

Medidas de productividad

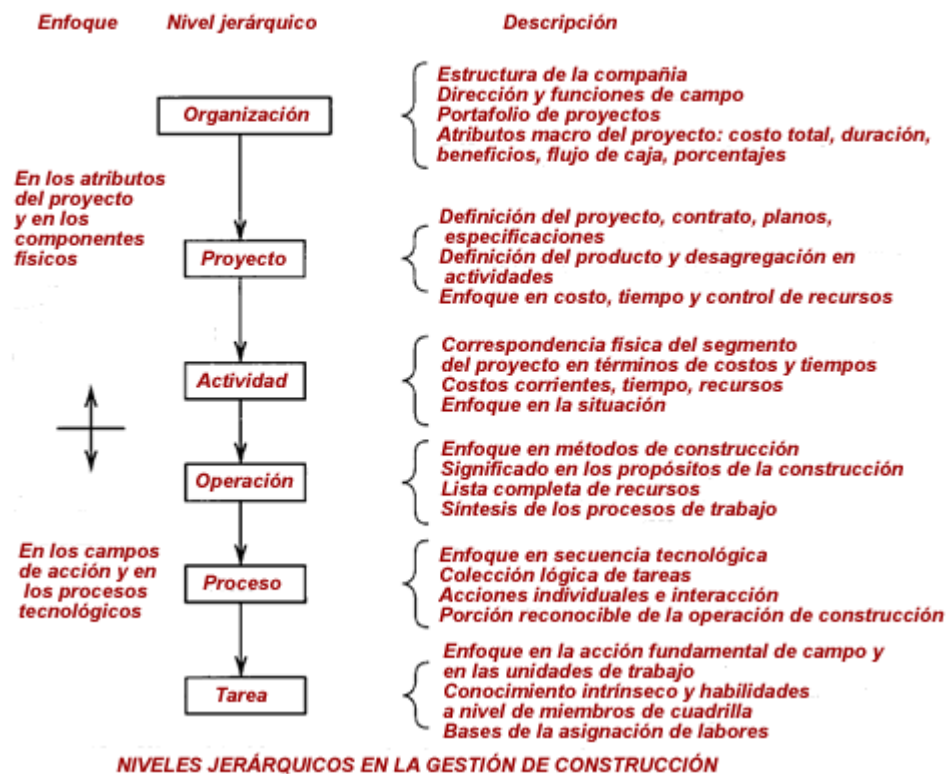
Modelos para medir la productividad. Efecto espacial en la productividad.

Modelos para medir la productividad

Referencia

Daniel W. Halpin (Purdue University) and Leland S. Riggs (Georgia Institute of Technology). *Planning and Analysis of Construction Operations*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1992.

Niveles jerárquicos en la gestión de la construcción



◆ Respecto al proyecto y sus componentes

La unidad mayor es la empresa u **organización**, de la que interesa su dirección, ámbito de acción y proyectos. Aquí se ubica el proyecto de interés en sus variables generales. La siguiente instancia es el **proyecto**, con toda su documentación técnica y económica, así como el señalamiento del producto que su ejecución permite alcanzar. Entendiendo **actividad** como la acción o conjunto de acciones que permiten obtener un objetivo determinado, es posible dividir el







proyecto en **actividades** (conducentes a subproductos dentro del proyecto). Existe entonces correspondencia entre las **actividades** y los **componentes físicos del proyecto**. De cada actividad interesan los costos, los tiempos y los recursos.

♦ **Respecto a los campos de acción**

Según el método, la base del modelo es la **tarea**. En el campo, es la **unidad de trabajo más pequeña** y que se asigna a una cuadrilla. La metodología reconoce a un **proceso** como la agrupación lógica de tareas. Y de cada proceso, lo que interesa es su **enfoque tecnológico**. Los procesos (uno o más) conforman una **operación**, de la cual interesan los **métodos de construcción**.

