

Caso de Estudio de Medición Directa de la Productividad Laboral en Fabricación de Estructuras  
Metálicas para Proyectos de Construcción

Mary Luz Gil Montaña y Juan Pablo Peralta Hernandez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista de Proyectos de Construcción

Director

Guillermo Mejía Aguilar

Doctor en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción

Bucaramanga

2022

Año actual

### **Dedicatoria**

Este trabajo es dedicado en primera instancia a Dios que nos ha facilitado los medios para que junto a nuestro esfuerzo hubiéramos podido alcanzar un escalón más en nuestra preparación profesional de una labor que nos apasiona cada día.

A nuestros padres que siempre nos inculcaron la importancia de la preparación académica y el gusto por el continuo aprendizaje para poner al servicio de la sociedad, especialmente dedicamos este trabajo en memoria de José Agustín Peralta Castellanos quién fue un ejemplo de perseverancia en el trasegar de su vida.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Planteamiento del Problema .....	12
2. Objetivos y alcance .....	13
2.1 Objetivo General .....	13
2.2 Objetivo General .....	13
2.3 Alcance .....	13
3. Marco Teórico.....	14
3.1 Clasificación del tiempo de ejecución de actividad .....	14
3.1.1 Tiempo productivo.....	14
3.1.2 Tiempo colaborativo .....	14
3.1.2 Tiempo no efectivo .....	15
3.2 Medición del progreso y desempeño .....	15
3.3 Medición del progreso y desempeño .....	16
4. Metodología .....	17
4.1 Diagnóstico y selección de actividad para muestreo .....	17
4.2 Sesión informativa .....	19
4.3 Duración del seguimiento .....	19
4.4 Clasificación de tareas según categoría de muestreo de trabajo .....	19
4.5 Medición y toma de datos por muestreo .....	20
4.6 Análisis de datos .....	23
5. Desarrollo y resultados .....	25

5. Conclusiones .....	33
7. Recomendaciones .....	35
Referencias Bibliográficas .....	36
Apéndices.....	37

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Diagrama de flujo de procesos de la fabricación de estructuras metálicas en Caso de Estudio.</i> .....	17
<b>Figura 2.</b> <i>Diagrama de flujo de trabajo actividad de Sandblasting.</i> .....	18
<b>Figura 3.</b> <i>Clasificación de tareas según tipo de trabajo de la actividad de sandblasting para la cuadrilla de trabajo.</i> .....	20
<b>Figura 4.</b> <i>Formulario de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para cuadrilla.</i> .....	21
<b>Figura 5.</b> <i>Formulario de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para trabajador.</i> .....	22
<b>Figura 6.</b> <i>Buenas prácticas para el mejoramiento de la actividad laboral</i> .....	23
<b>Figura 7.</b> <i>Formulario de plan de acción</i> .....	24
<b>Figura 8.</b> <i>Formulario diligenciado de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para la cuadrilla.</i> .....	25
<b>Figura 9.</b> <i>Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por categoría de trabajo.</i> .....	26
<b>Figura 10.</b> <i>Actividad de cargue de arena en tolva.</i> .....	27
<b>Figura 11.</b> <i>Actividad de tanqueo de compresor.</i> .....	28
<b>Figura 12.</b> <i>Actividades de trabajo contributivo en proceso de sandblasting.</i> .....	29
<b>Figura 13.</b> <i>Diagrama de Pareto T.C actividad de sandblasting</i> .....	29

<b>Figura 14.</b> <i>Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por actividad de trabajo.</i> .....	30
<b>Figura 15.</b> <i>Formulario diligenciado de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para el trabajador.</i> .....	31
<b>Figura 16.</b> <i>Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por cada trabajador.</i> .....	31
<b>Figura 17.</b> <i>Plan de acción en caso de estudio.</i> .....	32
<b>Figura 18.</b> <i>Trabajo productivo y no productivo en diagrama de torta, presentado por la practica recomendada AACE-RP_022R-01</i> .....	51

**Lista de Apéndices**

**pág.**

Apéndice A. Traducción al español de la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (DIRECT LABOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT - AS APPLIED IN CONSTRUCTION AND MAJOR MAINTENANCE PROJECTS) ..... 37

## Resumen

**Título:** Caso de estudio de medición directa de la productividad laboral en fabricación de estructuras metálicas para proyectos de construcción\*

**Autor:** Gil Montaña Mary Luz, Peralta Hernández Juan Pablo \*\*\*\*†\*

**Palabras Clave:** Fuerza Laboral, Productividad Laboral, Estructura Metálica, Actividad Productiva, Actividad Contributiva, Actividad No Efectiva, Sandblasting, Muestreo Estadístico.

**Descripción:** En el desarrollo del presente trabajo, se muestra la forma de aplicar la medición de la productividad laboral mediante la metodología de muestreo directo en la actividad de Sandblasting comercial (SSP6) desarrollada dentro de la planta de fabricación de estructuras metálicas, de acuerdo a la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (MEDICIÓN DIRECTA DE LA PRODUCTIVIDAD - APLICADO EN PRINCIPALES PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO).

Se realiza la observación del flujo de proceso de la fabricación de estructuras metálica y se determina una metodología de toma de datos adaptando recursos de la práctica recomendada bajo las condiciones específicas del caso de estudio y se centra en la actividad de limpieza mediante chorro de arena grado comercial (Sandblasting), estableciendo las tareas de actividad productiva, contributiva y no efectiva del proceso. Posteriormente a la toma de datos, se realiza un análisis bajo parámetros estadísticos a la distribución del tiempo en la actividad productiva, contributiva y no efectiva del proceso, de la misma manera se analiza la cuadrilla de trabajo para evaluar por cargo la distribución de tiempo.

Finalmente se describen los factores que afectan la productividad en el desarrollo de las actividad en estudio y se propone un plan de mejora de acuerdo a lo observado, de igual manera se realizan las recomendaciones para realizar el mismo estudio para las demás actividades del proceso de fabricación de estructuras metálicas.

---

\* Monograph

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Specialization in Construction Project Management. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD. in Civil Engineering.

### Abstract

**Title:** Case study of direct measurement of labor productivity in the manufacturing of steel structures for construction projects\*

**Author(s):** Gil Montaña Mary Luz, Peralta Hernández Juan Pablo ‡‡\*§§\*

**Key Words:** Workforce, Labor Productivity, Steel Structure, Productive Work, Contributory Work, Ineffective Activity, Sandblasting, Statistical Sampling.

**Description:** In the development of this work, it is shown how to apply the measurement of labor productivity through the methodology of direct sampling in the activity of commercial grade Sandblasting (SSP6) developed within the metal structure manufacturing plant, according to recommended practice AACE-RP\_022R-01 (DIRECT LABOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT - AS APPLIED IN CONSTRUCTION AND MAJOR MAINTENANCE PROJECTS).

The observation of the process flow of the manufacture of metallic structures is carried out and a data collection methodology is determined, adapting resources of the recommended practice under the specific conditions of the case study and focusing on the cleaning activity by means of sandblasting, commercial (Sandblasting), establishing the tasks of productive, contributory and non-effective activity of the process. After the data collection, an analysis is carried out under statistical parameters to the distribution of time in the productive, contributory and non-effective activity of the process, in the same way the work crew is analyzed to evaluate the distribution of time by position.

Finally, the factors that affect productivity in the development of the activity under study are described and an improvement plan is proposed according to what is observed, in the same way the recommendations are made to carry out the same study for the other activities of the manufacturing process of metal structures.

---

\* Monograph

‡‡Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Specialization in Construction Project Management. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD. in Civil Engineering.

## Introducción

En un mundo globalizado y en constante competencia debido a los actuales desafíos ocasionados por la reciente pandemia COVID 19, las problemáticas socioeconómicas entre países, principalmente productores de materia prima del sector de la construcción como lo es el acero, han generado una incertidumbre en los incrementos de precios de recursos primarios, y por ende, un impacto en la evaluación de costos de los proyectos de construcción.

La mejora de la productividad de la mano de obra es una de las preocupaciones principales y permanentes de quienes son responsables del control de costos de las construcciones. El alto costo de imagen corporativa y administrativo asociado con los excesos de presupuesto y cronograma a menudo se puede atribuir a la baja productividad de los trabajadores. El costo de la mano de obra es menos predecible y tiene una mayor probabilidad de sobrecostos que el costo de equipos o materiales. (Abdullah et al., 2019)

Lo anterior nos lleva a analizar la importancia de la gestión de proyectos buscando la competitividad de las empresas del gremio, a través de la medición, monitoreo y optimización de la productividad laboral.

La aplicación de la estadística en el área de la construcción proporciona información sobre el decrecimiento de la productividad laboral, pero no refleja el alcance real ni el efecto en la rentabilidad de los proyectos, estas estadísticas se basan principalmente en las actividades realizadas en sitio pero no tiene en cuenta suministro y fabricación de productos y servicios que pueden impactar en la productividad. (Ahmad et al., 2020)

A menudo los investigadores sobre el tema suelen elegir niveles para la medición de la productividad, (Aye y Fayec., 2019) optan por tres niveles como son actividad, proyecto e

industria, específicamente a nivel de proyecto mencionan que para evaluar de manera efectiva el desempeño se debe tener en cuenta los recursos utilizados y la medición de cada una de las actividades que lo componen.

## 1. Planteamiento del Problema

Desde el punto de vista de la competitividad, una empresa se encuentra en la continua búsqueda de la mejora en factores relacionados con el costo directo de la actividad ejecutada, ya sea aumentando la vida útil de los equipos y herramientas propias de la empresa, buscando relaciones comerciales y aliados estratégicos para obtener mejores precios en alquileres de equipos y compras de material, monitoreando la utilización de diferentes consumibles tanto en su forma de utilización como en las ventajas y desventajas de diferentes proveedores, o aumentando la productividad de la fuerza laboral y asegurando que tenga disponibles todos los recursos tanto materiales como intelectuales necesarios para el desarrollo continuo de sus actividades.

La aplicación del muestreo de trabajo como lo menciona la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (Asociación Americana para la ingeniería de costos (AACE Internacional,2004) busca identificar aquellos factores que no permiten un desarrollo óptimo del trabajo, para apoyar una continua mejora de los procesos de manera que se realice “una gestión más inteligente” y no llevar a la fuerza laboral a un desgaste por desarrollo del mal concebido “trabajo duro”.

Dentro del proceso de fabricación de estructuras metálicas que se desarrolla en la empresa tomada como caso de estudio para el presente trabajo, se realiza un diagnóstico general del rendimiento de las actividades dentro del flujo integral del proceso, y se encuentra que la limpieza mediante sandblasting requiere del uso de mayores recursos comparada con las demás actividades del proceso. Por consiguiente, y teniendo en cuenta que recientemente se ha implementado la limpieza mediante chorro abrasivo de arena, se requiere analizar e implementar un plan de mejora para la optimización de rendimientos de esta actividad, de manera que se incremente la productividad laboral de este proceso en la empresa analizada.

## 2. Objetivos y alcance

### 2.1 Objetivo General

Implementar el mecanismo de medición directa por muestreo según la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 para desarrollar un plan de mejora de los recursos utilizados en la ejecución de la actividad de limpieza con chorro abrasivo (sandblasting) en la planta de fabricación del caso de estudio.

### 2.2 Objetivo General

- Clasificar las tareas del flujo de trabajo del proceso de limpieza con chorro abrasivo (sandblasting) en trabajo productivo, contributivo y no efectivo.
- Identificar los factores que generan tiempo no productivo mediante el análisis de las mediciones de duración de cada una de las tareas clasificadas anteriormente para el proceso de sandblasting en la planta de fabricación del caso de estudio.
  1. Definir un plan de mejora para los rendimientos y la optimización de recursos utilizados en el desarrollo del proceso de sandblasting.

