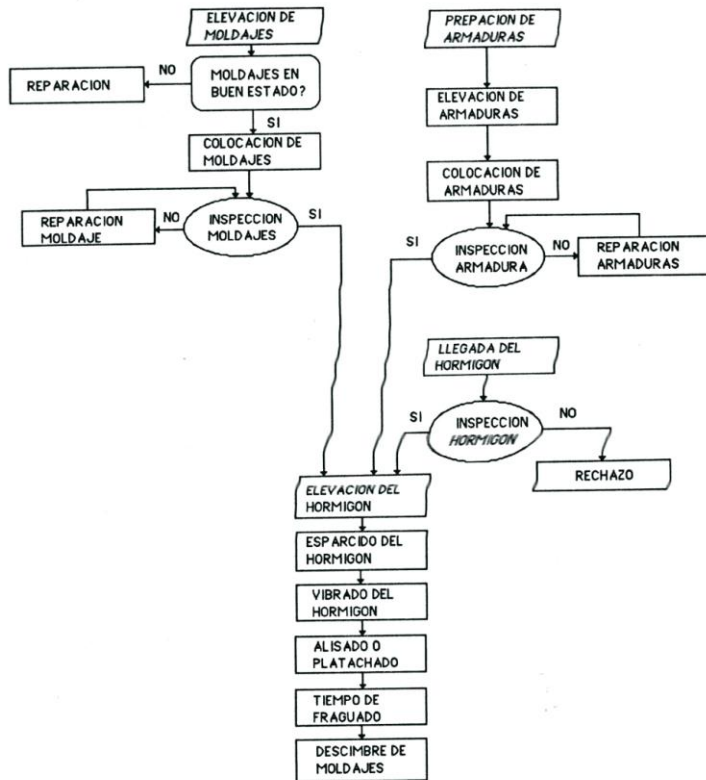


Fig.1. Diagrama de flujo

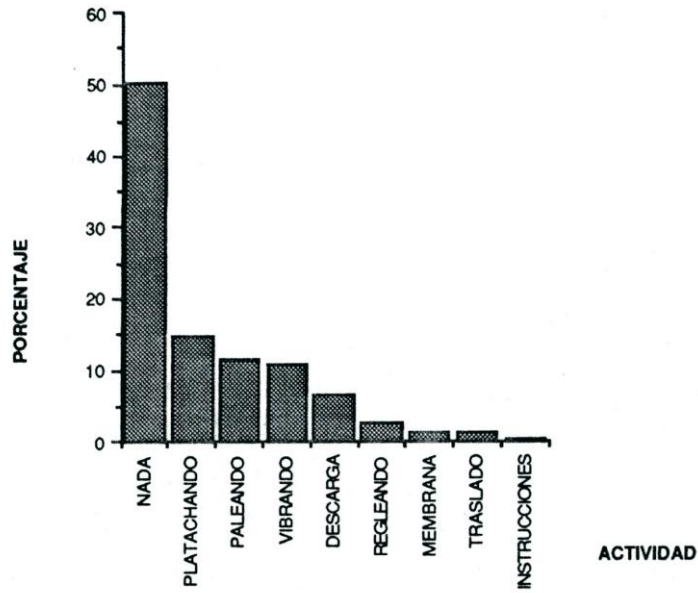


Fig. 2. Diagrama de Pareto. Porcentaje por actividad.