Elementos básicos del modelo

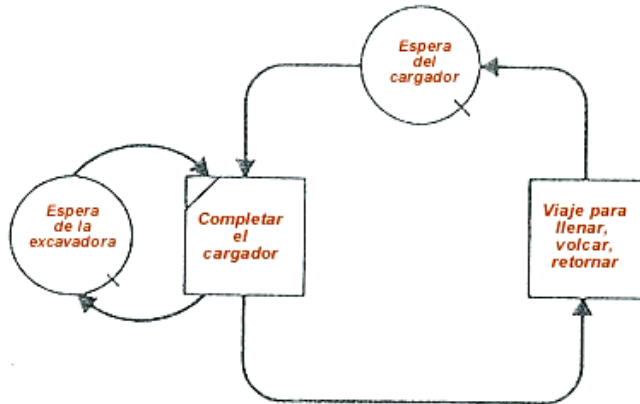
Un modelo es una representación de una situación real y usualmente proporciona un marco para investigar esa situación. El método para el modelaje que presenta la referencia, el CYCLONE, emplea un conjunto de símbolos para representar la situación de las tareas, recursos y el flujo de recursos. Así por ejemplo, utiliza un **cuadrado** (o rectángulo) para representar una tarea en estado activo. Un **círculo** para representar la espera de un recurso, o de un mecanismo de control (que en el lenguaje del método, son llamados **entidades**). Una **flecha** (o un arco dirigido) para indicar el flujo o los movimientos.

<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Función</i>
COMBI		<i>Este elemento requiere que todos los recursos estén disponibles para empezar., en cuyo caso se combinan. Siempre está precedido por elementos ESPERA. Si algunas de las unidades necesarias no están disponibles, pues se encuentran en ESPERA, las que han llegado deben esperar.</i>
NORMAL		<i>Representa una tarea que puede empezar tan pronto como llegue una unidad o recurso (cargador, cuadrilla) del elemento precedente, sin esperar restricciones</i>
ESPERA (QUEUE)		<i>Este elemento precede a todos los COMBI y se relaciona con una ubicación en la cual esperan los elementos pendientes de combinación. Se miden las estadísticas de demora o espera.</i>
FUNCIÓN (FUNCTION)		<i>Se incluye para desarrollar una función especial, activando los elementos que le preceden. Puede ser para conteo, consolidación, marcado o acopio estadístico.</i>
ACUMULADOR (ACCUMULATOR)		<i>Es un elemento de conteo de ciclos en un subsistema o en el total del sistema. No detiene ninguna operación.</i>
FLECHA o ARCO DIRIGIDO (ARC)		<i>Indica la estructura lógica del modelo y la dirección del flujo de una entidad (recurso o mecanismo de control)</i>

ELEMENTOS BÁSICOS DEL MODELO

Modelos para procesos repetitivos

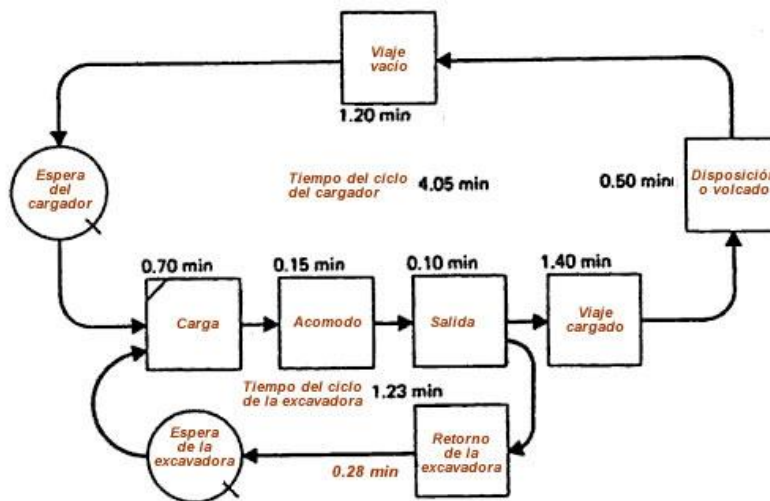
Al interior de un proyecto, aún siendo único como tal, es posible distinguir **procesos repetitivos o cíclicos** (compuestos por tareas que se reiteran para obtener algún componente del proyecto). Son fácilmente distinguibles -por ejemplo-, en la construcción de pavimentos, en la perforación de un túnel, en el encofrado y construcción de losas en edificios con pisos típicos, en la preparación y colocación de elementos prefabricados. La estandarización y modulación de procesos cíclicos resultan convenientes para medir y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.