### 2.3 Alcance

Para el presente trabajo de aplicación se adopta la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (DIRECT LABOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT - AS APPLIED IN CONSTRUCTION AND MAJOR MAINTENANCE PROJECTS) para la recopilación de datos y análisis de resultados de la actividad de Sandblasting en el proceso de fabricación de estructuras metálicas en el caso de estudio.

### **3. Marco Teórico**

La AACE Internacional (Asociación para el Avance de la Ingeniería de Costos) está constituida por un grupo de profesionales y miembros de diferentes campos que se relacionan directamente con la aplicación de la ingeniería en el área de costos, pone a disposición información técnica, experiencia y procesos, un ejemplo de ello son las prácticas recomendadas alineadas a los conceptos de gestión total de costos para producir una mejora continua en este estudio.

La práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (DIRECT LABOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT - AS APPLIED IN CONSTRUCTION AND MAJOR MAINTENANCE PROJECTS), describe la medición directa de la productividad laboral mediante la aplicación de la metodología de muestreo estadístico para monitorear y establecer la optimización durante los procesos en los proyectos de construcción y no cuando el trabajo ha finalizado.

#### **3.1 Clasificación del tiempo de ejecución de actividad**

El tiempo total de la ejecución de obra puede ser dividido en tres categorías como son: Tiempo productivo, tiempo contributivo y No Efectivo.

##### ***3.1.1 Tiempo productivo***

Es el tiempo utilizado por la fuerza laboral para la ejecución de actividades que generar valor al proyecto.

##### ***3.1.2 Tiempo colaborativo***

Es el tiempo utilizado por la fuerza laborar para la ejecución de actividades que no generan ningún valor al proyecto pero que son necesarias para el desarrollo de actividades productivas.

### ***3.1.2 Tiempo no efectivo***

Es el tiempo utilizado en cualquier otra actividad que no es de apoyo y no genera algún valor agregado al proyecto.

### **3.2 Medición del progreso y desempeño**

En el libro “Total Cost Management Framework” (AACE Internacional,2012), en el capítulo 9.2, se define la medición del progreso y desempeño como la medición del estado de los recursos no monetarios del proyecto y el grado de avance o finalización del proyecto por medio de paquetes de trabajo, y así, en conjunto con las evaluaciones desde el área de contabilidad se pueda describir el desempeño del proyecto.

La medición del desempeño se debe realizar bajo una serie de pasos que integre el rendimiento de la fuerza laboral, los recursos utilizados y los procesos. Dentro de estos pasos se encuentra: plan de progreso y medición del desempeño, medición física del progreso, seguimiento de recursos, estado de la programación, medida del trabajo del rendimiento del proceso, reporte de avance y medidas de rendimiento. La medición física del progreso hace parte del análisis de la productividad y del avance del proyecto y para ello requiere de técnicas como el muestreo de trabajo.

El TCM (AACE Internacional,2012) define el muestreo de trabajo como una serie de pasos de observación y registro, que comienza con elegir una muestra planificada estadísticamente de las actividades del proyecto, posteriormente en el proceso de evaluación, la comparación de las medidas con lo planificado o mediciones estándar con tiempos establecidos para la ejecución o la manera de cómo deberían ejecutarse.

El muestreo de trabajo no solo se centra en la fuerza laboral sino en el entorno en que desarrollan las actividades, de tal manera que las cuadrillas de trabajo no tengan problemas de

pérdida de eficiencia por fallas en suministros o ubicación de insumos, materiales y herramientas, largos desplazamientos o tiempos muertos de las personas que conforman la cuadrilla de trabajo. Es por esto que las salidas del muestreo de trabajo buscan optimizar y mejorar el desarrollo de las actividades.

### **3.3 Medición del progreso y desempeño**

El TCM (AACE Internacional,2012) define la evaluación del desempeño como el proceso de realizar una comparación entre el desempeño planificado versus el desempeño real, identificando las variables que producen estos cambios para buscar la manera de minimizar los factores de riesgo e identificar las oportunidades de mejora.

En la medida que se integra la evaluación de cada proceso del proyecto, la comprensión del rendimiento del proyecto aumenta. Uno de los métodos para evaluación y control del proyecto y sus procesos es el Valor Ganado, técnica que identifica efectivamente las variaciones en el cronograma y presupuesto. Una de las recomendaciones que se hace al respecto es integrarlo con los datos de inspección de trabajo para evaluar el rendimiento de materiales y mano de obra. Las mediciones por muestreo de trabajo y las observaciones de inspección de trabajo y rendimiento de procesos brindan información de gran valor para evaluar los problemas de la productividad.

## 4. Metodología

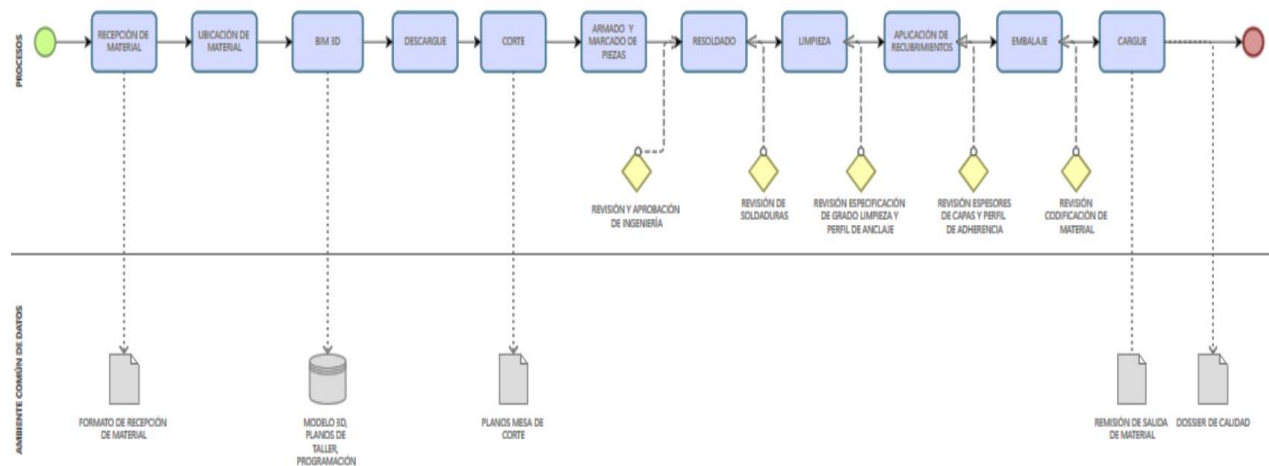
### 4.1 Diagnóstico y selección de actividad para muestreo

De acuerdo con la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 se debe determinar en cuáles trabajos concentrar la observación o lo que es lo mismo, qué trabajos se van a excluir en el muestreo. Las actividades cotidianas de nuestro caso de estudio se pueden resumir en: recepción y descarga de materia prima, corte, armado, resoldado, limpieza, pintura, cargue y despacho de producto fabricado.

Como primera medida se realizó un diagnóstico global del flujo de trabajo del proceso de fabricación, que consistió en el levantamiento actual del proceso, como se presenta en la siguiente imagen:

**Figura 1.**

*Diagrama de flujo de procesos de la fabricación de estructuras metálicas en Caso de Estudio.*



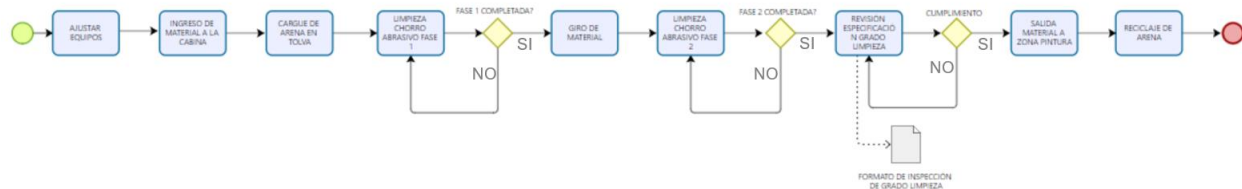
*Nota.* Esta figura representa el flujo de proceso de fabricación de estructuras metálicas en el caso de estudio.

En este primer acercamiento se obtiene como observación que la actividad de limpieza se desarrolla bajo una especificación exclusiva de cada proyecto. Se identificó que, cuando la especificación del trabajo a realizar se indica que consiste en limpieza mediante chorro de arena, esta actividad requiere de alta demanda de fuerza laboral y equipos especializados.

La actividad sandblasting es recientemente implementada dentro del proceso de la fabricación de estructuras metálicas en el caso de estudio y es probable que las tareas aún no se encuentren organizadas y desarrolladas de manera óptima, es por esto que se decide realizar la implementación sobre dicha actividad. Se realiza un diagrama de flujo del proceso para la actividad seleccionada, que se muestra a continuación:

## Figura 2.

*Diagrama de flujo de trabajo actividad de Sandblasting.*



*Nota.* Esta figura representa el flujo de proceso de la actividad de sandblasting.

Cabe resaltar que en un escenario ideal es importante realizar el muestreo para cada una de las actividades del proceso completo para obtener una imagen general de la utilización de la fuerza

laboral como lo manifiesta la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (AACE Internacional,2004).

#### **4.2 Sesión informativa**

La práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (AACE Internacional,2004) sugiere socializar a la fuerza laboral, la explicación del procedimiento de recopilación de datos para evaluar la eficiencia del proceso de trabajo, sin embargo, para este estudio no se realiza debido a que no tiene como alcance el proceso de fabricación de estructuras metálicas completo, sino específicamente de la actividad de sandblasting y por ende, si se realiza la socialización solamente a la cuadrilla, ésta alteraría inconscientemente el modo de trabajo y no se tomarían datos representativos de la ejecución de dichas tareas como cualquier día del año laboral.

#### **4.3 Duración del seguimiento**

De acuerdo a la demanda actual de trabajo se toma la decisión de realizar las observaciones y muestreo de datos durante una semana laboral (lunes - sábado), teniendo en cuenta que por el flujo actual constantemente se está desarrollando la actividad seleccionada para el estudio. El horario laboral establecido en el caso de estudio es el siguiente:

Lunes a viernes de 7:00 am a 04:30 pm; receso para desayunar: 9:00 am a 9:15 am; hora toma de almuerzo: 12:00 pm a 01:00 pm; Pausas activas: 3:00 pm a 3:15 pm; sábado de 7:00 am a 12:30 pm; receso para desayunar: 9:00 am a 9:15 am.

#### **4.4 Clasificación de tareas según categoría de muestreo de trabajo**

Después de establecer la duración del seguimiento, se debe determinar las tareas que se ejecutan para el desarrollo de la actividad de sandblasting y clasificarlas dentro de las categorías del capítulo 3.1 del presente escrito y en el apéndice A de la práctica recomendada en trabajo

productivo (TP), Trabajo contributivo (TC) o trabajo no efectivo (TNE) de acuerdo a la definición allí descrita.

**Figura 3.**

*Clasificación de tareas según tipo de trabajo de la actividad de sandblasting para la cuadrilla de trabajo.*



*Nota.* Esta figura representa la clasificación de las tareas de acuerdo al capítulo 3.1

#### 4.5 Medición y toma de datos por muestreo

Para el caso de estudio se debe determinar el tamaño de la cuadrilla y área de trabajo que para nuestro caso está conformada por el sandblastero (oficial), el tolvero (auxiliar sandblastero) y el ayudante, se aclara que no se debe evaluar trabajadores específicos sino el grupo que ejecuta cada tarea. Siguiendo la práctica recomendada, se realizan observaciones en momentos



*Nota.* Esta figura es una adaptación del apéndice B de la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (AACE Internacional,2004).

Con base a los datos recolectados producto de las observaciones, se hace necesario conocer T.P, T.C y T.N.E de cada uno de los integrantes de la cuadrilla, sandblastero, el tolvero y el ayudante, por lo anterior, se realiza la adaptación del formulario de la ilustración 4 esto con el fin de determinar los obstáculos que inciden en cada una de las tareas que desempeña cada integrante para poder realizar un seguimiento individual y evaluar los resultados de la implementación del plan de acción, en la Figura 5 se muestra el formulario de recopilación de datos de distribución de trabajo en el proceso de sandblasting para cada trabajador.