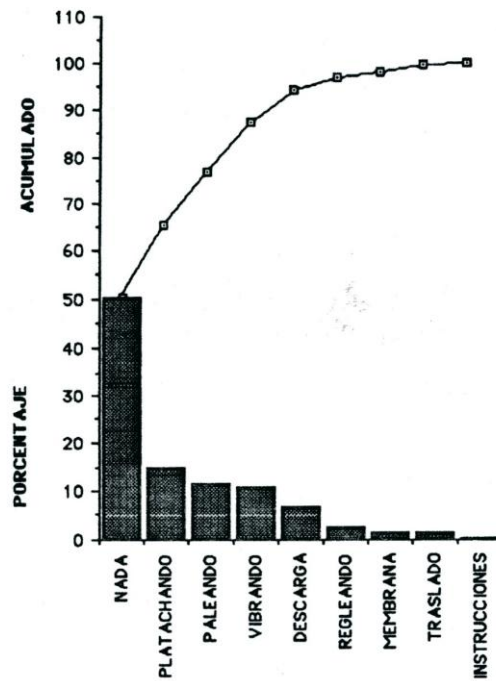


Fig. 3. Diagrama de Pareto. Porcentaje acumulado

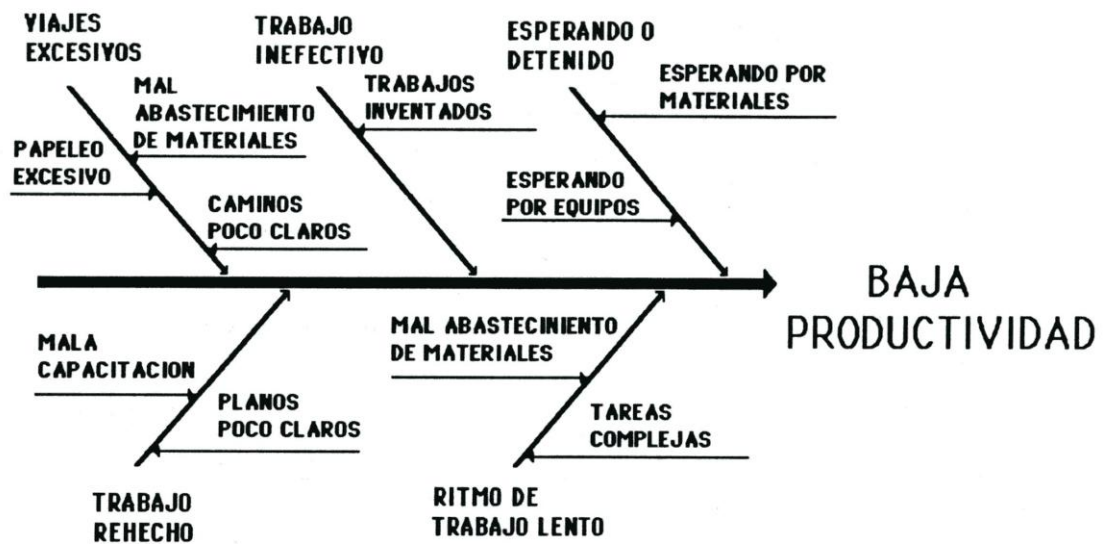


Fig. 4. Diagrama de causa y efecto para el problema de baja productividad en una obra de construcción.

