

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD ENFOCADO EN
LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE
EDIFICACIÓN**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

John Alexander Ramírez Córdova

ASESOR: Jorge Miranda Gamarra

Lima, Marzo de 2016

RESUMEN

Entre los años 2005 al 2012, se observó un gran crecimiento del sector construcción, el cual produjo la introducción al mercado de varias empresas contratistas y el crecimiento de otras empresas ya consolidadas. Esta situación incrementó la competencia en este sector. En los últimos años, este crecimiento se ha detenido, e incluso el sector ha decrecido, lo que ha generado un mayor incremento en la competencia para ejecutar las pocas obras que se licitan. Para poder lograr este objetivo, las empresas se ven obligadas a ajustar los precios en sus presupuestos para poder ganar las licitaciones de obra, por lo cual para poder lograr la ganancia proyectada, deben ajustar también sus costos de operación. Esto se puede lograr aumentando la eficiencia en la productividad en la obra, la cual puede ser enfocada a la productividad de los materiales y a la productividad de la mano de obra.

La productividad de la mano de obra no solo afecta los costos directos de obra, sino también puede generar mayores plazos de ejecución de las partidas, generando aumento de costos variables. Además, la variabilidad que presenta esta productividad entre las diferentes obras, e incluso dentro de la misma obra, genera grandes oportunidades de mejora en este aspecto.

La presente tesis busca mejorar la productividad en obras de edificación, enfocado en la productividad de la mano de obra, mediante el uso del Estudio de Factores de Productividad. Este estudio busca relacionar los valores de productividad obtenidos en las obras con características del diseño del producto y de las tecnologías y procesos usados para su elaboración. La relación encontrada en el estudio permitirá mejorar la estimación de la productividad en obras futuras así como poder mejorar la productividad durante la obra (apoyado en la aplicación de un enfoque PDCA al método del estudio).

La tesis comenzará definiendo los conceptos y el método a usar para medir la productividad, para luego revisar e identificar los factores encontrados. Mediante la ejecución del Estudio de factores en dos obras, se propondrá una guía metodológica para la ejecución de futuros estudios. Por último, usando un enfoque PDCA, se propondrá un plan para la mejora de la productividad en obra mediante el uso del Estudio de Factores.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

TÍTULO : ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD
ENFOCADO EN LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD
EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

AREA : Construcción y Gestión

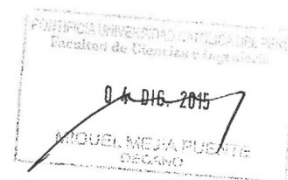
ASESOR : Ing. Jorge Miranda Gamarra

ALUMNO : John Alexander Ramírez Córdova

CÓDIGO : 2009.2208.412.

TEMA N° : 256

FECHA : 23 de Octubre del 2015



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, se ha generado una caída en el sector construcción que obliga a las empresas contratistas a ajustar sus costos y utilidades para poder seguir ganando proyectos. Al trabajar con presupuestos tan ajustados, cualquier error en la estimación de los costos puede generar una gran pérdida una vez ganado el proyecto. Por esta razón, no solo es importante realizar un presupuesto con el que se pueda ganar la licitación, sino ejecutar la obra dentro de los márgenes de este presupuesto. En este contexto, entra a tallar la productividad.

La productividad puede enfocarse en dos recursos básicos: los materiales, cuya productividad afecta el costo directo de la obra, y la mano de obra, cuya productividad afecta tanto el costo directo de la obra, como el costo indirecto. La productividad de la mano de obra suele ser el valor más variable de los dos mencionados. Esto, sumado a la afectación que puede tener en el costo indirecto (pues también afecta los plazos de ejecución), hace de la productividad de la mano de obra un objetivo constante de mejora.

La presente tesis expone la metodología del Estudio de Factores de Productividad aplicada a la mejora de la productividad de la mano de obra, tanto en la estimación en presupuestos como en la ejecución de la obra. A partir de dos estudios realizados en obras en Lima y los resultados obtenidos, se propone una guía metodológica para su aplicación, bajo un enfoque PDCA, para la mejora de la productividad.

OBJETIVO Y ALCANCE

Objetivo general

La tesis tiene como objetivo principal mostrar una alternativa de mejora para la estimación de ratios de productividad y para la mejora de la productividad de mano de obra. Esto se propone mediante la ejecución de un Estudio de Factores de productividad en dos obras con la finalidad de determinar y reconocer la influencia de estos factores en la productividad de la mano de obra.

Objetivos específicos

Con la finalidad de cumplir el objetivo principal del estudio, se determinaron los siguientes objetivos específicos.

- Definir y cuantificar los factores de productividad de contenido y contexto.
- Obtener los registros de productividad de las obras estudiadas, construyendo las curvas de productividad correspondientes a las partidas estudiadas.
- Evaluar los valores de RUPs obtenidos y relacionarlos con los factores determinados.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

- Definir directrices para realizar el estudio en otras obras de construcción, permitiendo así la generación de nuevos datos que permitan enriquecer las bases de datos para estimar la productividad de la mano de obra.
- Proponer un enfoque de mejora continua de la productividad basado en el estudio de factores de productividad

METODOLOGÍA Y RESULTADOS ESPERADOS

La tesis se divide en tres partes, descritas a continuación:

Marco teórico: Se expone los conceptos y definiciones a usar en el estudio sobre Productividad de mano de obra, Medición de productividad de mano de obra, Curvas de Productividad y Factores de Productividad.

Ejecución del Estudio de Factores: Se exponen los objetivos del Estudio. Luego, se presentan los dos casos aplicativos del Estudio de Factores de Productividad y los resultados obtenidos. Se evalúan los resultados obtenidos, añadiendo datos de bases de datos externas para establecer conclusiones más confiables.

Guía metodológica del Estudio de Factores: Se establece una Guía metodológica para la ejecución del Estudio de Factores en otras obras, de esta forma poder ampliar la base de datos y mejorar las estimaciones de productividad y entender mejor la relación entre los Factores y la productividad en las obras. Además, se propone un plan de mejora continua, con enfoque PDCA, usando los Factores de Productividad. Por último, se exponen algunas conclusiones y comentarios de todo lo desarrollado.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, A. A. (1985). Las curvas de aprendizaje y sus aplicaciones. Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales, (16), 121-134.

Arcudia, C. E., Solis, R. G., & Baeza, J. R. (2004). Determinación de los factores que afectan la productividad de la mano de obra de la construcción. Ingeniería, 8(2), 145-154.

García, Felipe (2011). "Prólogo primera edición". En VASQUEZ, Oscar. Todo sobre presupuestos en edificaciones. 14

Gulezian, R., & Samelian, F. (2003). Baseline determination in construction labor productivity-loss claims. Journal of Management in Engineering, 19(4), 160-165.

Polanco Sánchez, L. M. (2013). Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción -estudio de caso edificio J UPB.

SOUZA, U. E. L. (2000). Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8(1).

SOUZA, U. E. L. (2006). Como aumentar a eficiência da mão-de-obra. Manual de gestão da produtividade na construção civil.

Tapia, María C. (2013). Productividad en Edificación para proyectos en etapa de terminaciones. XV Seminario de tecnología de los Materiales: "Productividad en Edificación".

Thomas, H. R., & Yiakoumis, I. (1987). Factor model of construction productivity. Journal of Construction Engineering and Management, 113(4), 623-639.

Thomas, H. R., Maloney, W. F., Homer, R. M. W., Smith, G. R., Handa, V. K., & Sanders, S. R. (1990). Modeling construction labor productivity. Journal of Construction Engineering and Management, 116(4), 705-726.

Thomas, H. R., & Sakarcan, A. S. (1994). Forecasting labor productivity using factor model. Journal of Construction Engineering and Management, 120(1), 228-239.

Thomas, H. R., & Završki, I. (1999). Construction baseline productivity: Theory and practice. Journal of Construction Engineering and Management, 125(5), 295-303.

Thomas, H. R. (2009). Construction learning curves. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 14(1), 14-20.

Maximo: 100 paginas



TEMA DE TESIS APROBADO POR EL DECANO



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN CONSTRUCCIÓN. DEFINICIÓN, RELACIÓN CON EL PRESUPUESTO Y MEDICIÓN.....	4
DEFINICIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA.....	4
RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA Y EL PRESUPUESTO.....	6
MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA	8
1. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE MANO DE OBRA	9
2. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE SALIDAS	14
REGISTRO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	25
1. CURVA DE APRENDIZAJE.....	26
2. CURVAS DE PRODUCTIVIDAD	27
3. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD	29
CAPÍTULO 2. FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	34
VARIABILIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD	34
TEORÍA DEL MODELO DE FACTORES	34
FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	35
1. FACTORES DE CONTENIDO.....	36
2. FACTORES DE CONTEXTO	42
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	46
OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE FACTORES	46
1. Objetivo general	46
2. Objetivos específicos.....	46
ALCANCE DEL ESTUDIO DE FACTORES	46
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD. CASO APLICATIVO 1.	48
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	48
CÁLCULO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD.....	48

Cálculo del diámetro equivalente	48
Cálculo de Área característica	51
Cálculo de Peralte característico	52
Cálculo de perímetro característico	53
Cálculo de Sección media	54
Cálculo de espesor medio	54
Determinación de factores de contenido.....	55
REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD	56
RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FACTORES	59
COMENTARIOS SOBRE EL ESTUDIO	61
CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD. CASO APLICATIVO 2.	62
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	62
CÁLCULO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	62
Cálculo de Diámetro equivalente	62
Cálculo del Área característica	66
Cálculo del Perímetro característico	67
Cálculo de Sección media	68
Cálculo de Espesor medio	69
Determinación de Factores de Contexto.....	69
REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD	70
RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FACTORES	73
COMENTARIOS SOBRE EL ESTUDIO DE FACTORES	74
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	76
CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD. DIRECTRICES Y UTILIDAD PARA LA PREVISIÓN Y MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD	81
DIRECTRICES GENERALES PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA	81
PREVISIÓN DE PRODUCTIVIDAD CON EL USO DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	83
MEJORA CONTINUA DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL USO DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	84
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE MANO DE OBRA.....	12
TABLA 2. EJEMPLO DE TAREO CON JORNADA NORMAL	12
TABLA 3. EJEMPLO DE TAREO CON TRABAJO POR TAREA Y HORAS EXTRA	13
TABLA 4. ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE MANO DE OBRA CON TAREOS.....	14
TABLA 5. PESO LINEAL DEL ACERO CORRUGADO PARA CONSTRUCCIÓN	15
TABLA 6. EJEMPLO DE METRADO DE ACERO EN COLUMNA	18
TABLA 7. EJEMPLO DE CUANTIFICACIÓN DE ACERO EN VIGA	20
TABLA 8. EJEMPLO DE REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO DE LOSA	28
TABLA 9. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD PARA ACERO.....	37
TABLA 10. CÁLCULO DE PESO ESPECÍFICO DEL ACERO CORRUGADO DE CONSTRUCCIÓN	39
TABLA 11. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD PARA ENCOFRADO	39
TABLA 12. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD EN ENCOFRADO DE LOSA.....	41
TABLA 13. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD SEGÚN SECCIÓN MEDIA	42
TABLA 14. CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD CONSIDERANDO ACERO HABILITADO EN OBRA.....	43
TABLA 15. CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD CONSIDERANDO ACERO PRE HABILITADO	44
TABLA 16. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD SEGÚN DESPIECE DE ENCOFRADO	45
TABLA 17. CÁLCULO DE METRADO DE ACERO POR DIÁMETRO DE BARRA EN OBRA 1	50
TABLA 18. CÁLCULO DE NÚMERO DE VARILLAS POR DIÁMETRO DE BARRA EN OBRA 1	51
TABLA 19. RESULTADOS DE DIÁMETRO EQUIVALENTE EN OBRA 1	51
TABLA 20. ÁREA CARACTERÍSTICA EN OBRA 1	52
TABLA 21. CÁLCULO DE PERALTE CARACTERÍSTICO EN OBRA 1	53
TABLA 22. CÁLCULO DE PERÍMETRO CARACTERÍSTICO EN OBRA 1	53
TABLA 23. SECCIÓN MEDIA EN OBRA 1	55
TABLA 24. ESPESOR MEDIO EN OBRA 1	55
TABLA 25. DESPIECE DE ENCOFRADO EN OBRA 1.....	56
TABLA 26. MATRIZ DE ACTIVIDADES DE ENCOFRADO DE ELEMENTOS VERTICALES.....	57
TABLA 27. RESULTADOS DE RUPS ACUMULADO Y RUPS POTENCIAL EN PARTIDAS DE ESTRUCTURAS - OBRA 1	59
TABLA 28. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ACERO VERTICAL.....	60
TABLA 29. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ACERO HORIZONTAL – OBRA 1	60
TABLA 30. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ENCOFRADO VERTICAL – OBRA 1	60
TABLA 31. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ENCOFRADO HORIZONTAL – OBRA 1	60
TABLA 32. RESULTA ESTUDIO DE FACTORES PARA CONCRETO VERTICAL – OBRA 1	61
TABLA 33. RESULTA ESTUDIO DE FACTORES PARA CONCRETO HORIZONTAL – OBRA 1	61
TABLA 34. CÁLCULO DE METRADO DE ACERO SEGÚN TIPO DE ELEMENTO – TORRE A	64
TABLA 35. CÁLCULO DE METRADO DE ACERO SEGÚN TIPO DE ELEMENTO – TORRE B	64
TABLA 36. METRADO DE ACERO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL - OBRA 2.....	65
TABLA 37. METRADO DE ACERO HORIZONTAL - OBRA 2	65
TABLA 38. DIÁMETRO EQUIVALENTE - OBRA 2.....	66
TABLA 39. ÁREA CARACTERÍSTICA - OBRA 2	67
TABLA 40. PERÍMETRO CARACTERÍSTICO - OBRA 2.....	68
TABLA 41. SECCIÓN MEDIA - OBRA 2	68
TABLA 42. ESPESOR MEDIO - OBRA 2	69
TABLA 43. RESULTADOS DE RUPS ACUMULADO Y RUPS POTENCIAL - OBRA 2.....	71
TABLA 44. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ACERO VERTICAL - OBRA 2	73
TABLA 45. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ACERO HORIZONTAL - OBRA 2.....	73
TABLA 46. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ENCOFRADO VERTICAL - OBRA 2	74
TABLA 47. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA ENCOFRADO HORIZONTAL - OBRA 2	74
TABLA 48. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA CONCRETO VERTICAL - OBRA 2.....	74

TABLA 49. RESULTADO ESTUDIO DE FACTORES PARA CONCRETO HORIZONTAL - OBRA 2	74
TABLA 50. COMPARACIÓN DE DIÁMETRO EQUIVALENTE EN ACERO VERTICAL.....	76
TABLA 51. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DIÁMETRO EQUIVALENTE EN ACERO EN LOSAS	77
TABLA 52. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE FACTORES EN ENCOFRADO VERTICAL	78
TABLA 53. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE FACTORES EN ENCOFRADO HORIZONTAL	78
TABLA 54. COMPARACIÓN DE FACTORES OBTENIDOS PARA CONCRETO VERTICAL	79
TABLA 55. COMPARACIÓN DE FACTORES OBTENIDOS PARA CONCRETO HORIZONTAL.....	80
TABLA 56. FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES, PARTIDAS Y FASES DEL ESTUDIO	81
TABLA 57. FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. ALCANCES DE UN ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD (ADAPTADO DE SOUZA 2000)	5
FIGURA 2. MANO DE OBRA EN APU	7
FIGURA 3. EJEMPLO DE CUANTIFICACIÓN DE MANO DE OBRA (SOUZA 2000).....	10
FIGURA 4. EJEMPLO DE DETALLE DE ACERO EN COLUMNA.....	17
FIGURA 5. EJEMPLO DE DETALLE DE ACERO EN VIGA	19
FIGURA 6. ENCOFRADO DE COLUMNA (ADAPTADO DE SOUZA 2000).....	21
FIGURA 7. ENCOFRADO DE VIGA PERALTADA.....	22
FIGURA 8. ENCOFRADO DE LOSA	23
FIGURA 9. ENCOFRADO DE ESCALERA	24
FIGURA 10. CONCRETO VERTICAL Y HORIZONTAL	25
FIGURA 11. MODELO DE FACTORES (ADAPTADO DE THOMAS 1994).....	35
FIGURA 12. CLASIFICACIÓN DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD	36
FIGURA 13. EJEMPLO DE ENCOFRADO DE VIGA PERALTADA.....	40
FIGURA 14. EJEMPLO DE ENCOFRADO DE LOSAS.....	41
FIGURA 15. FORMATO DE METRADO DE ACERO USADO EN OBRA 1	49
FIGURA 16. FORMATOS DE PIEZAS DE ACERO USADAS EN OBRA 1.....	49
FIGURA 17. ENCOFRADO DE LOSA TÍPICA EN OBRA 1.....	54
FIGURA 18. FORMATO DE METRADO DE ACERO EN OBRA 2	63
FIGURA 19. EJEMPLO DE PREVISIÓN DE PRODUCTIVIDAD SEGÚN FACTORES.....	84

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. EJEMPLO DE CURVA DE APRENDIZAJE.....	27
GRÁFICO 2. EJEMPLO DE CURVA DE PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO DE LOSA.....	28
GRÁFICO 3. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD CON RUP ACUMULADO	30
GRÁFICO 4. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD CON MÉTODO DE GULEZIAN Y SAMELIAN (2003).....	31
GRÁFICO 5. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD SEGÚN MÉTODOS DE THOMAS (1999) Y ABAD (2004).....	31
GRÁFICO 6. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD CON RUP POTENCIAL (SOUZA 2006).....	33
GRÁFICO 7. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ACERO VERTICAL - OBRA 1.....	57
GRÁFICO 8. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ACERO HORIZONTAL - OBRA 1	57
GRÁFICO 9. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ENCOFRADO VERTICAL - OBRA 1.....	58
GRÁFICO 10. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ENCOFRADO HORIZONTAL - OBRA 1	58
GRÁFICO 11. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA CONCRETO VERTICAL - OBRA 1.....	58
GRÁFICO 12. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA CONCRETO HORIZONTAL - OBRA 1	59
GRÁFICO 13. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ACERO VERTICAL - OBRA 2.....	71
GRÁFICO 14. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ACERO HORIZONTAL - OBRA 2.....	71
GRÁFICO 15. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ENCOFRADO VERTICAL - OBRA 2.....	72
GRÁFICO 16. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA ENCOFRADO HORIZONTAL - OBRA 2	72
GRÁFICO 17. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA CONCRETO VERTICAL - OBRA 2.....	72
GRÁFICO 18. CURVA DE PRODUCTIVIDAD PARA CONCRETO HORIZONTAL - OBRA 2	73
GRÁFICO 19. RUP POTENCIAL VS. DIÁMETRO EQUIVALENTE – ACERO VERTICAL	77
GRÁFICO 20. RUP POTENCIAL VS. DIÁMETRO EQUIVALENTE - ACERO HORIZONTAL.....	77
GRÁFICO 21. RUP POTENCIAL VS. ÁREA CARACTERÍSTICA	78
GRÁFICO 22. RUP POTENCIAL VS. SECCIÓN MEDIA - CONCRETO EN COLUMNAS	79
GRÁFICO 23. RUP POTENCIAL VS. SECCIÓN MEDIA - CONCRETO EN PLACAS	79
GRÁFICO 24. RUP POTENCIAL VS. ESPESOR MEDIO PARA CONCRETO HORIZONTAL.....	80
GRÁFICO 25. CURVA DE PRODUCTIVIDAD SIN ANORMALIDADES	85
GRÁFICO 26. CURVA DE PRODUCTIVIDAD CON ANORMALIDADES	85

INTRODUCCIÓN

Durante los años 2005 al 2012, el Perú experimentó un *boom* en el mercado inmobiliario, lo cual se vio reflejado en un gran crecimiento en la industria de la construcción, llegando a alcanzar hasta el 15% de crecimiento anual¹. Esto produjo la introducción al mercado de nuevas empresas contratistas y el crecimiento de otras ya consolidadas, lo cual aumentó la competencia dentro de este sector. No obstante, en los últimos años, se ha ido generando un estancamiento del mercado de la construcción, llegando a disminuir en 5.86% el año 2015². Esta situación adversa ha generado aún mayor competencia entre las empresas para poder permanecer en el mercado.

El incremento de la competencia en el sector construcción obliga a las empresas a ajustar sus costos y tiempos de ejecución para poder ganar las licitaciones de proyectos y generar utilidades. Las empresas contratistas, como cualquier otra empresa, tienen como finalidad generar utilidades para sus inversionistas (GARCÍA³ 2011). En primer lugar, el incremento de la competencia causa que las empresas bajen sus márgenes de utilidad para ganar las licitaciones. Según información del INEI al 2007, la utilidad sobre las ventas promedio del sector construcción era de 9.8%⁴, la cual está por debajo del promedio entre todos los sectores económicos. En los años actuales, este margen se ha reducido debido a la competencia, pudiendo alcanzar valores del 7% a 8%. En segundo lugar, el cambio, y especialmente el aumento, en el precio de los recursos para la construcción, como son los materiales, equipos y mano de obra, ajustan aún más este margen. Estos precios pueden aumentar durante el proceso de construcción de un proyecto, lo cual puede generar un incremento de costos y una disminución de la utilidad presupuestada. Por último, y relacionado al segundo punto, la disminución de la productividad puede generar mayor consumo de insumos y, por lo tanto, la disminución de las utilidades.

¹ En base a la información del PBI construcción
<http://www.vivienda.gob.pe/destacados/construccion.aspx>

² Extraído de “Economía peruana supera expectativas al crecer 6.39% en diciembre y 3.26% en el 2015”. <http://gestion.pe/economia/economia-peruana-supera-expectativas-al-crecer-639-diciembre-y-326-2015-2154554>

³ Felipe García Bedoya. Director Nacional de la Escuela Superior Técnica en SENCICO.

⁴ Extraído de “Capítulo 06. Indicadores de Rentabilidad”. INEI.

http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0932/cap06.pdf

Expuestas estas tres causas de la disminución de las utilidades, se puede observar que solo la última de ellas, es decir, la disminución de la productividad, puede mejorarse para optimizar los costos y aumentar las utilidades.

La mejora de la productividad puede enfocarse en dos insumos principales: la productividad de los materiales y la de la mano de obra. Esta última no solo se relaciona con el costo directo de la mano de obra, sino también con el tiempo de ejecución del proyecto y los gastos variables. Además, la productividad de la mano de obra presenta gran variabilidad en las obras y por ende, representa una gran oportunidad de mejora. En primer lugar, se puede mejorar la estimación de la productividad de la mano de obra. Los fracasos de las empresas constructoras se originan principalmente por una mala estimación de costos en los presupuestos (GARCÍA 2011), las herramientas actuales para la estimación de productividad de mano de obra en diferentes proyectos poseen un margen de error que puede generar una mala estimación de costos. Lo cual se puede observar, principalmente, en empresas contratistas generales, las cuales ejecutan proyectos con diferentes características y que los datos usados son sesgados por el tipo de proyecto ejecutado. En segundo lugar, se puede mejorar la productividad en el proyecto en sí, optimizando los costos presupuestados. Los procesos actuales se centran en la mejora de la productividad como derivación de otros procesos, mas no analizan la productividad y las causas de su variabilidad.

La presente tesis expone un proceso alternativo para la mejora tanto de la estimación de la productividad de la mano de obra, como el enfoque de mejora continua de la productividad a través del Estudio de Factores de Productividad. A diferencia de otras herramientas, el Estudio de Factores de Productividad se enfoca en el estudio de las causas de la variabilidad de la productividad para poder mejorar la productividad, en este caso, de la mano de obra. Esta herramienta gana gran importancia para empresas contratistas generales, las cuales al ejecutar proyectos con diferentes características (edificaciones de vivienda, oficinas, *retails*, etc.), necesitan generar bases de datos que pueden usarse en varios proyectos sin características similares.

La tesis está dividida en 8 Capítulos. Los Capítulos 1 y 2 muestran el marco teórico sobre la productividad y su medición, y los factores de productividad. El Capítulo 3 fija los objetivos y alcances del Estudio de Factores de Productividad. Los Capítulos 4 y 5 desarrollan un Estudio de Factores de Productividad en dos obras distintas. Los Capítulos 6 y 7 analizan los resultados y proponen un plan para la aplicación

del Estudio de Factores para mejorar de la productividad en obra. Por último, el Capítulo 8 muestra las conclusiones de la tesis.



CAPÍTULO 1. PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN CONSTRUCCIÓN. DEFINICIÓN, RELACIÓN CON EL PRESUPUESTO Y MEDICIÓN.

La productividad de la mano de obra está relacionada tanto con el uso de este insumo como con el tiempo de ejecución del proyecto; por lo tanto, afecta no solo el costo directo sino los costos variables (dependientes del tiempo) del presupuesto de una obra. En el contexto actual, dada la gran competencia en el mercado, invertir en la mejora de la productividad de mano de obra es una opción prometedora para las empresas contratistas.

El paso inicial para iniciar cualquier estudio de productividad, como es el Estudio de Factores de Productividad, es definir los conceptos de productividad, productividad de la mano de obra y la medición de esta.

DEFINICIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

Antes de definir la productividad de la mano de obra, se debe definir el concepto de productividad. En primer lugar, se puede precisar la productividad como la relación entre la cantidad producida y los recursos consumidos (POLANCO⁵ 2009). Es decir, la productividad se expresa como la cantidad de salidas que puede producir una suma de recursos: cantidad de material que puede excavar una cuadrilla en un día, metros cuadrados de piso que se pueden enchapar con una caja de enchape, etc. En segundo lugar, puede expresarse como la cantidad de recursos consumidos para generar, mediante un proceso, una determinada cantidad de productos (SOUZA⁶ 2000). Es decir, la productividad se manifiesta como la cantidad de recursos consumidos para producir una cantidad de salidas: cantidad de obreros que se requiere para excavar 5 m de zanja en un día, cantidad de cajas de cerámica para enchapar un departamento.

Las dos definiciones mencionadas anteriormente generan una controversia para definir la productividad: cantidad producida entre recursos consumidos o recursos consumidos entre cantidad producida. Esto se debe a que no existe una definición estándar para la productividad (THOMAS et al. 1990). En la presente tesis, se tomará la definición expuesta por Carolina Tapia, colaboradora de la Corporación

⁵ Ingeniera de Obras Comunitarias. Egresada de Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Colombia.

⁶ Ubiraci Souza. Doctor en Ingeniería Civil en *Pennsylvania State University* (1996). Docente en la Escuela Politécnica de la Universidad de *Sao Paulo*. Investigador en el área de Gestión de Recursos en obras de construcción.

de Desarrollo Tecnológico (CDT), empresa consultora de la Cámara Chilena de la Construcción, dicha definición define la productividad como:

$$Productividad = \frac{Entradas}{Salidas}$$

Definida la productividad como la relación entre entradas y salidas, en otras palabras, recursos consumidos y cantidad producida, se debe determinar qué se considera como recursos y qué se considera cantidad producida. Para determinar estos valores, se debe explicar el alcance del estudio de productividad.

En la Figura 1, adaptada de una publicación de Ubiraci Souza, se muestra tres tipos de alcance de un estudio de productividad, los cuales dependen de las entradas y salidas consideradas. Los alcances pueden ser: social, financiero o físico.