MODELO CÍCLICO DOBLE DEL CARGADOR Y EXCAVADOR

El diagrama precedente ilustra un proceso cíclico doble. Se trata de un movimiento simple de tierras, con una **excavadora o bulldócer** que levanta y deposita el material en un **cargador o volquete** que lo transporta hasta un lugar determinado, luego regresa vacío, espera a ser llenado, y

se renueva el ciclo. Obsérvese que la excavadora igualmente opera en forma cíclica. Se distinguen entonces dos eventos de espera: para la excavadora, mientras llega el cargador o volquete, y la espera de éste hasta que la excavadora esté lista, si fuese el caso. Igualmente, se debe completar la carga para que el cargador realice su viaje.



TIEMPOS DE CICLOS CARGADOR-EXCAVADORA

El modelaje de estas operaciones permite su desagregación para estudiar los tiempos asociados a los diferentes trabajos y movimientos. Así, para un cargador de 30 yardas cúbicas, operando en una pendiente del 2%, se pueden calcular los tiempos para ser llenado con el auxilio de un excavador de 385 hp. Para este

excavador se tiene el siguiente desgagado, en minutos, según se indica en la referencia:

- Tiempo de carga: 0.70
- Tiempo de acomodo: 0.15
- Tiempo para salida: 0.10
- Tiempo de regreso: 0.28

Lo cual hace un total de 1.23 min del **tiempo de ciclo para el excavador**.

En términos de material excavado y entregado en una hora, se mide la siguiente productividad del excavador o buldócer.

$$Productividad\ del\ excavador\ o\ buldócer = \frac{60\ min/h}{1.23\ min} 30\ yd^3 = 1463.4\ yd^3/h$$

A su vez, los tiempos (en minutos) de cargado, transporte y vaciado empleados por el **cargador** o volquete, según la referencia, son:

- Tiempo de carga: 0.70
- Tiempo de acomodo: 0.15
- Tiempo de salida: 0.10
- Tiempo de viaje cargado: 1.4
- Tiempo de vaciado: 0.50

Para un total de 4.05 minutos de **tiempo de ciclo del cargador**. Y en términos de la productividad:

$$Productividad\ del\ cargador\ o\ volquete = \frac{60\ min/h}{4.05\ min} 30\ yd^3 = 444.4\ yd^3/h$$