### Figura 5.

*Formulario de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para trabajador.*

Proyecto		UTILIZACIÓN MANO DE OBRA - RESULTADOS DIARIOS											Fecha				
No. de recorrido	Fecha	Tiempo de recorrido		TRABAJADOR									Comentarios				
		Comienzo	Final	Trabajo inactivo			T.P			T.C				T.N.E			
				Sandblastero	Tolvero	Ayudante	Sandblastero	Tolvero	Ayudante	Sandblastero	Tolvero	Ayudante		Sandblastero	Tolvero	Ayudante	
Promedio minutos por actividades																	

*Nota.* Esta figura es una adaptación del apéndice B de la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (AACE Internacional,2004).

#### **4.6 Análisis de datos**

Los datos obtenidos en el muestreo de trabajo son cargados en un programa estadístico en donde se calcula el promedio de horas para cada una de las actividades según las siguientes categorías: trabajo productivo (T.P), trabajo contributivo (T.C) y trabajo no efectivo (T.N.E), de igual manera se calculan las horas totales por categoría.

Posteriormente, se genera un gráfico de proporciones de utilización de horas de mano de obra por categoría de trabajo y actividades representando el porcentaje de cada una de ellas. Adicionalmente, se genera un diagrama de barras donde se muestra las horas para trabajo productivo (T.P), trabajo contributivo (T.C) y trabajo no efectivo (T.N.E) de cada uno de los integrantes de la cuadrilla de trabajo correspondiente a la actividad seleccionada.

Por último, se organizan los datos de forma descendente y se construye el diagrama de Pareto para definir un orden de prioridades.

Con base al análisis estadístico y con la implementación de las buenas prácticas, se busca un plan de mejora que proporcione incrementar el grado de eficiencia en el proceso de trabajo y reducir su variabilidad con el fin de facilitar la toma de decisiones, tomar acciones oportunas, omitir las restricciones y obstáculos sistémicos que no permitan utilizar de la mejor forma los recursos de mano de obra.

#### **Figura 6.**

*Buenas prácticas para el mejoramiento de la actividad laboral*



Finalmente, se realiza el plan de acción de acuerdo a los obstáculos que se presentan en el trabajo productivo estableciendo fechas de cumplimiento por parte de los responsables con el fin de optimizar la utilización de la mano de obra.

**Figura 7.**

*Formulario de plan de acción*

Proyecto	PLAN DE ACCIÓN					Fecha actual	
ID	Fecha reporte	Obstáculo trabajo productivo	Plan de acción	Persona responsable	Fecha vencimiento	Estado	Fecha terminación
1							
2							
3							
4							
5							

*Nota.* Esta figura representa una adaptación del apéndice A de la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (AACE Internacional,2004).

## 5. Desarrollo y resultados

La metodología descrita en este documento es aplicada en la planta de fabricación de estructuras metálicas del caso de estudio, la actividad seleccionada del flujo de proceso es la limpieza con sandblasting.

Se inicia con la toma y registro de mediciones en el formulario de recopilación de datos (Figura 8), se realizan en total 6 recorridos, uno en cada día de la semana. A continuación, se muestran los datos recogidos de las observaciones:

### Figura 8.

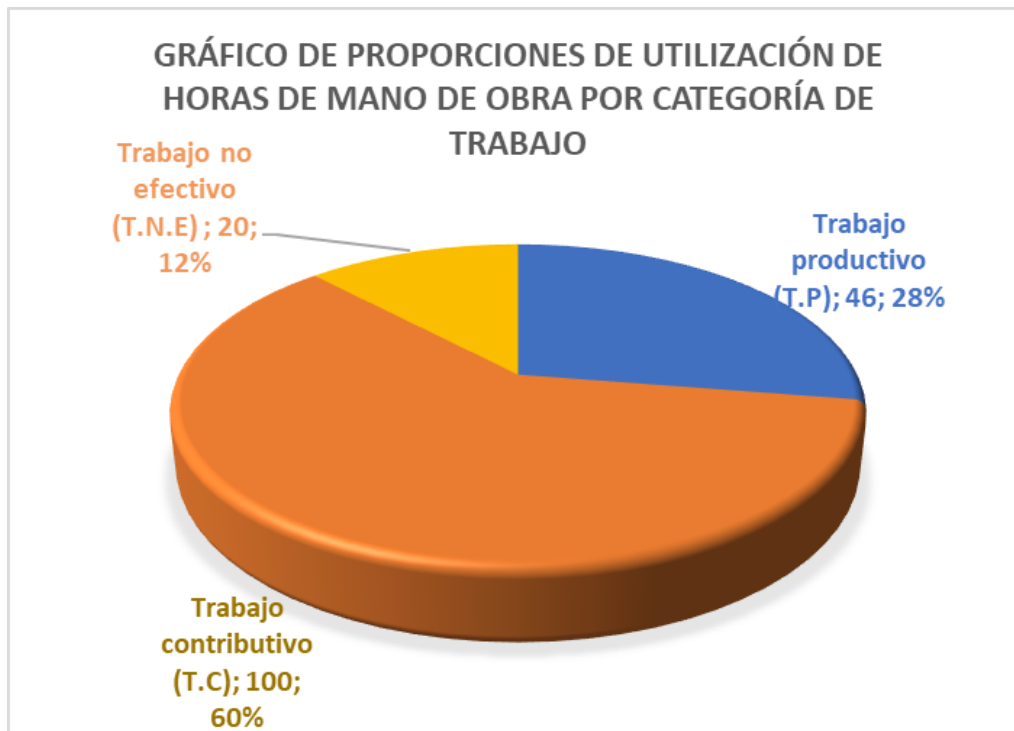
*Formulario diligenciado de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para la cuadrilla.*

Proyecto	Estructuras metálicas	UTILIZACIÓN MANO DE OBRA - RESULTADOS DIARIOS										Fecha	25/07/2022		
		CUADRILLA													
No. de recorrido	Fecha	Tiempo de recorrido		Trabajo productivo (T.P)			Trabajo contributivo (T.C)						Trabajo no efectivo (T.N.E)		
		Comienzo	Final	Ajustar equipo	Limpieza chorro abrasivo	Girar material	Ingreso de material a cabina	Cargue arena tolva	Salida de material hacia zona de pintura	Reciclaje arena	Retiro de arena hacia punto de cargue para su disposición final	Tanqueo compresor	Hidratación personal	Tiempo de espera mientras se despeja el polvo	Pausas activas
1	25-jul	7:00	9:41	15	20	9	20	10	23	15	24	5	5	10	5
2	26-jul	13:00	15:48	14	25	8	20	11	25	14	23	6	5	11	6
3	27-jul	8:00	10:53	16	23	9	25	12	23	14	25	6	5	10	5
4	28-jul	9:00	11:53	15	25	9	28	11	22	14	25	5	4	10	5
5	29-jul	10:30	14:09	15	20	8	23	10	22	13	25	4	4	9	6
6	30-jul	7:00	9:42	14	21	8	22	12	22	13	25	5	5	9	6
Promedio minutos por actividades				15	22	9	23	11	23	14	25	5	5	10	6
Minutos totales por categoría				46			100						20		

Con base a los datos recolectados en las observaciones, se calcula el promedio de tiempo en minutos de cada una de las actividades según las categorías establecidas: Trabajo productivo (T.P), trabajo contributivo (T.C) y trabajo no efectivo (T.N.E). Adicionalmente se calcula el tiempo total en minutos de cada una de las anteriores categorías con el fin de generar un diagrama circular donde puede apreciarse la utilización de mano de obra por cada categoría como se muestra a continuación:

**Figura 9.**

*Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por categoría de trabajo.*



Como puede verse en la Figura 9, el mayor trabajo efectuado para el proceso de sandblasting es el contributivo (100 minutos que equivale al 60% horas) el cual está compuesto por las siguientes actividades: Ingreso de material a cabina, cargue arena tolva, salida de material

a zona de pintura, reciclaje de arena, retiro de arena hacia punto de cargue para su disposición final y tanqueo de compresor. Enseguida se realiza una descripción de cada una de ellas:

**Ingreso de material:** El sistema empleado para esta actividad es un puente grúa que acerca el material hasta la entrada de la cabina y luego lo recibe un polipasto de cadena (diferencial) que se mueve a través de un riel hasta colocarlo en la zona central, luego es organizado de forma manual hacia los costados para despejar la zona central por donde el operario (sandblastero) se desplaza para realizar su actividad de limpieza.

**Cargue arena tolva:** Esta actividad consiste en vertir la arena en una zaranda y cernirla para ser depositada en la tolva.

**Figura 10.**

*Actividad de cargue de arena en tolva.*



**Salida de material a zona de pintura:** esta actividad se ejecuta de forma inversa a como se ingresa el material de la cabina, empleando el mismo sistema de izaje y desplazamiento de carga.

**Reciclaje de arena:** La arena es utilizada dos veces, una vez terminado el primer uso, se recoge manualmente, se retira de la cabina y es dispuesta en la zona asignada para ser cargada de nuevo en la tolva.

**Tanqueo compresor:** Esta actividad comprende la recarga de combustible para el compresor que alimenta la presión de aire para expulsar la arena y alimentar el tanque de respiración del operario.

**Figura 11.**

Actividad de tanqueo de compresor.



El diagrama de Pareto que se muestra en la Figura 13, permite determinar las posibles causas que explican la razón por la cual el trabajo contributivo es el más elevado, se observa de la misma manera que las primeras 3 tareas relacionadas con el retiro de arena, ingreso y salida de material involucran mayor número de horas invertidas.

A continuación, se presentan las actividades que conforman el trabajo contributivo (T.C) y su número de identificación representado en la gráfica.

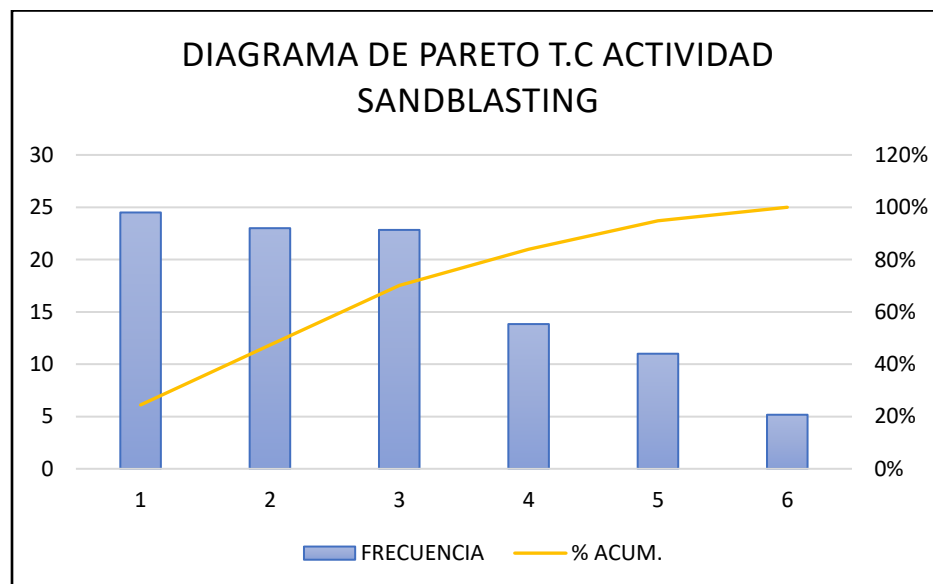
### Figura 12.