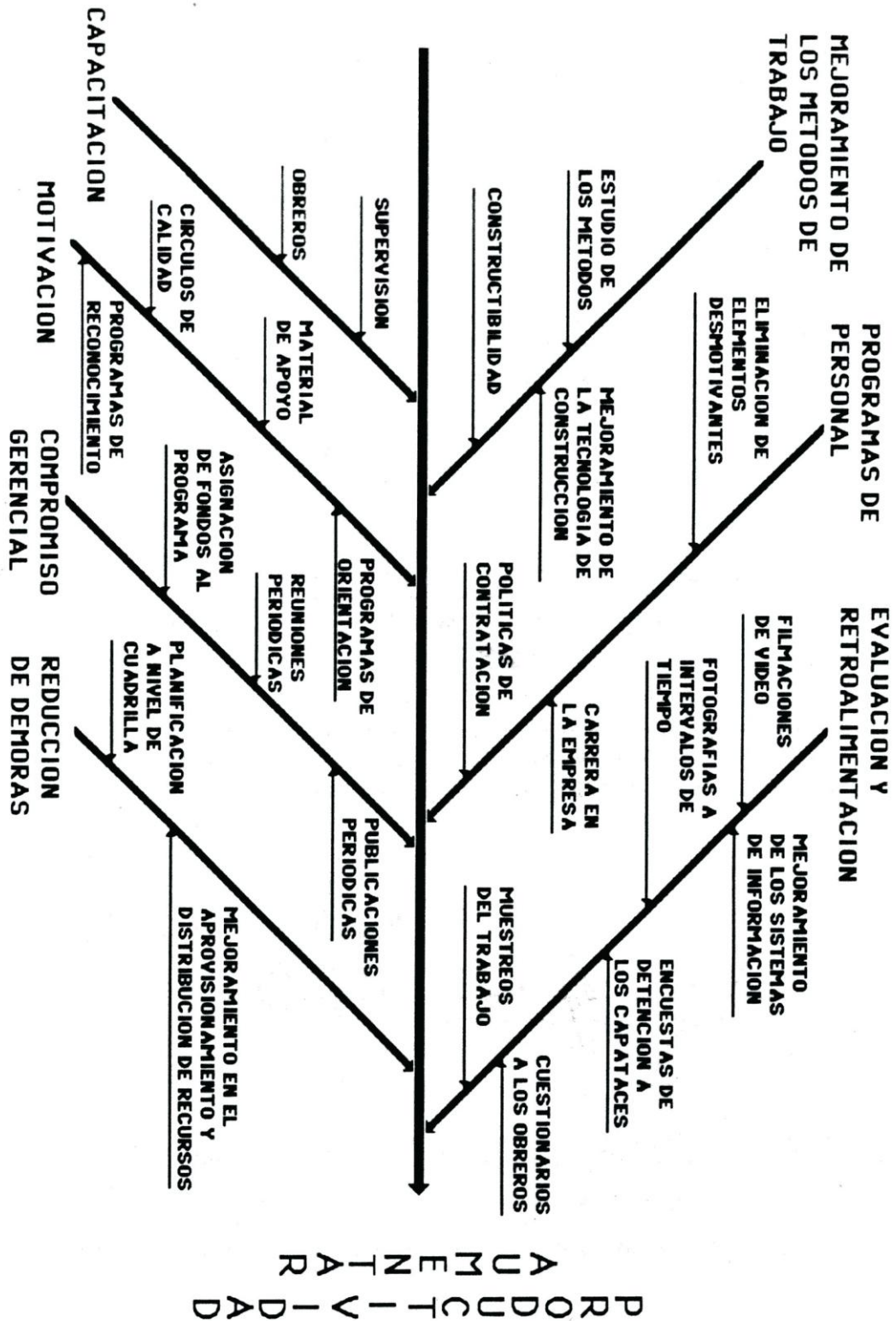


Fig. 5 Diagrama de causa y efecto para alternativas de mejoramiento de la productividad

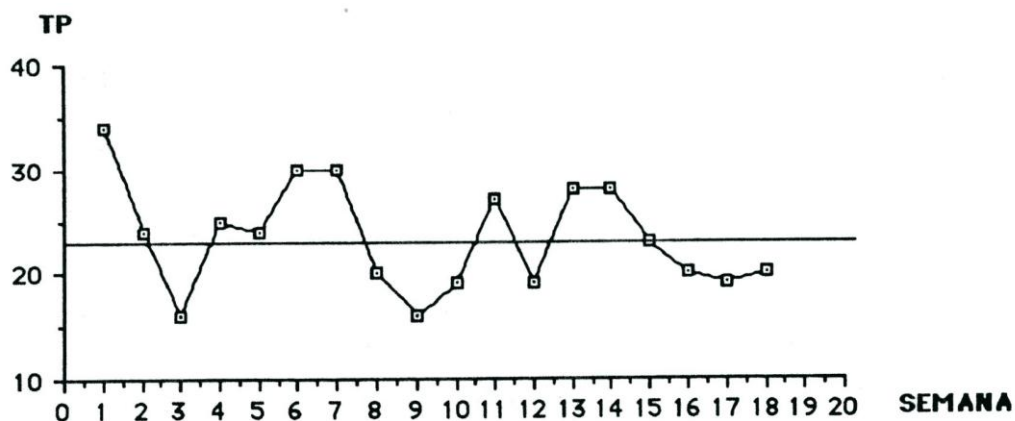


Gráfico de líneas. JORNALES (trabajo productivo)

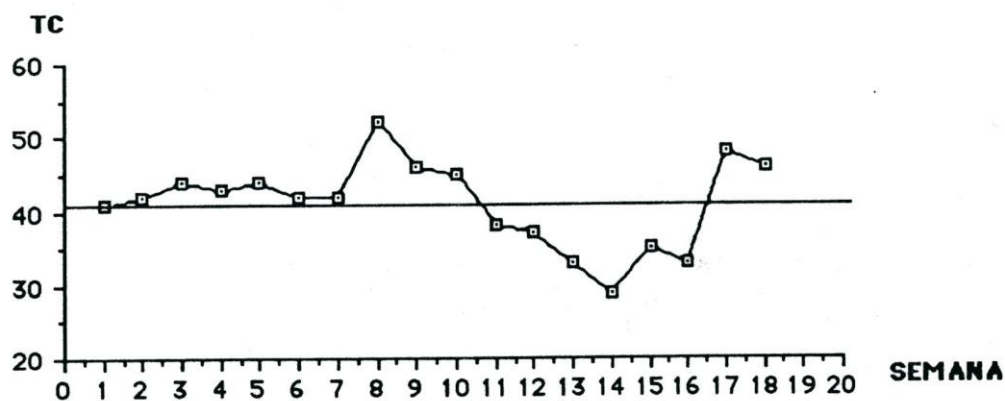


Gráfico de líneas. JORNALES (trabajo contributivo).