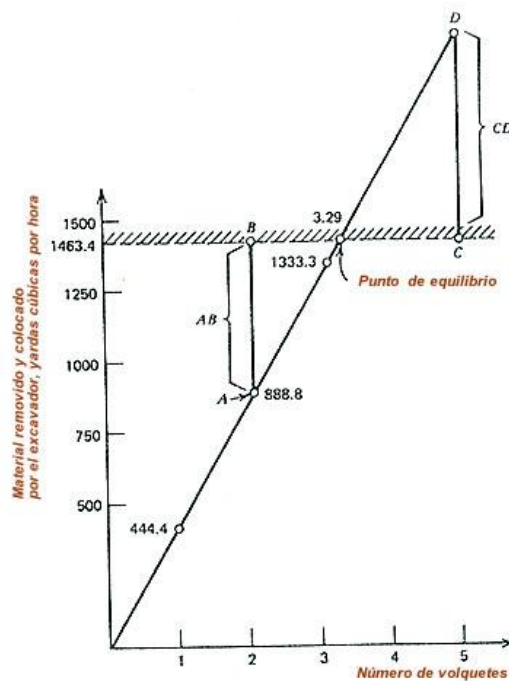


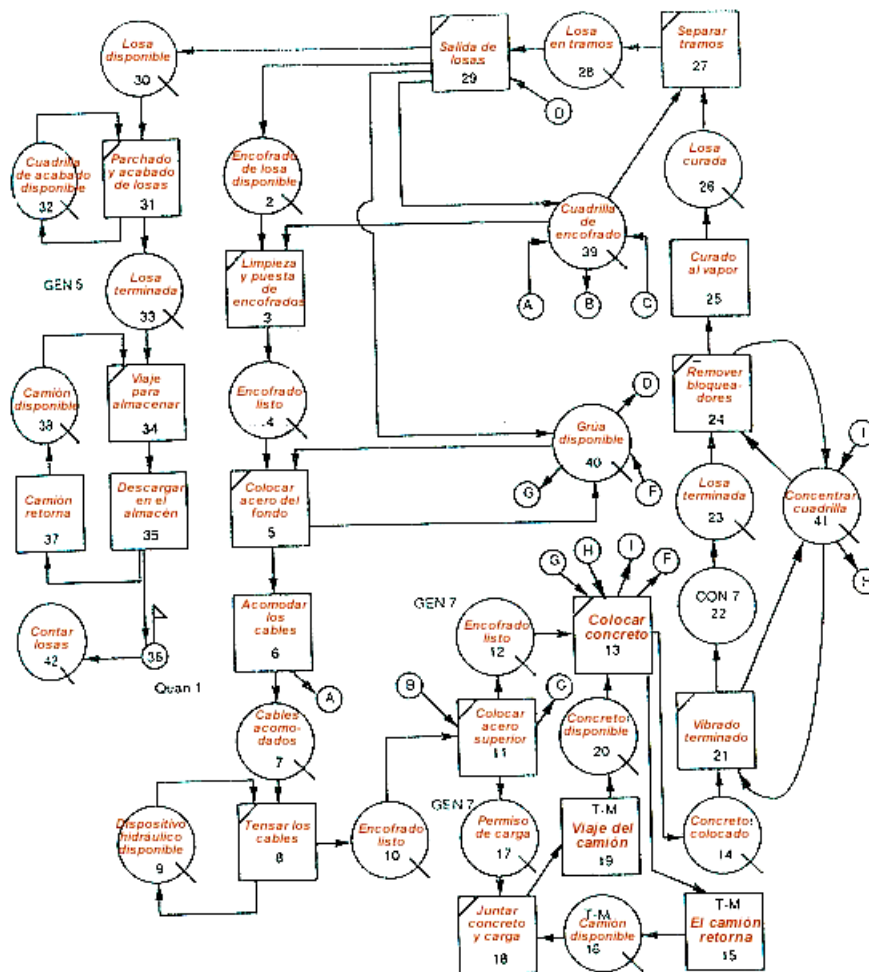
GRÁFICO DE PRODUCTIVIDAD

De la comparación entre ambas productividades, resulta claro que el excavador o buldócer es mucho más productivo que un solo cargador o volquete. El gráfico precedente es presentado para determinar el número de volquetes que son necesarios para mantener ocupado todo el tiempo al buldócer. Igualmente, para conocer los tiempos en que éste puede permanecer desocupado para diferente número de cargadores.