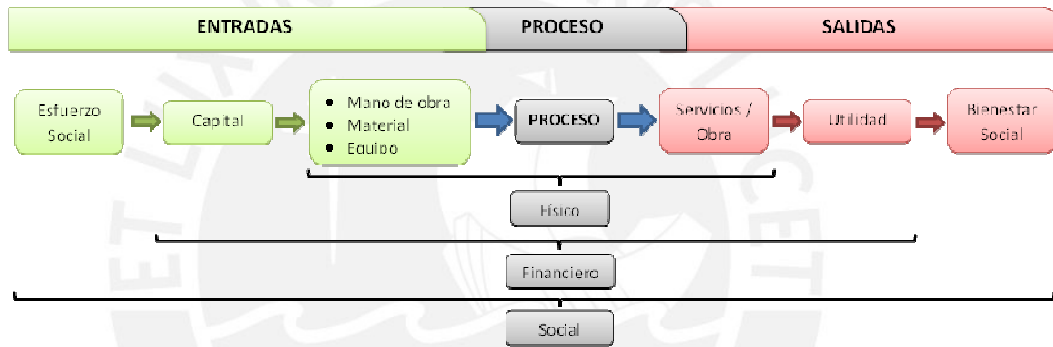


Figura 1. Alcances de un Estudio de Factores de Productividad (Adaptado de SOUZA 2000)

Primero, el alcance social es el más amplio, pues considera el esfuerzo de la sociedad para la ejecución de la obra como entrada y el bienestar generado por el proyecto a la sociedad como salida. Sin embargo, siendo la finalidad de la tesis la mejora de estimación de costos, el alcance resulta inadecuado.

Segundo, el alcance financiero, o económico, estima el costo de la obra como entrada y la utilidad como salida. Es decir, las entradas y salidas están cuantificadas en cantidades monetarias. A pesar que este alcance se basa en costos, cuya estimación es el objetivo de mejora de la presente tesis, este alcance tampoco es adecuado. La Ecuación 1 muestra el modelo económico formulado de manera detallada. Esta ecuación es útil para fines políticos o macroeconómicos, no obstante, no es útil para empresas constructoras debido a la ineficiencia para predecir las entradas para proyectos específicos (THOMAS et al. 1990).

Ecuación 1. Modelo económico de productividad (THOMAS et al. 1990)

$$Productividad = \frac{Entradas (\$)}{Salidas (\$)}$$

$$Productividad = \frac{Mano de obra + Material + Equipo + Energía + Capital}{Salidas}$$

Por último, el alcance físico considera los recursos empleados directamente en obra como entradas y la obra misma como producto de salida. Este alcance es el correcto dado que el estudio expuesto en este estudio se basa en la productividad de la mano de obra. La Ecuación 2 muestra el modelo de productividad para proyectos específicos propuesto por Thomas et. al. Este es el más útil para empresas constructoras y diseñadores de proyectos (THOMAS et al. 1990).

Ecuación 2. Modelo de productividad para proyecto específico (THOMAS et al. 1990)

$$Productividad = \frac{Entradas (\$)}{Salidas (und)} = \frac{Mano de obra + Material + Equipo}{Salidas}$$

Además, de la ecuación previa se debe considerar que el estudio presentado en la tesis se basa en la mano de obra, por lo cual no se tomará en cuenta el material ni el equipo, pudiendo aislar la definición de productividad para el presente estudio según la Ecuación 3.

Ecuación 3. Productividad de mano de obra

$$Productividad = \frac{\text{Mano de obra} + \text{Material} + \text{Equipo}}{\text{Salidas}} = \frac{Mano de obra (hh)}{Salidas (und)}$$

RELACIÓN ENTRE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA Y EL PRESUPUESTO

Como se expuso en la introducción, la productividad de la mano de obra afecta tanto el costo unitario de la partida así como los gastos variables en el presupuesto. Estos dos aspectos se expondrán con mayor claridad, pues son fundamentales para entender cómo es que la mejora de la estimación en la productividad de la mano de obra produce una mejor estimación de los costos en un presupuesto.

Por un lado, existe una relación directa entre la productividad de la mano de obra y el costo unitario de la partida. El costo unitario de una partida (desde aquí en adelante se le denominará CU) se subdivide en costo unitario de la mano de obra, costo unitario de materiales, costo unitario de equipos y herramientas y, en algunos casos, costo unitario de subcontratos. En el cálculo del CU de la mano de obra, se

debe tomar en cuenta el costo de la hora de trabajo de cada obrero, también llamada hora-hombre, según su categoría, la cantidad de integrantes de cada cuadrilla, la jornada laboral y el rendimiento de la cuadrilla.

Partida	03.05.03	ENCUERADO Y DESENCUERADO PLACAS	EQ. 21.5000	Costo unitario directo por : m2	18.84		
Rendimiento	m2/DIA	MO. 21.5000					
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0372		
0147010002	OPERARIO		hh	1.0000	0.3721	16.60	6.18
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.3721	12.94	4.81
Costo unitario de Mano de Obra							10.99

Figura 2. Mano de obra en APU

En la Figura 2, se muestra un análisis de precio unitario de mano de obra identificando cada parte. Además, cabe resaltar que el concepto cantidad ha sido indicado como la productividad de la Mano de Obra. Esto se debe a que el concepto cantidad es calculado a partir del rendimiento, la jornada laboral y la cuadrilla. La Ecuación 4 muestra la fórmula para el cálculo de cantidad de mano de obra, donde H es el número de obreros en la cuadrilla, la jornada es el número de horas trabajadas cada día (normalmente se toma 8.5 horas por día) y el rendimiento es la cantidad de trabajo producido por la cuadrilla cada día. Además, se debe apreciar que el rendimiento es una forma de expresar la productividad de la cuadrilla en conjunto (unidades de producto como salidas y días trabajados como entradas, es decir, salidas entre entradas). El resultado de esta operación genera un valor con unidades de horas hombre por unidad producida, es decir, la definición de productividad presentada al inicio de este capítulo.

Ecuación 4. Cantidad de mano de obra

$$Cantidad = \frac{Cuadrilla (H) \times Jornada(h/día)}{Rendimiento (und/día)} = \frac{hH}{und}$$

Tomando en cuenta lo descrito, queda claro que mientras mayor sea la cantidad en el APU (menor el rendimiento o mayor la cuadrilla usada), se elevará el costo de la mano de obra. En otras palabras, mientras peor sea la productividad (la cantidad sea mayor) el costo será mayor.

No obstante, cabe resaltar que la influencia que tiene la productividad de la mano de obra afectará en mayor medida al costo unitario de la partida mientras mayor sea la proporción del costo de la mano de obra en el costo unitario total. Es decir, si el costo de materiales es bajo y no se usan equipos o subcontratos, la influencia de la productividad de la mano de obra juega un papel importante en el costo unitario

de la partida. Caso contrario ocurrirá si el costo de materiales es alto, o se usan equipos o subcontratos. En partidas de estructuras, el costo de mano de obra puede llegar a representar un promedio del 40 % del costo unitario total de la partida⁷, pudiendo llegar a alcanzar el 76 % de este costo.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta, la influencia de la productividad de la mano de obra en los gastos variables de un presupuesto. Como se ha visto en el costo unitario, la productividad de la mano de obra, el rendimiento de la cuadrilla y la cantidad de obreros en la cuadrilla se relacionan entre sí. Como consecuencia, en el caso que no se modifique la cuadrilla, una deficiencia en la productividad generará un rendimiento menor. Suponiendo que el metrado de la obra no se modifique, un rendimiento menor generará claramente un mayor tiempo de ejecución del proyecto. Este tiempo adicional de ejecución significa que se deberán gastar en los servicios (agua, electricidad, comunicaciones) que necesita la obra, sueldos del personal de obra y de oficina central, útiles de oficinas (hojas, tintas, etc.), entre otros. Estos gastos dependientes del tiempo son considerados gastos variables, y se ven claramente afectados por demoras en el tiempo proyectado para la obra.

En conclusión, la productividad de la mano de obra se relaciona tanto con el costo directo de la obra (precio unitario de las partidas) como con los costos indirectos (gastos variables del presupuesto). Debido a esto, una mejora en la estimación de la productividad de la mano de obra generará una mejor significativa en costo del presupuesto de la obra.

MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

Como se mencionó anteriormente, la productividad en esta tesis será definida como la relación entre las entradas y salidas. Además, se expuso que el alcance del estudio será físico, por lo cual las entradas a considerar serían la mano de obra, el material y el equipo usados. También se indicó que, siendo el estudio enfocado a la productividad de la mano de obra, se puede considerar la Ecuación 5 como la definición de productividad que se usará en esta tesis.

Ecuación 5. Definición de Productividad de mano de obra

$$Productividad = \frac{Mano\ de\ obra + Material + Equipo}{Salidas} = \frac{cantidad\ hh}{metrado\ producido}$$

⁷ Dato extraído de revista "Costos". Edición 262. Enero 2016, Pag. 85-87

Para esta tesis se empleará el Ratio Unitario de Productividad (*Unit rate*) para expresar la productividad de la mano de obra, el cual será referido como RUP en adelante. Este ratio se determina midiendo la cantidad de mano de obra, cuantificada en horas-hombre (hh), para producir una unidad de salida del producto, es decir, un metrado unitario (SOUZA 2000).

Para estandarizar los valores de las entradas y salidas, se debe definir directrices básicas para su medición.

1. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE MANO DE OBRA

Para medir la cantidad de mano de obra invertida en un proyecto, se tomará la hora-hombre (hh) como unidad estándar de medida. Esta unidad cuantifica una hora de trabajo invertida por una persona para la ejecución de una actividad. Una partida cualquiera puede consumir miles de hh para su culminación, las cuales deben ser reportadas y medidas en la obra para llevar un control de su consumo, es decir, un control para verificar que la cantidad de mano de obra no exceda la presupuestada, y el cual pueda usarse como información para futuros presupuestos.

Con el objetivo de realizar este control, el proceso más usado en obra es la realización de tareas, estos son reportes, realizados por los capataces, que cuantifican la cantidad de horas consumidas por cada obrero en una actividad determinada. Luego, estos reportes son consolidados y las cantidades de horas de cada actividad son asignadas a la partida en que fueron consumidas. La distribución de las horas consumidas en cada partida puede resultar ambigua, por lo cual es necesario explicar la manera correcta de distribución para obtener datos confiables.

Para poder visualizar la importancia de esta distribución, se analizará el ejemplo mostrado por Ubiraci Souza (2000) en la Figura 3. Esta figura muestra 12 obreros (1 encargado, 4 operarios y 7 ayudantes) distribuidos en diferentes actividades relacionadas al proceso de asentado de muros de albañilería. Para poder analizar la distribución de las horas consideradas en la partida “Muro de ladrillo” se analizará cuatro casos considerando una jornada de 8.5 horas.

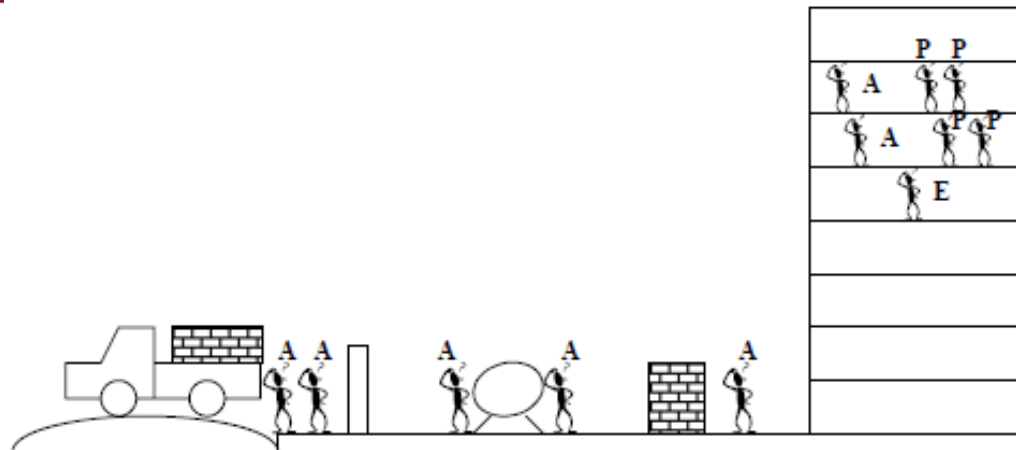


Figura 3. Ejemplo de cuantificación de Mano de obra (SOUZA 2000)

Caso 1: Solo se considera las cuadrillas involucradas directamente en el asentado de ladrillo

Esta primera aproximación considera las dos cuadrillas que realizan directamente el asentado de ladrillo, es decir, dos cuadrillas de 2 operarios y 1 ayudante. En total son 6 personas con una jornada de 8.5 horas, obteniendo un total de 51 hh consumidas en un día.

$$2 \times (2 \text{ albañil} + 1 \text{ ayudante}) \times 8.5 \text{ horas} = 51 \text{ hh}$$

$$6 \text{ obreros} \times 8.5 \text{ horas} = 51 \text{ hh}$$

La cantidad de mano de obra obtenida bajo estas condiciones puede ser llamada “directa” (SOUZA 2006). Este caso no es común en obra, pues no considera las actividades de preparación de mezcla y otras que se necesitan en la partida. No obstante, es útil para realizar estudios teóricos con fines académicos o de investigación.

Caso 2: Se considera dentro de la partida las actividades de asentado de ladrillo y preparación de mezcla.

Este caso es común en obras, donde la partida de asentado de ladrillo considera la preparación de la mezcla. Debido a esto, se deben considerar las 6 personas que asientan el muro y los 2 ayudantes que preparan la mezcla. La cantidad de mano de obra obtenida será 68 hh consumidas en un día.

$$(2 \times (2 \text{ albañil} + 1 \text{ ayudante}) + 2 \text{ ayudante}) \times 8.5 \text{ horas} = 68 \text{ hh}$$

$$8 \text{ obreros} \times 8.5 \text{ horas} = 68 \text{ hh}$$

Este ejemplo se puede aplicar a obra donde el acarreo y recepción del material está diferenciado en partidas como Acarreo Horizontal o Acarreo con Grúa o Elevador. En general, el caso muestra la partida donde los materiales están habilitados en campo.

Caso 3: Se consideran las actividades de asentado de ladrillo, preparación de mezcla y acarreo y recepción del material.

En este, se consideran las 6 personas que asientan el ladrillo, los 2 ayudantes que preparan la mezcla, los 2 ayudantes que reciben el material y 1 ayudante que transporta el material al sitio de trabajo. En total se consideran 11 personas consumiendo un total de 93.5 hh por día de trabajo.

$$(2 \times (2 \text{ albañil} + 1 \text{ ayud.}) + 2 \text{ ayud.} + 2 \text{ ayud.} + 1 \text{ ayud.}) \times 8.5 \text{ horas} = 93.5 \text{ hh}$$

$$11 \text{ obreros} \times 8.5 \text{ horas} = 93.5 \text{ hh}$$

Este caso puede considerarse cuando la partida de “Muro de albañilería” incluye la logística involucrada. No obstante, cabe mencionar que este ejemplo puede darse en obras pequeñas, pues en obras grandes la logística consumirá mayor cantidad de hh y podría ser mejor controlarla de manera separada.

Caso 4: Se consideran todas las actividades mostradas incluyendo supervisión.

En este caso se consideran las 12 personas involucradas en la actividad, las cuales consumen un total de 102 hh en un día de trabajo.

$$(2 \times (2 \text{ albañil} + 1 \text{ ayud.}) + 2 \text{ ayud.} + 2 \text{ ayud.} + 1 \text{ ayud.} + 1 \text{ sup.}) \times 8.5 \text{ horas} \\ = 102 \text{ hh}$$

$$12 \text{ obreros} \times 8.5 \text{ horas} = 102 \text{ hh}$$

Esta situación no es común en empresas constructoras, pues normalmente los capataces supervisan varias partidas a la vez. Esto crea que esta supervisión sea diferenciada de la partida o las horas se dividan proporcionalmente. Sin embargo, en empresas subcontratistas, esta situación podría reflejar la realidad, en donde se tiene un supervisor encargado de solo una partida.

Habiendo analizado estos 4 casos, en la Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos para fines comparativos. Además, se ha asumido que en cada jornada se ejecutan 56 m² de muro de ladrillo como avance físico de obra.

Asumiendo que el ejemplo más común es el Caso 2, en el cual se considera las actividades de asentado de ladrillo y preparación de mortero, se puede observar que puede llegar a haber hasta un 50 % de error en la medición del RUP si existe alguna equivocación u omisión al medir la cantidad de mano de obra. Si tomamos el error entre el Caso 1 y el Caso 2 (valor 25 % menor), considerando un metrado total de 12,500 m² de muro de ladrillo y un costo promedio de hh de S/. 16.50, la diferencia en el costo directo real de mano de obra y el medido con el error ascendería a S/. 62,611.61 nuevos soles.

Tabla 1. Análisis de cuantificación de Mano de obra

Caso	MO	RUP	% Var
Caso 1	51.0 hh	0.911 hh/m ²	-25%
Caso 2	68.0 hh	1.214 hh/m ²	0%
Caso 3	93.5 hh	1.670 hh/m ²	38%
Caso 4	102.0 hh	1.821 hh/m ²	50%

Los casos analizados muestran la importancia de la definición de las actividades consideradas en cada partida. Asimismo, los cálculos realizados se basan en una jornada de 8.5 horas asumiendo que la actividad realizada es única por un día. No obstante, la realidad puede diferir bastante de estos casos. Por esta razón, es importante revisar los tareas y su composición.

Tabla 2. Ejemplo de tareo con jornada normal

Capataz : CAP 1

Obrero	Cuadrilla	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Total
CAP 1		8.5										8.5
OP 1	Prod 1		8.5									8.5
OP 2	Prod 1		8.5									8.5
AY 1	Prod 1			7.5			1					8.5
OP 3	Prod 2		4.5						4			8.5
OP 4	Prod 2		4.5						4			8.5
AY 2	Prod 2			3.5			1			4		8.5
OF 1	Apoyo 1				1	3	1	3.5				8.5
AY 3	Apoyo 2				1	3	1	3.5				8.5

A1	Supervisión de actividades	A6	Orden y limpieza
A2	Asentado de ladrillo	A7	Apoyo a CAP 2
A3	Apoyo a asentado de ladrillo	A8	Solaqueo de ladrillo
A4	Preparación de mezcla	A9	Apoyo en solaqueo
A5	Acarreo de materiales	A10	

Los tareos, como se ha mencionado, son reportes de los capataces sobre la cantidad de horas consumidas en las actividades realizadas por cada obrero a su cargo. Los formatos de estos reportes no están estandarizados en el sector construcción debido a que cada empresa los usa según sus necesidades. En

los tareas se deben especificar las actividades, los obreros a cargo del capataz y la cantidad de horas laboradas por cada actividad. Además, es muy útil que en el tareo se indique también el metrado realizado de la partida durante la jornada, o al menos, una descripción gráfica que sirva de guía para poder cuantificar la cantidad más adelante. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo simple de tareo, en el cual se han remarcado las actividades consideradas en la partida de “Muro de albañilería”, según las consideraciones del Caso 2 expuesto previamente. Se puede observar que algunos obreros realizan más de una actividad al día, por ende las 68 hh contabilizadas en el Caso 2 se reducen a 39 hh (distribuidas en las actividades A1, A2 y A3).

Además de tomar en cuenta las actividades en cada partida y la distribución de las horas, es importante hacer notar que se debe revisar la cantidad total de horas en el tareo. En el ejemplo se ha considerado una jornada de 8.5 horas para todos los obreros, a pesar de esto, no siempre es cierto. Por normativa, un obrero debe trabajar 48 horas semanales. Siguiendo estos lineamientos, las obras, según su necesidad y permisos municipales, consideran trabajos durante 5 o 6 días, generando jornadas de 8, 8.5 o 9.6 horas diarias, dependiendo de los permisos concedidos por cada Municipalidad. También existe la posibilidad que en casos de plazos ajustados, algunas actividades sobrepasen el horario normal de trabajo generando consumo de horas extras. Esto también debe ser reflejado y considerado en los tareos.

Tabla 3. Ejemplo de tareo con trabajo por tarea y horas extra

Obrero	Cuadrilla	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Total
CAP 1		10.5									2	12.5
OP 1	Prod 1		8.5								2	10.5
OP 2	Prod 1		8.5								2	10.5
AY 1	Prod 1			7.5			1				2	10.5
OP 3	Prod 2		6.5						4			10.5
OP 4	Prod 2		6.5						4			10.5
AY 2	Prod 2			5.5			1			4		10.5
OF 1	Apoyo 1				1	3	1	3.5				8.5
AY 3	Apoyo 2				1	3	1	3.5				8.5

A1	Supervisión de actividades	A6	Orden y limpieza
A2	Asentado de ladrillo	A7	Apoyo a CAP 2
A3	Apoyo a asentado de ladrillo	A8	Solaqueo de ladrillo
A4	Preparación de mezcla	A9	Apoyo en solaqueo
A5	Acarreo de materiales	A10	Bonificación por tarea

Por último, se debe considerar el trabajo por tarea. Este tipo de trabajo consiste en pagar una cantidad fija de horas, incluyendo bonificaciones, para que se

realice una cantidad meta de avance. El trabajo por tarea implica que las cuadrillas tienen una meta diaria a cumplir y, una vez cumplida, se retiran de la obra. Aunque la cuadrilla se retire de obra antes del horario normal de salida, se considera su paga del día completo más la bonificación pactada. La tarea es calculada con el fin de aumentar la productividad normal de la partida. En la Tabla 3, se muestra el ejemplo anterior considerando que la cuadrilla Prod 1 trabaja por tarea y la cuadrilla Prod 2 ha consumido dos horas extras para aumentar el avance diario.

Para ilustrar las condiciones ideales y el análisis de los tareos, se generó la Tabla 4, donde se muestra la comparación entre el Caso 2 y los tareos analizados. El Tareo 1 corresponde a la Tabla 2, el Tareo 2-a corresponde a la cuadrilla Prod 1 de la Tabla 3 y el Tareo 2-b corresponde a la cuadrilla Prod 2 de la misma tabla. Cabe resaltar que a los casos Tareo 2-a y Tareo 2-b se le ha adicionado por igual la cantidad de horas consumidas en la preparación de la mezcla. Es claro que el trabajo por tarea genera una reducción del RUP, es decir, mejora la productividad. Por otro lado, las horas extras disminuyen ligeramente la productividad.

Tabla 4. Análisis de cuantificación de Mano de obra con tareos

Caso	MO	Metrado	RUP	% Var
Caso 2	68.0 hh	56.00 m ²	1.214 hh/m ²	0%
Tareo 1	39.0 hh	32.00 m ²	1.219 hh/m ²	0%
Tareo 2 - a	31.5 hh	35.00 m ²	0.900 hh/m ²	-26%
Tareo 2 - b	19.5 hh	15.50 m ²	1.258 hh/m ²	4%

2. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE SALIDAS

La medición de la cantidad de salida hace referencia a la cuantificación de la cantidad de producto realizado con la mano de obra consumida, en otras palabras, el avance físico de la partida. Para medir este avance, se recurre a los metrados, que son el cálculo por partida de la cantidad de obra a ejecutar (o ejecutada)⁸. Es importante que la cuantificación del avance físico sea acorde a lo considerado para el estudio de productividad (SOUZA 2000), por lo cual se expondrá la forma de cuantificar este avance en las partidas que serán estudiadas, es decir, las partidas de estructura: acero, encofrado y concreto.

⁸ Acorde a la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas

CUANTIFICACIÓN DE METRADO DE ACERO

Para poder cuantificar el avance de acero, se utiliza el kilogramo (kg) como unidad de medida. No obstante, la cantidad que se puede calcular directamente de los planos es la longitud y cantidad de las barras y el diámetro de estas. Para poder realizar la conversión de la longitud de las barras de acero a su peso, se deberá multiplicar esta longitud por el peso lineal de la barra, el cual dependerá del diámetro de la misma. El dato del peso lineal es dado por los proveedores de acero y se muestra en la Tabla 5.

$$\text{Peso (kg)} = L \text{ (m)} \cdot \gamma_l \text{ (kg/m)}$$

Tabla 5. Peso lineal del acero corrugado para construcción

Diámetro	Peso lineal
6 mm	0.222 kg/ml
8 mm	0.400 kg/ml
3/8"	0.560 kg/ml
12 mm	0.890 kg/ml
1/2"	0.994 kg/ml
5/8"	1.552 kg/ml
3/4"	2.235 kg/ml
1"	3.973 kg/ml
1 3/8"	7.907 kg/ml

En las partidas de acero, las actividades básicas son la habilitación de acero y la colocación de acero. La habilitación de acero consiste en el doblado de estribos y ganchos, corte de las barras, etc. Este trabajo consiste en un trabajo de apoyo, el cual no genera valor, es decir, no se cuantifica su avance. No obstante, el consumo de mano de obra debe ser incluido en la partida. La colocación de acero es, como su nombre lo indica, el posicionamiento final del acero según los planos. Este trabajo genera valor, es decir, su avance se cuantifica, se registra y es reconocida por el cliente al efectuar los pagos. Por esta razón, el avance físico de la partida de acero será el avance de colocación de acero, más no el habilitado.

La cuantificación de acero se deberá realizar con los planos de detalle de estructuras. Sin embargo, este proceso resulta muy tedioso y consume gran tiempo realizarlo al detalle. Por esta razón, algunos proveedores de acero han introducido el servicios de acero habilitado, en el cual se elimina la necesidad de habilitación de acero en obra y, además, se provee reportes indicando la cantidad de acero (en longitud y peso) despachado. Estos reportes simplifican

la labor del metrado de acero, aunque deben ser revisados para asegurarse que no tengan errores.

Para el metrado de acero para el estudio de factores, se deberá tener las siguientes consideraciones:

- **Acero en columnas:**

Se debe metrar la cantidad de acero longitudinal (vertical) y transversal (estribos).

Para el metrado del acero longitudinal, se debe considerar tres aspectos. Primero, se debe considerar la altura de la columna. Esta altura podrá ser la altura de entrepiso, si es que se desea obtener el metrado de acero por piso, o la altura total de la columna, si es que se desea el metrado total. Para el estudio de factores, lo ideal será calcular el acero por piso y usar la altura de entrepiso. Segundo, se deberá contar la cantidad y el diámetro de las barras. Las columnas pueden tener cuatro a más barras de acero longitudinal, pudiendo ser estas del mismo tipo o de diferentes diámetros. Además, se debe evaluar esta cantidad en cada piso, pues es posible que en pisos superiores la columna disminuya sus dimensiones y su acero longitudinal. Por último, se debe considerar el traslape de acero longitudinal. Las barras de acero tienen una longitud estándar de 9 metros, lo cual genera que en la mayoría de edificios altos una sola barra no alcance para toda la altura de la columna. Igualmente, el uso de sectorizaciones genera que lo normal sea traslapar el acero cada dos pisos y el 50 % de barras por piso. En general, se debe revisar las especificaciones y el detalle del acero para poder considerar el traslape según su condición real.

Para el metrado del acero transversal, se considera solo los estribos, pues no existe otro elemento transversal en columnas. Primero, se medirá la longitud total del estribo. Por consideraciones sísmicas, todos los estribos usados en el Perú son cerrados, es decir, es una barra continua doblada según las dimensiones y el detalle de la columna. Por ende, la longitud del estribo debe considerarse midiendo todos los lados y los ganchos de anclaje. Segundo, se debe considerar el diámetro de la barra. Por último, se debe cuantificar la cantidad de estribos según las especificaciones. En columnas, es común que la distribución sea más densa en los extremos

que en el centro. También se deben considerar los estribos embebidos en la losa.

Para ilustrar el metrado de acero en columnas, en la Figura 4, se muestra un ejemplo de detalle de columna. En este caso, el acero longitudinal consiste en 4 barras de 3/4" y 2 barras de 5/8". La altura de entrepiso es 2.6 m y la longitud de traslape, la cual se asume igual para todas las barras en este ejemplo, es 0.6 m. Con estos datos, se metrarán todas las barras con longitud 2.6 m. Además, se deberá añadir a la mitad de las barras 0.6 m por el traslape. De esta forma, después de multiplicar las longitudes totales por el peso lineal, se obtendrá 34.93 kg. de acero longitudinal. Para el acero transversal, se considera la longitud de los estribos con sus ganchos, la cual es 1.23 m. Además, se debe considerar la distribución indicada, y además, 1 estribo embebido en la losa. Esto genera un total de 19 estribos, obteniéndose un total de 13.09 kg. de acero transversal. La Tabla 6 muestra los cálculos y resultados.