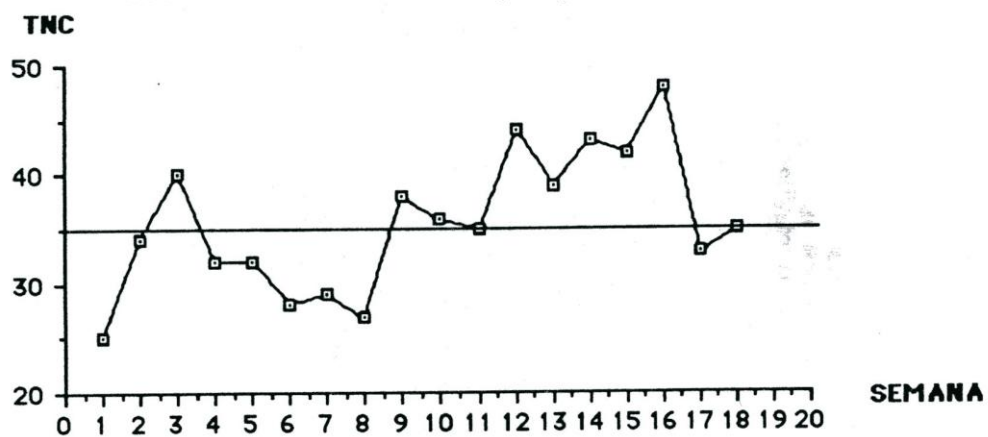


Gráfico de líneas. JORNALES (trabajo no contributivo).