Según el gráfico, la productividad del sistema aumenta en la medida que se incrementa el número de volquetes. Para un solo buldócer, esta productividad es de 1463.4 yardas cúbicas/hora, siempre que se incremente el número de volquetes según se indica en el **punto de equilibrio**. A la izquierda de este punto, el desbalance del sistema corresponde a un tiempo de ocio del buldócer. A la derecha (con cuatro volquetes o más), estos cargadores tendrían que esperar en cola, en una productividad perdida, para el caso de cinco volquetes, por ejemplo, en:

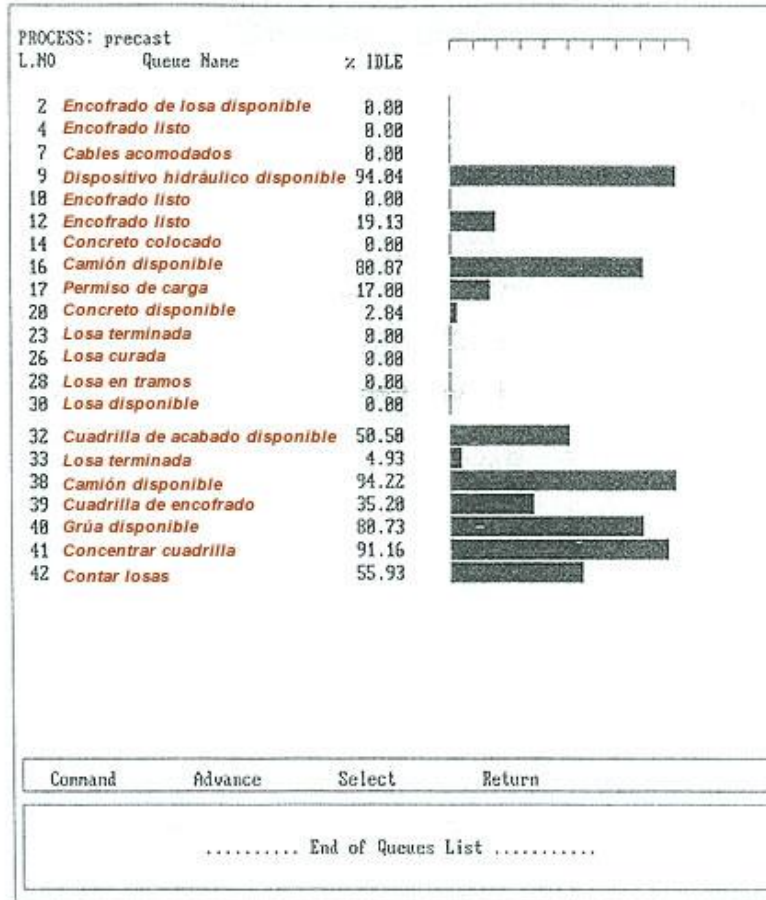
$$\text{Productividad perdida con 5 volquetes} = 5(444.4) - 1463.3 = 758.6 \text{ yd}^3$$

Modelo de un proceso de prefabricado



MODELO CYCLONE PARA PREFABRICADO DE LOSAS

Se ilustra, en el gráfico precedente, un modelo CYCLONE formulado como parte de un estudio de tiempos en una planta de prefabricado. La unidad del flujo es una losa de 10 pies por 150 pies (3.05 m por 45.8 m), la cual consiste de cinco losas individuales de 10 pies por 30 pies (3.05 m por 9.15 m), fabricadas en el mismo marco. La función GENERATE en el evento 33 divide la losa grande en las cinco losas necesarias.



TIEMPOS MUERTOS EN EVENTOS DE ESPERA, QUEUE

Los tiempos muertos también fueron calculados en los eventos de espera, y se muestran en la tabla anterior (el modelo CYCLONE cuenta con su propio software, que facilita el trabajo manual). La comparación de estos resultados con las mediciones reales muestra diferencias menores, en un proceso necesario para **validar el modelo**.

A partir de esta validación, es posible hacer los cambios en duraciones de tareas, disponibilidad de grúa, tasa de suministro de concreto, y variación del tamaño de la cuadrilla, y estudiar los resultados.