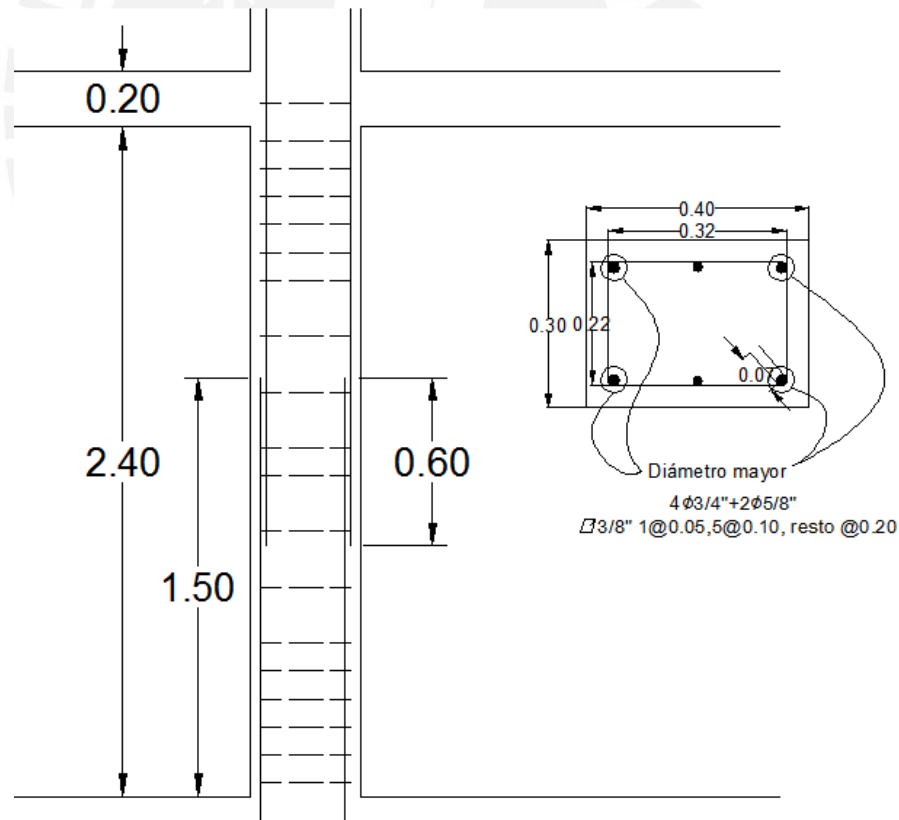


Figura 4. Ejemplo de detalle de acero en columna

Tabla 6. Ejemplo de metrado de acero en columna

Acero	Diámetro	Cantidad	Longitud	Peso lineal	Peso total
Longitudinal	3/4"	2	3.20 m	2.235 kg/ml	14.30 kg
Longitudinal	3/4"	2	2.60 m	2.235 kg/ml	11.62 kg
Longitudinal	5/8"	1	3.20 m	1.552 kg/ml	4.97 kg
Longitudinal	5/8"	1	2.60 m	1.552 kg/ml	4.04 kg
					34.93 kg
Transversal	3/8"	19	1.23 m	0.560 kg/ml	13.09 kg
					13.09 kg
				Total/piso	48.01 kg

- **Acero en placas:**

En el caso de las placas, el proceso es similar que el de las columnas. El acero longitudinal seguirá siendo las barras verticales, las cuales se ubican tanto en los núcleos (o cabezas de placa) como en la malla. Se debe considerar la longitud de traslape en ambos casos, la cual dependerá del diámetro de las barras. El acero transversal estará conformado por estribos y zunchos (o malla horizontal). En este caso, la distribución de los estribos es uniforme, por lo cual bastará con dividir la altura de entrepiso entre el espaciamiento del detalle.

- **Acero en vigas:**

En este caso, se considerarán solo las vigas peraltadas, debido a que solo las vigas peraltadas son las que suelen ejecutarse diferenciadas de las losas. Para el metrado de acero, se cuantificará la cantidad de acero longitudinal (barras horizontales) y transversal (estribos).

En el metrado de acero longitudinal de vigas, se deberá considerar algunos aspectos adicionales que en el caso de columnas y placas. En primer lugar, las barras longitudinales en vigas, normalmente, no son continuas en toda su longitud. Por esta razón, es necesario considerar la longitud de cada barra o bastón. Además, algunas barras poseen ganchos en los extremos de las vigas, los cuales también deben ser considerados. En segundo lugar, se debe considerar la longitud de empalme de las barras, la cual puede variar dependiendo tanto del diámetro, como de la ubicación de la barra (acero positivo o negativo).

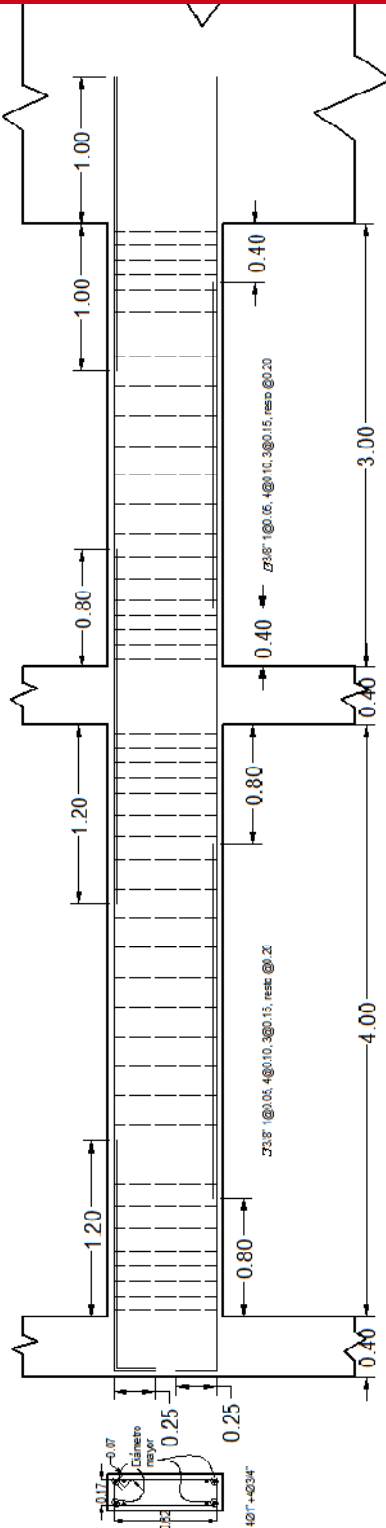


Figura 5. Ejemplo de detalle de acero en viga

En el caso del acero transversal, se deberá tomar las mismas consideraciones que en el caso de las columnas.

En la Figura 5, se muestra un ejemplo de detalle de acero de viga. En este caso, se tiene una viga peraltada de 0.70 m. de altura y 0.25 m. de ancho. En la Tabla 7, se muestra los cálculos y pesos metrados. Cabe resaltar que, en este caso, las longitudes normales de las vigas no sobrepasan los 9 m.; por lo cual, no es necesario el traslape.

Tabla 7. Ejemplo de cuantificación de acero en viga

Acero	Diámetro	Cantidad	Longitud	Peso lineal	Peso total
Longitudinal (Cont)	1"	4	9.00 m	3.973 kg/ml	143.03 kg
Longitudinal (Cont)	3/4"	2	1.80 m	2.235 kg/ml	8.05 kg
Longitudinal (Pos)	3/4"	2	2.40 m	2.235 kg/ml	10.73 kg
Longitudinal (Pos)	3/4"	2	2.00 m	2.235 kg/ml	8.94 kg
Longitudinal (Neg)	3/4"	2	2.40 m	2.235 kg/ml	10.73 kg
Longitudinal (Neg)	3/4"	2	2.20 m	2.235 kg/ml	9.83 kg
					191.30 kg
Transversal	3/8"	47	1.73 m	0.560 kg/ml	45.53 kg
					45.53 kg
				Total/piso	236.84 kg

- **Acero en losas:**

En el caso del acero en losas, se considerará solo la cantidad global. El proceso común es que las losas sean armadas conjuntamente con las vigas chatas que existan en ella; por lo cual, las vigas chatas serán consideradas dentro de las losas. Además, como el acero es básicamente longitudinal, solo se tomará el acero global. Para cuantificar el acero, se deberá considerar la longitud y distribución de las barras y mallas, según las indicaciones del plano.

CUANTIFICACION DE METRADO DE ENCOFRADO

En el caso del metrado de encofrado, se debe contabilizar el área encofrada. Es decir, se usará el metro cuadrado (m²) como unidad para medir el área del elemento que entra en contacto con el encofrado. La forma de calcular el metrado de encofrado será presentada según cada elemento, guiándose de las recomendaciones presentadas por Ubiraci Souza (2000), las cuales están orientadas al metrado para el estudio de factores.

- **Encofrado de elementos verticales**

Para realizar el metrado del encofrado de columnas o placas, se deberá medir el perímetro del elemento, y luego, multiplicarlo por la altura del

encofrado. Cabe destacar que se debe descontar el área de la intersección del elemento vertical con los elementos horizontales (losas y vigas). O sea, el encofrado de elementos verticales se considerará en las áreas libres de las caras laterales del elemento. Este punto también se aplica en el caso que el vaciado del elemento se realice junto a una estructura adyacente que actúe como encofrado.

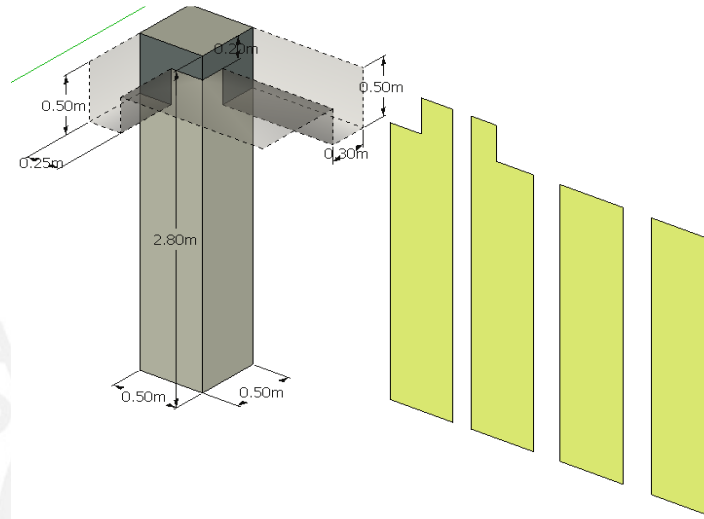


Figura 6. Encofrado de columna (Adaptado de SOUZA 2000)

En la Figura 6, se muestra un ejemplo de un elemento vertical, en este caso, columna, y su área de encofrado (desarrollada y resaltada de amarillo). En este caso, el área lateral es 5.40 m^2 . Sin embargo, se debe descontar 0.57 m^2 correspondientes a las intersecciones con los elementos horizontales, quedando un área final de encofrado de 4.83 m^2 .

$$A_{lat} = p \cdot h = 4 \cdot 0.5 \cdot 2.8 = 5.40 \text{ m}^2$$

$$A_{encuentro} = A_{c/losa} + A_{c/vigas}$$

$$A_{encuentro} = 4 \cdot 0.5 \cdot 0.2 + (0.25 \cdot 0.3 + 0.3 \cdot 0.3) = 0.57 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_{lat} - A_{encuentro} = 5.40 \text{ m}^2 - 0.57 \text{ m}^2 = 4.83 \text{ m}^2$$

- **Encofrado de vigas peraltadas:**

Para realizar el metrado del encofrado de vigas peraltadas, se deberá las caras laterales y el fondo de la viga. De igual forma que en las columnas, si existe alguna estructura adyacente a la viga, se debe descontar el área de encofrado que se encuentre adyacente. En las caras laterales internas, las

cuales reciben a las losas, solo se medirá el área que sobresale de la losa (SOUZA 2000).

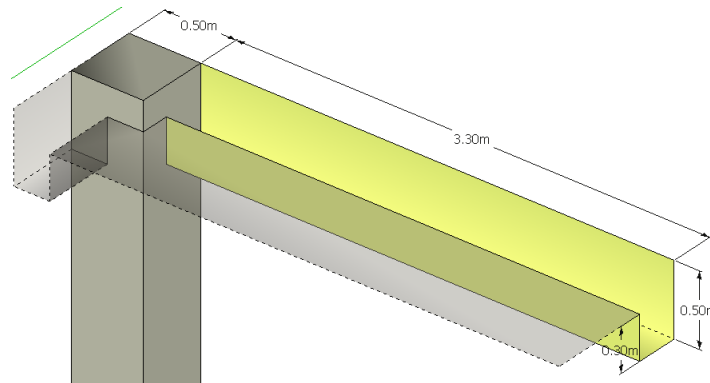


Figura 7. Encofrado de viga peraltada

En la Figura 7, se muestra una viga de 30x50 cm., cuyas caras a encofrar están resaltadas. Suponiendo que la viga posee una luz libre de 3.30 m. antes de empotrar en una placa perpendicular. Por el otro lado, la viga es una viga de borde que termina en una columna. Para calcular el metrado del encofrado, se deberá tomar el área lateral de cada cara y la del fondo de la viga. En total, se obtuvo un metrado de 3.88 m².

$$A_{lat\ int} = h_{int} \cdot l = 0.3 \cdot 3.3 = 0.99m^2$$

$$A_{lat\ ext} = h_{ext} \cdot l_{ext} = 0.5 \cdot 3.8 = 1.99m^2$$

$$A_{fondo} = b \cdot l = 0.3 \cdot 3.3 = 0.99m^2$$

$$A_{total} = A_{lat\ int} + A_{lat\ ext} + A_{fondo} = 0.99 + 1.99 + 0.99 = 3.88m^2$$

- **Encofrado de losas:**

En el caso de las losas, se deberá contabilizar el área del fondo de losa, lo que significa, el área de la losa entre las vigas descontando interferencias con elementos verticales (SOUZA 2000). La realidad, es que el encofrado de losa no solo considera el encofrado del fondo de losa, lo cuantificado, sino también el encofrado de los bordes. No obstante, este encofrado no es registrado normalmente en el metrado de avance, por lo cual, al igual

que los separadores de malla en el acero, no se toma para la medición de la productividad.

En la Figura 8, se muestra resaltado el encofrado a cuantificar en una losa. La dimensión total de la losa es de 3.96x3.27 m. A esta área, se le debe descontar el área de las columnas y de las vigas.

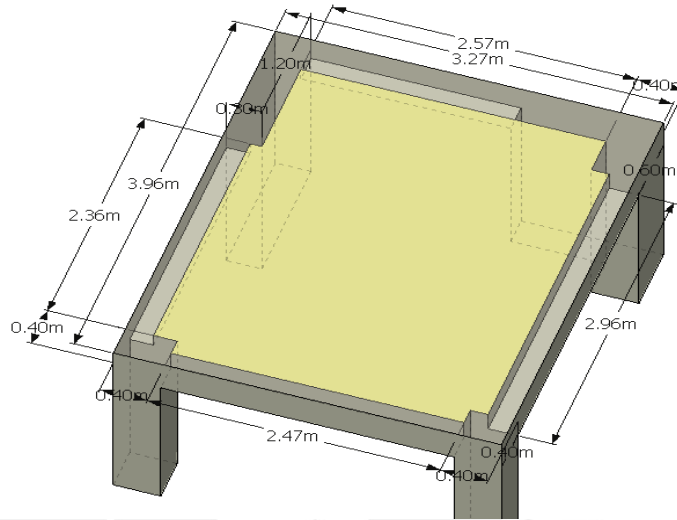


Figura 8. Encofrado de losa

$$A_{losa} = a \cdot b = 3.96 \cdot 3.27 = 12.95m^2$$

$$A_{col\ total} = 1.2 \cdot 0.3 + 0.4 \cdot 0.4 + 0.4 \cdot 0.4 + 0.6 \cdot 0.4 = 0.92m^2$$

$$A_{vig\ total} = 0.2 \cdot 2.36 + 0.25 \cdot 2.47 + 0.25 \cdot 2.96 + 0.25 \cdot 2.57 = 2.47m^2$$

$$A_{total} = A_{losa} - A_{col\ total} - A_{vig\ total} = 12.95 - 0.92 - 2.47 = 9.56m^2$$

- **Encofrado de escaleras:**

En el caso de escaleras, el área del encofrado real es el fondo de escalera, los bordes libres y los contrapasos. Sin embargo, al igual que las losas, solo se cuantificará el área correspondiente al fondo de la escalera. Es decir, las áreas inclinadas y el fondo de los descansos. (SOUZA 2000). En la Figura 9, se expone un ejemplo de encofrado de escalera, donde el área a considerar será la longitud total del fondo de la escalera multiplicada por su ancho. En este caso, se obtuvo un total de 3.86 m2.

$$A_{escalera} = (l_1 + l_2 + l_3) \cdot b = (1.25 + 0.75 + 1.22) \cdot 1.2 = 3.86m^2$$

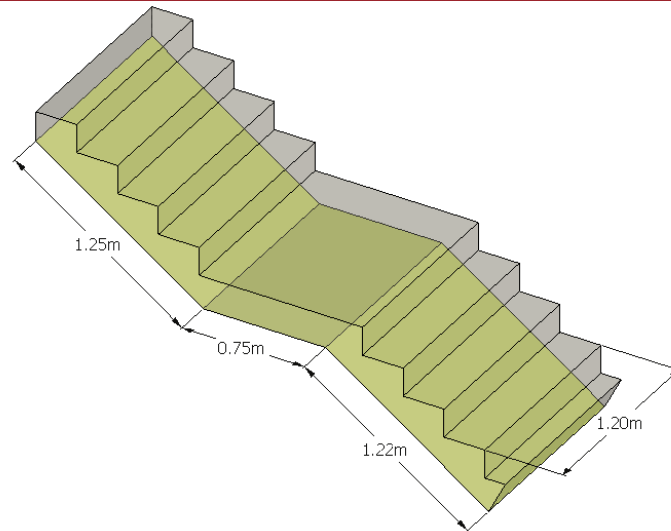


Figura 9. Encofrado de escalera

CUANTIFICACIÓN DE METRADO DE CONCRETO

La cuantificación del concreto se realiza en metro cúbicos (m^3). El metrado de los elementos se obtiene por geometría simple; no obstante, se requiere tener en cuenta ciertas consideraciones para realizar un cálculo de productividad mejor.

En la industria de la construcción actual, si se observa un proyecto grande, es común realizar vaciados de elementos verticales y horizontales sin diferenciación alguna. Para poder mejorar los resultados del estudio, el tesista recomienda separar la cuantificación de metrado para los elementos verticales. Sin embargo, en el caso de elementos horizontales, no se considerará diferenciación, pues normalmente se vierte el concreto de manera monolítica en toda la estructura horizontal, sin discriminar vigas o losas. En la Figura 10, se puede observar esta diferenciación: los elementos verticales están coloreados de azul, y el volumen considerado para elementos horizontales es de color naranja traslúcido.

Para el caso de elementos verticales, se tomará el área de la sección transversal multiplicada por la altura. Según la Norma de Metrados, la altura considerada será la altura de entrepiso para pisos típicos. Aunque, para fines del estudio, se considerará la altura de vaciado como el parámetro altura en el metrado. Esto debido a que las columnas, en el proceso constructivo, son vaciadas desde el nivel de losa inferior hasta el nivel de fondo de viga o de fondo de techo del piso siguiente.

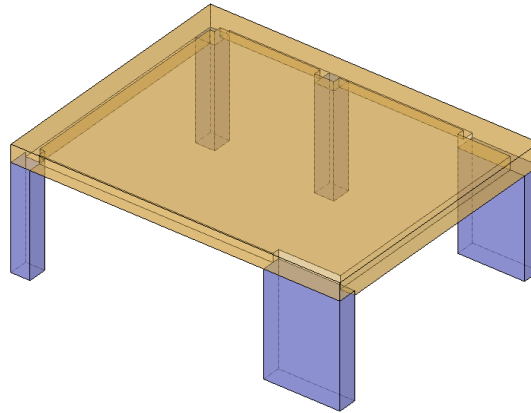


Figura 10. Concreto vertical y horizontal

Para el caso de elementos horizontales, se cuantificará el volumen de concreto que ingresa tanto en vigas como en losas y se tomará el cálculo de la productividad de concreto con nomenclatura de “concreto en elementos horizontales”. Se debe aclarar que esta consideración se realiza asumiendo que el proyecto en estudio es un proyecto grande el cual normalmente no discrimina entre vigas y losas para el vaciado de concreto. En proyectos chicos, donde el vaciado de vigas se realiza antes que el vaciado de losas, se deberá tomar otras consideraciones. Sin embargo, ya que normalmente este tipo de proyectos no justifican un estudio detallado de productividad, y muchas veces son informales, se considerará simplemente a los elementos horizontales en conjunto.

En el caso de escaleras, se cuantificará la cantidad de concreto según el metrado teórico.

REGISTRO DE LA PRODUCTIVIDAD

Como se mencionó anteriormente, para el estudio de productividad se tomará como indicador el RUP (Ratio Unitario de Productividad). Sin embargo, falta definir el periodo de tiempo al cual se refiere el RUP. Como lo menciona Souza (2006), el RUP se puede considerar:

Como valor del día de trabajo, dividiendo el total de horas faseadas⁹ a una partida entre el metrado de avance diario. La medición del RUP debe realizarse cada día útil de trabajo, generando valores denominados $RUP_{\text{día}}$.

⁹ Se refiere al proceso de asignar las horas consumidas a una partida

Como valor acumulado, tomando la sumatoria de mano de obra (hh) consumida y la sumatoria de los metrados de avance desde el inicio del estudio (o la partida), hasta el día que se evalúa el RUP. Este valor será denominado RUP_{acum} .

Como valor de un periodo definido (por ejemplo, una semana). Este valor de RUP se genera al dividir la cantidad de mano de obra entre el metrado de avance considerado dentro de un periodo determinado. Lo usual en varias obras es realizar la medición durante un periodo equivalente a una semana, para lo cual se podrá designar como RUP_{sem} .

Para realizar el estudio de productividad, se realizará el registro del RUP_{dia} . El periodo de tiempo para evaluar el RUP es considerado diario para obtener un registro de la evolución del RUP, pudiendo evaluar cuando termina la influencia de la curva de aprendizaje en el RUP. Para lograr este objetivo, se usará Curvas de productividad. Para tener las directrices claras sobre la necesidad de la construcción de estas curvas, se expondrán a continuación los conceptos envueltos.

1. CURVA DE APRENDIZAJE

En la actualidad, la construcción de las etapas de estructura en edificaciones, suele hacerse mediante un proceso de sectorización y trenes de trabajo, lo cual promueve la generación de curvas de aprendizaje. El efecto del aprendizaje puede resumirse en que cuanto más se repite cierta operación más rápidamente y con menores costos (AGUIRRE 1985). Enfocando este concepto a la construcción, la sectorización del trabajo en cantidades similares que se deben realizar diariamente, genera un trabajo repetitivo que promueve el aprendizaje del personal obrero. Este aprendizaje, genera que la cantidad de mano de obra requerida disminuya y se pueda lograr una mejor productividad.

Una curva de aprendizaje es una gráfica de habilidad o capacidad versus práctica (THOMAS 2009). En otras palabras, una curva que refleja la capacidad, o también puede graficar la productividad de la mano de obra, contra el número de repeticiones de una misma operación. La curva de aprendizaje se puede expresar como función del tiempo de producción de la primera unidad (a), una tasa de mejoramiento (b) y el número de unidades fabricadas (x). La siguiente ecuación muestra la formulación propuesta por el Dr. Aguirre Sádaba (1985).

$$\bar{y} = a \cdot x^{-b}$$

El Gráfico 1 muestra un modelo de curva de aprendizaje. Se puede observar que al principio se consume una mayor cantidad de mano de obra, la cual va disminuyendo conforme se repite la misma operación varias veces. La tendencia mostrada en el modelo es también la obtenida normalmente en Curvas de Productividad, por lo cual para obtener un valor de RUP confiable, es necesario tomar un periodo de tiempo tal que este efecto desaparezca.

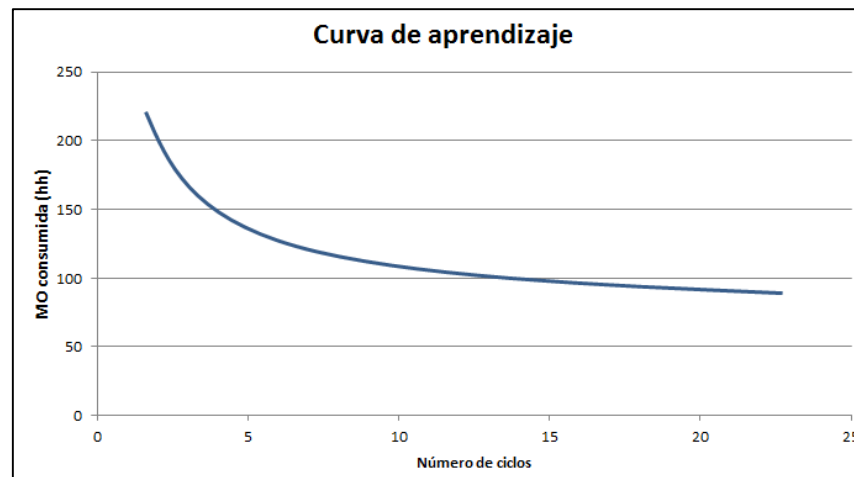


Gráfico 1. Ejemplo de curva de aprendizaje

2. CURVAS DE PRODUCTIVIDAD

Una Curva de Productividad es el registro gráfico de los datos de RUP obtenidos durante el periodo de estudio. En el caso del estudio a realizar, los datos serán del $RUP_{\text{día}}$. No obstante, se debe acotar que los valores de $RUP_{\text{día}}$ son muy variables (SOUZA 2000). Esta variabilidad puede deberse a variaciones del metrado, variaciones de la cantidad de mano de obra u otros factores externos. Primero, el metrado varía diariamente. El planteamiento del trabajo en sectores genera metrados similares, mas no iguales. Esto genera que exista una variación del RUP a pesar de que se use una cuadrilla fija. Segundo, la cantidad de mano de obra también puede variar. A pesar que las cuadrillas en las partidas de estructuras están definidas, puede existir personal “volante”. Este tipo de personal forma parte de la partida cuando se necesita un “refuerzo”. Además, puede ocurrir el caso de personal inhabilitado por alguna enfermedad o accidente. Todo esto modifica la cantidad de horas-hombre faseadas diariamente. Por último, también puede haber factores externos que afecten la productividad. Un ejemplo claro, es el retraso en la llegada de concreto premezclado a obra, el cual puede generar la suspensión de la actividad generando un consumo de horas-hombre sin metrado de avance.

Otro caso se puede deber a un clima desfavorable para la producción en obras, como por ejemplo un día seco y soleado, el cual afecte el rendimiento del trabajador.