*Actividades de trabajo contributivo en proceso de sandblasting.*

ID	ACTIVIDAD
1	Retiro de arena hacia punto de cargue para su disposición final
2	Ingreso de material a cabina
3	Salida de material hacia zona de pintura
4	Reciclaje arena
5	Cargue arena tolva
6	Tanqueo compresor

### Figura 13.

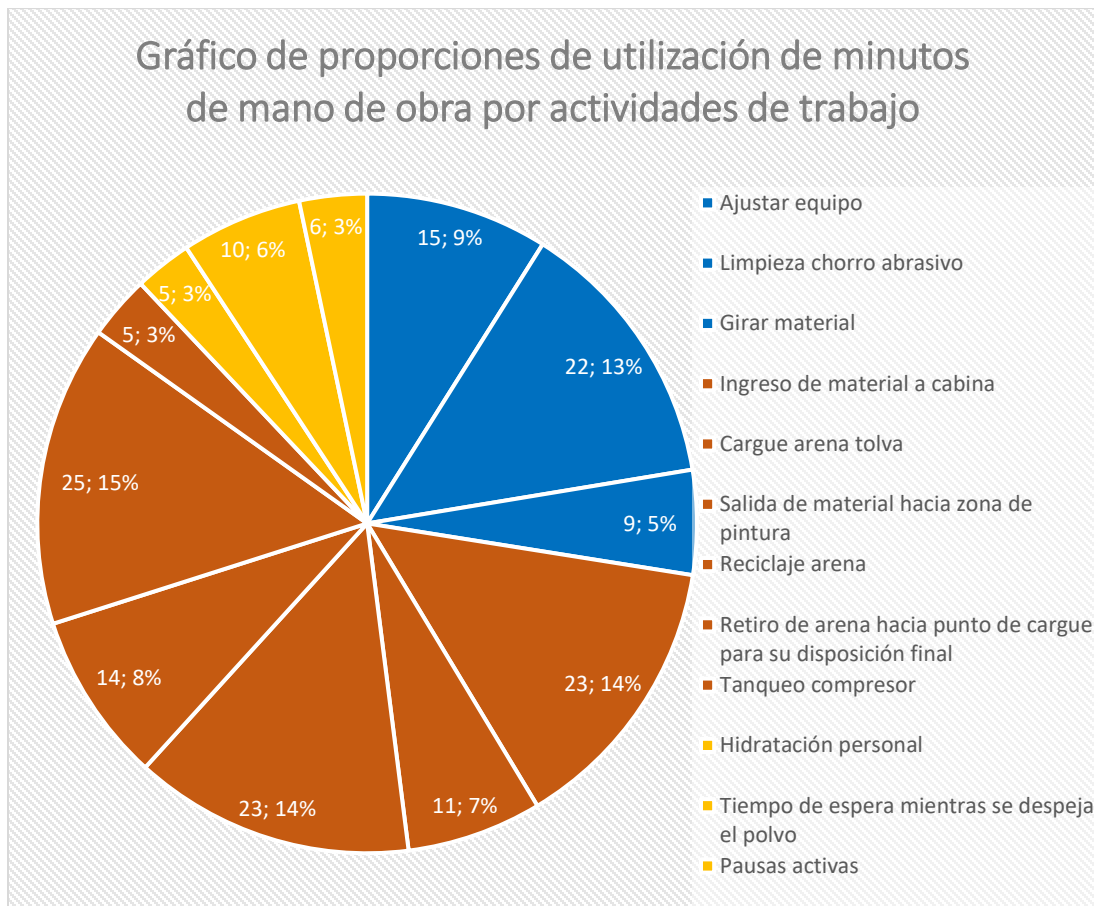
*Diagrama de Pareto T.C actividad de sandblasting*



Luego se genera el diagrama circular para ver la mano de obra en cada una de las actividades del proceso de sandblasting:

**Figura 14.**

*Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por actividad de trabajo.*



*Nota.* Del anterior gráfico las porciones azules representan el T.P, las marrones T.C y las naranjas el T.N.E.

Ahora, se realiza un análisis y evaluación para cada integrante de la cuadrilla de trabajo con el fin de conocer el aporte de cada uno en las diferentes categorías.

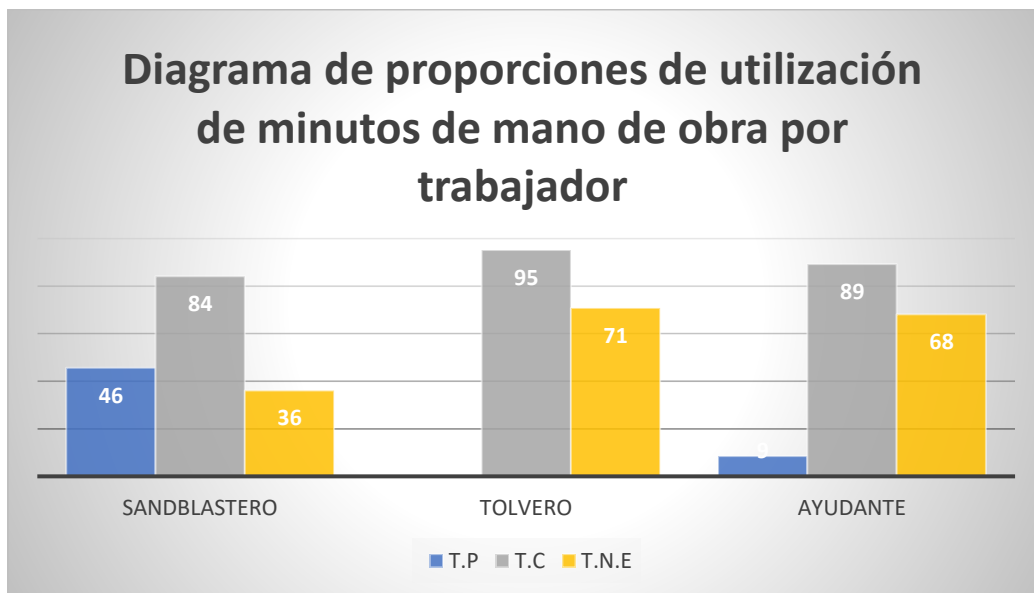
**Figura 15.**

*Formulario diligenciado de recopilación de datos de distribución de trabajo en la actividad de Sandblasting para el trabajador.*

Proyecto		Estructuras metálicas		UTILIZACIÓN MANO DE OBRA - RESULTADOS DIARIOS												Fecha	25/07/2022
No. de recorrido	Fecha	Tiempo de recorrido		TRABAJADOR												Comentarios	
		Comienzo	Final	Trabajo inactivo			T.P			T.C			T.N.E				
				Sandblastero	Tolvero	Ayudante	Sandblastero	Tolvero	Ayudante	Sandblastero	Tolvero	Ayudante	Sandblastero	Tolvero	Ayudante		
1	25-jul	7:00	9:41	15	49	45	44	0	9	82	92	87	35	69	65	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
2	26-jul	13:00	15:48	17	53	50	47	0	8	82	93	88	39	75	72	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
3	27-jul	8:00	10:53	18	54	51	48	0	9	87	99	93	38	74	71	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
4	28-jul	9:00	11:53	16	54	51	49	0	9	89	100	94	35	73	70	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
5	29-jul	10:30	14:09	14	47	45	43	0	8	83	93	87	33	66	64	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
6	30-jul	7:00	9:42	17	48	47	43	0	8	82	94	87	37	68	67	Grado de limpieza: SP6; material liviano	
Promedio minutos por actividades				16	51	48	46	0	9	84	95	89	36	71	68	Grado de limpieza: SP6; material liviano	

**Figura 16.**

*Gráfico de proporciones de utilización de minutos de mano de obra por cada trabajador.*



Como puede apreciarse en la ilustración 16, el trabajador con mayor tiempo productivo es el sandblastero, quien es el encargado de realizar el trabajo directo, por otro lado, se observa que el tolvero no genera trabajo productivo, pero si es quien hace mayor trabajo contributivo y no efectivo.

A continuación, se muestra el plan de acción propuesto con base a los resultados obtenidos del análisis estadístico y la facilidad de implementación de mejora de los factores encontrados:

### Figura 17.

#### *Plan de acción en caso de estudio.*

Proyecto	Estructuras metálicas	PLAN DE ACCIÓN			Fecha actual		2/08/2022
ID	Fecha reporte	Obstáculo trabajo productivo	Plan de acción	Persona responsable	Fecha vencimiento	Estado	Fecha terminación
1	2/08/2022	Visibilidad en la actividad de limpieza con chorro abrasivo, la atmosfera de polvo no permite observar con claridad la actividad, por tanto es necesario esperar (tiempo inactivo) mientras mejora la visibilidad, adicionalmente, el desplazamiento del operario es mas lento por la misma razón, ocasionando una reducción en los rendimientos.	1. Evaluar la implementación de un sistema de iluminación potente incorporado en la escafandra* del operario (sandblastero). 2. Incorporar un sistema de recolección de polvo adicional que permita reducir tiempos inactivos de la cuadrilla.	Ing. Mantenimiento	2/11/2022	Revisión	
2	2/08/2022	Se pudo concluir que la actividad de retiro de arena hacia punto de cargue para su disposición final demanda un tiempo importante ya que el volumen de arena evacuada en cada viaje corresponde a la capacidad de una carretilla (4 bultos máximo) lo cual se hace necesario hacer varios viajes.	1. Crear un canasto metálico con ruedas y freno con capacidad de transportar 25 bultos en cada viaje, siendo movido con ayuda del puente grúa hasta la entrada de la planta de fabricación, luego ser empujado hasta el acopio externo.	Director de planta	2/10/2022	Revisión	
3	2/08/2022	El tolvero es el integrante de la cuadrilla que tiene mayor trabajo no efectivo debido a que los tiempos de espera son altos por el rendimiento del sandblastero	1. Evaluar la incorporación de otra salida en la tolva para instalar otro equipo de sandblasting. Esto mejoraría considerablemente la producción y reduciría el tiempo inactivo del tolvero, ya que tendría que suministrarle arena a 2 equipos.	Ing. Mantenimiento	2/11/2022	Revisión	

\*Escafandra: casco ligero que brinda protección en la cabeza del operario (sandblastero).

## 5. Conclusiones

A partir del análisis del flujo de trabajo del proceso de Sandblasting en estructuras metálicas, se determina que las tareas de ajuste de equipo, limpieza con chorro abrasivo y giro de material corresponden a la categoría de Trabajo Productivo (T.P), las tareas de ingreso de material a la cabina, cargue de arena en tolva, salida de material, reciclaje de arena, retiro de arena a punto de cargue para disposición final y tanqueo de compresor corresponden a Trabajo Contributivo (T.C) y las tareas de Hidratación de personal, tiempo de espera para despeje de polvo y pausas activas corresponden a la categoría de Trabajo No Efectivo (T.N.E)

A partir del análisis del muestreo estadístico para la cuadrilla de trabajo, se encontró que el trabajo contributivo (T.C) es el más representativo en cuanto a mano de obra en el proceso de sandblasting con un 60%, comparado con el trabajo productivo (T.P) con un 28% y el trabajo no efectivo (T.N.E) con un 12%. Así mismo, dentro del T.C la tarea con mayor demanda de tiempo es el retiro de arena hacia punto de cargue para su disposición final con un 25% frente a las demás actividades como ingreso de material a cabina (23%), Cargue arena tolva (11%), Salida de material hacia zona de pintura (23%), reciclaje de arena (14%) y tanqueo de compresor (4%).

Con base en los resultados del análisis anterior y conforme a las observaciones realizadas en los recorridos, se genera un plan de acción el cual contiene la identificación de los factores nocivos en el rendimiento presentados en cada una de las actividades con mayor consumo de mano de obra en el proceso de sandblasting, con el plan de acción para el caso de estudio se busca minimizar el T.N.E al mejorar la visibilidad del sandblastero, minimizar el tiempo de trabajo no productivo y optimizar los recursos de mano de obra, se establecen responsables y fechas de cumplimiento.

Es importante revisar los tiempos inactivos de cada trabajador para direccionarlo en el desarrollo de actividades de otros procesos que se desarrollan simultáneamente en la planta de fabricación del caso de estudio y así poder optimizar la utilización de la fuerza laboral.