Fig. 6. Gráficos de líneas correspondientes a las categorías de trabajo

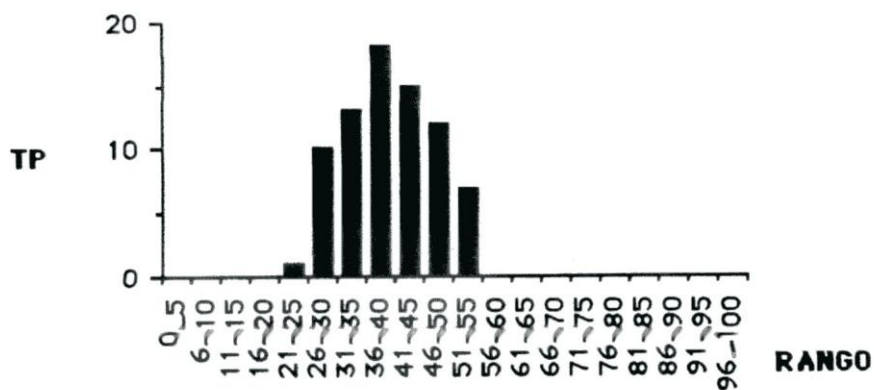


Fig. 7. Histograma del trabajo productivo de los carpinteros

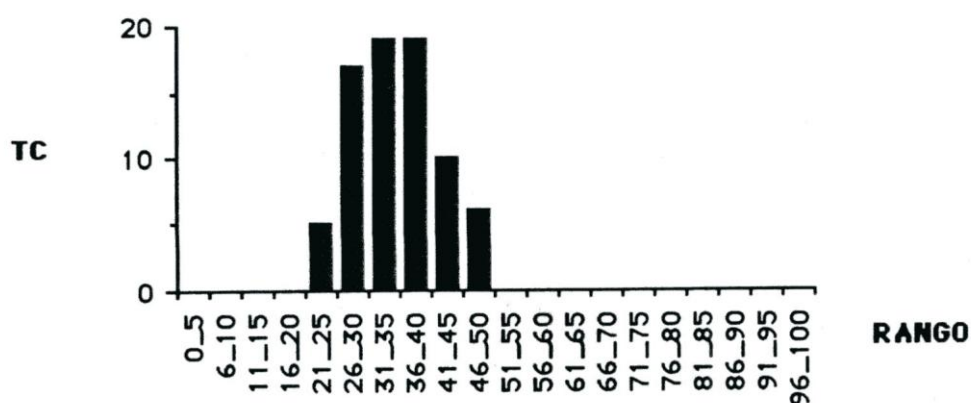


Fig. 8. Histograma del trabajo contributivo de los carpinteros

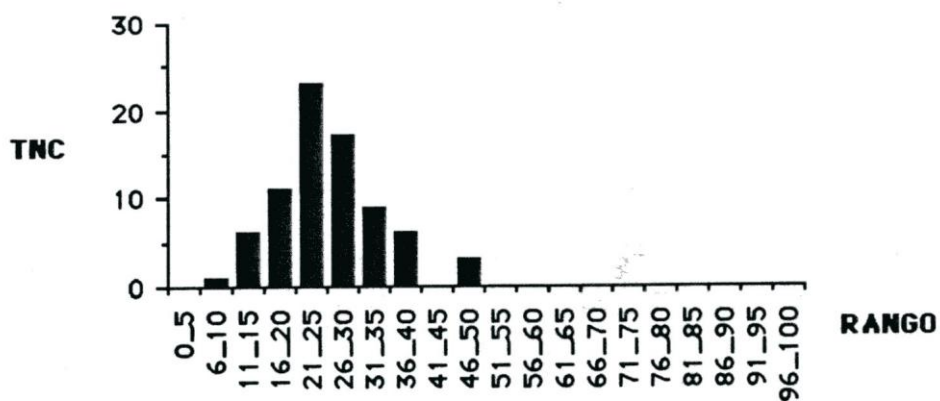


Fig. 9. Histograma del trabajo no contributivo de los carpinteros

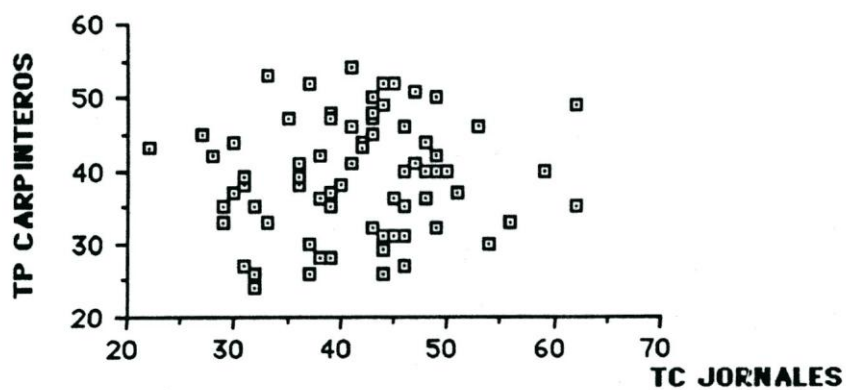


Fig. 10. Gráfico de dispersión TP Carpinteros - TC Jornales

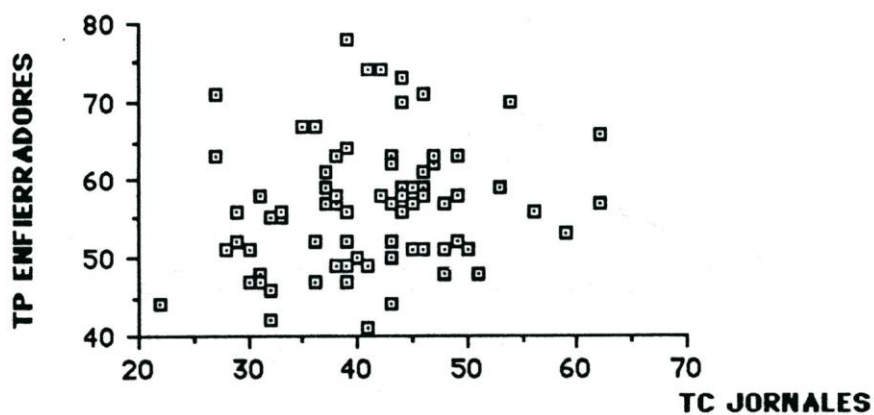