Tabla 8. Ejemplo de registro de productividad de encofrado de losa

Día	QS	HH	RUP _{día}	RUP _{acum}
1	125.00 m ²	187.0 hh	1.496 hh/m ²	1.496 hh/m ²
2	136.00 m ²	187.0 hh	1.375 hh/m ²	1.433 hh/m ²
3	117.00 m ²	187.0 hh	1.598 hh/m ²	1.484 hh/m ²
4	136.00 m ²	170.0 hh	1.250 hh/m ²	1.422 hh/m ²
5	142.00 m ²	170.0 hh	1.197 hh/m ²	1.373 hh/m ²
6	125.00 m ²	170.0 hh	1.360 hh/m ²	1.371 hh/m ²
7	136.00 m ²	153.0 hh	1.125 hh/m ²	1.335 hh/m ²
8	117.00 m ²	127.5 hh	1.090 hh/m ²	1.307 hh/m ²
9	136.00 m ²	153.0 hh	1.125 hh/m ²	1.286 hh/m ²
10	142.00 m ²	153.0 hh	1.077 hh/m ²	1.263 hh/m ²
11	125.00 m ²	144.5 hh	1.156 hh/m ²	1.254 hh/m ²
12	136.00 m ²	144.5 hh	1.063 hh/m ²	1.237 hh/m ²
13	117.00 m ²	153.0 hh	1.308 hh/m ²	1.242 hh/m ²
14	136.00 m ²	144.5 hh	1.063 hh/m ²	1.229 hh/m ²
15	142.00 m ²	136.0 hh	0.958 hh/m ²	1.209 hh/m ²

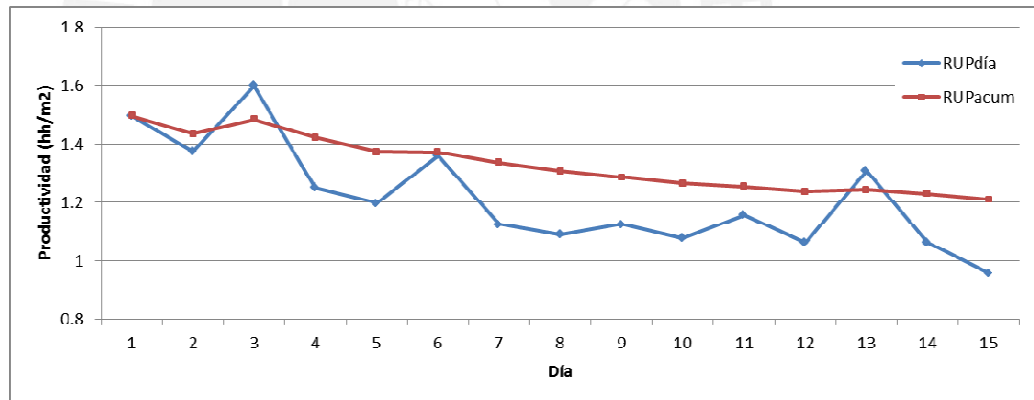


Gráfico 2. Ejemplo de Curva de productividad de encofrado de losa

Considerando esta variabilidad del RUP_{día}, es conveniente introducir a la Curva de Productividad graficada, además, los valores del RUP_{acum}. El valor acumulado del RUP puede resumir de manera más adecuada la evolución del RUP de la partida, y también genera la inclusión de las “horas muertas” por suspensión de la partida.

En la Tabla 8, se muestra un ejemplo de toma de datos de RUP durante un periodo de 15 días de una partida de encofrado de losa. En la tabla se puede observar que se ha dividido el trabajo en cinco sectores de metrados similares.

Además, se puede notar una disminución de la mano de obra consumida debido a la curva de aprendizaje. La Curva de productividad obtenida se muestra en el Gráfico 2, pudiéndose observar la tendencia del $RUP_{\text{día}}$ a disminuir conforme se va repitiendo el trabajo varias veces, al igual que el RUP_{acum} .

3. LÍNEA BASE DE PRODUCTIVIDAD

Como se mencionó en la Introducción, la mayor parte de fracasos en la construcción se debe a una mala estimación de costos, los cuales muchas veces son tomados de publicaciones o revistas que no toman las consideraciones debidas respecto a la construcción (GARCÍA 2011). También se mencionó la relación que tiene la productividad de la mano de obra para el cálculo de los costos de un presupuesto, y su influencia en el costo total. Por lo tanto, se puede afirmar que los errores de los presupuestos de varias empresas constructoras, entre otras razones, se debe a que toman datos externos de productividades de publicaciones, las cuales no necesariamente toman las mismas consideraciones que posee el proyecto presupuestado. Una solución bastante simple es enfocar el estudio de productividad para representar la productividad de mano de obra de una o más obras como dato para futuras estimaciones. Es decir, el objetivo final del estudio de productividad deberá ser la previsión de la productividad para obras futuras (SOUZA 2006).

La Línea Base de productividad (*Baseline*) es un valor que representa la productividad de una obra, y es determinada a partir del registro de productividad de una obra. Estas líneas describen la productividad alcanzada en condiciones “normales” (GULEZIAN AND SAMELIAN 2003). Existen varias formas de definir esta Línea Base, las cuales pueden variar dependiendo del autor que las propone:

- La forma más simple de definir Líneas Base de Productividad, y la más usada en la industria de la construcción, es usar el RUP acumulado (SOUZA 2006). Como se mencionó, el RUP acumulado tomado después de un determinado tiempo de estudio, elimina la influencia de la variabilidad de los datos del RUP y la influencia de la curva de aprendizaje. Este valor (RUP_{acum}) dará una mejor aproximación de la productividad que se espera para un futuro proyecto.

En el Gráfico 3 se muestra un ejemplo de Curva de productividad de la partida encofrado de losa. Los valores de RUP_{dia} fluctúan entre un valor mínimo de 0.98 hh/m² hasta un máximo de 1.739 hh/m², es decir, el RUP_{dia} varía 0.759 hh/m² entre los valores extremos. No obstante, para eliminar esta variación, el RUP_{acum} es 1.276 hh/m². Este valor será el usado para la Línea Base

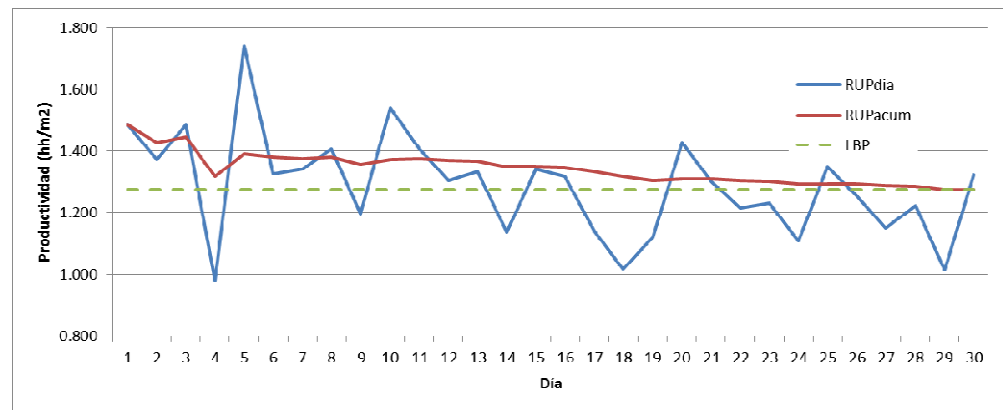


Gráfico 3. Línea base de productividad con RUP acumulado

- El valor del RUP diario puede ser muy variable. En el ejemplo anterior, se muestra una curva con una variabilidad “normal”; sin embargo, pueden existir algunas anomalías que generan valores extremos en una Curva de productividad. Estos valores, pueden llegar a alterar el valor del RUP_{acum} generando que se eleve. En el Gráfico 4, se muestra la curva anterior con valores de 6 días cambiados (días 11, 12, 18, 23, 24 y 25). Estos días representan anomalías provocadas por el clima, falta de material, etc. Se puede observar que estas anomalías generan valores picos de productividad que modifican el RUP_{acum} a 1.444 hh/m². Para eliminar estas anomalías y generar una línea base representativa en condiciones normales, se puede establecer un rango admisible de valores, determinado por límite superior y un límite inferior de tres veces la desviación estándar sumado y restado al valor promedio (GULEZIAN AND SAMELIAN 2003). Los valores que estén fuera de este rango serán desestimados y el proceso se volverá a repetir hasta que todos los valores tomados en cuenta para la generación de la desviación estándar, estén dentro del rango. Por último, el promedio de los valores que quedan dentro del rango es la Línea Base. El Gráfico 4, se muestra los límites superior e inferior obtenidos a la tercera iteración. Los valores que salen fuera del

rango corresponden a los días 11 y 23. La Línea Base de Productividad tiene el valor de 1.361 hh/m².

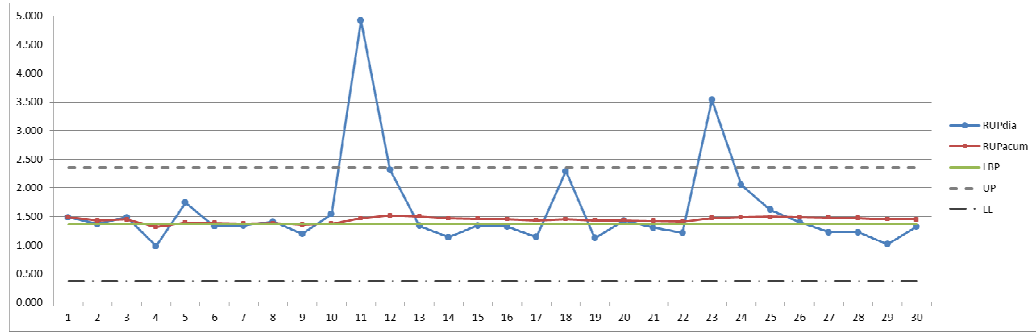


Gráfico 4. Línea base de productividad con método de Gulezian y Samelian (2003)

- Otro método para definir la Línea Base es tomar el promedio de los mejores valores obtenidos en el estudio. Una opción es considerar el 10 % de días totales del estudio (valor redondeado al número impar más cercano y no menor que 5) con mejor productividad diaria (THOMAS 1999). Otra opción es usar el Horizonte de Productividad, el cual se obtiene como el promedio de los tres valores más altos de rendimiento diario, es decir, mejor productividad diaria (ABAD 2004). El Gráfico 5 muestra el cálculo de la Línea Base usando estas dos opciones. Se obtuvieron Líneas Bases de 1.048 hh/m² y 1.003 hh/m², respectivamente.

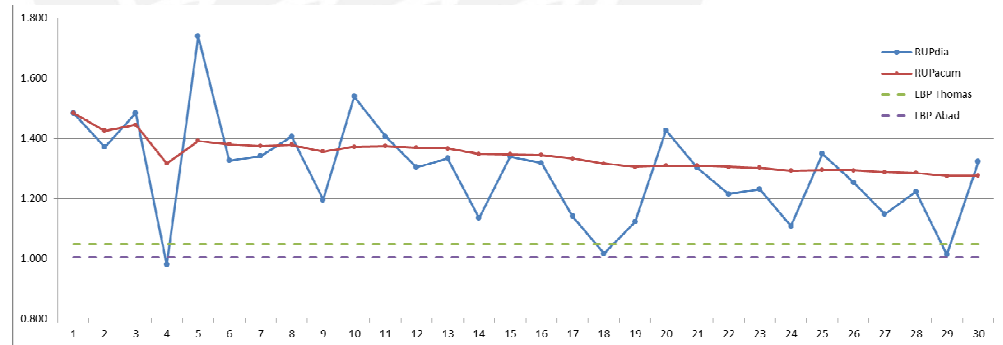


Gráfico 5. Línea base de productividad según métodos de THOMAS (1999) y ABAD (2004)

Como se ha mostrado, existen varias formas de estimar Líneas Base de Productividad, siendo diferentes los valores obtenidos. El uso de cada método debe ser determinado por el propósito que tiene la estimación. Por ejemplo, el uso del RUP_{acum} es una buena opción para resumir la productividad de un proyecto eliminando la variabilidad inherente de la productividad diaria. Si existen grandes anomalías que generan que este valor no sea confiable,

se puede aplicar el método propuesto por Gulezian y Samelian, el cual puede ser usado para reclamos por afectación de la productividad por parte del cliente o factores externos (por ejemplo, para ampliaciones de plazo). Los métodos de Thomas y Abad son claramente más optimistas y muy poco útiles para estimaciones, pues se trabaja con valores extremos que pueden llevar a una sobreestimación de la productividad total del proyecto.

Como se mencionó en un inicio, el estudio de la productividad debe tener como objetivo la previsión de la productividad para futuras obras, y también debe ser usado como herramienta para la mejora de la misma. En este sentido, para el estudio realizado en este proyecto, se considerará la propuesta de Ubiraci Souza, usando el RUP potencial. El RUP potencial se puede definir como un valor de RUP diario representativo, el cual expresa un buen desempeño y es factible en condiciones normales. Se calcula como el promedio de los valores de RUP diarios que sean menores que el RUP acumulado (SOUZA 2006).

El uso del RUP potencial es ventajoso porque no solo considera la productividad acumulada, sino que fija un horizonte de mejora tomando los valores más productivos (menor RUP). Además, elimina los valores de productividad anormales (RUPs muy altos) y a la vez es más conservador que los valores propuestos por Thomas y Arcudia.

El Gráfico 6 muestra el ejemplo usado para el método de Gulezian y Samelian, el cual posee 5 días con productividad alterada. Como se mencionó, el RUP acumulado tiene un valor de 1.444 hh/m², influenciado por los picos producidos por las anomalías. El RUP_{acum} sin estos picos era 1.276 hh/m². El método del RUP potencial genera un valor de Línea Base de 1.260 hh/m², el cual muestra que elimina la influencia de los valores picos, y además, mejora ligeramente y sin exageraciones el valor usado normalmente para futuros presupuestos.

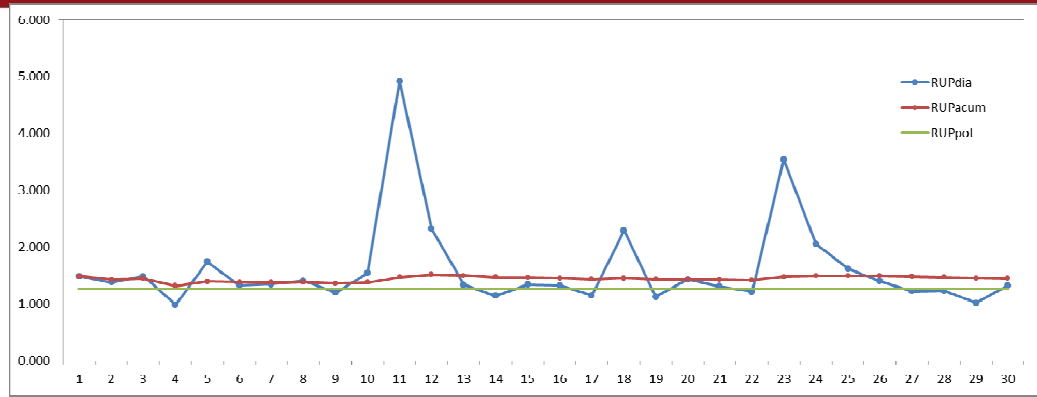


Gráfico 6. Línea base de productividad con RUP potencial (SUZA 2006)



CAPÍTULO 2. FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

VARIABILIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD

Como se ha visto en el capítulo anterior, la productividad diaria posee una variabilidad inherente, la cual puede ser aumentada por diferentes anomalías. La determinación de las Líneas Base permite la estimación de la productividad de mano de obra para futuros proyectos. No obstante, esta estimación no se puede realizar con un solo proyecto, pues existe también gran variabilidad entre los valores de Líneas Base obtenidos en diferentes obras. De un banco de datos obtenido por Souza, analizando 20 diferentes obras en Brasil, se obtuvo una variación del RUP obtenido para la partida de encofrado entre 0.36 a 1.60 hh/m² (SOUZA 2006). Si se filtra de este banco de datos a obras de una empresa en particular, aun se obtiene una variación entre 0.36 a 0.77 hh/m². Esta situación se repite en un estudio realizado por Thomas, en el cual se realizó una muestra de productividad en partidas de tabiquería de 22 proyectos, 17 proyectos de EEUU y 5 proyectos de otros países. En este estudio se obtuvo un rango de productividad entre 0.678 a 3.810 hh/m² (THOMAS 1994). Tomando de estos valores solo los que corresponden a tabiques de ladrillo se obtiene un rango de 0.678 a 1.281 hh/m².

TEORÍA DEL MODELO DE FACTORES

El modelo de factores de productividad en construcción fue presentado en 1987 por Randolph Thomas, profesor de la Universidad Estatal de Pensilvania, y su alumno Iacovos Yiakoumis. La teoría propone que el trabajo de una cuadrilla es afectado por una serie de factores que producen la variabilidad descrita en el punto anterior. Además, si se puede cuantificar el impacto producido por los factores, se podría eliminar su influencia y generar una curva de productividad ideal (THOMAS 1987). Otra interpretación de la teoría establece que la variación de la productividad se debe a variaciones de las características del trabajo desarrollado, las cuales son denominadas “factores” (SOUZA 2006).

Según estudios de las Naciones Unidas, estos factores pueden clasificarse, en principio, como continuidad organizacional y continuidad ejecutiva. La primera está relacionada a las características del proceso; y la segunda, a las características físicas del producto (THOMAS 1994). En el presente estudio, se denominará factores de contenido a los factores de continuidad ejecutiva, relacionados a las características del producto como las especificaciones, dimensiones, etc., y se denominará factores de contexto a los factores de continuidad organizacional,

relacionados con las características del proceso como la tecnología, los equipos, etc.

La Figura 11 resume el Modelo de Factores. La partida o proceso estudiado consume entradas, en este caso la cantidad de mano de obra, para producir una determinada salida, una cantidad de producto. Simultáneamente, existen factores que actúan como catalizadores, o retardadores, del proceso (THOMAS 1994).



Figura 11. Modelo de Factores (Adaptado de THOMAS 1994)

FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

Como se mencionó, los factores de productividad son características del proceso o trabajo realizado, las cuales tienen una influencia, ya sea positiva o negativa, en la productividad (THOMAS 1994). No obstante, es preciso cuestionarse qué se debe considerar como factores. Los factores de productividad no deben ser confundidos con las anomalías, definiéndose estas últimas como contratiempos o imprevistos que degeneran el RUP de manera considerable (SOUZA 2006).

La Figura 12 muestra un esquema de la clasificación de los factores que generan la variación en la productividad. Un proceso puede desarrollarse en condiciones normales o puede ser afectado por anomalías. Estas anomalías pueden tener diferentes causas, tanto directas como indirectas. Por ejemplo, pueden producirse directamente por cambios y/o eventos climáticos, paralizaciones de

obra, retrabajos, desabastecimiento, etc., o indirectamente por ausentismo, varios turnos de trabajo, cambios en el proyecto o la programación, etc. (SOUZA 2006).

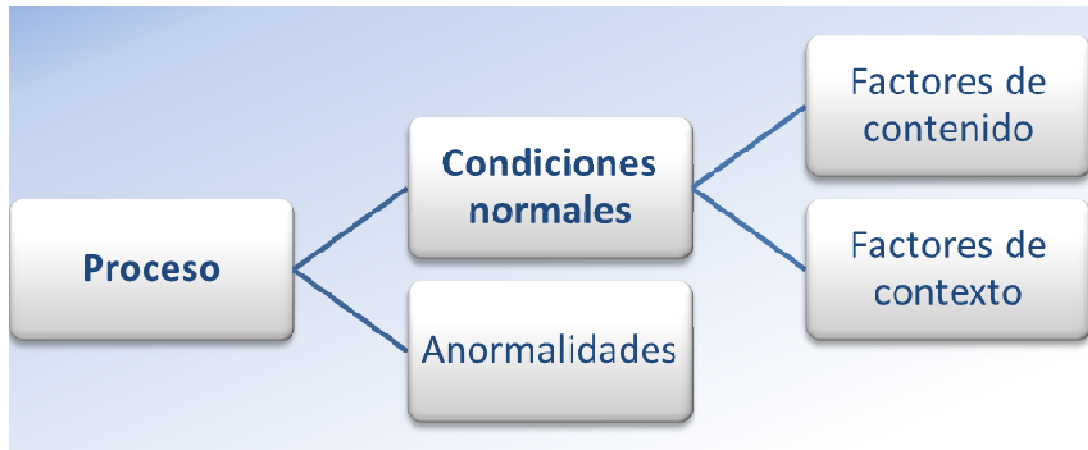


Figura 12. Clasificación de Factores de productividad

En el presente estudio, se considerarán solo los factores que se presentan en condiciones normales: factores de contenido y factores de contexto. Los factores que serán considerados serán expuestos a continuación.

1. FACTORES DE CONTENIDO

Estos factores están relacionados a las especificaciones y características físicas del producto. Para el estudio realizado en esta tesis, se han considerado los factores expuestos a continuación.

Para la partida de acero, se ha considerado:

DIÁMETRO EQUIVALENTE

El concepto del Diámetro equivalente para el estudio de factores trata de expresar un diámetro representativo para todo el acero de la obra. Este diámetro es expresado en milímetros (mm), y es calculado usando las propiedades geométricas y físicas del acero de construcción. No se deberá confundir este factor con el cálculo del diámetro equivalente de las barras de acero, referente al diámetro de una barra lisa con igual peso lineal que la barra corrugada¹⁰, valor que no tiene relación con este estudio.

En un presupuesto, el valor del metrado realizado se muestra de manera global, sin diferenciar el tipo de barra usada. Esto debido a que el

¹⁰ Concepto extraído de >
http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/Aprenda-docs/20081.01_Importancia_del_Peso_Metrico_CAASA.pdf

presupuesto solo se enfoca en el costo de la partida. No obstante, el tipo de barra influye en la productividad de la partida de acero. Por un lado, el tipo de barra define la maniobrabilidad del acero para su colocación, pues mientras más gruesa la barra, es más pesada, más difícil de cortar, etc. Esta condición genera un consumo diferente de mano de obra para la ejecución de la partida. Por otro lado, el tipo de barra define el peso instalado. Mientras mayor el diámetro de la barra, mayor metrado instalado hay. Esta condición genera un metrado diferente que se registra para la productividad.

La Tabla 9 muestra un ejemplo hipotético de cálculo de productividad para instalación de barras según su diámetro, en el cual se considera una longitud instalada de 2.50m por barra y una pareja de obreros encarga de su instalación. La cantidad de barras se ha ajustado para obtener un peso similar para todos los casos. El ejemplo muestra claramente que el diámetro de la barra usada modifica en gran medida la productividad obtenida, la cual mejora casi 3 veces comparando los valores hallados para barras de 1/2" y 1". Es más conveniente para la productividad instalar barras de mayor diámetro.

Tabla 9. Ejemplo de cálculo de Productividad para acero

Diámetro	Cant	Peso total	Tiempo x barra	MO total	RUP
1/2"	16	39.76 kg	5 min	2.7 hh	0.067 hh/kg
5/8"	10	38.80 kg	5 min	1.7 hh	0.043 hh/kg
3/4"	7	39.11 kg	6 min	1.4 hh	0.036 hh/kg
1"	4	39.73 kg	7 min	0.9 hh	0.023 hh/kg

Para el cálculo del Diámetro equivalente, se define el área de la barra de acero como un área circular, despreciando las corrugaciones, y el peso específico volumétrico como el peso lineal dado por el fabricante entre el área de la sección transversal.

$$A = \pi \frac{\phi^2}{4} \dots (1)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_{lineal}}{A} \dots (2)$$

Reemplazando (1) en (2), se obtiene la expresión (3). Multiplicando esta expresión, convenientemente acomodada, por la longitud total de las barras de acero en obra, tanto el numerador como el denominador, se obtiene la

expresión (4), la cual acomodada de manera conveniente da la expresión final del Diámetro equivalente.

$$\gamma_s = \frac{\gamma_{lineal}}{\pi \frac{\phi^2}{4}} \dots (3)$$

$$\pi \frac{\phi^2}{4} = \frac{\gamma_{lineal}}{\gamma_s}$$

$$\phi^2 = \frac{4 \cdot \gamma_{lineal} \cdot l_{total}}{\gamma_s \cdot \pi \cdot l_{total}}$$

$$\phi^2 = \frac{4 \cdot \omega_{total}}{\gamma_s \cdot \pi \cdot l_{total}} \dots (4)$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_{total}}{\gamma_s \cdot \pi \cdot l_{total}}} \cdot 1000$$

En esta expresión, ϕ es el Diámetro equivalente, expresado en (mm), ω_{total} es el peso total de acero en kilogramos (kg), l_{total} es la longitud total de las barras de acero en metros (m), y γ_s es el peso específico volumétrico del acero (kg/m³).

Para realizar correctamente los cálculos, se debe tomar en cuenta dos detalles. Primero, se debe considerar que la longitud total de barras de acero se calcula multiplicando el número total de barras requeridas por 9.00m. (valor estándar de barras de acero en el Perú). Segundo, se tomará un valor de peso específico de acero de construcción de 7850 kg/m³. La Tabla 10 muestra los cálculos realizados con los datos dados por los proveedores de acero para hallar el peso específico volumétrico. Para el cálculo se usa la expresión (3).

El cálculo del Diámetro equivalente puede realizarse de manera global o, para un mayor entendimiento del factor, diferenciado para acero longitudinal y acero transversal. Para el estudio realizado en esta tesis, se ha calculado el Diámetro equivalente de ambas formas.

Tabla 10. Cálculo de peso específico del acero corrugado de construcción

Diámetro	Área transversal (mm ²)	Peso lineal (kg/m)	Peso específico (kg/m ³)
6 mm	28	0.222	7928.6
8 mm	50	0.400	8000.0
3/8"	71	0.560	7887.3
12 mm	113	0.890	7876.1
1/2"	129	0.994	7705.4
5/8"	199	1.552	7799.0
3/4"	284	2.235	7869.7
1"	510	3.973	7790.2
1 3/8"	1006	7.907	7859.8
		Promedio	7857.4

Para la partida de encofrado, se ha considerado:

ÁREA CARACTERÍSTICA

En el caso de encofrados de elementos verticales, de manera análoga al Diámetro equivalente, la forma en que se presenta el área a encofrar determina en gran medida la productividad en la partida. La Tabla 11 muestra un ejemplo hipotético de productividad de una cuadrilla de 4 obreros, los cuales encofran elementos verticales determinados de 2.40 m de altura. Se observa que elementos con áreas laterales mayores generan mejores productividades.

Tabla 11. Ejemplo de cálculo de productividad para encofrado

Elemento	Dimensiones	# Elem	Área lat.	Tiempo x Elem	MO total	RUP
Columna	0.4 x 0.4 m	8	30.72 m ²	45 min	24.0 hh	0.781 hh/m ²
Placa	1.4 x 0.2 m	4	30.72 m ²	60 min	16.0 hh	0.521 hh/m ²
Placa	3.0 x 0.2 m	2	30.72 m ²	90 min	12.0 hh	0.391 hh/m ²
Placa	6.1 x 0.3 m	1	30.72 m ²	140 min	9.3 hh	0.304 hh/m ²

Para el objetivo de estimaciones de productividad, se podrá tomar el valor medio de las áreas laterales (SOUZA 2001). Para hallar este valor medio, se usará la siguiente expresión:

$$A_{caract} = \frac{\sum A_i^2}{\sum A_i}$$

PERALTE CARACTERÍSTICO

El caso de vigas, el peralte característico busca representar el peralte de la totalidad de las vigas peraltadas de una plata típica. Para entender el porqué de esta influencia, se debe analizar el proceso de encofrado de una viga y la

forma en que se cuantifica la cantidad de salidas. El proceso de encofrado de una viga consiste en el encofrado del fondo de viga (cara inferior de la viga) y el encofrado de los costados de viga (caras laterales de la viga). En la Figura 13, se muestra el encofrado de una viga. La primera parte del encofrado que se realiza es el fondo de viga, para luego seguir con una cara (en la Figura la cara 2). Por último, después de haber colocado la armadura de la viga, se procede a cerrar el encofrado de la cara 3. La altura del encofrado de las caras normalmente es la de mayor dimensión (excepto en vigas postensadas, en donde el peralte es restringido y la base aumenta).

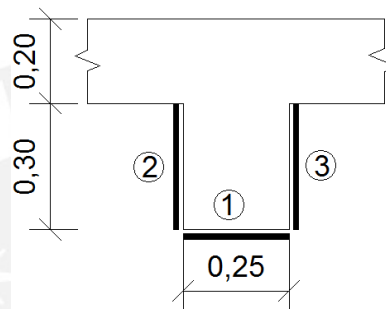


Figura 13. Ejemplo de encofrado de viga peraltada

La formulación del peralte característico es parecida al del área característica:

$$h_{caract} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{\sum A_i}$$

PERÍMETRO CARACTERÍSTICO

En el caso del encofrado de losas, el metrado de avance se cuantifica como el área horizontal del fondo de losa, descontando interferencias con vigas y columnas. Sin embargo, el encofrado de losa no solo consiste en el fondo de losa, sino también en los bordes de la losa, llamados “frisos”. Estos bordes generan metrado de avance no considerado y gasto de mano de obra en su instalación tanto como su habilitación (corte de los tablonos o fenólicos para el encofrado de bordes).