Es conveniente resaltar el papel que juega la implementación de las prácticas recomendadas de la AACE en la búsqueda de objetivos más competitivos y de mayor aprovechamiento para las empresas de construcción por medio de los gerentes de proyectos en el fortalecimiento de los procesos de planificación, coordinación y control en la ejecución de los proyectos.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda que se realice una retroalimentación con la fuerza laborar y el área de ingeniería para explicar los resultados del estudio y socializar el plan de mejora recomendado según los resultados encontrados, con la finalidad de ser aplicado para optimizar la productividad de la limpieza del acero con sandblasting.

Es indispensable realizar una actualización en la base de datos y seguir registrando los cambios que genera con la implementación del plan de mejora, teniendo en cuenta la diversificación de proyectos en estructura metálica y tipos de especificación de limpieza.

Se recomienda aplicar este estudio a todas las actividades del proceso de fabricación de estructuras metálicas para encontrar en cada fase un plan de mejora específico para cada actividad involucrando el área financiera para establecer un presupuesto y retorno de inversión de la implementación de las mejoras.

### Referencias Bibliográficas

AACE International. (2004). *Recommended Practice No. 022R-01. Direct Labor Productivity Measurement - as Applied in Construction and Major Maintenance Projects.*

AACE International. (2012). *Total Cost Management Framework. 1 ed. 1265 Suncrest Towne Centre Drive, Morgantown, WV 26505-1876, USA. CreateSpace.*

Abdullah 'Azzam, SUCI Miranda, SRI Indrawati. (2019). *Information system design using labor productivity measurement for construction.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Ahmad S.B.S., Mazhar M.U., Bruland A., Andersen B.S., Langlo J.A., Torp O. (2020). *Labour productivity statistics: a reality check for the Norwegian construction industry.* International Journal of Construction Management.

Ayele S., Fayek A.R. (2019). *A framework for total productivity measurement of industrial construction projects.* Canadian Journal of Civil Engineering.

Botero Botero Luis Fernando. (2006). *Construcción sin pérdidas: análisis de procesos y filosofía Lean Construction.* 2 ed. Bogotá D.c. Legis.

## Apéndices

**Apéndice A.** Traducción al español de la práctica recomendada AACE-RP\_022R-01 (DIRECT LABOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT - AS APPLIED IN CONSTRUCTION AND MAJOR MAINTENANCE PROJECTS)

### Introducción

Esta práctica recomendada de AACE International describe un método directo para medir, monitorear y optimizar la productividad laboral de proyectos de construcción y mantenimiento. El método descrito es el muestreo estadístico del proceso de trabajo o muestreo del trabajo. El proceso de trabajo se compone de pasos y actividades que requieren recursos de entrada, agregan valor y producen el proyecto terminado. Comprender la capacidad del proceso o 'sistema de gestión' para producir de manera eficiente es importante para la planificación y el control del proyecto. El muestreo es una forma rentable de proporcionar información sobre el desempeño del proceso de trabajo, es decir, sobre "cómo" se realiza el trabajo y cómo hacerlo mejor. El muestreo de trabajo complementa la metodología de gestión de proyectos convencionales, que normalmente rastrea 'qué' trabajo está hecho.

El muestreo proporciona a los gerentes de proyecto, supervisores y la fuerza laboral una retroalimentación objetiva con respecto a la eficiencia del proceso de trabajo (no de los trabajadores individuales, que es parte del trabajo del supervisor) y la capacidad de responder rápidamente para adaptarse. Además, proporciona una medida de la capacidad de la administración para planificar, coordinar y controlar de manera efectiva la ejecución del proyecto. El análisis de los datos de muestreo permite eliminar o reducir rápidamente los obstáculos, optimizando el proceso de construcción mediante el rediseño y la innovación. La racionalización del proceso de

trabajo asegura que realizar un trabajo productivo sea más conveniente para la fuerza laboral, asegurando que, en todo momento, el personal operativo y los técnicos tengan todas las herramientas, materiales, repuestos, suministros, información, apoyo de supervisión y necesidades personales necesarias disponibles. Muestreo de trabajo, debidamente aplicado, reconociendo que la productividad resulta de un proceso de trabajo óptimo, es decir, de “una gestión más inteligente” y no de personas que trabajan más duro.

La productividad de la mano de obra en la construcción es una medida de la eficiencia del proceso de trabajo. Puede definirse como la relación entre el valor que produce el trabajo y el valor invertido en trabajo. La productividad aumenta a medida que se minimizan los recursos laborales necesarios y se eliminan los esfuerzos desperdiciados del proceso de trabajo. Esta definición y la práctica aquí cubierta trata la productividad como una medida directa y absoluta a optimizar.

### **Finalidad De La Medición Directa**

El propósito del muestreo de trabajo en proyectos de construcción y mantenimiento es medir y evaluar el proceso de trabajo y proporcionar información útil (casi) en tiempo real sobre el proceso. Es una herramienta para permitir una finalización más eficiente y segura del alcance del trabajo, de modo que se gasten menos horas de trabajo de lo habitual.

La observación estadística sistemática de la actividad laboral general en el sitio del proyecto es útil para:

1. Determinar la proporción de horas de trabajo directo que se desperdician en actividad no productiva y retrasos, y actividad laboral productiva;
2. Analizar los factores que provocan la actividad no productiva y los retrasos; y
3. Identificar oportunidades para reducir la actividad no productiva y los retrasos.

Como parte de su disciplina, el muestreo del trabajo permite que la administración de costos afecte la mejora de la productividad en proyectos de construcción y mantenimiento que requieren mucha mano de obra. El muestreo de trabajo en un proyecto que ayuda a monitorear la actividad laboral para obtener una imagen general de la utilización de la fuerza laboral. Con muestras estadísticamente sólidas, se pueden hacer inferencias con respecto a las limitaciones al flujo de trabajo y las ineficiencias resultantes en el proceso. La aplicación constante del muestreo durante un período de tiempo proporciona a los gerentes de proyecto información continua sobre la efectividad de las acciones tomadas para mejorar continuamente el proceso de trabajo.

El análisis de los datos (independientes de la estimación) cuantifica la actividad no productiva e identifica los posibles factores causales, lo que sugiere una acción correctiva. El muestreo de trabajo proporciona a los gerentes y a la supervisión una retroalimentación rápida y procesable sobre el desempeño del proceso de trabajo, información que no se puede obtener con las métricas de control de proyectos convencionales. Las medidas de productividad convencionales indican cuándo ocurren los problemas de productividad y el muestreo del trabajo indica las razones de los problemas, por tanto, los métodos se complementan entre sí.

Los datos cuantitativos reales, específicos del proyecto, obtenidos por muestreo de trabajo aseguran una evaluación objetiva del proceso de trabajo. Como tal, los datos respaldan la evaluación comparativa y la mejora continua de la eficiencia y la productividad. Si se aplica correctamente, es eficaz para realizar más trabajos de construcción o mantenimiento con menos horas de trabajo y con mayor seguridad y satisfacción de los trabajadores.

### **Antecedentes sobre productividad, eficiencia y muestreo de trabajo**

El desempeño de los proyectos de construcción y mantenimiento es una preocupación importante para los propietarios de proyectos, los constructores y los profesionales de

administración de costos. El costo del proyecto y el rendimiento del cronograma dependen en gran medida de la calidad de la planificación del proyecto, la preparación del área de trabajo y la productividad resultante del proceso de trabajo que se hace posible en la ejecución del proyecto. La productividad de la mano de obra es a menudo el mayor factor de riesgo y la fuente de costos y la incertidumbre del cronograma tanto para los propietarios como para los contratistas

Los principales proyectos de construcción y de mantenimiento se gestionan y controlan habitualmente mediante supervisión y coordinación. A intervalos, se realiza un seguimiento del progreso con respecto a los programas y presupuestos acordados, que se estiman, en gran parte, en base a datos históricos de desempeño. Este método puede ser efectivo para resaltar cuando el desempeño no está al día con los planes. Pero no muestra por qué la productividad está rezagada o fuera de control, ni apoya decisiones sobre acciones correctivas y mejora del proceso de trabajo. Como tal, las medidas tradicionales de control de proyectos no abordan completamente el objetivo de mejorar el costo y el desempeño del cronograma. Para una optimización significativa del costo y el cronograma, se debe utilizar la medición directa de la productividad para complementar las medidas de control indirectas y relativas que comparan el desempeño con la estimación.

Las importantes lecciones aprendidas por la industria manufacturera estadounidense en la década de 1980 mostraron que los gerentes deben asumir la responsabilidad de la mayoría de los problemas de desempeño del proceso de trabajo ("sistema"). El trabajo de la gerencia es planificar, desarrollar y asegurar continuamente un proceso de trabajo eficiente: la fuerza laboral trabaja dentro de los límites del proceso.

Estas lecciones también se aplican a la industria de la construcción: aumentar el uso productivo de las horas de mano de obra mediante la aplicación de la medición, el análisis y la mejora de los procesos dan como resultado una mejor productividad, eficiencia y rentabilidad.

Utilizando técnicas estadísticas, como el control estadístico de procesos (SPC) y Six Sigma (enfoque en la variación del proceso), muchas empresas pudieron aumentar radicalmente la eficiencia y la calidad productiva, la de ellos y la de sus proveedores.

El muestreo del trabajo es una técnica estadística que se puede utilizar eficazmente para analizar el proceso de trabajo de construcción y mantenimiento. Se miden las proporciones de tiempo que dedican los artesanos y técnicos a la variedad de actividades laborales y la variabilidad del proceso de trabajo. La aplicación ha demostrado ser efectiva en cientos de proyectos de construcción y mantenimiento, logrando ahorros en costos laborales del 20 al 30 por ciento y más.

El muestreo de trabajo se ha utilizado ampliamente para realizar estudios periódicos de operaciones industriales. Originalmente utilizado en la industria textil en el Reino Unido, se introdujo en los EE. UU. Durante el esfuerzo de la Segunda Guerra Mundial para obtener información sobre hombres o máquinas. Una herramienta de búsqueda de hechos, se llamó método de "lectura instantánea", refiriéndose al registro instantáneo de la observación de las actividades que se están estudiando. El método proporciona información sobre el proceso de forma rápida y a menor costo que otros medios. La técnica ha sido utilizada de una forma u otra por diferentes grupos por diferentes razones, aunque a veces desafortunadamente se ha utilizado incorrectamente, por ejemplo, como una forma de "culpar" a la fuerza laboral por la baja productividad.

Las observaciones deben ser aleatorias y libres de sesgos o errores de observación sistemáticos que tienden a correr en la misma dirección. Si se lleva a cabo de manera constante de acuerdo con las definiciones y los procedimientos, los resultados del muestreo diferirán de las condiciones reales solo de manera aleatoria y no serán sesgados. Cuanto mayor sea el número de observaciones, más exactamente se aproximarán los resultados del muestreo a las condiciones reales.

Las ventajas del método de muestreo del trabajo son:

1. Se hacen observaciones aleatorias de la actividad laboral general del proyecto de grupos de trabajadores, observados colectivamente en áreas y momentos seleccionados al azar, no de trabajadores individuales específicos.
2. El muestreo causa menos ansiedad y tensión entre los trabajadores que la observación continua (como con un cronómetro).
3. No hay, o es mínima, interferencia con las actividades normales del trabajador.
4. Los observadores con una formación especializada mínima pueden realizar un muestreo de trabajo aleatorio.
5. El número de observaciones se puede ajustar para alcanzar los niveles deseados de precisión.
6. El muestreo del trabajo es un medio eficaz de recopilar datos útiles durante la ejecución del proyecto que normalmente no se recopilan con otros métodos.
7. El muestreo del trabajo es menos costoso que las técnicas de observación continua.