Fig. 11. Gráfico de dispersión TP Enfierradores - TC Jornales

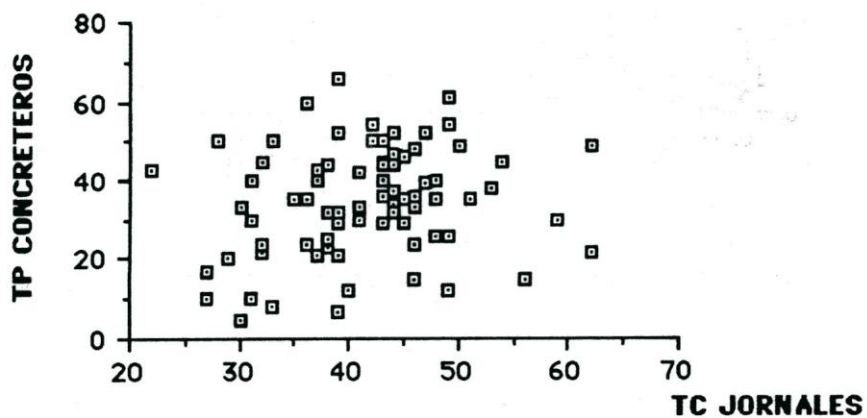


Fig. 12. Gráfico de dispersión TP Concreteros - TC Jornales

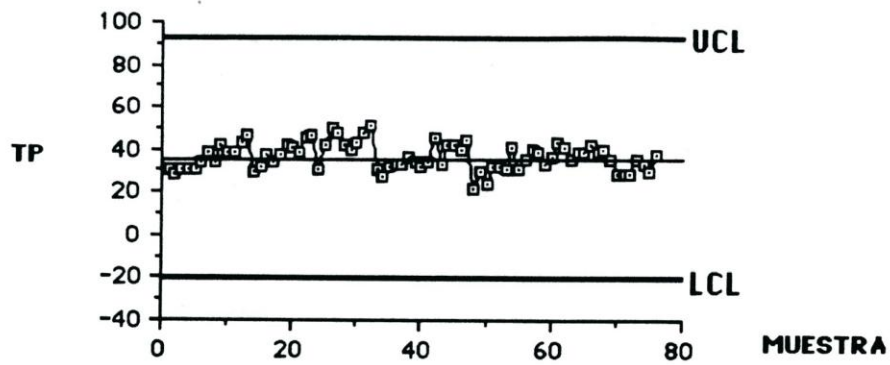


Fig. 13. Gráfico de control del Trabajo Productivo de los enfierradores

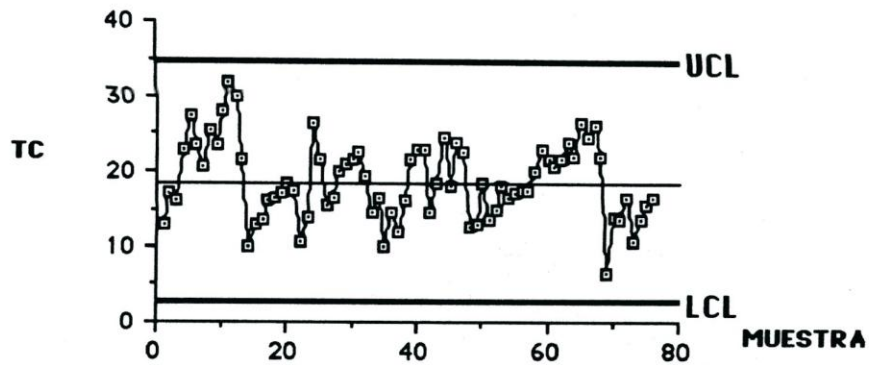


Fig. 14. Gráfico de control del Trabajo Contributorio de los enfierradores

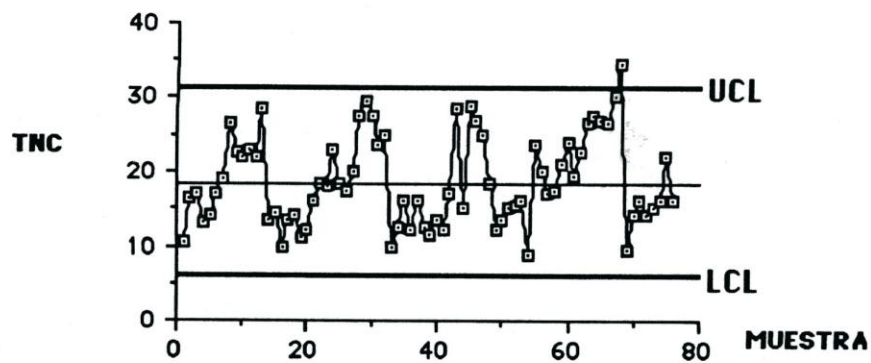


Fig. 15. Gráfico de control del Trabajo No Contributorio de los enfierradores