El perímetro característico expresa la relación de borde por unidad de área de encofrado. Es decir, este factor describe la influencia que tiene la cantidad de “frisos” en el encofrado de una losa para el cálculo de la productividad.

$$p_{caract} = \frac{p}{A}$$

En la Figura 14, se muestra un ejemplo hipotético para el cálculo de este factor. Se considera una cuadrilla de 8 personas encargadas del encofrado del fondo de losa, el cual es cuantificado. Además, se considera una pareja más encargada de la habilitación y encofrado de “frisos”.

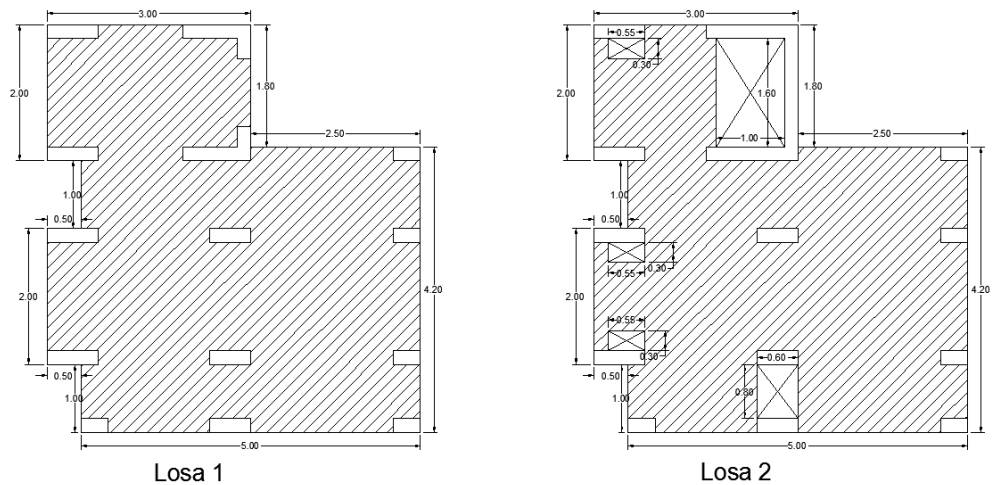


Figura 14. Ejemplo de encofrado de losas

En la Tabla 12 se muestra los cálculos y valores obtenidos. Se considera que las 8 personas encofran el fondo de losa a razón de aprox. 3 horas en la Losa 1 y un valor análogo para el área de la Losa 2. Además, se considera que se habilita y encofra 25 m. de “frisos” cada 2 horas. Como se puede ver, a pesar de que la Losa 2 tiene menor área de encofrado de fondo, el mayor valor del perímetro característico refleja el mayor RUP obtenido.

Tabla 12. Ejemplo de cálculo de productividad en encofrado de losa

Caso	Área fondo	Perímetro	p caract	tiempo fondo	tiempo friso	MO total	RUP
Losa 1	26.62 m ²	12.50 m	0.470	180 min	60 min	26.0 hh	0.977 hh/m ²
Losa 2	22.71 m ²	25.40 m	1.119	150 min	120 min	24.0 hh	1.057 hh/m ²

Para la partida de concreto, se ha considerado:

SECCIÓN MEDIA

Para el vaciado de concreto en elementos verticales, la sección media juega un papel importante en la productividad. No es igual vaciar 10 columnas de 0.4 m³ que 1 placa de 4 m³. En el primer caso, es necesario movilizar la cuadrilla para cada columna, además de todo el equipo utilizado. En el

segundo caso, se trata de un solo elemento que requerirá viajes y movimientos mínimos y que demorará menor tiempo. La Tabla 13 muestra un ejemplo hipotético de este factor y la productividad obtenida. Se observa que a mayor sección media, menores valores de RUP se obtienen, es decir, mejor productividad.

Tabla 13. Ejemplo de cálculo de productividad según sección media

Elemento	Dimensiones	A sec	Vol	# Elem	Vol total
Columna	0.4 x 0.4 m	0.16 m ²	0.38 m ³	15	5.76 m ³
Columna	0.9 x 0.3 m	0.27 m ²	0.65 m ³	9	5.83 m ³
Placa	1.25 x 0.3 m	0.38 m ²	0.90 m ³	6	5.40 m ³
Placa	2.5 x 0.2 m	0.50 m ²	1.20 m ³	4	4.80 m ³

Caso	Minutros por elemento			Total HH	RUP
	Vaciado	Andamios	Viajes		
Columna 1	10 min	15 min	2 min	27.0 hh	4.688 hh/m ³
Columna 2	20 min	15 min	2 min	22.2 hh	3.807 hh/m ³
Placa 1	25 min	20 min	3 min	19.2 hh	3.556 hh/m ³
Placa 2	30 min	30 min	3 min	16.8 hh	3.500 hh/m ³

ESPESOR MEDIO

Para el vaciado de elementos horizontales, uno de los factores que influye más es el espesor de la losa. En este caso, un espesor mayor supondrá un aumento del valor del RUP, pues a mayor espesor aumenta la cantidad de concreto que se tiene que vaciar y se disminuye la celeridad con la que el personal realiza el trabajo. Para este valor se debe considerar si la losa es aligerada o maciza, pues si es aligerada se tendrá que calcular el espesor equivalente para poder comparar, pues lo que se requiere es ver la cantidad de mano de obra invertida en el concreto.

2. FACTORES DE CONTEXTO

Los factores de contexto están relacionados no a las características del producto, sino a las características del proceso. Es decir, no se basan en dimensiones o especificaciones, sino en usos de tecnologías, herramientas, procesos constructivos, etc. Para el estudio realizado se consideran los factores de contexto expuestos a continuación.

Para la partida de acero, se ha considerado:

ACERO HABILITADO

Como se mencionó anteriormente, la habilitación de acero en obra puede llegar a consumir gran parte de la mano de obra de las partidas de acero. Además, aunque no se haya mencionado, la habilitación de acero no solo

incluye el corte y doblado de las barras y estribos, sino también la habilitación de elementos adicionales no considerados en el metrado (ganchos, burritos, separadores de malla, etc.) pero necesarios para el armado de los elementos.

En la industria actual de la construcción, algunos proveedores de acero brindan el servicio de pre habilitado de acero. Es decir, el acero llega a obra completamente habilitado. Este servicio genera la eliminación del consumo de mano de obra en habilitación de acero, enfocándose solo en la colocación del acero, y con ello, en la generación de valor para la constructora.

La Tabla 14, muestra un ejemplo hipotético de cálculo de productividad considerando acero habilitado en obra. Se consideran 4 actividades: las dos primeras son netamente de habilitación, la tercera es la colocación y la cuarta es el acarreo de acero desde el banco hasta el lugar de colocación.

Tabla 14. Cálculo de productividad considerando acero habilitado en obra

Elem	Diam	Cant	Long	Metrado	Tiempo/unidad				Total MO
					T1	T2	T3	T4	
Longitudinal	3/4"	4	2.70 m	24.14 kg	5 min		5 min	5 min	2.0 hh
Long. c/gancho	3/4"	2	2.50 m	11.18 kg	5 min	2 min	5 min	5 min	1.1 hh
Estribos	8 mm	25	1.73 m	17.30 kg	5 min	2 min	2 min	5 min	11.7 hh
Total MET				52.61 kg	Total MO				14.8 hh

T1	Corte de acero	RUP	0.281 hh/kg
T2	Doblado de acero		
T3	Colocación de acero		
T4	Acarreo de acero		

La Tabla 15, muestra el mismo ejemplo hipotético, considerando el uso de acero pre habilitado. En este caso, se suprimen las dos primeras actividades y el acarreo se reduce en tiempo. El resultado es una productividad mucho menor a la obtenida usando la habilitación de acero en obra. El valor del RUP se ha reducido aproximadamente a la tercera parte.

Tabla 15. Cálculo de productividad considerando acero pre habilitado

Elem	Diam	Cant	Long	Metrado	Tiempo/unidad				Total MO
					T1	T2	T3	T4	
Longitudinal	3/4"	4	2.70 m	24.14 kg			5 min	2 min	0.9 hh
Long. c/gancho	3/4"	2	2.50 m	11.18 kg			5 min	2 min	0.5 hh
Estribos	8 mm	25	1.73 m	17.30 kg			2 min	2 min	3.3 hh
Total MET				52.61 kg	Total MO				4.7 hh

T1	Corte de acero	RUP	0.090 hh/kg
T2	Doblado de acero		
T3	Colocación de acero		
T4	Acarreo de acero		

PREARMADO DE ACERO

El proceso normal de colocación de acero implica que la cuadrilla de acero se encarga del transporte del material habilitado y su colocación *in situ*. En algunos casos, la cuadrilla de acero es tan grande, o el área de trabajo es tan pequeña, que se genera gran congestión en el área de trabajo. Esta congestión merma la productividad debido a que el personal se estorba entre sí. Una solución que se puede plantear es realizar un proceso de pre armado de acero. Es decir, el elemento se arma en un banco designado y luego es transportado y colocado, con personal mínimo, en el sitio. Este proceso requiere la disposición de una grúa exclusiva para el izaje y colocación del elemento pre armado, además de las condiciones de la planta típica que permita el izaje del elemento.

Para la partida de encofrado, se ha considerado:

DESPIECE DEL ENCOFRADO

Para la partida de encofrado de elementos verticales, uno de los factores de contexto principales es el despiece del encofrado. El encofrado, en especial el metálico, está compuesto por diferente cantidad de piezas, las cuales en conjunto encofran el elemento completo. Es claro que mientras las piezas sean más grandes, más rápido se terminara el encofrado del elemento.

La Tabla 16 muestra un ejemplo hipotético de la influencia del despiece en el RUP. Como se muestra en la tabla, la productividad puede mejorar enormemente usando un despiece mayor. No obstante, se debe considerar que para despieces muy grandes se deberá usar maquinaria para su izaje.

Tabla 16. Ejemplo de cálculo de productividad según despiece de encofrado

Método de encofrado	Despiece	Área lateral	Pzas totales	Tiempo x Pza	Total MO	RUP
Piezas 30 x 60 cm	0.18 m ²	4.32 m ²	24	10 min	8.0 hh	1.852 hh/m ²
Piezas 30 x 120 cm	0.36 m ²	4.32 m ²	12	15 min	6.0 hh	1.389 hh/m ²
Panel 30 x 240 cm (con grúa)	0.72 m ²	4.32 m ²	6	20 min	4.0 hh	0.926 hh/m ²
Panel de dos caras (con grúa)	2.16 m ²	4.32 m ²	2	30 min	2.0 hh	0.463 hh/m ²

PREARMADO DE ENCOFRADO

Como se ha mencionado, para despieces de gran área modulada, se hace necesario el uso de una grúa o alguna otra maquinaria de izaje. Además, el almacenaje en campo del encofrado puede ocupar mucho más espacio si es que se usan área de despiece menor. El pre armado de encofrado utiliza una maquinaria de izaje, normalmente una grúa torre en el caso de edificaciones, para levantar y colocar módulos, rearmados a nivel del terreno, en elementos verticales. Este proceso reduce en gran medida el consumo de mano de obra debido a que reduce las hh usadas en el transporte del encofrado y las maniobras para su colocación.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

Antes de iniciar el Estudio de Factores de productividad, es necesario fijar los objetivos y alcances del estudio, de manera que se pueda realizar eficientemente. A continuación se exponen estos dos puntos.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE FACTORES

1. Objetivo general

El proyecto tiene como objetivo principal la ejecución de un Estudio de Factores de productividad en dos obras con la finalidad de determinar y reconocer la influencia de estos factores en la productividad de la mano de obra. De esta forma, se busca dar una alternativa de mejora para la estimación de ratios de productividad y para la mejora de la productividad de mano de obra.

2. Objetivos específicos

Con la finalidad de cumplir el objetivo principal del estudio, se determinaron los siguientes objetivos específicos.

- Definir y cuantificar los factores de productividad de contenido.
- Definir y cualificar los factores de productividad de contexto.
- Determinar, con datos obtenidos de obra, los registros de productividad, construyendo las curvas de productividad correspondientes a las partidas estudiadas.
- Determinar y evaluar los valores del RUP diario, RUP acumulado y RUP potencial obtenidos con los datos obtenidos en obra.
- Relacionar los factores estudiados con los valores de RUP obtenidos.
- Definir directrices para realizar el estudio en otras obras de construcción, permitiendo así la generación de nuevos datos que permitan enriquecer las bases de datos para estimar la productividad de la mano de obra.
- Proponer un enfoque de mejora continua de la productividad basado en el estudio de factores de productividad

ALCANCE DEL ESTUDIO DE FACTORES

El Estudio de Factores de Productividad consistió en un estudio de productividad al nivel Físico (Estudio de Productividad de Mano de Obra) enfocado en las partidas de Estructura en la Etapa de Casco de una obra, y un estudio de los factores de productividad relacionados en estas partidas.

La recolección de información histórica de productividad (RUPs) se realizó en dos obras: un proyecto de vivienda y un proyecto de oficinas. Además, se realizó las mediciones y cálculos para determinar los factores de productividad de contenido y de contexto en cada proyecto. Por último, se relacionó los valores de productividad y los factores obtenidos en cada obra, generando valores que se pueden usar en futuros presupuestos de obras. A partir de los estudios realizados, y recomendaciones de algunos autores, se estableció directrices para realizar el Estudio de Factores de Productividad en futuras obras.



CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD.

CASO APLICATIVO 1.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El primer caso aplicativo del Estudio de Factores de productividad se realizó en una obra de oficinas. La obra consiste en un edificio de 8 sótanos, 13 pisos y un techo técnico, ubicado en el distrito de San Isidro. El Estudio de Factores fue realizado durante los meses de Agosto a Septiembre del 2013, enfocado a las partidas de Estructuras de los pisos la Torre del edificio, es decir, no se tomó en cuenta los sótanos.

En esta obra, la información del registro de productividad estaba bien estructurada, por lo cual no fue necesario realizar mediciones adicionales, salvo algunas revisiones en campo para verificar la validez de la información. Además, la obra contaba con metrados ya documentados de las partidas de estructuras, los cuales también fueron usados para facilitar el cálculo de algunos factores.

CÁLCULO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

En una etapa inicial del estudio, se recolectó toda la información de la oficina de obra (especificaciones, planos, metrados, etc.) que facilitarán la determinación de los factores de productividad descritos en el Capítulo 2. Luego, se procedió a calcular y determinar los valores de los factores de productividad de la obra.

Cálculo del diámetro equivalente

Al llegar a la obra, se encontró que la mayoría de metrados estaban documentados y completamente detallados. La Figura 15 muestra el formato usado para el metrado del acero en oficina. En este formato se pudo identificar el nivel, el elemento, el sector, la forma, la cantidad, el diámetro de barra, y otras características del elemento. La información obtenida en este metrado se consideró suficiente para poder calcular el acero equivalente, pues la identificación del nivel y el elemento permitió realizar un filtro para obtener un resumen del metrado total según el requerimiento del factor.

Tabla 17. Cálculo de metrado de acero por diámetro de barra en Obra 1

Nivel	Diámetro de barra									
	6mm	1/4	8mm	3/8	12mm	1/2	5/8	3/4	1	1 3/8
Piso 1	-	-	-	4,678.19	-	5,557.77	-	328.20	12,268.71	4,557.15
Piso 2	-	-	-	4,405.99	-	871.70	-	-	9,150.99	2,235.56
Piso 3	-	-	-	3,823.95	-	660.69	-	186.48	8,730.08	1,571.12
Piso 4	-	-	-	4,452.58	-	447.13	-	298.37	7,322.27	741.56
Piso 5	-	-	-	4,442.55	-	-	-	298.37	6,976.88	593.25
Piso 6	-	-	-	5,917.18	-	-	-	1,193.47	5,595.32	593.25
Piso 7	-	-	-	5,917.18	-	-	-	2,125.87	4,075.60	148.31
Piso 8	-	-	-	4,982.48	-	-	-	2,125.87	4,144.68	-
Piso 9	-	-	-	5,917.18	-	-	-	2,200.46	4,006.52	-
Piso 10	-	-	-	5,917.18	-	-	-	2,200.46	4,006.52	-
Piso 11	-	-	-	5,917.18	-	-	-	2,312.35	3,799.29	-
Piso 12	-	-	-	5,917.18	-	-	-	2,349.65	3,730.21	-
Piso 13	-	-	-	6,079.00	-	-	-	2,349.65	3,730.21	-
Azotea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	68,367.84	-	7,537.28	-	17,969.21	77,537.29	10,440.21

Después de hallar los valores del peso total, se procedió a calcular la cantidad de varillas necesarias. Para obtener este valor, se determinó la cantidad de varillas según la siguiente fórmula:

$$n \text{ barras} = \frac{\omega_{acero}}{\gamma_s \cdot 9}$$

En esta fórmula, ω_{acero} es el peso de acero metrado para el diámetro de la varilla, γ_s corresponde al peso lineal de la varilla y la constante representa la longitud estándar de las varillas de acero. El número de varillas será considerado redondeando el valor obtenido por exceso a un número entero. La Tabla 18 muestra los valores obtenidos de número de varillas necesarias. El número total de varillas se encuentra a partir del valor de metrado total según diámetro. Sin embargo, en la tabla se muestra el cálculo por piso para fines ilustrativos.

La cantidad de varillas total hallada fue 17,619 varillas necesarias. Antes de continuar con el cálculo del diámetro equivalente, es preciso convertir este valor a la longitud total de acero necesaria. Esto se logra multiplicando el número de varillas por la longitud estándar de varillas (9.0 m). El valor obtenido es 158,571.00 m.

Tabla 18. Cálculo de número de varillas por diámetro de barra en Obra 1

Nivel	Diámetro de barra									
	6mm	1/4	8mm	3/8	12mm	1/2	5/8	3/4	1	1 3/8
Piso 1				928		621		16	343	64
Piso 2				874		97			256	31
Piso 3				759		74		9	244	22
Piso 4				883		50		15	205	10
Piso 5				881				15	195	8
Piso 6				1,174				59	156	8
Piso 7				1,174				106	114	2
Piso 8				989				106	116	
Piso 9				1,174				109	112	
Piso 10				1,174				109	112	
Piso 11				1,174				115	106	
Piso 12				1,174				117	104	
Piso 13				1,206				117	104	
Azotea										
Total	0	0	0	13,566	0	843	0	894	2,169	147

Una vez calculados el peso total y la longitud total, se ingresa los valores a la fórmula del Diámetro equivalente. En este caso, el valor obtenido fue 13.8 mm, lo cual da un diámetro representativo ligeramente mayor a 1/2”.

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_{total}}{\gamma_s \cdot \pi \cdot l_{total}}} \cdot 1000 = \sqrt{\frac{4 \cdot 181,851.83}{7850 \cdot \pi \cdot 158,571}} \cdot 1000 = 13.8 \text{ mm}$$

Similarmente al caso presentado, se realizó el cálculo del acero equivalente para todos los elementos, diferenciando los valores globales, longitudinales y transversales (excepto en losas). Una vez realizados todos los cálculos, se obtuvo los valores presentados en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de diámetro equivalente en Obra 1

Elemento	Global	Longitudinal	Transversal	%Long	%Trans
Columnas	13.64 mm	24.32 mm	9.74 mm	58.3%	41.7%
Placas	14.03 mm	16.75 mm	11.98 mm	55.5%	44.5%
Vigas	14.90 mm	19.40 mm	9.65 mm	77.2%	22.8%
Vigas postensadas	13.42 mm	17.19 mm	9.53 mm	71.6%	28.4%
Vigas (General)	14.36 mm	18.61 mm	9.60 mm	75.3%	24.7%
Losas macizas	11.72 mm				
Losas aligeradas	12.27 mm				
Losas (General)	12.06 mm				

Cálculo de Área característica

En el caso del área característica, se realizó un metrado del área lateral de las columnas y placas. Se halló el área característica con la fórmula presentada al final del Capítulo 2. Las áreas características halladas por cada columna y por

cada nivel fueron promediadas para obtener los valores mostrados en la Tabla 20.

Tabla 20. Área característica en Obra 1

Nivel	Columna	Placa	General
Piso 1	14.84 m ²	139.47 m ²	104.70 m ²
Piso 2	13.12 m ²	124.75 m ²	80.86 m ²
Piso 3	13.07 m ²	124.75 m ²	80.94 m ²
Piso 4	13.07 m ²	124.75 m ²	80.94 m ²
Piso 5	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 6	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 7	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 8	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 9	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 10	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 11	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 12	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Piso 13	12.83 m ²	124.75 m ²	83.60 m ²
Total	13.08 m²	126.74 m²	85.52 m²

Cálculo de Peralte característico

Para determinar el peralte característico, se recurrió a la hoja de metrados de obra. En ella se encontró los datos del peralte de la viga y su área lateral. Se creó un campo multiplicando los valores y sumándolos, y otro sumando solo el área lateral. Esto para hallar los valores requeridos para la fórmula del peralte característico.

$$h_{caract} = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{\sum A_i}$$

De esta forma, se procedió a hallar el peralte característico para cada tipo de viga (normal o postensada). La Tabla 21, muestra los datos obtenidos.

A partir de los datos de la tabla se pudo obtener el peralte característico para cada tipo de Viga (Normal y Postensada) y un peralte característico general para la estructura. El valor obtenido para peralte característico fue de 67.4 cm.

Tabla 21. Cálculo de peralte característico en Obra 1

Nivel	Vigas (Normal)			Vigas (Postensadas)			Vigas (General)		
	$\Sigma A \cdot h$	ΣA	h carac	$\Sigma A \cdot h$	ΣA	h carac	$\Sigma A \cdot h$	ΣA	h carac
1	415.20 m3	629.92 m2	65.9 cm	160.31 m3	339.24 m2	47.3 cm	575.51 m3	969.16 m2	59.4 cm
2	373.25 m3	544.42 m2	68.6 cm	161.39 m3	339.21 m2	47.6 cm	534.64 m3	883.63 m2	60.5 cm
3	380.80 m3	559.40 m2	68.1 cm	160.69 m3	336.67 m2	47.7 cm	541.49 m3	896.06 m2	60.4 cm
4	385.18 m3	565.14 m2	68.2 cm	159.51 m3	334.47 m2	47.7 cm	544.69 m3	899.60 m2	60.5 cm
5	352.34 m3	509.04 m2	69.2 cm	144.26 m3	302.42 m2	47.7 cm	496.60 m3	811.46 m2	61.2 cm
6	352.34 m3	509.04 m2	69.2 cm	144.26 m3	302.42 m2	47.7 cm	496.60 m3	811.46 m2	61.2 cm
7	352.47 m3	509.38 m2	69.2 cm	145.04 m3	305.27 m2	47.5 cm	497.51 m3	814.65 m2	61.1 cm
8	352.47 m3	509.38 m2	69.2 cm	145.04 m3	305.27 m2	47.5 cm	497.51 m3	814.65 m2	61.1 cm
9	587.75 m3	513.00 m2	114.6 cm	144.63 m3	303.77 m2	47.6 cm	732.38 m3	816.77 m2	89.7 cm
10	353.28 m3	513.00 m2	68.9 cm	144.63 m3	303.77 m2	47.6 cm	497.92 m3	816.77 m2	61.0 cm
11	577.05 m3	504.01 m2	114.5 cm	143.70 m3	300.40 m2	47.8 cm	720.75 m3	804.41 m2	89.6 cm
12	577.05 m3	504.01 m2	114.5 cm	143.70 m3	300.40 m2	47.8 cm	720.75 m3	804.41 m2	89.6 cm
13	345.63 m3	504.01 m2	68.6 cm	143.70 m3	300.40 m2	47.8 cm	489.33 m3	804.41 m2	60.8 cm
Azotea	56.95 m3	98.81 m2	57.6 cm						
			77.6 cm			47.6 cm			67.4 cm

Cálculo de perímetro característico

En el caso del perímetro característico, se realizó el cálculo rápido en los planos de encofrados (losas en Estructura). Como se mencionó en el Capítulo 2, el perímetro característico es un ratio que se obtiene al dividir el perímetro de la losa (considerando bordes y perímetros de ductos). En la Figura 17 se muestra el encofrado del Piso 6, el cual tiene la forma típica para el encofrado de la torre. La Tabla 22 muestra los valores de perímetro característico obtenidos para cada piso y el promedio general, el cual fue 0.179.

Tabla 22. Cálculo de Perímetro característico en Obra 1

LOSAS	
Piso	P/A
1	0.158
2	0.174
3	0.176
4	0.170
5	0.182
6	0.184
7	0.182
8	0.184
9	0.183
10	0.185
11	0.184
12	0.186
13	0.186
General	0.179

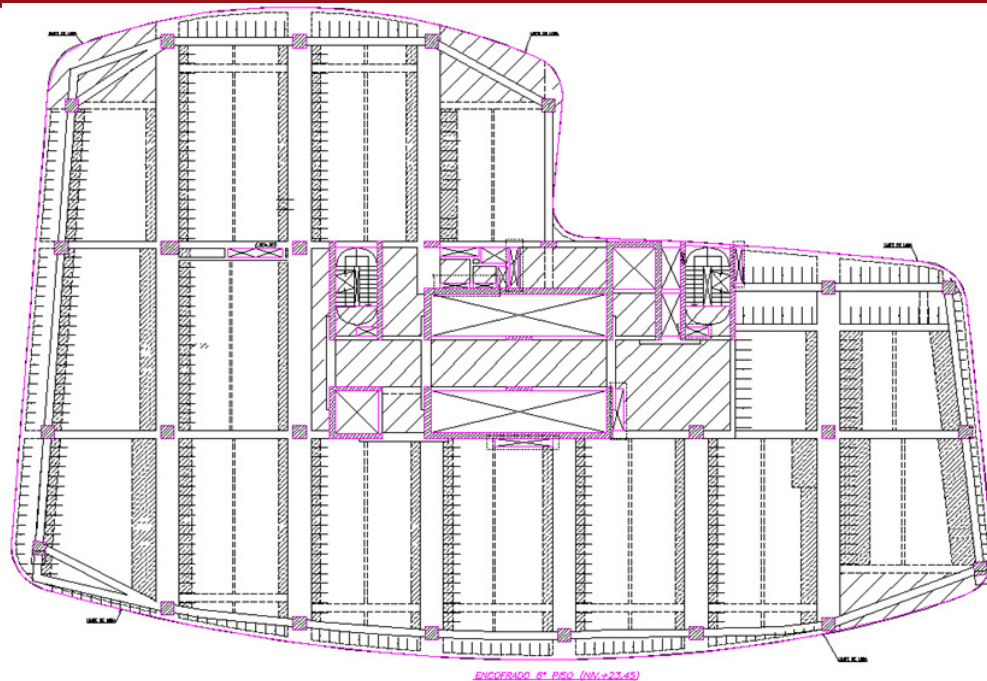


Figura 17. Encofrado de losa típica en Obra 1

Cálculo de Sección media

En el caso de la sección media, se realizó un metrado rápido sobre el plano de encofrados, diferenciando los elementos placas y columnas en cada piso. La Tabla 23 muestra los resultados obtenidos. Como se mencionó anteriormente, para fines del estudio de productividad se podría separar los metrados de columnas y placas. Sin embargo, en obra (como se describirá más adelante) la cuantificación de la mano de obra usada no diferenciaba placas de columnas, por lo cual el valor tomado fue el general. Se obtuvo una sección media de 1.42 m².

Cálculo de espesor medio

En el caso de losas, en el proyecto existían losas macizas de 20 cm y prelasas aligeradas de 27.5 cm. Para el cálculo del espesor medio, se empleó los datos del metrado para obtener un espesor equivalente de las prelasas, el cual resultó ser de 7.17 cm. Además, se ponderó estos dos valores con el área total de las losas para poder obtener un espesor global. Realizadas todas las operaciones, se obtuvo un espesor medio de 10.7 cm. La Tabla 24 muestra los valores obtenidos para este factor.