### **Teoría del muestreo de trabajo**

El muestreo de trabajo se basa en la teoría de la probabilidad. Esto significa que las muestras de actividades observadas al azar de un gran grupo de actividades artesanales en un proyecto tienden a tener el mismo patrón de distribución que el del grupo grande. La razón entre el número de observaciones (muestras) de una actividad dada y el número total de observaciones de todas las actividades se aproxima al porcentaje de tiempo que el proceso de trabajo dedica a esa actividad. Si el número de observaciones es lo suficientemente grande, el porcentaje de tiempo encontrado por el muestreo de trabajo dedicado a una actividad diferirá poco del tiempo real dedicado a esa actividad en el proceso de trabajo desarrollado en el sitio del proyecto.

Se debe realizar un número suficiente de observaciones para garantizar la precisión. Aunque el procedimiento es fácil de aprender, es importante que los recorridos de muestreo se realicen al azar, sin sesgos. Cada uno de los trabajadores en su asignación y período de trabajo debe tener la misma oportunidad de ser observado en cada recorrido de muestreo de trabajo.

Un principio fundamental del muestreo del trabajo es que el número de observaciones es proporcional al porcentaje de tiempo que la fuerza laboral se dedica a una actividad como, por ejemplo, "trabajar". Una muestra de tamaño  $N$  se toma para estimar la proporción  $P$ . De acuerdo con la teoría de muestreo elemental, no podemos esperar la proporción basada en una muestra ( $p$ ) ser el verdadero valor de  $P$ . Pero podemos esperar el valor de  $p$  estar dentro del rango de  $P \pm 2\sigma$  ('sigma' es el símbolo de la desviación estándar) aproximadamente el 95 por ciento del tiempo con un nivel de confianza (seleccionada) del 95 por ciento. Con  $P$  como el porcentaje real por determinar, el  $p$  de cualquier muestra se puede esperar que 19 de cada 20 caiga dentro de los límites de  $P \pm 2\sigma$  solo por casualidad.

Como el número de observaciones  $N$  aumenta, el error de muestreo disminuye, es decir, el valor  $p$  se acerca al verdadero valor de  $P$ . La precisión absoluta es la diferencia entre el porcentaje observado  $p$  y el verdadero valor  $P$  (la precisión relativa es esta diferencia expresada como un porcentaje del porcentaje observado). Exactitud absoluta de los datos resultantes se pueden calcular con esta fórmula:

$$A = Z\sqrt{p(1-p)/N}$$

Dónde:

$A$  = precisión absoluta

$Z$  = número de desviaciones estándar  $\sigma$  (para el nivel de confianza del 95 por ciento, el valor de  $Z = 2$ )

$p$  = el porcentaje observado, obtenido por muestreo de trabajo

$N$  = el número total de observaciones de muestreo de trabajo realizadas.

### **Metodología de recopilación y tratamiento de datos**

El muestreo del trabajo requiere la recopilación de datos de rutina por parte de analistas de construcción o mantenimiento capacitados observando el toda la fuerza laboral en el lugar (con algunas excepciones que se comentan más adelante). Los recorridos de observación de caminatas aleatorias deben realizarse en momentos seleccionados al azar durante todos los períodos de trabajo, excluyendo los períodos en los que no se realiza ningún trabajo, como períodos de limpieza al final del turno, o períodos de descanso (si todas las tripulaciones descansan en tiempos de descanso programados específicamente), y los puntos de inicio del recorrido deben variarse en la medida de lo posible.

Las actividades artesanales se registran manualmente de acuerdo con clasificaciones de categorías de actividades específicas, que están predefinidas y pueden personalizarse para el proyecto específico de construcción o mantenimiento. Al cubrir toda la fuerza laboral en el lugar, cada trabajador se cuenta como una observación de muestreo. Una observación de muestreo es una observación de la actividad laboral en el mismo instante en que el analista observa la actividad en un recorrido de observación de muestreo del trabajo.

Antes del comienzo de cada recorrido de observación, el analista determina y documenta el tamaño de la cuadrilla, su supervisor y su área de trabajo para garantizar que se observe a toda la fuerza laboral. Un analista observa y registra impersonalmente toda la actividad artesanal y del capataz que ocurre en el proyecto colocando marcas de verificación en un formulario de recopilación de datos (como el "Formulario de recopilación de datos" en el Apéndice B), y también registra el número de trabajadores artesanales no observados en sitio ('desaparecido').

Utilizando software estadístico, se calcula el porcentaje de observaciones de cada categoría de actividad. Los datos resultantes muestran la utilización general de la tripulación para el período de trabajo muestreado y pueden imprimirse gráficamente, por ejemplo, en formato de gráfico circular. Al aplicar las proporciones de actividad con valor agregado y sin valor agregado al total de horas de trabajo disponibles, se puede determinar el tiempo dedicado a cada categoría. Una impresión de un diagrama de dispersión, por ejemplo, el porcentaje de utilización productiva ('trabajo directo') versus las horas de inicio del recorrido, es una forma práctica de verificar gráficamente la aleatoriedad y determinar la variación del proceso de trabajo. El software calculará el nivel medio (promedio) de actividad productiva y la desviación estándar para el proceso general.

La mejora consiste en elevar el nivel de eficiencia del proceso de trabajo y reducir su variabilidad. El análisis de los datos de medición del proceso de trabajo permite a los responsables de la toma de decisiones, tomar las medidas oportunas y eliminar las restricciones y obstáculos sistémicos que interfieren con la mejor utilización posible y productiva de los recursos de mano de obra artesanal.

Trabajando en apoyo de la gestión de proyectos del propietario y / o contratista, la gestión de costos ayuda a identificar oportunidades para causar mejoras y recomendar la simplificación y / o rediseño del proceso de trabajo, y el establecimiento de pautas para las mejores prácticas específicas del proyecto, que incluyen:

1. Medición, análisis y optimización continuos de la utilización de la mano de obra productiva;
2. Retroalimentación inmediata (por ejemplo, a más tardar al final del turno) sobre la eficiencia del proceso de trabajo;

3. Análisis de los datos de variabilidad y tendencia del proceso tomados a lo largo del tiempo;
4. Evaluación del desempeño del proceso de trabajo frente a la línea de base y los puntos de referencia de la industria;
5. Planificación y preparación inicial con el objetivo de lograr un flujo de trabajo más eficiente;
6. Actualización de las bases de datos de estimaciones históricas para futuras estimaciones "ajustadas";
7. Revisión y auditoría periódicas de la solidez de la implementación de esta práctica.

### **Obtener la participación del muestreo del trabajo**

Antes de comenzar el muestreo del trabajo, el uso del método debe "venderse" a todo el personal en todos los niveles de las organizaciones afectadas, incluida la alta dirección, la supervisión y, si están presentes, los representantes sindicales. El muestreo de trabajo es una herramienta para que sea más conveniente para el personal operativo llevar a cabo las tareas asignadas al agilizar los procedimientos y eliminar los obstáculos. Es responsabilidad de la gerencia eliminar o minimizar los factores que limitan la productividad del proyecto.

Por lo general, las sesiones informativas de 15 minutos de la supervisión de campo y los representantes sindicales son efectivas. El personal operativo puede recibir instrucciones sobre el procedimiento básico de muestreo del trabajo durante el procedimiento de contratación, e.g. mediante un breve video preparado a medida que garantiza la consistencia de la presentación. Es importante explicar el procedimiento de recopilación de datos impersonales, las definiciones de actividad y cómo se utilizan los resultados del muestreo para mostrar la eficiencia del proceso de trabajo.

Centrarse en la eficiencia del proceso de trabajo de construcción introduce una forma nueva y eficaz de gestionar proyectos de construcción con una mejor rentabilidad.

### **Planificación de la ejecución del muestreo de trabajo**

Después de las sesiones informativas para explicar los procedimientos de muestreo del trabajo y las definiciones de las actividades, y de obtener la aceptación de la administración, la supervisión y la fuerza laboral, se necesita un plan detallado antes de realizar recorridos de muestreo del trabajo en el sitio.

1. Determine la precisión deseada de los resultados y especifique el nivel de confianza, por ejemplo, una precisión relativa de  $\pm 5\%$  a un nivel de confianza del 95 por ciento es práctica y generalmente adecuada.

2. A continuación, determine el número requerido de observaciones para lograr la precisión deseada, por ejemplo, utilizando una tabla de búsqueda de precisión estadística, un ejemplo de la cual se incluye en el Apéndice H.

3. Con base en el tiempo de recorrido de observación anticipado para cubrir la fuerza laboral en el sitio, determine el número diario de recorridos de muestreo de trabajo necesarios para lograr el número requerido de observaciones.

4. Posteriormente, diseñar el formulario de muestreo de trabajo en el que registre las observaciones. En el Apéndice B se incluye un ejemplo.

### **Implementación del muestreo aleatorio**

La implementación en sitios de proyectos de construcción o mantenimiento incluye las siguientes actividades y entregables:

1. Lleve a cabo sesiones informativas iniciales para garantizar la gestión, la supervisión y la participación de la fuerza laboral antes de comenzar la medición de la actividad laboral.

2. Determine qué trabajos en el sitio excluir del muestreo de trabajo. Puede que no sea rentable observar a una pequeña cuadrilla trabajando en un área remota, lo que requiere una gran cantidad de tiempo de viaje para observar. En tal caso, puede ser más práctico mantener a este pequeño número de trabajadores fuera del muestreo. (Tenga en cuenta que los datos resultantes solo reflejan las observaciones reales realizadas en las áreas de trabajo incluidas en el muestreo).

3. Mida la utilización de la fuerza de trabajo mediante la observación de toda la fuerza de trabajo en el sitio (excepto los trabajos que están excluidos debido a la distancia del área de trabajo principal).

4. Al realizar recorridos de observación de muestreo de trabajo, es útil hacerse la pregunta: "¿Qué se puede hacer para mejorar la utilización productiva, reducir el tiempo perdido, minimizar los viajes y agilizar el flujo de trabajo?"

5. Comunicarse regularmente con la supervisión de campo, preguntando sobre ubicaciones de trabajo, dotación, procedimientos existentes como descansos, control de herramientas, reuniones de seguridad y cualquier restricción o interferencia.

6. Produzca regularmente informes gráficos de utilización de la mano de obra fáciles de leer, por ejemplo, gráficos circulares, gráficos de tendencias, diagramas de dispersión.

7. Prepare recomendaciones de acción (por ejemplo, una "lista de elementos de acción") para reducir las actividades sin valor agregado (evitando "señalar con el dedo" o "culpar") para la presentación a la dirección del proyecto del sitio.

8. Ofrecer y estar preparado para facilitar la resolución de problemas en equipo con la participación de la mano de obra operativa y supervisores, produciendo recomendaciones a la gerencia para mejorar el proceso de trabajo. Incluya una determinación del costo-beneficio de las oportunidades de mejora del proceso de trabajo recomendadas.

9. Revisar y actualizar la base de datos de estimaciones históricas con los datos más recientes.

10. A pedido, realizar talleres de capacitación de mejora continua.

Con el apoyo de la alta dirección, la mejora del proceso de trabajo puede generar importantes ahorros de tiempo y costos laborales. Y, a través de la comunicación y el énfasis en "trabajar de manera más inteligente", los representantes laborales generalmente responden bien al enfoque de mejora continua del proceso de trabajo que hace que trabajar sea más "conveniente" para el trabajador.

### **Términos Y Definiciones Clave**

#### ***Nivel de confianza.***

La probabilidad de que el valor verdadero que está siendo estimado por la muestra esté incluido en un rango especificado. El analista especifica el nivel de confianza deseado y la precisión o el rango de exactitud se calcula o se busca en una tabla. Por ejemplo, si el nivel de confianza deseado es del 95 por ciento y la 'utilización productiva' (o 'trabajo directo') es del  $56 \pm 2,5$  por ciento, entonces hay una probabilidad del 95 por ciento de que la verdadera 'utilización productiva' esté entre el 53,5 y el 58,5 por ciento.