Efecto espacial en la productividad

Referencia

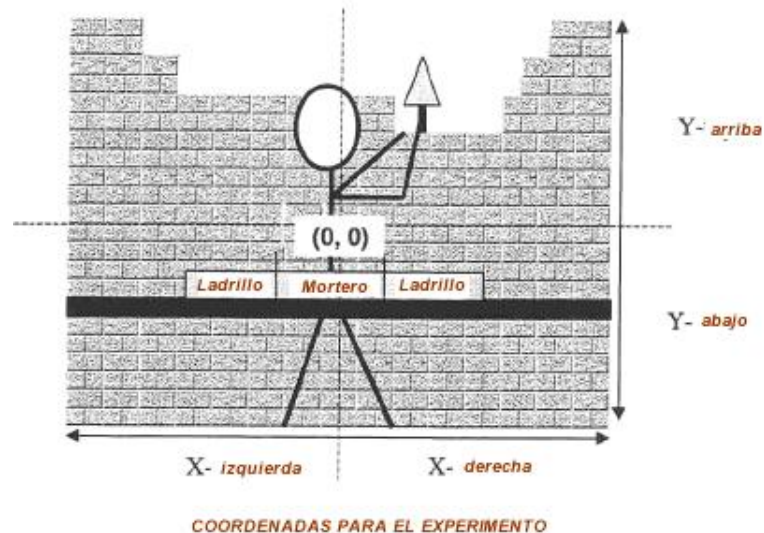
Rasha M. Stino, John G. Everett, and Robert I. Carr (University of Michigan, Ann Arbor, Michigan). *Effect of Spatial Variables on Bricklaying Productivity*.

Construction Research Congress 2005. Broadening Perspectives. American Society of Civil Engineers, ASCE, 2005.

Este artículo demuestra que al considerar las variables en el espacio, en la albañilería de ladrillo, se encuentran impactos significativos en la medición de la productividad. Estas variables espaciales se refieren a la distancia encima del alcance de trabajo, la distancia a los ladrillos, y aquella al suministro de mortero. Se construyeron diez muros de ladrillo, cada uno de 4.2 m de ancho y de una altura físicamente alcanzable, entre 1.7 a 2.0 m. Se midió el tiempo empleado en cada ladrillo, y se registró la calidad de su acabado a diferentes ubicaciones en el muro. En relación con la distancia vertical, las productividades mayores están entre 0.4 a 1.2 m. Disminuyen significativamente fuera de este rango. En relación con los extremos superior e inferior, las productividades fueron mayores trabajando en las partes bajas en comparación con las altas. No hubo mucha diferencia en las distancias horizontales. La sección central, cerca del suministro de material, tiene la más alta productividad. Las más bajas se registraron a la izquierda y derecha, con rangos entre 1.1 a 1.9 m desde el centro de suministro de material. La inspección de la calidad en los muros construidos evidenció diferencias en los espesores de las uniones en la corona y en el fondo, desniveles verticales y alineamientos de ladrillos, y mayor rotación en los ladrillos superiores.

Introducción

El artículo indica que son pocos los estudios dedicados a examinar la relación entre el emplazamiento de ladrillo y su ambiente físico. Al interior del proceso de construcción de un muro de ladrillo se reconocen diferentes tareas que involucran varias posturas de trabajo. La que se conoce como principal es la de **asentar el ladrillo**, mientras que otras como **colocar mortero** y **alineación la posición**, se asocian esencialmente a la primera. Juntas, las tres, son consideradas las principales en la construcción de un muro de ladrillo.