Tabla 23. Sección media en Obra 1

Piso	Columna	Placa	General
1	0.64 m2	4.52 m2	1.72 m2
2	0.66 m2	3.88 m2	1.34 m2
3	0.66 m2	3.88 m2	1.34 m2
4	0.66 m2	3.88 m2	1.34 m2
5	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
6	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
7	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
8	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
9	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
10	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
11	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
12	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
13	0.69 m2	4.35 m2	1.42 m2
Prom	0.68 m2	4.25 m2	1.42 m2

Tabla 24. Espesor medio en Obra 1

Tipo de losa	Espesor	Volumen Total
Losas macizas	20.00 cm	601.51 m3
Prelosas aligeradas	7.17 cm	1,591.97 m3
Promedio General	10.69 cm	2,193.48 m3

Determinación de factores de contenido

Para la determinación de factores de contenido, se verificó en campo el proceso constructivo usado. A partir de estas observaciones, se puede concluir:

- En la obra se usó acero habilitado proveído por Aceros Arequipa. Si bien, existía un banco de corte de acero, su uso era mínimo debido al uso de acero habilitado.
- En la obra no se hizo uso del proceso de pre armado de acero.
- En el encofrado se usaron piezas de 90x120 cm de encofrado Doka. Además, también se usó encofrado Alsina, el cual estaba modulado para encofrar dos caras de una columna. Realizando cálculos rápidos se obtuvo los datos mostrados en la Tabla 25. Debido al predominante uso de encofrado Doka, se estableció el despiece en base a las piezas de 90x120 cm de encofrado Doka, con un área de despiece de 1.08 m².
- En la Obra se usó un pre armado de encofrado limitado a unas cuantas columnas. Sin embargo, la mayoría de elementos fueron armados en el mismo sitio. Debido a esto, se consideró que, en general, no se usó pre armado de encofrado.

Tabla 25. Despiece de encofrado en Obra 1

Tipo encofrado	Despiece	Dimensiones	Área despiece
Doka	Pieza individual	90 x 120 cm	1.08 m ²
Alsina	Modulación	85 x 305 cm (x2)	5.19 m ²

REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD

Como se mencionó en el Capítulo 1, los tareos son una buena fuente para medir la productividad cuando el estudio se orienta a estimar costos futuros. Esto debido a que los tareos son el medio por el cual se cuantifica el tiempo que trabajan los obreros, es decir, la cantidad de mano de obra que la empresa tiene que pagar por los servicios del obrero.

En la Obra 1, el registro de las horas cuantificadas en los tareos era llevado por Oficina Técnica, la cual daba un reporte semanal sobre la productividad en obra, llamado Informe Semanal de Productividad (ISP). No obstante, el registro de productividad que se necesita para el Estudio de Factores es diario, por lo cual, fue necesario revisar ese registro para obtener los valores diarios. De esta manera, se identificó en el reporte las actividades pertenecientes a las partidas de estructura. Para lograr esto se procedió de la siguiente manera:

El registro de productividad de la partida de acero estaba diferenciado de las demás partidas, por lo cual solo se realizó el filtro de datos por día.

El registro de productividad de las partidas de encofrado y concreto estaba incluido con el registro de otras partidas de acabados y partidas globales, por lo cual se realizó una revisión de las actividades incluidas en cada partida y la cuantificación de mano de obra y metrado de avance diarios.

Los datos que existían en obra estaban desordenados, por lo cual fue necesario trabajar estos archivos para obtener los valores de productividad requeridos. Como fue descrito en el Capítulo 1, es necesario definir las actividades que se consideran para cada partida, de manera que se pueda registrar las horas-hombre cuantificadas en la partida a la que corresponda. La Tabla 26 muestra las actividades consideradas en la Partida de Encofrado Verticales. Las partidas de Encofrado y Concreto no se pudieron separar según el elemento (columna, placa, viga o losa) pues los registros de productividad en la Obra 1 no tenían dicha diferenciación. Por esta razón, las partidas solo se consideraron diferenciando elementos verticales y horizontales.

Tabla 26. Matriz de actividades de Encofrado de elementos verticales

B23 ENCOFRADO DE ELEMENTOS VERTICALES - SUPERESTRUCTURA	
It	Actividad
1	Acarreo de encofrado
2	Armado de andamios y plataformas
3	Cheque de encofrado postvaciado (Verticales)
4	Desencofrado de Verticales
5	Encofrado de Verticales
6	Habilitación de encofrado
7	Reuniones y capacitaciones
8	Apoyo

A partir del ordenamiento de los registros se pudo generar las curvas de productividad para las diferentes partidas. Además, se filtró los días sin productividad para evitar deformar la curva. Es decir, solo se suprimió los datos de días sin RUP para lograr construir la curva gráficamente.

Para la partida de acero, se obtuvo las curvas mostradas en los Gráfico 7 y Gráfico 8.

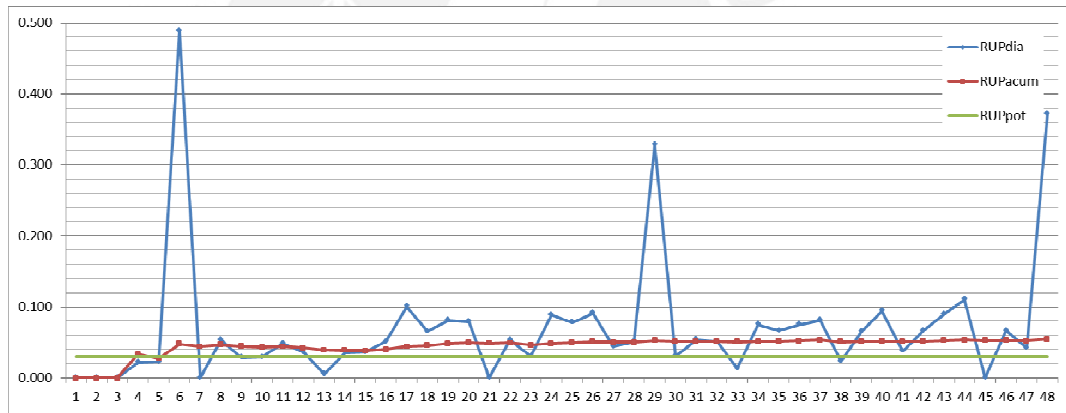


Gráfico 7. Curva de Productividad para Acero vertical - Obra 1

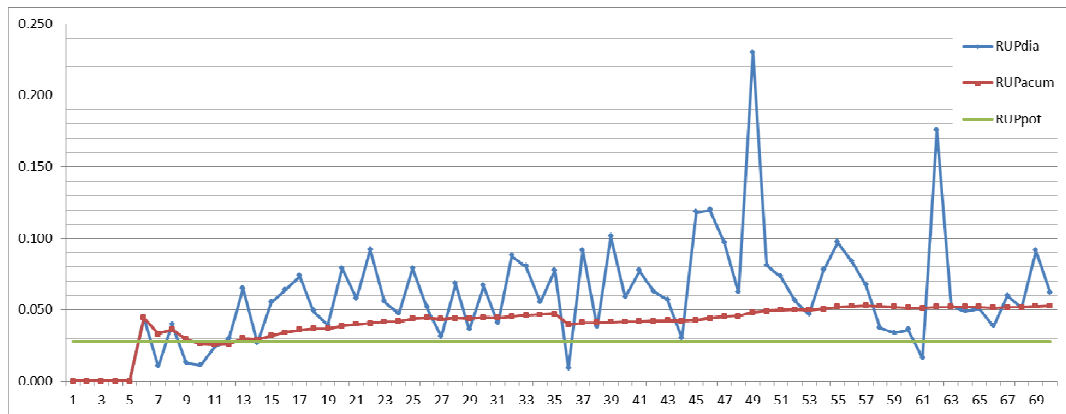


Gráfico 8. Curva de Productividad para Acero horizontal - Obra 1

De manera análoga, se generaron las curvas para las partidas de encofrado y concreto, mostradas en los Gráfico 9, Gráfico 10, Gráfico 11 y Gráfico 12.

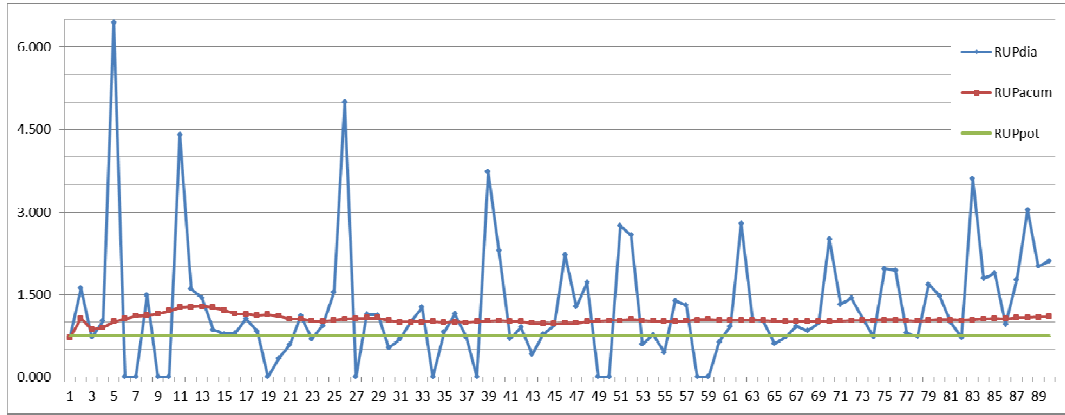


Gráfico 9. Curva de productividad para Encofrado vertical - Obra 1

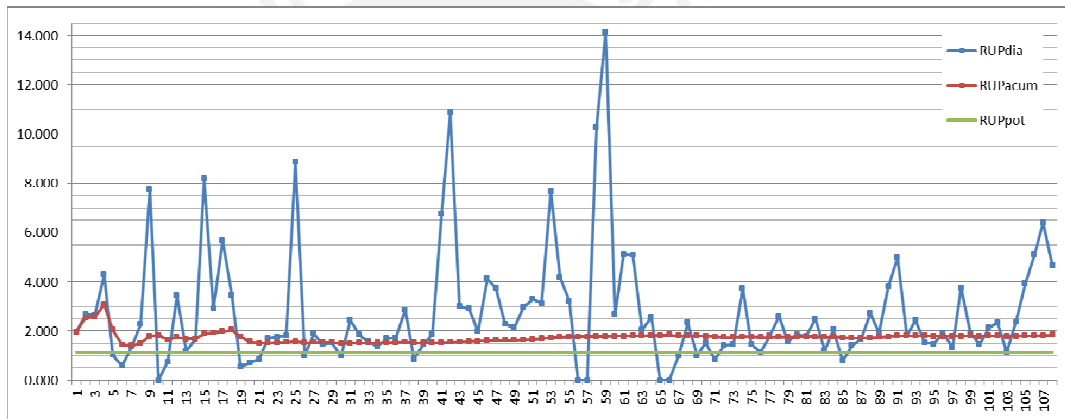


Gráfico 10. Curva de productividad para Encofrado horizontal - Obra 1

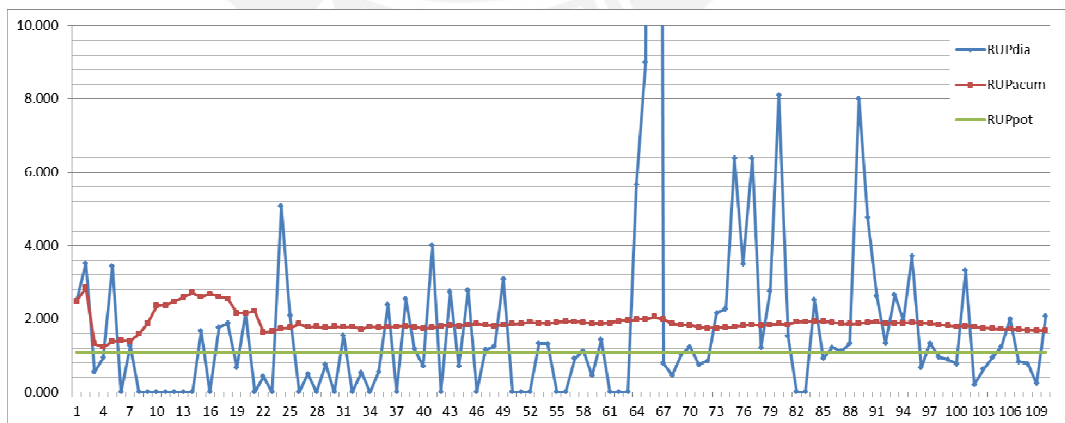


Gráfico 11. Curva de productividad para Concreto vertical - Obra 1

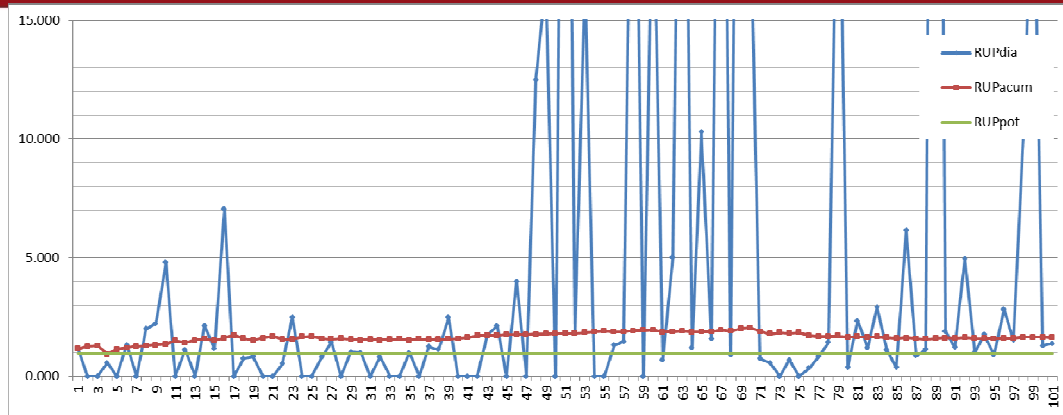


Gráfico 12. Curva de productividad para Concreto horizontal - Obra 1

Como se puede observar en todas estas curvas, durante los primeros días, se observa la inconsistencia del RUP acumulado. Sin embargo, después de todo el periodo de estudio el valor del RUP acumulado no varía mucho, por lo cual se puede considerar un tiempo confiable para tomar los valores de RUP acumulado y RUP potencial.

Del análisis del registro de productividad de la Obra 1, se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de RUPs acumulado y RUPs potencial en partidas de Estructuras - Obra 1

Partida	RUP acum	RUP pot	Δ RUP	Δ RUP (%)
Acero Vertical	0.055 hh/kg	0.026 hh/kg	0.029 hh/kg	52.8%
Acero Horizontal	0.053 hh/kg	0.031 hh/kg	0.021 hh/kg	40.4%
Encofrado Vertical	1.097 hh/m2	0.762 hh/m2	0.334 hh/m2	30.5%
Encofrado Horizontal	1.829 hh/m2	1.194 hh/m2	0.635 hh/m2	34.7%
Concreto Vertical	1.678 hh/m3	0.977 hh/m3	0.701 hh/m3	41.8%
Concreto Horizontal	1.645 hh/m3	1.006 hh/m3	0.638 hh/m3	38.8%

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FACTORES

Una vez obtenidos los datos de productividad y determinados los factores, solo se debe establecer las relaciones entre ambos. En el caso de estudio de la Obra 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la partida de Acero Vertical, se consideró los factores obtenidos para columnas y placas. Como la partida no estaba diferenciada por elemento, se ponderó estos valores según el metrado de acero de cada elemento y se obtuvo un promedio de los factores para elementos verticales, como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultado Estudio de Factores para Acero vertical

Elemento	Diámetro equivalente					Acero habilitado	Prearmado de acero	RUP pot (hh/kg)
	Global	Long	%Long	Trans	%Trans			
Columna	13.64 mm	24.32 mm	58.3%	9.74 mm	41.7%	Si	No	0.026
Placa	14.03 mm	16.75 mm	55.5%	11.98 mm	44.5%			
Verticales	13.84 mm	20.53 mm	56.9%	10.86 mm	43.1%			

Para la partida de Acero Horizontal, se realizó la misma ponderación con vigas y losas. La Tabla 29 muestra los resultados.

Tabla 29. Resultado Estudio de Factores para Acero horizontal – Obra 1

Elemento	Diámetro equivalente					Acero habilitado	Prearmado de acero	RUP pot (hh/kg)
	Global	Long	%Long	Trans	%Trans			
Vigas	14.90 mm	19.40 mm	77.2%	9.65 mm	22.8%	Si	No	0.031
Vigas (Postensada)	13.42 mm	17.19 mm	71.6%	9.53 mm	28.4%			
Vigas (General)	14.36 mm	18.61 mm	75.3%	9.60 mm	24.7%			
Losa maciza	11.72 mm							
Losa aligerada	12.27 mm							
Losas (General)	12.06 mm							
Horizontales	13.21 mm							

Para la partida de Encofrado Vertical, se realizó una ponderación similar. Los resultados se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Resultado Estudio de Factores para Encofrado vertical – Obra 1

Elemento	A caract	Despiece de encofrado	Prearmado de encofrado	RUP pot (hh/m ²)
Columna	3.13 m ²	1.08 m ²	No	0.816
Placa	22.17 m ²			
Verticales	7.13 m²			

Para la partida de Encofrado Horizontal, no fue necesaria una ponderación pues cada elemento tiene factores distintos. Los resultados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Resultado Estudio de Factores para Encofrado horizontal – Obra 1

Elemento	h caract	p caract	Prearmado de encofrado	RUP pot (hh/m ²)
Vigas	67.40 cm		No	1.204
Losas		0.179		
Horizontales	67.40 cm	0.179		

Para las partidas de Concreto Vertical y Horizontal, se consideraron los resultados mostrados en las Tabla 32 y Tabla 33.

Tabla 32. Resulta Estudio de Factores para Concreto vertical – Obra 1

Elemento	Sección media	RUP pot (hh/m3)
Columna	0.68 m2	1.122
Placa	4.25 m2	
Verticales	1.42 m2	

Tabla 33. Resulta Estudio de Factores para Concreto horizontal – Obra 1

Elemento	Espesor medio	RUP pot (hh/m3)
Prelosa maciza	20.00 cm	0.966
Losa aligerada	7.17 cm	
Horizontales	10.69 cm	

COMENTARIOS SOBRE EL ESTUDIO

A partir de los resultados obtenidos en el Estudio de Factores de la Obra 1, se pudo observar lo siguiente:

En primer lugar, las curvas de productividad muestran cierta discontinuidad a pesar de que los valores de RUP acumulado resultan ser representativos. Esta discontinuidad se ve reflejada en el porcentaje de variación entre el RUP acumulado y el RUP potencial. Los valores de esta variación fluctúan entre el 30 a 50%, lo que indica que existe un margen potencial de mejora de la productividad si es que se puede eliminar estas discontinuidades.

Si se toma de ejemplo la partida de acero vertical, en la que se obtiene una diferencia de 0.029 hh/kg, y un metrado total de aproximadamente 352,000 kg., se tiene una diferencia total de aproximadamente 10,200 hh. Asumiendo un precio de S/.16.50 por hh, se obtiene un costo mayor en S/.168,300.00. Esta diferencia solo corresponde al acero vertical en la torre (Pisos 1 al 13). En otras palabras, solo en la Etapa de Estructura de Torre, tomando en cuenta la posible mejora en el acero vertical, se puede obtener un ahorro de hasta S/.168,300.00.

En segundo lugar, las productividades calculadas solo consideran la división de elementos en elementos verticales y elementos horizontales. Para el Estudio de Factores realizado en la Obra 1 se tomó datos ya registrados, por lo cual no fue posible diferenciar los elementos en columnas, placas, vigas o losa, dado que los tareas solo reportaron metrados divididos en elementos verticales y horizontales. Como se mencionó en el Capítulo 1, la forma de cuantificar la mano de obra y el metrado producido es muy importante para determinar el alcance del estudio, si no se estos dos valores para cada elemento, el resultado.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD. CASO APLICATIVO 2.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El segundo caso aplicativo del Estudio de Factores de productividad realizado en este estudio fue hecho en un proyecto de vivienda. El proyecto consiste en seis torres de 15 pisos y una azotea, con dos sótanos comunes para todo el condominio. Debido a la extensión del proyecto, la obra fue planificada para ser ejecutada en 4 etapas: la Etapa 0, consistente en los sótanos, y las Etapas 1, 2 y 3, las cuales consisten en dos torres cada una. La estructura del proyecto consiste en placas como elementos verticales y losas sin vigas peraltadas como elementos horizontales.

El estudio de factores fue realizado entre los meses de Mayo y Junio del 2014, enfocado en la estructura de la Etapa 3 de la obra. Para el estudio, se obtuvo parte de información de la obra y otra parte tuvo que ser trabajada de manera directa.

CÁLCULO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

A continuación, se muestra el cálculo de los factores de productividad en la Obra 2..

Cálculo de Diámetro equivalente

Para poder calcular el diámetro equivalente se usó el metrado de acero que se tenía en obra. A diferencia de la Obra 1, el metrado encontrado en obra no poseía campos que distinguieran el tipo de pieza (estribo, zuncho, acero longitudinal, malla, etc.). La forma de metrado era más simple, pues solo se contabilizaron los muros y núcleos de placas para el caso de verticales, dando la cantidad de repeticiones del elemento y la cantidad de acero que contiene (Ver Figura 18). Por esta razón, se tuvo que analizar los datos para poder obtener el metrado requerido.

Para obtener el metrado de elementos verticales, se diferenció primero las piezas de acero de muros y las piezas de los núcleos de placa. Para el caso de piezas de placas, se diferenció en el metrado las mallas verticales y horizontales, pues las primeras deberán ser consideradas como acero longitudinal, y las segundas, como acero transversal. En el caso de las piezas del núcleo, se diferenciaron los elementos transversales (estribos) y los aceros longitudinales. Para ello, se revisó los detalles de acero de los núcleos y se diferenció cada pieza según su clasificación. Este proceso fue ejecutado para

cada Torre de la Etapa 3, y los resultados son mostrados en las

ELEMENTO	CANTIDAD	ANCHURA	ALTO	LARGO	ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	ACERO										EJECUTIVO	OBTENIDO	RECORRIDO	ACERO	
							0.222 kg/ml	0.395 kg/ml	0.89 kg/ml	0.58 kg/ml	1.02 kg/ml	1.55 kg/ml	2.24 kg/ml	3.34 kg/ml	7.07 kg/ml						
							6mm	8mm	12mm	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"	OBTENIDO					RECORRIDO
4° PISO																					
VERTICALES	10																0.00	0.00	0.00		
MUROS	10																0.00	0.00	0.00		
M22V	2.0																0.00	0.00	54.66		
M22H	2.0																0.00	0.00	56.27		
M20V	2.0																0.00	0.00	61.38		
M20H	2.0																0.00	0.00	57.73		
M16V	2.0																0.00	0.00	66.35		
M16H	2.0																0.00	0.00	65.43		
M14V	2.0																0.00	0.00	69.28		
M14H	2.0																0.00	0.00	65.43		
M5V	2.0																0.00	0.00	131.24		
M5H	2.0																0.00	0.00	147.60		
M17V	1.0																0.00	0.00	21.05		
M17H	1.0																0.00	0.00	24.19		
M17V	1.0																0.00	0.00	12.42		
M17H	1.0																0.00	0.00	18.33		

Figura 18. Formato de metrado de acero en Obra 2

Tabla 34 y Tabla 35.

ELEMENTO	CANTIDAD	ANCHURA	ALTO	LARGO	ESTRUCTURA	ESTRUCTURA	ACERO										EJECUTIVO	OBTENIDO	RECORRIDO	ACERO	
							0.222 kg/ml	0.395 kg/ml	0.89 kg/ml	0.58 kg/ml	1.02 kg/ml	1.55 kg/ml	2.24 kg/ml	3.34 kg/ml	7.07 kg/ml						
							6mm	8mm	12mm	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"	OBTENIDO					RECORRIDO
4° PISO																					
VERTICALES	10																0.00	0.00	0.00		
MUROS	10																0.00	0.00	0.00		
M22V	2.0																0.00	0.00	54.66		
M22H	2.0																0.00	0.00	56.27		
M20V	2.0																0.00	0.00	61.38		
M20H	2.0																0.00	0.00	57.73		
M16V	2.0																0.00	0.00	66.35		
M16H	2.0																0.00	0.00	65.43		
M14V	2.0																0.00	0.00	69.28		
M14H	2.0																0.00	0.00	65.43		
M5V	2.0																0.00	0.00	131.24		
M5H	2.0																0.00	0.00	147.60		
M17V	1.0																0.00	0.00	21.05		
M17H	1.0																0.00	0.00	24.19		
M17V	1.0																0.00	0.00	12.42		
M17H	1.0																0.00	0.00	18.33		

Figura 18. Formato de metrado de acero en Obra 2

Tabla 34. Cálculo de metrado de acero según tipo de elemento – Torre A

Nivel	TORRE A - VERTICALES			
	Longitudinal	Estribos	Malla Vertical	Malla Horizontal
Piso 01	9,684.52	4,032.57	1,853.00	3,302.03
Piso 02	9,842.42	4,106.63	1,903.00	3,394.67
Piso 03	7,092.96	3,408.90	1,666.00	2,505.74
Piso 04	7,092.96	3,310.28	1,666.00	2,505.74
Piso 05	7,092.96	3,408.90	1,666.00	2,505.74
Piso 06	5,344.75	1,462.30	1,445.00	1,941.47
Piso 07	5,344.75	1,490.52	1,391.00	2,017.52
Piso 08	4,051.97	1,168.90	1,307.00	1,738.94
Piso 09	4,051.97	1,180.93	1,307.00	1,738.94
Piso 10	2,957.51	839.09	1,159.00	1,568.77
Piso 11	2,944.71	849.62	1,159.00	1,568.77
Piso 12	2,218.69	695.45	1,073.00	1,472.54
Piso 13	2,218.69	703.74	1,073.00	1,472.54
Piso 14	1,784.64	592.11	1,003.00	1,480.95
Piso 15	2,663.30	592.11	1,524.56	1,480.95
Piso 16	1,144.31	327.88	257.42	558.20
Total	75,531.09	28,169.90	21,452.98	31,253.51

Tabla 35. Cálculo de metrado de acero según tipo de elemento – Torre B

Nivel	TORRE A - VERTICALES			
	Longitudinal	Estribos	Malla Vertical	Malla Horizontal
Piso 01	7,036.94	3,226.44	1,342.00	2,296.26
Piso 02	7,338.58	3,677.98	1,426.00	2,424.51
Piso 03	5,466.92	3,221.84	1,426.00	2,424.51
Piso 04	5,466.92	3,221.84	1,426.00	2,424.51
Piso 05	5,161.27	3,102.42	1,426.00	2,424.51
Piso 06	3,755.68	1,036.14	1,106.00	1,721.81
Piso 07	3,755.68	1,036.14	1,106.00	1,721.81
Piso 08	2,769.84	740.09	1,021.00	1,496.10
Piso 09	2,769.84	740.09	1,021.00	1,496.10
Piso 10	1,896.83	365.25	998.00	1,499.44
Piso 11	1,896.83	365.25	998.00	1,499.44
Piso 12	1,254.59	295.98	1,016.00	1,525.07
Piso 13	1,254.59	295.98	988.00	1,437.90
Piso 14	908.42	219.17	813.00	1,379.34
Piso 15	908.42	219.17	813.00	1,379.34
Piso 16	219.59	111.24	354.90	661.36
Total	51,860.93	21,875.00	17,280.90	27,812.02

A partir de estos datos, se pudo obtener las cantidades mostradas en la Tabla 36, donde se aprecia también el porcentaje del peso total que representa el acero longitudinal y transversal. De igual manera que se hizo para la Obra 1, se calculó también la cantidad de varillas de acero y se obtuvo los valores de acero equivalente para elementos verticales.