#### ***Precisión.***

Un rango de valores posibles determinados según el nivel de confianza. Cuando se calcula a partir de los resultados de la muestra, el rango de precisión tiene un límite superior e inferior dentro del cual la estimación de la muestra puede diferir del valor real. En el muestreo de trabajo, un rango de precisión recomendado es típicamente de al menos  $\pm 5$  por ciento ('precisión relativa') con un nivel de confianza del 95 por ciento. La precisión de la medición de muestreo que se logra depende del tamaño de la muestra  $N$  y el porcentaje de observaciones de una actividad  $P$ .

***Desviación estándar (sigma,  $\sigma$ ).***

Una medida de variabilidad, es decir, de la desviación de un porcentaje de actividad promedio, según la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{p(1-p)/N} \quad (2)$$

Dónde:

$\sigma$  = Desviación Estándar

p = porcentaje de ocurrencia de la actividad observada (por ejemplo, 'utilización productiva')

N = número total de observaciones obtenidas en recorridos de muestreo de trabajo.

***Aleatoriedad de los recorridos de observación, tanto de la hora de inicio como del recorrido de observación del analista ('tiempo / recorrido aleatorio').***

Con un generador de tiempos aleatorios basado en computadora o una tabla de tiempos aleatorios (ver Apéndice G), el analista selecciona aleatoriamente la hora de inicio de un recorrido de observación. Los puntos de inicio del recorrido se asignan al azar mediante la selección de diferentes ubicaciones de inicio y rutas tomadas en el sitio del proyecto. Los recorridos de muestreo deben realizarse de forma aleatoria y sin sesgos en el transcurso de todos los períodos de trabajo. Cada uno de los trabajadores en su asignación y período de trabajo debe tener la misma oportunidad de ser observado en cada recorrido de muestreo de trabajo.

El diagrama de dispersión de las horas de inicio de los recorridos durante los períodos de trabajo (diagrama de muestra incluido en el Apéndice F, que muestra los porcentajes de trabajo productivo directo promedio y las horas de inicio de los recorridos de observación, trazados para un turno específico durante el curso de un proyecto de construcción) se puede utilizar para verificar la aleatoriedad de la observación, así como analizar la variabilidad del proceso de trabajo.

***Formulario de recogida de datos y hoja de supervisores.***

Las muestras son observaciones obtenidas al observar las actividades de la fuerza laboral, ya sea como grupos de trabajadores simultáneamente o como individuos que trabajan por separado en el proyecto durante la observación y clasificando las actividades observadas, de manera impersonal, en categorías de actividad predefinidas. El formulario de recopilación de datos incluido en el Apéndice B es un ejemplo de un formulario que utiliza el analista para registrar observaciones. La Hoja de supervisor en el Apéndice C se usa para registrar la ubicación del área de trabajo de los supervisores y la información del tamaño de la cuadrilla, y el analista la usa para asegurarse de cubrir todas las áreas de trabajo, los supervisores y toda la fuerza laboral.

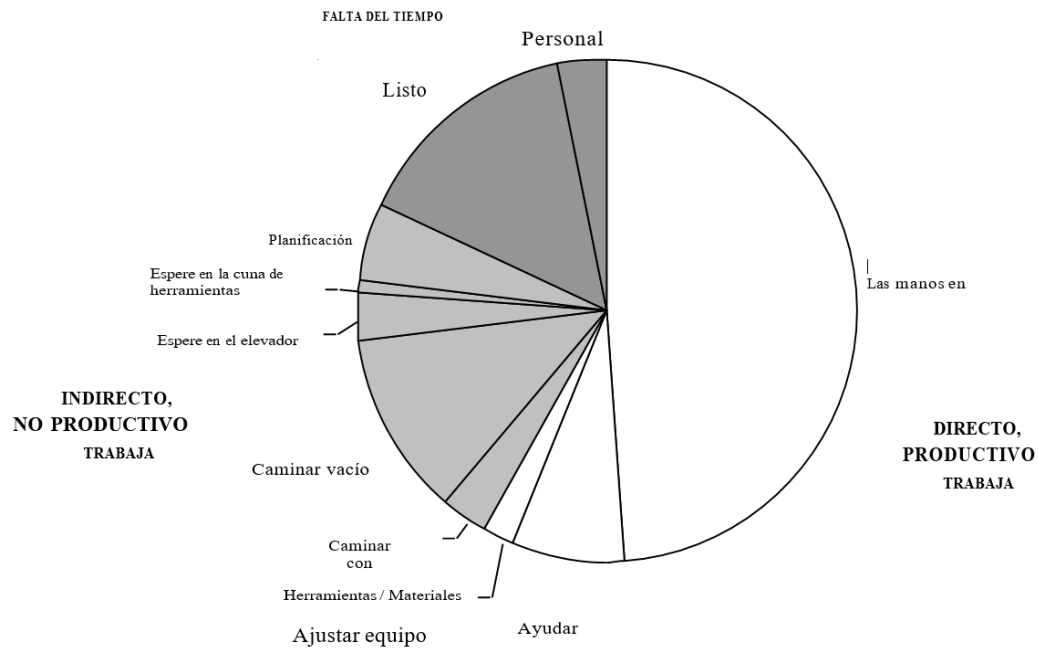
***Definiciones de categorías de actividades de muestreo de trabajo.***

Las actividades de la fuerza laboral se distinguen, esencialmente, en tres categorías principales: "Trabajo productivo (utilización)", "Trabajo no productivo" y "Tiempo de inactividad". Cada una de ellas tiene sus subcategorías, como se muestra en el gráfico circular de la Figura 1. Las definiciones de muestreo de trabajo a menudo se personalizan para proporcionar información procesable específica para un proyecto o instalación. En el Apéndice A se presenta un ejemplo de definiciones de actividades de trabajo de construcción. Una impresión diaria de la utilización de horas de trabajo operativo para un turno mostraría los porcentajes medidos reales en un formato de gráfico circular, como se muestra en el Apéndice D.

Además, el porcentaje de trabajadores no observados ('No contabilizados'), así como el número total de observaciones (N) se pueden mostrar en el informe diario.

**Figura 18.**

*Trabajo productivo y no productivo en diagrama de torta, presentado por la practica recomendada AACE-RP\_022R-01*



### ***Informes.***

Para que sean útiles y efectivos, los datos de medición del proceso de trabajo deben informarse de manera oportuna. Por ejemplo, al final de cada turno, se puede preparar un gráfico circular que muestre la utilización de la mano de obra para ese turno y presentarlo a la dirección y supervisión del proyecto, e incluir la publicación en las áreas operativas. El gráfico circular del Apéndice D muestra algunos de los posibles factores causales que afectan las categorías de actividad. Se puede incluir una lista de elementos de acción, es decir, notas breves sobre la causa y el efecto percibidos de la interacción de las actividades laborales en el sistema y las interferencias en el flujo de trabajo. La lista se actualiza periódicamente con obstáculos o restricciones para un flujo de trabajo eficiente, observada por el analista en recorridos de muestreo de trabajo o en recorridos realizados con el propósito específico de identificar problemas de flujo de trabajo (cuando el tiempo lo permite, entre recorridos de muestreo de trabajo).

***La lista de elementos de acción.***

También puede describir una actividad laboral "indeseable", es decir, una actividad que se clasifica como de trabajo pero que posiblemente se puede eliminar o reducir mediante un proceso mejorado. Los ejemplos incluyen ciertos tipos de caminar, esperar, limpiar, etc.

En el Apéndice I se incluye un ejemplo de formato de Lista de elementos de acción.

Nota: La definición de productividad en la Práctica recomendada internacional No. 10S-90 de la AACE "Terminología de ingeniería de costos" es una "medida relativa de la eficiencia laboral, ya sea buena o mala, en comparación con una base o norma establecida ...". Esa definición se aplica a los índices de productividad, como los que se utilizan en las prácticas de control de proyectos de valor ganado en vez de, la medición directa de la utilización de la fuerza de trabajo productiva con fines de mejora del proceso de trabajo.

***Referencias***

1. Failing, Robert G, L. Jantzen and Larry D. Blevins, 1988, *“Improving Productivity Through Work Measurement: A Cooperative Approach,”* American Institute of Certified Public Accountants, New York.
2. Harley R. Macklin and Hans E. Picard, *“Continous Improvement of Productivity – How an electric utility uses work measurement to innovatively manage contractor labor requirements on maintenance outages,”* cost Engineering, Vol 34, No 10, Oct. 1992
3. Harrington, H James, 1991, *Business Process Improvement*, McGraw-Hill.
4. Niebel, Benjamin W., 1993, *Motion and Time Study*, Erwin
5. Picard, Hans E., *“Productivity and Value Management on Utility Construction and Maintenance Projects”*, Proceedings, Project Management Institute Seminar Symposium, sep. 1991, Dallas, Texas.

6. Picard, Hans E. and C. Robert Seay, Jr., “*Competitive Advantage through Continuous Outage Improvement*,” EPRI Fossil Plant Maintenance Conference, Baltimore, Maryland, July 1996.
7. Picard, Hans E., Sc.D., “*Industrial Construction Efficiency and Productivity*”, Transactions, 44th Annual Meeting of AACE International, June 2000, Calgary, AB, Canada.
8. Pitt, H7, 1994, **SPC for the Rest of Us**, Addison – Wesley.
9. Picard, Hans E., “*Construction Performance Benchmarking Measurement*”, Transactions, 46th Annual Meeting of AACE International, June 2002, Portland, OR.
10. Picard, Hans E., “*Construction Process Measurement and Improvement*”, Proceedings, 10th Annual Conference on Lean Construction, Aug. 2002, Gramado, Brazil.
11. DCAA (2002). Defense Contract Audit Agency (DCAA) Document Title: *DCAAM 7640.1; DCAA Contract Audit Manual, Vol. 2; Jan. 2002 Appendix 1.*

### **Colaboradores**

Descargo de responsabilidad: el contenido proporcionado por los colaboradores de esta práctica recomendada es suyo y no refleja necesariamente el de sus empleadores, a menos que se indique lo contrario.

Hans E. Picard (Colaborador principal)

Charles E. Bolyard, Jr.

Robert C. Creese, PE CCE

Earl T. Glenwright, Jr.

Stephen M. Jacobson, CCC

Richard A. Selg, CCE

Ronald M. Winter

James G. Zack, Jr.

**APÉNDICE A.** Definiciones de muestreo de trabajo aplicables a proyectos de construcción

**Actividad laboral directa y productiva:** usar *herramientas* o esfuerzo en un lugar de trabajo designado para realizar una tarea asignada que hace una contribución directa y productiva para completar el alcance del trabajo. Hay tres subcategorías dentro de la actividad laboral productiva directa:

### **1. Manos a la obra**

#### **A. Usar herramientas o equipos**

Operación de herramientas eléctricas o neumáticas

Soldar, cortar, soldar o calentar (arco o soplete)

Girar / tirar de una llave, destornillador u otra herramienta manual

Martillar, limar, aserrar, lijar o pulir

Barrer, limpiar, pulir, cepillar o aplicar pintura / revestimiento

Colocación o posicionamiento de caídas / eslingas de cadenas o andamios

Alinear o colocar piezas o materiales en equipos, soportes, etc.

Obtener o guardar herramientas o piezas en el lugar de trabajo

Alimentación de alambre, cable, línea, etc.

#### **B. Inspeccionando**

Observar el funcionamiento o el estado del equipo para garantizar su correcto funcionamiento.

Usar medidores, calibrador, metros u otros instrumentos para medir o probar la condición u operación del equipo, la instalación o los circuitos.

Usar diagramas o esquemas con fines educativos en el área de trabajo.

Inspección de la calidad del trabajo terminado, por ejemplo, comprobación de soldaduras, roscas, alineaciones, etc.

**C. Usar equipo o vehículo (por ejemplo, remolcador, grúa, montacargas)**

Levantar, bajar o posicionar la carga

Conducir / operar equipo rodante (tarea asignada)

**D. Actividades de apoyo**

Almacenista para entrega de herramientas

Almacenista para mantenimiento

Tiempo de espera del auxiliar mientras el soldador aplica el cordón de soldadura.