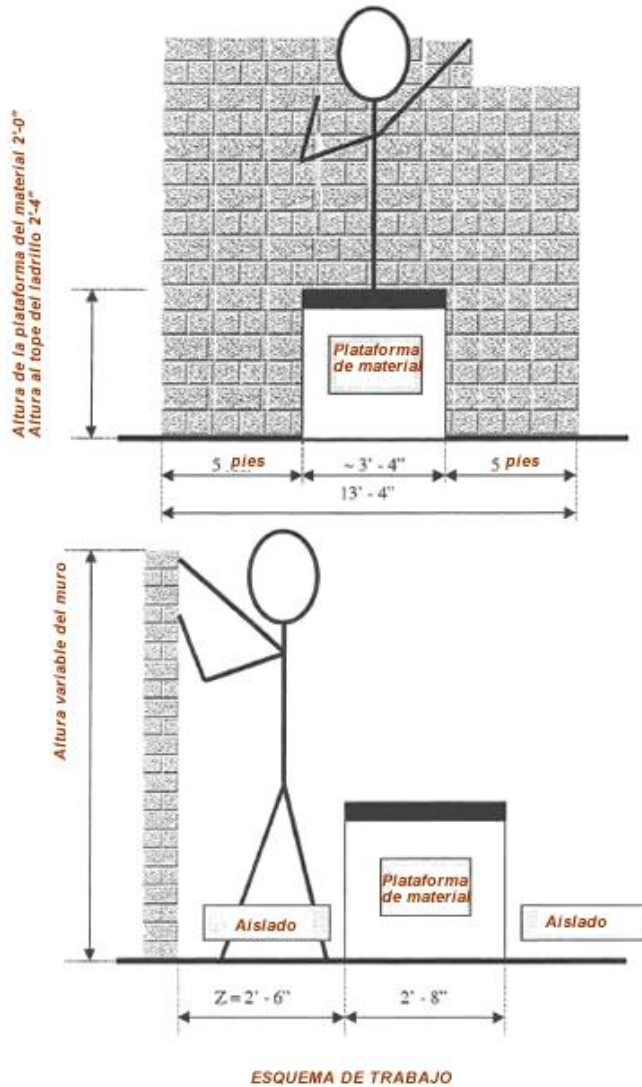
El considerar factores espaciales implica que cada ladrillo tiene una ubicación vertical única, y una única distancia horizontal al suministro de material. La distancia desde la fuente de material, el grado de visibilidad, y el control, son

variables que afectan el tiempo que toma asentar cada ladrillo. De ahí, las diferencias de productividad y calidad del trabajo.

El experimento

El principal objetivo es medir el efecto de las variables x (horizontal), y (vertical) en la productividad del asentamiento del ladrillo. Se trata de un muro sin fines estructurales (no es para soportar carga, y puede colocarse delante de un muro de concreto). Los ladrillos tienen las dimensiones: 9.2 x 5.7 x 19.4 cm.

Trabajaron diez albañiles con experiencia entre 3 a 31 años, para construir cada uno un muro de 4.2 m de ancho y de alto hasta donde alcancen, entre 1.7 a 2.0 m.