Tabla 36. Metrado de acero longitudinal y transversal - Obra 2

Nivel	TORRE A - VERTICALES				TORRE B - VERTICALES			
	Longitudinal	% Long	Transversal	% Trans	Longitudinal	% Long	Transversal	% Trans
Piso 01	11,537.52	61.1%	7,334.60	38.9%	8,378.94	60.3%	5,522.70	39.7%
Piso 02	11,745.42	61.0%	7,501.30	39.0%	8,764.58	59.0%	6,102.49	41.0%
Piso 03	8,758.96	59.7%	5,914.64	40.3%	6,892.92	55.0%	5,646.35	45.0%
Piso 04	8,758.96	60.1%	5,816.02	39.9%	6,892.92	55.0%	5,646.35	45.0%
Piso 05	8,758.96	59.7%	5,914.64	40.3%	6,587.27	54.4%	5,526.94	45.6%
Piso 06	6,789.75	66.6%	3,403.76	33.4%	4,861.68	63.8%	2,757.94	36.2%
Piso 07	6,735.75	65.8%	3,508.04	34.2%	4,861.68	63.8%	2,757.94	36.2%
Piso 08	5,358.97	64.8%	2,907.84	35.2%	3,790.84	62.9%	2,236.19	37.1%
Piso 09	5,358.97	64.7%	2,919.87	35.3%	3,790.84	62.9%	2,236.19	37.1%
Piso 10	4,116.51	63.1%	2,407.86	36.9%	2,894.83	60.8%	1,864.69	39.2%
Piso 11	4,103.71	62.9%	2,418.39	37.1%	2,894.83	60.8%	1,864.69	39.2%
Piso 12	3,291.69	60.3%	2,167.99	39.7%	2,270.59	55.5%	1,821.06	44.5%
Piso 13	3,291.69	60.2%	2,176.27	39.8%	2,242.59	56.4%	1,733.89	43.6%
Piso 14	2,787.64	57.4%	2,073.06	42.6%	1,721.42	51.9%	1,598.50	48.1%
Piso 15	4,187.86	66.9%	2,073.06	33.1%	1,721.42	51.9%	1,598.50	48.1%
Piso 16	1,401.73	61.3%	886.08	38.7%	574.49	42.6%	772.60	57.4%
Total	96,984.07	62.0%	59,423.41	38.0%	69,141.83	58.2%	49,687.02	41.8%

En el caso de elementos horizontales, en el caso de la Obra 2, las losas, no se tuvo que diferenciar los elementos pues las cantidades consideradas son globales. En la Tabla 37 se muestra los metrados de acero obtenidos para los pisos de ambas torres. Luego, de los datos del metrado, se obtuvo la cantidad de barras y longitud total para calcular el diámetro equivalente.

Tabla 37. Metrado de acero horizontal - Obra 2

Nivel	TORRE A - HORIZONTALES	TORRE B - HORIZONTALES
Piso 01	4,504.92	3,392.65
Piso 02	4,504.92	3,392.65
Piso 03	4,504.92	3,392.65
Piso 04	4,504.92	3,392.65
Piso 05	4,504.92	3,392.65
Piso 06	4,504.92	3,392.65
Piso 07	4,504.92	3,392.65
Piso 08	4,504.92	3,392.65
Piso 09	4,504.92	3,392.65
Piso 10	4,504.92	3,392.65
Piso 11	4,504.92	3,392.65
Piso 12	4,504.92	3,392.65
Piso 13	4,529.39	3,392.65
Piso 14	4,624.08	3,392.65
Piso 15	9,099.74	6,315.83
Piso 16	2,128.06	1,086.25
Total	74,440.32	54,899.23

Una vez realizados todos los cálculos, se obtuvieron los siguientes resultados, calculados para cada torre y de manera general para la etapa estudiada. Cabe resalta que los cálculos fueron realizados con los metrados del piso 1 al piso

15, pues el piso 16 es un piso atípico en totalidad. Estos resultados son mostrados en las Tabla 38.

Tabla 38. Diámetro equivalente - Obra 2

Elemento	Diámetro equivalente				
	Global	Longitudinal	% Long	Transversal	% Trans
TORRE A - Placas	10.0 mm	12.3 mm	62.0%	8.1 mm	38.0%
TORRE A - Losas	7.7 mm				
TORRE B - Placas	9.8 mm	12.1 mm	58.4%	8.1 mm	41.6%
TORRE B - Losas	7.8 mm				
GLOBAL - Placas	9.9 mm	12.2 mm	60.4%	8.1 mm	39.6%
GLOBAL - Losas	7.7 mm				

Analizando los resultados obtenidos, se observa rápidamente que todo el acero transversal para el caso de verticales tiene un diámetro de 8 mm., por lo cual se deduce que este tipo de barra se usa en general para todos los estribos y mallas horizontales de placa. Además, se obtienen valores muy parecidos para los diámetros equivalentes de ambas torres, por lo cual se puede considerar el global de la Etapa 3 como representativo para ambas torres. Por otro lado, en el caso de las losas, se observa que el diámetro equivalente es cercano a 8 mm.

Cálculo del Área característica

Para el cálculo del área característica se realizó un metrado desde el plano, pues se necesitaba diferenciar el área de cada cara de la placa. A partir de este metrado, se calculó el área característica, área lateral promedio y número de caras equivalentes por piso de cada torre, y un valor global para la Etapa estudiada. Las Tabla 39 muestra los valores obtenidos.

Tabla 39. Área característica - Obra 2

Nivel	Área característica - Torre A	Área característica - Torre B
Piso 01	53.59	60.61
Piso 02	56.94	63.71
Piso 03	56.97	63.71
Piso 04	56.94	63.71
Piso 05	55.76	63.71
Piso 06	55.84	63.49
Piso 07	55.84	63.49
Piso 08	55.84	63.49
Piso 09	55.84	63.49
Piso 10	55.99	63.58
Piso 11	55.99	63.58
Piso 12	55.99	63.58
Piso 13	55.99	63.58
Piso 14	55.13	62.63
Piso 15	55.13	62.63
Promedio	55.86	63.27
Promedio General	59.20	

El cálculo del área característica solo se realizó para elementos verticales sin diferencia placas y columnas debido a que sólo existían placas (solo habían cuatro columnas en total para toda la Etapa estudiada). Se obtuvo un área característica de 6.86 m², dando un promedio de 5 caras principales por placa.

Cálculo del Perímetro característico

Para el cálculo del perímetro característico, y a diferencia de la Obra 1, se consideró solo el cálculo para cuatro plantas: una típica (12 pisos), y tres atípica (pisos 13, 14 y 15). La Tabla 40 muestra los resultados obtenidos, y el valor promedio de cada torre y de la etapa para el Perímetro característico. Se obtuvo un valor de 0.398.

Tabla 40. Perímetro característico - Obra 2

Nivel	Perímetro característico - Torre A	Perímetro característico - Torre B
Piso 01	0.371	0.408
Piso 02	0.371	0.408
Piso 03	0.371	0.408
Piso 04	0.371	0.408
Piso 05	0.371	0.408
Piso 06	0.371	0.408
Piso 07	0.371	0.408
Piso 08	0.371	0.408
Piso 09	0.371	0.408
Piso 10	0.371	0.408
Piso 11	0.371	0.408
Piso 12	0.371	0.408
Piso 13	0.394	0.449
Piso 14	0.417	0.450
Piso 15	0.477	0.460
Promedio	0.383	0.417
Promedio General		0.398

Cálculo de Sección media

Para el cálculo de la sección media se usó el metrado realizado para las áreas características e índices de vacíos. Realizando un promedio general para ambas torres y la etapa completa, se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 41.

Tabla 41. Sección media - Obra 2

Nivel	Sección media - Torre A	Sección media - Torre B
Piso 01	1.30	1.65
Piso 02	1.33	1.70
Piso 03	1.33	1.70
Piso 04	1.33	1.70
Piso 05	1.33	1.70
Piso 06	1.20	1.48
Piso 07	1.20	1.48
Piso 08	1.20	1.48
Piso 09	1.20	1.48
Piso 10	1.08	1.34
Piso 11	1.08	1.34
Piso 12	1.08	1.34
Piso 13	1.08	1.34
Piso 14	1.07	1.32
Piso 15	1.07	1.32
Promedio	1.19	1.49
Promedio General		1.31

Cálculo de Espesor medio

Para el cálculo del espesor medio, se realizó una relación rápida entre los diferentes espesores de losa y sus áreas para poder hallar un espesor promedio que sea representativo. Debido a que se pueden identificar cuatro tipos de planta, como fue mencionado en el cálculo del perímetro característico, por lo cual el cálculo se realizó para cada planta y se ponderó para encontrar un promedio para la etapa estudiada.

Las Tabla 42 muestran los valores obtenidos. Se observa que la variación de área en los pisos atípicos no afecta mucho el valor del espesor medio, el cual se ha determinado como 13.8 cm para toda la etapa estudiada.

Tabla 42. Espesor medio - Obra 2

Torre	Descripción	Típico	Piso 13	Piso 14	Piso 15	Prom
A	Area Total	669.62	674.52	681.82	704.00	673.06
	Area e=12	499.88	504.78	512.08	534.26	503.31
	Area e=15	20.66	20.66	20.66	20.66	20.66
	Area e=20	149.08	149.08	149.08	149.08	149.08
	e medio	13.87	13.86	13.84	13.78	13.86
B	Area Total	525.96	519.22	537.49	536.16	526.96
	Area e=12	396.53	389.79	408.06	406.73	397.53
	Area e=15	27.41	27.41	27.41	27.41	27.41
	Area e=20	102.02	102.02	102.02	102.02	102.02
	e medio	13.71	13.73	13.67	13.68	13.70
General	Area Total	1195.59	1193.74	1219.31	1240.16	1200.02
	Area e=12	896.41	894.57	920.14	940.98	900.84
	Area e=15	48.07	48.07	48.07	48.07	48.07
	Area e=20	251.10	251.10	251.10	251.10	251.10
	e medio	13.80	13.80	13.77	13.74	13.79

Determinación de Factores de Contexto

Al igual que la Obra 1, se determinó los factores de contenido mediante la verificación del proceso constructivo en campo. Luego de haber hecho las observaciones, se concluyó:

- En la obra se usó acero habilitado proveído por Aceros Arequipa. Aun así existe un banco de corte, pero cuyo uso es mínimo.
- En la obra no se hizo uso del proceso de pre armado de acero.
- En el caso del encofrado, se usó un despiece que cubría caras principales de las placas. Debido a este tipo de procedimiento se obtuvo un área de despiece de 9.2 m² para la Etapa estudiada.
- En la Obra se hizo uso de pre armado de encofrado. El uso de este proceso hizo posible el área de despiece mencionado anteriormente, pues

una modulación tan grande no es viable para poder encofrarla sin un equipo de izaje.

REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD

En la obra, el registro de productividad que se tenía era muy orientado a la labor administrativa, mas no al control de productividad. Por esta razón, se realizó un procesamiento y mejoramiento de la toma de datos del registro para que pudiera ser usada en el Estudio de productividad.

En primer lugar, se realizó un proceso de revisión de tareas, pues como se mencionó anteriormente, estos reportes son adecuados para registrar la mano de obra consumida en las partidas estudiadas. Para lograr un registro de la mano de obra confiable, se siguió los siguientes pasos:

Se determinó una matriz de actividades conforme se realizaba la revisión de tareas. Esto debido a que los tareas, al ser realizados por los capataces, no siempre concuerdan en la descripción de la actividad. Es decir, por ejemplo, no todos los tareas describen al vaciado de concreto en placas literalmente, sino que se le puede llamar “vaciado de verticales”, “concreto en placas”, “concreto en verticales”, etc. Las matrices determinadas hasta el corte realizado son mostradas en los Anexos.

En la Obra 2, se trabajó en varias partidas mediante el trabajo por tarea. Debido a esto, se tuvo que considerar las bonificaciones por avance recibidas por las cuadrillas. Ahora, considerando que las partidas se deben separar por elementos horizontales y verticales, se tomó las consideraciones para cargar las bonificaciones a cada partida, pues un mismo capataz estaba encargado de las partidas en elementos horizontales y verticales.

Se encontraron bonificaciones reportadas adicionales a las bonificaciones por tarea. Se encontró que estas bonificaciones se referían a la repartición de las horas de algún obrero que se ausentó de obra, o de personales que faltaban para completar la cuadrilla pactada. En otras palabras, se pagaban todas las horas pactadas en un inicio, por más que la cantidad de obreros fuera menor a la pactada. Si bien esto merma la muestra productividad real en campo, estaba considerada dentro de la tarea y, por lo tanto, debió ser cuantificada como mano de obra dentro de la partida.

Las horas registradas para los capataces se cargaron a Remuneración Personal, pues para el manejo de obra, se considera el pago de capataces fuera de la partida.

De igual forma, las bonificaciones registradas como “bonificación de capataz” o repartición de horas con un capataz como beneficiado, también fueron registrados a esta partida.

A partir de registro de productividad realizado en la Obra 2, se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 43. Además, se muestran las curvas de productividad obtenidas para las diferentes partidas.

Tabla 43. Resultados de RUPs acumulado y RUPs potencial - Obra 2

Partida	RUP acum	RUP pot	Δ RUP	Δ RUP (%)
Acero Vertical	0.044 hh/kg	0.031 hh/kg	0.013 hh/kg	30.1%
Acero Horizontal	0.081 hh/kg	0.079 hh/kg	0.002 hh/kg	3.1%
Encofrado Vertical	0.724 hh/m ²	0.684 hh/m ²	0.039 hh/m ²	5.5%
Encofrado Horizontal	0.739 hh/m ²	0.596 hh/m ²	0.142 hh/m ²	19.3%
Concreto Vertical	1.220 hh/m ³	0.980 hh/m ³	0.241 hh/m ³	19.7%
Concreto Horizontal	2.765 hh/m ³	2.417 hh/m ³	0.348 hh/m ³	12.6%

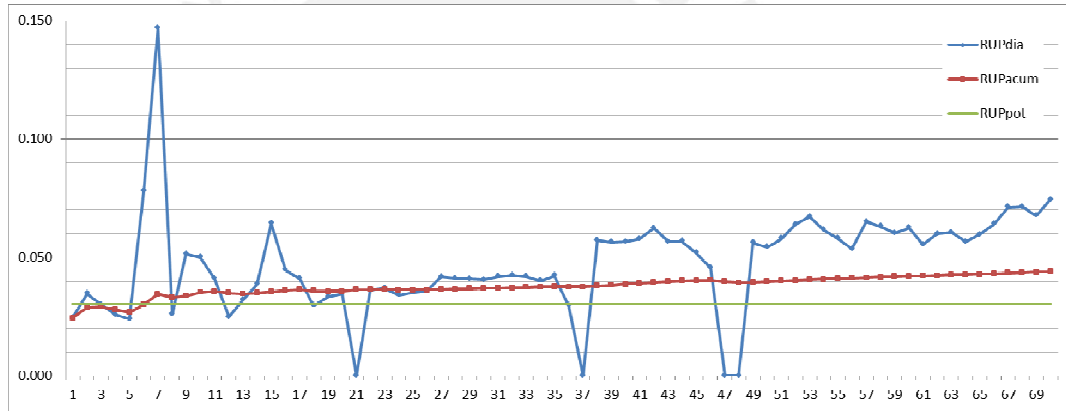


Gráfico 13. Curva de productividad para Acero vertical - Obra 2

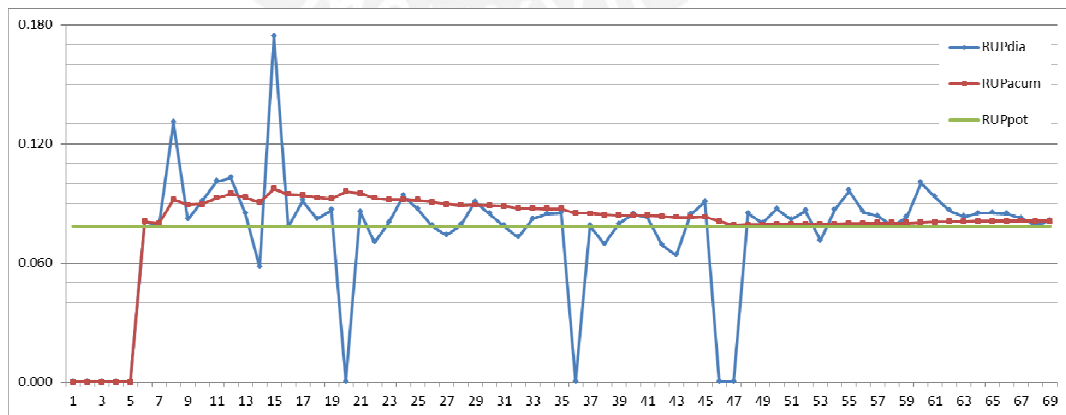


Gráfico 14. Curva de productividad para Acero horizontal - Obra 2

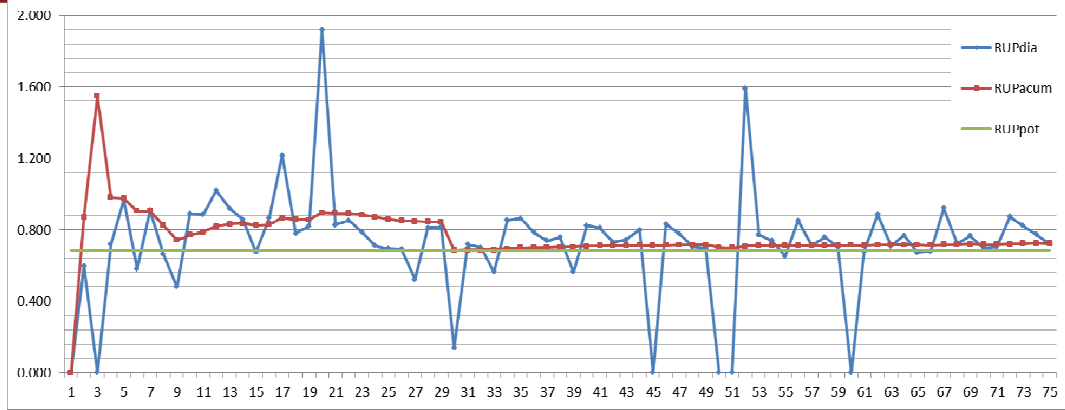


Gráfico 15. Curva de productividad para Encofrado vertical - Obra 2

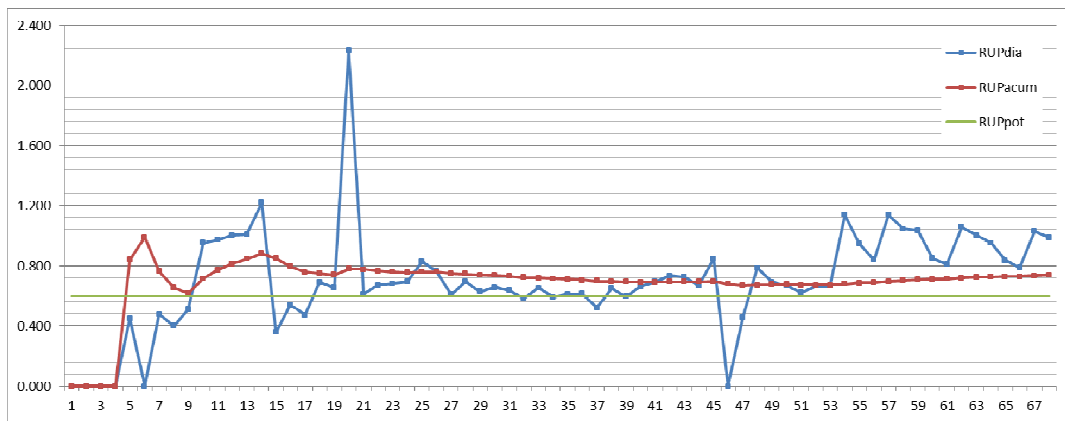


Gráfico 16. Curva de productividad para Encofrado horizontal - Obra 2

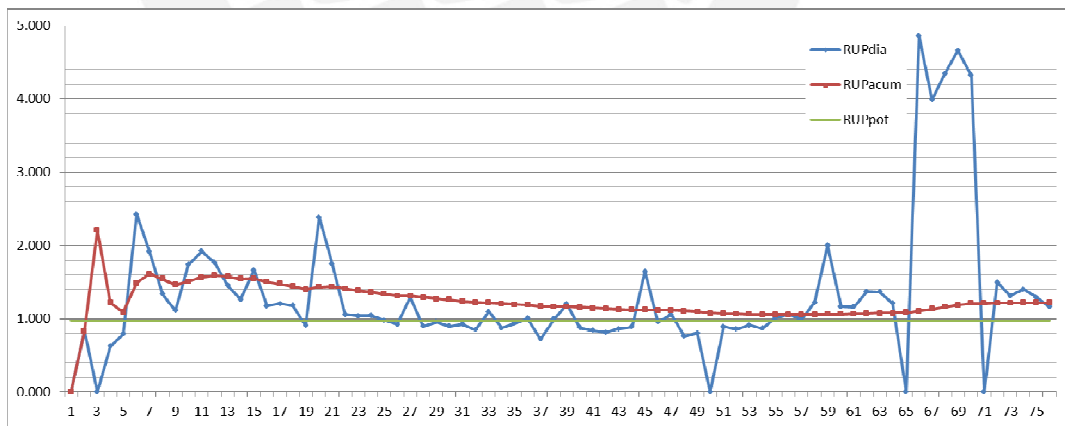


Gráfico 17. Curva de productividad para Concreto vertical - Obra 2

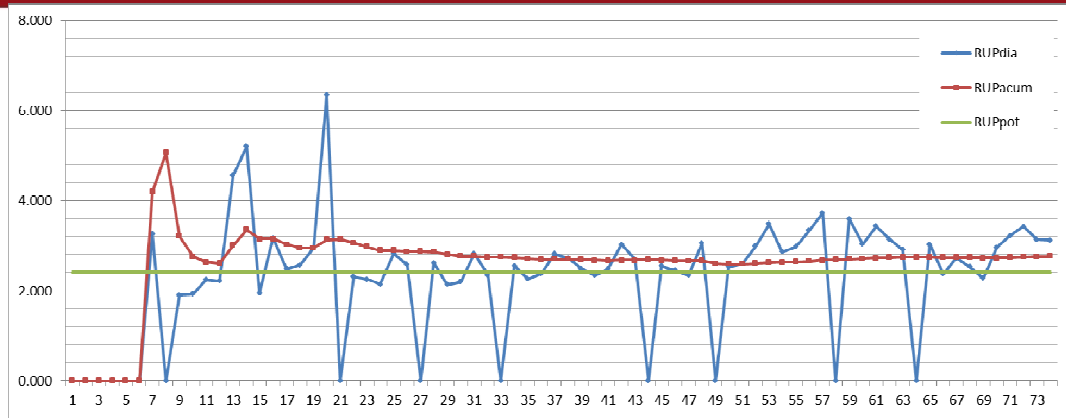


Gráfico 18. Curva de productividad para Concreto horizontal - Obra 2

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FACTORES

Una vez realizados el registro de productividad y la determinación de los Factores de Productividad, se obtuvo los siguientes resultados:

Para la partida de acero vertical, en el caso de la Obra 2, consistente solo en placas, se obtuvo los datos mostrados en la Tabla 44. Entre los resultados cabe resaltar el valor alto del Índice de Estribaje y el diámetro bajo del acero transversal. Es decir, el acero transversal no aporta mucho metrado de avance y genera dificultad en su trabajo.

Tabla 44. Resultado Estudio de Factores para Acero vertical - Obra 2

Elemento	Diámetro equivalente					Acero habilitado	Prearmado de acero	RUP pot (hh/kg)
	Global	Long	%Long	Trans	%Trans			
Placa	9.93 mm	12.22 mm	60.4%	8.05 mm	39.6%	Si	No	0.031

Para la partida de acero horizontal, se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 45. Se observa un diámetro de acero global muy bajo, relacionado a un RUP alto, lo cual es esperado.

Tabla 45. Resultado Estudio de Factores para Acero horizontal - Obra 2

Elemento	Diámetro equivalente					Acero habilitado	Prearmado de acero	RUP pot (hh/kg)
	Global	Long	%Long	Trans	%Trans			
Losa (Maciza)	7.72 mm					Si	No	0.079

En el caso de la partida encofrado vertical, la Tabla 46 muestra los resultados obtenidos. Se puede observar que el área característica es menor que el área del despiece de encofrado, por lo que se puede deducir de esa relación el uso de una modulación pre armada, izada con una grúa torre.

Tabla 46. Resultado Estudio de Factores para Encofrado vertical - Obra 2

Elemento	A caract	Despiece de encofrado	Prearmado de encofrado	RUP pot (hh/m2)
Placa	59.20 m2	9.20 m2	Si	0.684

La partida de encofrado de horizontales solo comprende el encofrado de losas y escaleras, pero no de vigas, pues en la Obra 2 las vigas son puntuales y solo existe una mínima cantidad. Por lo cual, los horizontales son conformados casi en totalidad por losas. Los resultados son mostrados en la Tabla 47.

Tabla 47. Resultado Estudio de Factores para Encofrado horizontal - Obra 2

Elemento	p caract	Prearmado de encofrado	RUP pot (hh/m2)
Losa (Maciza)	0.398	No	0.596

En la partida de concreto vertical, se obtuvo los valores mostrados en la Tabla 48.

Tabla 48. Resultado Estudio de Factores para Concreto vertical - Obra 2

Elemento	Sección media	RUP pot (hh/m3)
Placa	1.31 m2	0.980

En la partida de concreto horizontal, la Tabla 49 muestra los resultados.

Tabla 49. Resultado Estudio de Factores para Concreto horizontal - Obra 2

Elemento	Espesor medio	RUP pot (hh/m3)
Losa (Maciza)	13.79 cm	2.417

COMENTARIOS SOBRE EL ESTUDIO DE FACTORES

El Estudio de Factores en la Obra 2 tuvo sus propias particularidades, pues al contrario de la Obra 1, no se tenía un registro de tareo que apoyara el Estudio. Además, la limitación de información sobre el metrado fue una restricción para poder realizar el Estudio de manera rápida. Por estas razones, se tuvieron que realizar ciertos trabajos adicionales y mediciones que en la Obra 1.

Primero, en la Obra no se contaban con Curvas de Productividad construidas y el control solo se basaba en el ISP. Debido a esta razón, se tuvo que realizar un registro de tareos para poder cuantificar de manera conveniente para el Estudio la cantidad de mano de obra invertida en las partidas de estructura. Como el Estudio solo se realizó en una Etapa definida, se tuvo que aislar la mano de obra invertida

solo en dicha Etapa. El filtro de todos estos datos se tuvo que realizar directamente mediante la revisión de tareas, pues no estaba implementado en obra.

Luego, los metrados que se tenían en obra no tenían el detalle suficiente para ser trabajados de manera directa. En la Obra se manejaba metrados generalizados por etapa, por lo cual la cantidad de encofrado y concreto debió ser calculada directamente desde los planos. En el caso del acero, la obra contaba con un metrado sencillo, el cual no mostraba directamente los detalles del núcleo. Debido a esto, se tuvo que realizar metrados paralelos para poder hallar el Índice de estribaje.

En resumen, el trabajo del Estudio fue más complejo debido a que no se contaba con información directa en obra. No obstante, el hecho de trabajar los tareas de manera directa y realizar los metrados de igual forma, generan mayor certeza y especificación del Estudio, pues pueden ser enfocados de manera simple al cálculo de factores y el registro de productividad.

En lo respectivo a los valores obtenidos, se puede resaltar el alto Índice de estribaje de los núcleos de placa y el bajo diámetro equivalente del acero transversal. Estos dos valores tienen gran influencia en el RUP pues reflejan que se requiere gran cantidad de mano de obra. El alto Índice de estribaje muestra gran congestión de acero en el núcleo, lo cual genera que mayor cantidad de piezas de estribo tengan que colocarse, generando un mayor consumo de tiempo. Además, el diámetro equivalente bajo del acero transversal indica que dicho trabajo sumará poco metrado de avance, por lo cual el RUP empeora. Además, también se muestra la influencia del diámetro de las barras, al comparar el RUP del acero vertical, con diámetro equivalente global de 10.2 mm, con el RUP del acero horizontal, con 8.2 mm. La diferencia es de 0.029 hh/kg, es decir, el acero horizontal consume casi el doble de mano de obra por unidad de metrado que el acero vertical.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

Una vez realizados los dos estudios de productividad, se procedió a analizar los resultados obtenidos para los principales factores encontrados.

El diámetro equivalente se comparó con los valores obtenidos en los dos estudios realizados, y además, se consideró valores obtenidos de otros estudios de factores realizados anteriormente en otras obras.