**2. Asistir**

Pasar herramientas o materiales

Colocación de materiales, piezas o equipos para otro

Paletero

Actividades relacionadas con la seguridad, como sostener una escalera para otro, vigilar un incendio o un pozo, un asistente de línea de etiqueta, etc.

Sostener, apoyar o mover la tubería, parte o pieza estructural para que otro realice una tarea

Actividad de asistente de cuna de herramientas o corredor de herramientas cuando no está trabajando directamente en herramientas o ayudando a otro

**3. Ajuste de equipos**

Sustitución de un disco de corte o muela abrasiva en una pulidora

Ajustar una antorcha o tipo de arco antes de cortar o soldar

Ajustar una antorcha o tipo de arco de soldar para otros

Parar para arreglar problemas al inicio o dificultades

Reparar o modificar las herramientas o equipos

**Indirectos, actividad laboral no productiva:**

Se refiere a actividades que no son directamente contributivas para completar las tareas del proyecto. Esas actividades incluyen:

Caminar con herramientas o materiales: transportar (también: caminar o andar en un vehículo con) partes, herramientas, materiales, o equipos, dentro o fuera de la planta o proyecto.

Caminar vacío: caminar o andar (como pasajero de vehículo) con las manos vacías, dentro o fuera de la planta o proyecto.

Esperar el elevador

Esperando en almacén de herramientas: Esperando en el almacén de herramientas partes, materiales, herramientas o suplementos.

Planear/obtener trabajo información relacionado con el trabajo

Estudiar dibujos, diagramas, manuales, o notas para obtener la información relacionada con el trabajo (fuera del área de trabajo)

Ejecutar cálculos (fuera del área de trabajo)

Discusión relacionada con el trabajo entre jefe de planta y operativos

Realizar cronogramas

Usar sistemas de página, teléfonos de planta o caminar hablando.

**Tiempo inactivo: sin actividad, incluye:**

Listo: listo para ayudar a un compañero de trabajo en una actividad laboral o listo para trabajar, pero "en espera".

Personal: todo el tiempo de inactividad personal o no utilización inexplicable.

**Datos adicionales: incluye:**



**APÉNDICE C.** Hoja del supervisor.

---

Technician: \_\_\_\_\_

Partner: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Location: \_\_\_\_\_ Shift: \_\_\_\_\_

---

**Weather Conditions**

Clear  Raining Ice, Sleet, Etc. (How Long \_\_\_\_ hrs)

Cloudy  Snow

Rain (How Long \_\_\_\_ hrs)  High Winds Temp \_\_\_\_ ° F

---

**Foremen Information**

Foreman	#Men	Where	Foreman	#Men	Where

**Miscellaneous Notes**

---



---

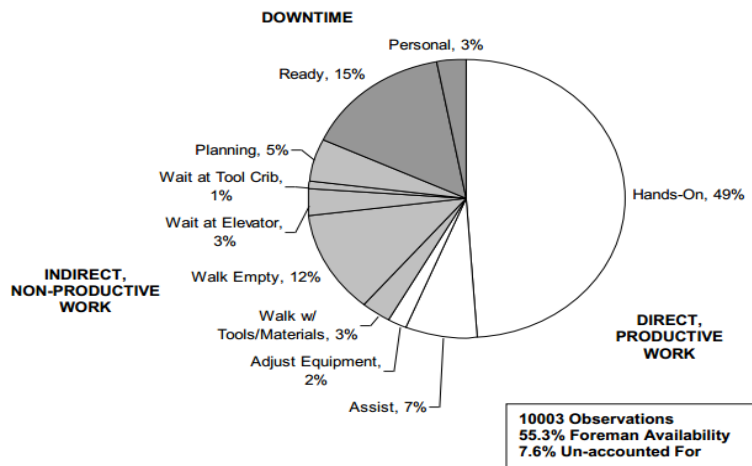


---



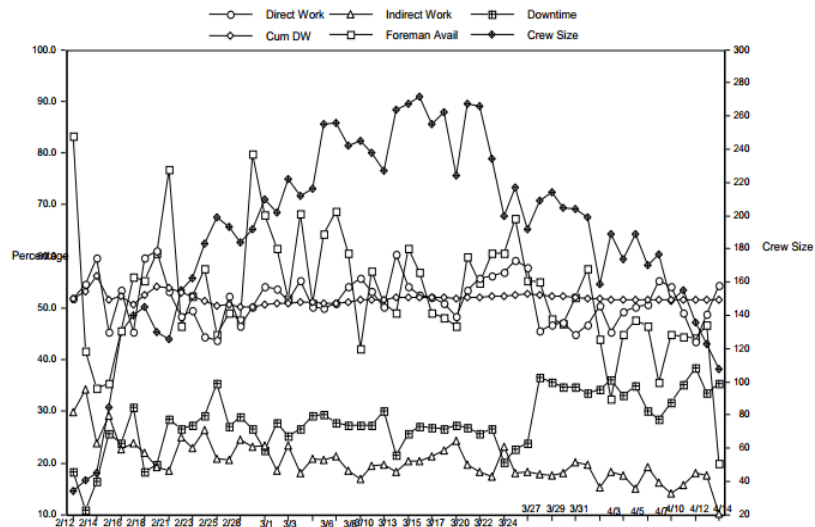
---

**APÉNDICE D.** Ejemplo de formato de diagrama circular para reporte diario

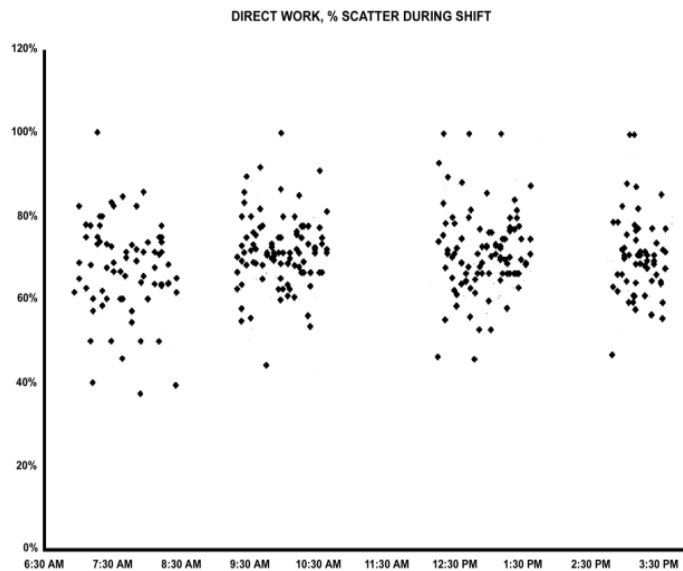


Ejemplo de grafico de utilización de hora por categoría de trabajo con porcentajes de observación actual como podría ser usado para un reporte diario.

**APÉNDICE E.** Diagrama de tendencia.



**APÉNDICE F.** Ejemplo de diagrama de dispersión de la medición del porcentaje de trabajo productivo en turnos versus inicio de horario.



**APÉNDICE G.** Ejemplo de tabla de tiempos aleatorios

## RANDOM TOUR START TIMES (5 min. intervals - hours/mins. from shift start)

0:20	0:10	0:25	0:15	0:25	0:20	0:15
0:55	0:55	0:45	1:00	0:30	0:25	1:10
2:30	1:10	1:05	1:25	0:40	0:55	1:25
3:05	1:45	2:20	1:55	1:00	1:20	1:40
3:25	2:05	2:30	2:45	1:40	1:35	1:45
4:00	2:50	3:40	3:50	2:15	1:55	2:40
4:10	3:20	5:00	4:25	2:20	2:30	2:55
4:55	3:30	5:45	5:10	2:30	2:45	3:45
5:00	4:45	5:55	6:20	2:45	3:35	4:55
5:55	4:55	6:00	6:25	3:35	4:05	5:15
6:45	5:00	6:45	6:50	4:00	5:00	5:45
6:50	6:05	7:45	6:55	4:15	6:25	6:25
7:10	7:10	7:55	7:15	6:25	7:20	6:35
7:25	7:35	8:25	7:40	7:30	7:40	7:50
8:20	8:15	8:40	8:25	8:05	8:20	8:10
9:55	8:25	9:10	8:30	8:15	8:30	8:20
10:00	9:40	9:20	9:05	8:40	9:30	9:35
10:30	9:55	9:30	9:25	9:30	9:50	10:40
10:40	10:00	10:25	10:20	9:45	10:25	10:55
11:10	10:30	10:35	11:25	10:25	11:10	11:35
11:50	11:10	10:40	11:45	12:15	11:50	12:35

**APÉNDICE H.** Precisión absoluta con el 95% de confianza.

Para determinar la precisión absoluta Aa% para valores de proporción p% y número de observaciones N, al 95% de nivel de confianza, de acuerdo a la fórmula  $Aa = 2\sqrt{p(1-p)/N}$

p%	± 1%	± 2%	± 3%	± 4%	± 5%
1/99	396	99	44	25	16
2/98	784	196	87	49	31
3/97	1164	291	129	73	47
4/96	1536	384	171	96	61
5/95	1900	475	211	119	76
6/94	2256	564	251	141	90
7/93	2604	651	289	163	104
8/92	2944	736	327	184	118
9/91	3276	819	364	205	131
10/90	3600	900	400	225	144
11/89	3916	979	435	245	157
12/88	4224	1056	469	264	169
13/87	4524	1131	503	283	181
14/86	4816	1204	535	301	193
15/85	5100	1275	567	319	204
16/84	5376	1344	597	336	215
17/83	5644	1411	627	353	226
18/82	5904	1476	656	369	236
19/81	6156	1539	684	385	246
20/80	6400	1600	711	400	256
21/79	6636	1659	737	415	265
22/78	6864	1716	763	429	275
23/77	7084	1771	787	443	283
24/76	7296	1824	811	456	292
25/75	7500	1875	833	469	300
26/74	7696	1924	855	481	308
27/73	7884	1971	876	493	315
28/72	8064	2016	896	504	323
29/71	8236	2059	915	515	329
30/70	8400	2100	933	525	336
31/69	8556	2139	951	535	342
32/68	8704	2176	967	544	348
33/67	8844	2211	983	553	354
34/66	8976	2244	997	561	359
35/65	9100	2275	1011	569	364
36/64	9216	2304	1024	576	369
37/63	9324	2331	1036	583	373
38/62	9424	2356	1047	589	377
39/61	9516	2379	1057	595	381
40/60	9600	2400	1067	600	384
41/59	9676	2419	1075	605	387
42/58	9744	2436	1083	609	390
43/57	9804	2451	1089	613	392
44/56	9856	2464	1095	616	394
45/55	9900	2475	1100	619	396
46/54	9936	2484	1104	621	397
47/53	9964	2491	1107	623	399
48/52	9984	2496	1109	624	399
49/51	9996	2499	1111	625	400
50/50	10000	2500	1111	625	400

**APÉNDICE I.** Ejemplo de lista de ítems de acción

**ACTION ITEMS LIST**  
**SITE/PROJECT NAME:**  
**CURRENT DATE:**

Item No.	Date Reported	Obstacle to Productive Worker Utilization	Action Plan	Responsible Person	Due Date	Status	Completion Date
1	01/08	Craftworkers walking w. materials; lay-down area distant(ft)	1) Assign expeditors to bring materials to crafts in work areas 2) Review workflow planning procedure	Site Superintendent	02/08	Assigned expeditors	02/08
2	03/08	Long waits at start/end shift as crew size increases	1) Open additional service window 2) Add assistants when needed 3) Review tool control policy	Site Superintendent	05/08	Done	07/08
3	04/08	Craftworkers waiting while equipment is refueled	Fuel equipment in evening for next day	Fuel Truck Operator	04/08	Being done as of today	04/08
4	04/08	Craftworkers waiting in work areas for unknown reasons	1) Review manpower scheduling procedure 2) Balance with do-able workload	Site Superintendent	05/08		
5							