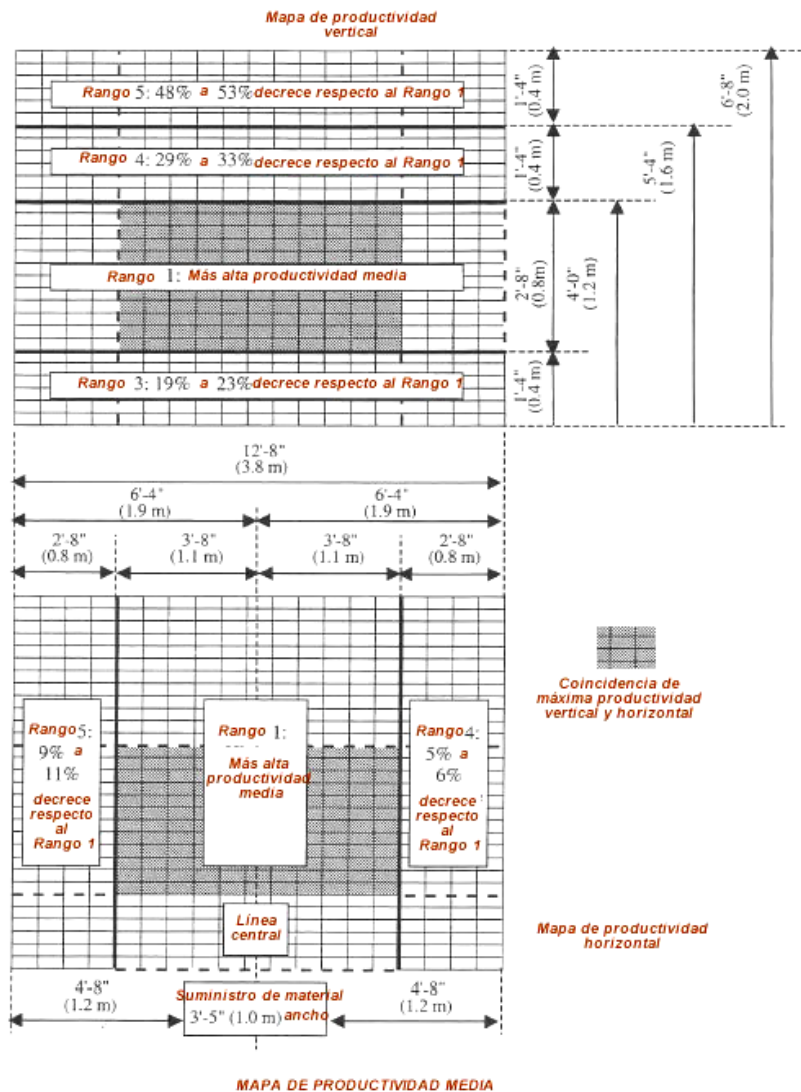
VARIABLES CONSIDERADAS

◆ Variables principales

- Nivel 1, LB, asentamiento de ladrillo: tiempo que toma transferir un solo ladrillo desde el suministro, empastarlo, y colocarlo en el muro.
- Nivel 2, TM, colocar mortero: tiempo que toma el colocar el mortero a lo largo de la fila de ladrillos. Se puede expresar por ladrillo, dividiendo entre el número de ladrillos de la fila.

- Nivel 3, PL, alinear la posición: tiempo que toma nivelar la fila en curso. También puede ser expresado por ladrillo.
- BT, tiempo total de asentado de ladrillo, como la suma de LB, TM, y PL.
- ♦ **Variables secundarias**
- Nivel 4, PT/IA, colocar fijadores o instalar accesorios: tiempo tomado para instalar fijadores metálicos para conectar el muro con el bloque de concreto a intervalos de 0.4 m (cada 6 filas). Se expresa por ladrillo, al dividir entre el número de ladrillos en las 6 filas.
- Nivel 5, TJ, tiempo tomado en trabajar las juntas y limpiar el total de la superficie de trabajo. También se puede expresar por ladrillo, al dividir entre el total de ladrillo en el total del muro.
- Calidad del trabajo: definida por variaciones en los espesores de las juntas, la calidad visual respecto al alineamiento de ladrillos, los niveles y la plomada.

Los trabajos fueron filmados, a partir de los cual se hicieron las mediciones.



Resultados

◆ Productividad

Los resultados se presentan en dos mapas de productividad, según la dirección vertical u horizontal del muro.

Respecto a la productividad vertical, la máxima ocurre en una zona de 0.8 m (entre 0.4 a 1.2 m) encima de la superficie de trabajo. El Rango 1 es propiamente la combinación de dos zonas que tienen similar productividad. Las variaciones en las otras zonas, se indican en la figura.

Con relación a la productividad horizontal, la máxima ocurre en una zona de 2.2 m en el centro del muro. El Rango 1 es la combinación de tres zonas con niveles similares de productividad. Las otras variaciones también se indican en la figura.

◆ Calidad

Para la inspección visual se tomó en cuenta la opinión de representantes del sector de albañilería. Las medidas de calidad fueron mejores en el centro del muro (filas 13 y 18), y peor en la parte baja (fila 4) y alta (fila 2 desde arriba).

Los autores reconocen que hay otros tipos de factores no incluidos en el estudio, y que pueden afectar los resultados, como: tamaño y peso del ladrillo, espesor de las juntas, tipo de mortero, forma del muro, arreglo en las esquinas, o tamaño de la cuadrilla.