La Tabla 50 muestra los resultados obtenidos para el acero vertical. Se puede observar que se verifica que a mayores valores de diámetro equivalente se obtienen menores RUPs, es decir, mayor productividad. Los datos fueron graficados y se agregó una línea de tendencia exponencial para describir la relación entre el factor y la productividad. El Gráfico 19 muestra la relación existente. Se puede observar que los valores obtenidos tienen una ligera dispersión. Esto se debe a que solo se está considerando el diámetro equivalente y obviando la influencia de otros factores. Por ejemplo, los valores obtenidos de la Obra 4 consideran acero habilitado en obra, por lo cual el RUP es mayor a valores de diámetro equivalente cercanos en otras obras.

De forma similar, se puede observar la misma tendencia para acero horizontal. En este caso, debido a que no se estudiaron vigas por igual en ambos proyectos estudiados, solo se tomó los valores obtenidos para las losas. En este caso, se puede observar que existe una mayor dispersión de los datos. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 51 y el Gráfico 20.

Tabla 50. Comparación de Diámetro equivalente en Acero vertical

Descripción	Diámetro equivalente	RUP pot (hh/kg)
Obra 1	13.84	0.026
Obra 2	9.93	0.031
Obra 3	16.50	0.009
Obra 3	14.60	0.017
Obra 4	15.70	0.026
Obra 4	17.60	0.026
Obra 5	10.00	0.041

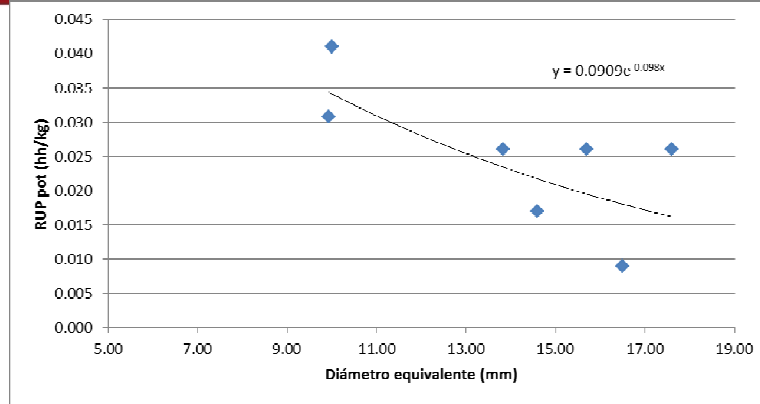


Gráfico 19. RUP potencial vs. Diámetro equivalente – Acero vertical

Tabla 51. Comparación de resultados de Diámetro equivalente en Acero en losas

Descripción	Diámetro equivalente	RUP pot (hh/kg)
Obra 1	13.21	0.031
Obra 2	7.72	0.079
Obra 3	11.38	0.026
Obra 4	10.80	0.046
Obra 5	7.80	0.024

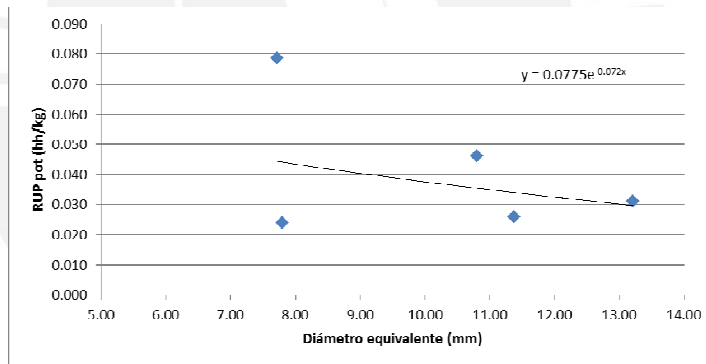


Gráfico 20. RUP potencial vs. Diámetro equivalente - Acero horizontal

En el caso del área característica, los valores obtenidos son mostrados en la Tabla 52 y graficados en el Gráfico 22. Al observar el gráfico se corrobora la relación propuesta entre la productividad y el área característica: a mayor área característica mejor productividad (menor RUP).

Tabla 52. Comparación de resultados de Factores en Encofrado vertical

Descripción	Área característica	Despiece encofrado	RUP pot (hh/m ²)
Obra 1	7.13	1.08	0.816
Obra 2	59.20	9.20	0.684
Obra 3	168.00	15.00	0.260
Obra 3	8.80	4.40	0.480
Obra 4	101.00	0.50	0.630
Obra 4	15.20	0.50	0.810
Obra 5	17.00	2.00	0.460
Obra 5	46.00	2.00	0.460

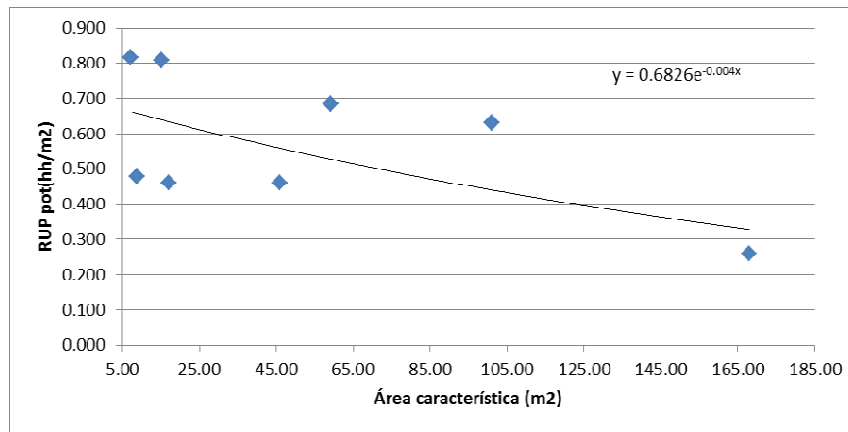


Gráfico 21. RUP potencial vs. Área característica

En el encofrado horizontal, en ambas obras se obtuvo valores de RUP no diferenciados por elemento debido a que el avance registrado en ambas obras se realizó de manera conjunta para vigas y losas. En la Tabla 53, se muestra los resultados obtenidos. Se evidencia que el perímetro característico en la Obra 2 es mayor, por lo cual se esperaría que el valor del RUP sea mayor también. No obstante, la presencia de vigas en la Obra 1 genera que el RUP en la Obra 1 sea mucho mayor que la Obra 2.

Tabla 53. Comparación de resultados de Factores en Encofrado horizontal

Descripción	Peralte característico	Perímetro característico	RUP pot (hh/m ²)
Obra 1	67.40	0.179	1.204
Obra 2	0.00	0.398	0.596
Obra 3	65.00		1.260
Obra 4	75.00		0.490
Obra 5	59.00		0.480

En lo referente a la partida de concreto en elementos verticales, se usó los datos obtenidos de los estudios, así como de la base de datos de estudios previos. La Tabla 54 muestra los valores obtenidos, tomando en cuenta columnas y placas. En

todos los proyectos, el RUP fue registrado indistintamente para ambos elementos. Gráfico 22 muestra la tendencia para los valores de columnas y el Gráfico 23 muestra la tendencia para los valores de placas. Se puede observar que en columnas, el aumento de la sección media favorece la productividad. Caso contrario ocurre en placas. Esto se puede deber a que el aumento de la sección media en placas es en la mayoría de casos un aumento de longitud de la placa. Por esta razón, se hace más necesario los transportes de personal y material para realizar la actividad.

Tabla 54. Comparación de Factores obtenidos para Concreto vertical

Descripción	Sección media (m ²)	RUP pot (hh/m ³)
Obra 1	0.68	1.122
Obra 1	4.25	1.122
Obra 2	1.31	0.980
Obra 3	0.50	1.220
Obra 3	9.40	1.220
Obra 4	1.30	0.950
Obra 4	4.10	0.950
Obra 5	0.35	2.000

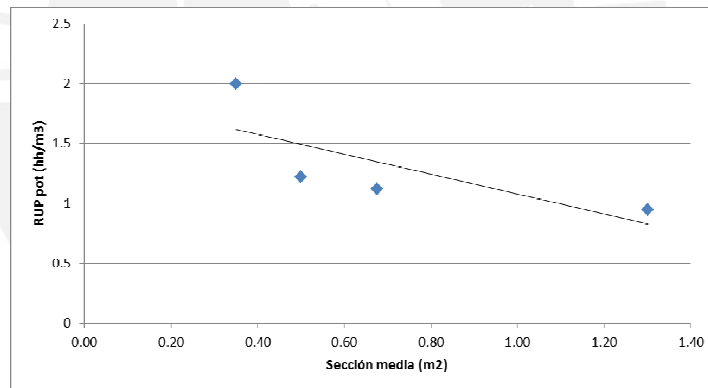


Gráfico 22. RUP potencial vs. Sección media - Concreto en columnas

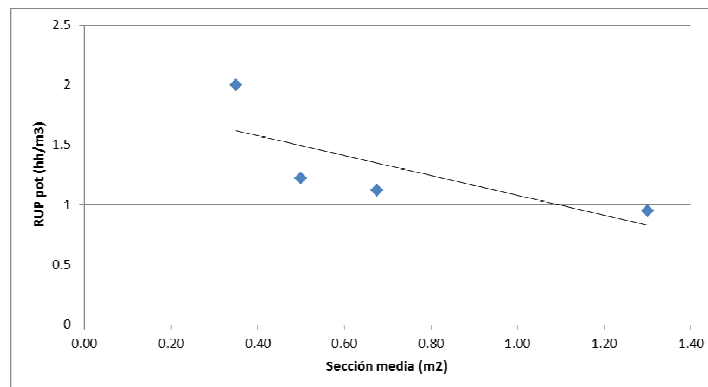


Gráfico 23. RUP potencial vs. Sección media - Concreto en placas

Para el vaciado de elementos horizontales, se usó tanto los valores obtenidos de los estudios en esta tesis, así como los valores de la base de datos. La Tabla 55 muestra los resultados obtenidos. Se observa claramente que a menor espesor medio el RUP aumenta, por lo cual la productividad disminuye. El comportamiento se ilustra mejor en el Gráfico 24, el cual muestra la tendencia de los valores, la cual verifica la relación entre el RUP y el espesor medio.

Tabla 55. Comparación de Factores obtenidos para Concreto horizontal

Descripción	Espesor medio (cm)	RUP pot (hh/m ³)
Obra 1	10.69	0.966
Obra 2	13.81	0.988
Obra 3	16.00	1.260
Obra 4	9.00	1.460

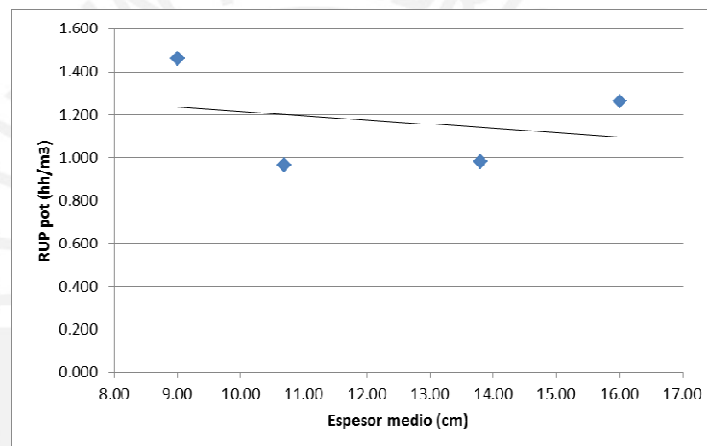


Gráfico 24. RUP potencial vs. Espesor medio para Concreto horizontal

CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD. DIRECTRICES Y UTILIDAD PARA LA PREVISIÓN Y MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD

DIRECTRICES GENERALES PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA

Basados en el marco teórico mostrado en un inicio, y con las lecciones aprendidas durante la ejecución del Estudio de Factores en los dos casos aplicativos, se pudo establecer directrices para realizar un Estudio de Factores de Productividad en otros proyectos, las cuales serán expuestas a continuación.

Primero, se debe identificar el alcance del Estudio de Factores. Es decir, se debe determinar las partidas que serán estudiadas, tanto como las actividades consideradas en cada una. El Estudio de factores realizado se enfoca en las partidas de estructura. No obstante, se puede realizar el estudio en otras fases como Arquitectura o Instalaciones. La Tabla 56 muestra un ejemplo de matriz para identificar las actividades y las partidas relacionadas, la cual puede servir al momento de determinar el alcance. El estudio de factores considera partidas repetitivas, las cuales estén propensas a presentar el efecto de la curva de aprendizaje. Por esta razón, es conveniente seleccionar partidas que presenten estas características o que posean un monto alto en el presupuesto.

Tabla 56. Formato para identificación de actividades, partidas y fases del Estudio

Actividad	Partida	Fase

Luego, se deben definir los factores que serán estudiados. Los factores presentados en los casos aplicativos no son los únicos, se escogieron guiándose de bibliografía y estudios similares en otras obras para poder establecer puntos de comparación rápidos, mas no se deben limitar a los presentados en este trabajo. Para iniciar la definición de los factores, se debe realizar un cuestionamiento sobre qué afecta la productividad de la partida estudiada. La Tabla 57 muestra un formato

para la identificación de los factores que se usarán. Se deberá indicar la partida que afecta y el tipo de factor que es (contenido o contexto). Además, se debe agregar una hipótesis de cómo es que se cree que el factor afecta la productividad. También es preciso poder identificar posibles anomalías, las cuales deben ser separadas pues no son objeto del estudio.

Tabla 57. Formato para identificación de Factores de productividad

Factor	Partida	Tipo	Descripción

Una vez definidos los factores, se debe definir como expresarlos. Los factores pueden ser cuantitativos o cualitativos, dependiendo de lo que se requiera medir: alguna magnitud o alguna condición, respectivamente (SOUZA 2006). Los factores de contenido son en general más propensos a ser cuantitativos, mientras que los factores de contexto normalmente son cualitativos. No obstante, los factores de contexto pueden llegar a ser cuantitativos, respondiendo a niveles de tecnología usada o gestión, u otros aspectos como el despiece del encofrado. La existencia de plantas típicas puede reducir el tiempo invertido en el cálculo de factores.

Después, se deberá iniciar la recolección de datos para el registro de productividad. Con este propósito, se debe seguir los lineamientos expuestos en el Capítulo 1 sobre la cuantificación de la mano de obra y los metrados de avance. Lo ideal es poder separar todas las partidas según el elemento. A veces, sin embargo, es muy difícil diferenciar la partida en cada elemento debido al presupuesto considerado o método de avance usado. La información encontrada en obra (metrados, cuantificación de mano de obra, etc.) debe ser revisada antes de ser considerada para el estudio. Las consideraciones del estudio implican “purgar” la partida de actividades y metrados que no corresponden a la partida. Esto puede suceder en algunas obras debido a los trabajos por tarea u vicios ocultos.

Por último, se debe relacionar los valores de los factores con los valores de productividad registrados.

El objetivo principal de la presentación de estas directrices es el promover la ejecución de Estudios de Factores en otras obras. Es necesario que la base de

datos de estos Estudios se vaya incrementando para que las estimaciones puedan ser más confiables. Como se mencionó en el Capítulo 2, el Estudio de factores se ha realizado en otros países en varios proyectos, generando un rango de productividad relacionado a los factores que permite una mejor estimación de este valor. La realización de este estudio en otras obras generará incrementar los datos de factores en el Perú que permita tener datos más confiables que los obtenidos para otros países.

PREVISIÓN DE PRODUCTIVIDAD CON EL USO DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

Como se mencionó en el Capítulo 1, la generación de Líneas Base permite tener una base de datos para la estimación de productividad en futuras obras. Además, como se ha mencionado en el Capítulo 2, los factores permiten un mejor entendimiento de la variabilidad que existe entre los valores de Líneas Base de diferentes obras. Considerando estos dos conceptos, se puede usar las líneas base en conjunto con los factores hallados en las obras para poder estimar la productividad de futuros proyectos de mejor manera.

Para la estimación, se debe considerar el objetivo final: estimar la cantidad total de mano de obra o la cantidad de mano de obra de una fase o partida en particular (SOUZA 2006). En el primero, se busca valores de productividad globales, expresados en mano de obra por área construida, o concreto vaciado. En el segundo, se expresa la productividad en mano de obra por avance físico de partida. En el caso del presente estudio, la previsión se ha enfocado en la Fase de Estructuras, en las partidas de Acero, Encofrado y Concreto. Con este objetivo, se usó el RUP potencial, expresado en mano de obra por avance físico de partida.

Para la previsión de la productividad en futuras obras, se suele tomar valores de líneas base de proyectos similares y establecer un promedio. No obstante, los Estudios de Factores permiten obtener datos que mejoran este proceso. El modelo innovador propuesto por Ubiraci Souza usa los datos obtenidos en los Estudios de Factores para formar un rango de productividad. La Figura 19 muestra un ejemplo ilustrativo, para entender este proceso. Se observa que se ha obtenido un rango de productividades entre 0.678 hh/m² y 1.230 hh/m². En el rango se ubica también la mediana de los valores obtenidos, en este caso, 0.938 hh/m². Las mejores productividades obtenidas se deberán a factores favorables en la obra, mientras que un mayor valor de RUP se deberá a factores desfavorables. Una vez calculados los factores de la obra objeto de la previsión, se ponderará el valor de

RUP potencial previsto. Debido a la naturaleza del RUP potencial, se deberá aumentar un poco este valor considerando posibles anomalías o bajas de productividad. No obstante, el valor del RUP potencial quedará como meta interina para producción.

Obra	RUP pot
Obra 1	1.230 hh/m ²
Obra 2	0.870 hh/m ²
Obra 3	1.110 hh/m ²
Obra 4	0.678 hh/m ²
Obra 5	0.890 hh/m ²
Obra 6	0.738 hh/m ²
Obra 7	1.056 hh/m ²
Obra 8	0.986 hh/m ²
Obra 9	1.168 hh/m ²
Obra 10	0.867 hh/m ²

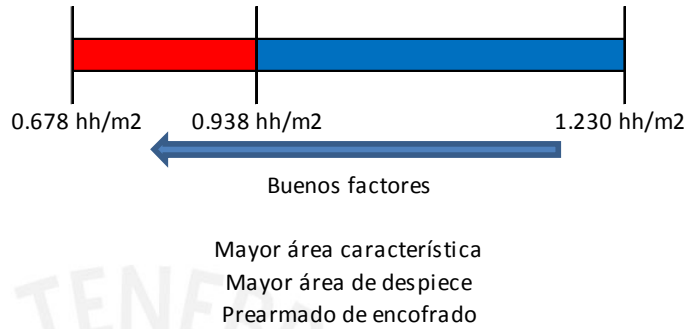


Figura 19. Ejemplo de previsión de productividad según factores

MEJORA CONTINUA DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL USO DEL ESTUDIO DE FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

El RUP potencial expresa un valor de productividad alcanzado bajo condiciones ideales de gestión, por lo cual siempre suele haber una diferencia entre el RUP acumulado y el RUP potencial. Esta diferencia se debe a las anomalías y factores negativos que siempre se presentan durante la ejecución de un proyecto. El Gráfico 25 muestra una curva de productividad sin que ocurran anomalías durante la ejecución de la partida. El Gráfico 26 muestra la misma curva, pero con anomalías presentes durante la ejecución. Como se puede apreciar, la segunda curva muestra una mayor diferencia entre el RUP potencial calculado y el RUP acumulado alcanzado. En los ejemplos mostrados, el primer caso genera una diferencia de 3.1 % del RUP acumulado; mientras que el segundo, una diferencia de 14.3 % del RUP acumulado. Souza ha encontrado un rango de variación de 5 a 35 % del RUP en las obras que ha estudiado en Brasil, el cual puede llegar a ser considerado como una pérdida en la mano de obra (2006).

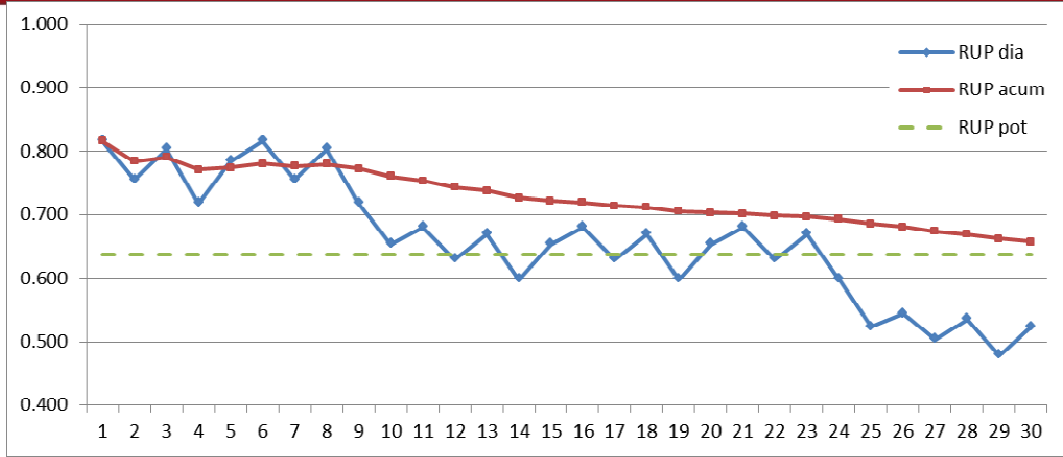


Gráfico 25. Curva de productividad sin anomalías

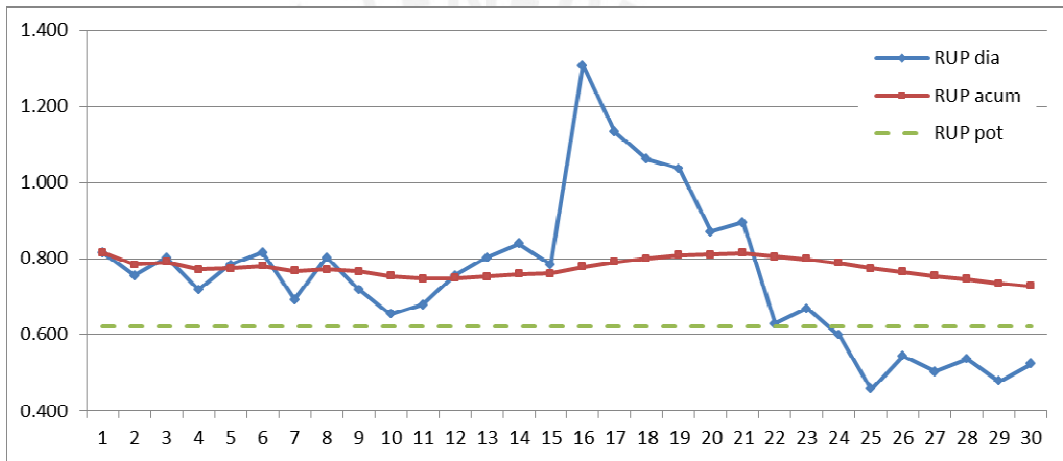


Gráfico 26. curva de productividad con anomalías

Tomando en cuenta que la previsión de productividad se debe hacer con un valor de RUP potencial aumentado, se debe considerar que el porcentaje aumentado puede no ser suficiente para eliminar la influencia de estas anomalías. Por esta razón, el estudio de factores también es una herramienta efectiva para la mejora continua de la productividad durante la ejecución de la partida.

Basándose en las recomendaciones de Souza (2006), se plantea el siguiente enfoque PDCA para la mejora continua de la productividad en base a factores de productividad.

Plan:

- Se deberá realizar una programación considerando los frentes de trabajos, cuadrillas a usar, y los factores de cada frente.

- Se realizará un *brainstorming* para poder determinar las posibles anomalías que pueden suceder durante la obra.
- Se debe determinar un responsable que registre la productividad de las partidas.

Do:

- Basados en los factores obtenidos, se estimará el RUP potencial (aumentado en un porcentaje para prever posibles anomalías) que se planteará como meta de producción.
- Se realizarán una reunión inicial para comprometer a los encargados (Ing. de campo, subcontratista u otro) al cumplimiento de esta meta.

Control:

- Se realizarán reuniones de control semanales. En estas reuniones se mostrará el valor del RUP obtenido cada semana y la evolución del mismo.
- Se realizará un diagrama de causa-efecto (espina de pez) para presentar las causas de la pérdida de productividad en mano de obra (Δ RUP aucm-pot).

Act:

- Se implantará un plan de acción para reducir, sino eliminar, las anomalías y factores adversos.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Después de realizar los dos estudios de factores y analizar los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones y comentarios:

- Se verificó la relación esperada en la mayoría de factores de contexto, los cuales muestran claramente su influencia en el RUP. También se debe mencionar que la ponderación de cada factor se debe realizar según la experiencia obtenida en la ejecución de varios estudios de productividad. La presente tesis busca fijar lineamientos para que se realicen futuros estudios para poder ampliar la base de datos que se tiene y poder validar y optimizar la relación entre los factores y la productividad.
- Los factores determinados para la presente tesis solo buscan ilustrar las principales influencias en la productividad de características de diseño y características del proceso constructivo y tecnología usados. Es decir, estos factores no son los únicos que existen. Prueba de ello es la variabilidad de la tendencia esperada en algunos factores. Esta incongruencia de resultados se genera por influencia de anomalías u otros factores no considerados, los cuales deben ser estudiados y determinados en futuros estudios.
- Los Estudios de Factores requieren gran información de detalle y un registro detallado y confiable de la productividad. Por esta razón, es necesario verificar y optimizar los procesos de toma de datos para generar estos registros. Si bien se ha explicado que los tareas son una fuente de información confiable para la cuantificación de mano de obra, es necesario revisar el procesamiento de la información contenida en estos reportes para validar la correcta toma de datos. Caso contrario, los valores obtenidos en el Estudio serán viciados y generarán previsiones de productividad erradas. Es decir, generarán fallas en futuros presupuestos.
- La generación de una base de datos más confiable requiere no solo la ejecución de más estudios, sino la integración y estandarización de los factores medidos y los valores obtenidos. Thomas y Souza son investigadores que han podido recolectar, en colaboración con otros profesionales, información de varios proyectos que han derivado en identificación de valores estándares para diversos factores. Una oportunidad de mejora en la industria de la construcción en Perú es poder generar una base de datos semejante que permita poder validar y usar los valores obtenidos en dichos estudios en el Perú.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A. A. (1985). Las curvas de aprendizaje y sus aplicaciones. Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales, (16), 121-134.
- Arcudia, C. E., Solis, R. G., & Baeza, J. R. (2004). Determinación de los factores que afectan la productividad de la mano de obra de la construcción. Ingeniería, 8(2), 145-154.
- García, Felipe (2011). "Prólogo primera edición". En VASQUEZ, Oscar. Todo sobre presupuestos en edificaciones. 14
- Gulezian, R., & Samelian, F. (2003). Baseline determination in construction labor productivity-loss claims. Journal of Management in Engineering, 19(4), 160-165.
- Polanco Sánchez, L. M. (2013). Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción -estudio de caso edificio J UPB.
- SOUZA, U. E. L. (2000). Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8(1).
- SOUZA, U. E. L. (2006). Como aumentar a eficiência da mão-de-obra. Manual de gestão da produtividade na construção civil.
- Tapia, María C. (2013). Productividad en Edificación para proyectos en etapa de terminaciones. XV Seminario de tecnología de los Materiales: "Productividad en Edificación".
- Thomas, H. R., & Yiakoumis, I. (1987). Factor model of construction productivity. Journal of Construction Engineering and Management, 113(4), 623-639.
- Thomas, H. R., Maloney, W. F., Horner, R. M. W., Smith, G. R., Handa, V. K., & Sanders, S. R. (1990). Modeling construction labor productivity. Journal of Construction Engineering and Management, 116(4), 705-726.
- Thomas, H. R., & Sakarcin, A. S. (1994). Forecasting labor productivity using factor model. Journal of Construction Engineering and Management, 120(1), 228-239.
- Thomas, H. R., & Završki, I. (1999). Construction baseline productivity: Theory and practice. Journal of Construction Engineering and Management, 125(5), 295-303.
- Thomas, H. R. (2009). Construction learning curves. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 14(1), 14-20.