

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

“Mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología *lean construction*”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Naval

Elaborado por:

Roosevelt Wilder Silvestre Espinoza

 [0009-0004-9289-5776](https://orcid.org/0009-0004-9289-5776)

Asesor:

Dr. Dennys Dunker De La Torre Cortez

 [0000-0003-1418-1896](https://orcid.org/0000-0003-1418-1896)

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por el sacrificio y apoyo brindado a lo largo de mi vida personal y profesional. A mis pequeños sobrinos Raúl, Chelsea y Thiago que, con su inocencia e inquietudes, inspiraron un gran deseo y resiliencia en el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

En principio, agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, especialmente a la Facultad de Ingeniería Mecánica, por los años de formación académica brindadas en mi etapa como estudiante universitario.

Es provechoso y sustancial, expresar mi más cordial gratitud al ingeniero David Amaya Fuertes por el apoyo, aliento y motivación, quien, además de transmitir su vocación investigadora, me orientó y ayudó constantemente durante todo el desarrollo del proceso de investigación. Agradecerle también, la plena confianza que siempre ha demostrado tener, así como, la dedicación que, en todo momento, me ofreció.

En adición, agradezco a los docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica y, especialmente, a los docentes y colegas de la especialidad de Ingeniería Naval, por el conocimiento compartido durante el recorrido de esta maravillosa experiencia.

Finalmente, a mis familiares, que en todo momento me alentaron a conseguir mis metas y objetivos, motor fundamental de motivación, en este largo camino, comprendiendo, con mucha paciencia, la dedicación que requiere el desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

En la actualidad, la industria metalmecánica naval en el Perú, representa un sector de gran actividad y desarrollo económico para el país. Este sector, especializado en la construcción de buques, requiere de nuevas metodologías que puedan desarrollar, un mejor análisis de las operaciones constructivas aplicadas. En consecuencia, el equipo que ejecuta el proyecto, debe estar calificado para efectuar, de manera eficaz, las actividades solicitadas por el cliente. En ese sentido, el presente trabajo de investigación, tiene como finalidad principal mejorar la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito, basado en la metodología *Lean Construction*, mediante sus herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB), empleadas en la primera etapa de la fabricación de módulos y productos intermedios.

En el desarrollo de la investigación, se realizó el análisis del proceso constructivo efectuado en la construcción modular de buques, con la finalidad de reconocer e identificar las actividades productivas, contributivas y no contributivas. Obteniendo, de esta forma, una evaluación del nivel de actividad real de los recursos humanos orientados a las operaciones constructivas. Con lo cual, se desarrollaron propuestas para mejorar la productividad.

Además, se desarrolló el estudio del caso, para los proyectos de fabricación de módulos, lo que, unido a la experiencia de la empresa contratista, lograron que estos proyectos sean ideales para el presente trabajo de investigación.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados, permitiendo comprobar que las propuestas planteadas mejoran los niveles de actividad real, tomando en cuenta, las diversas limitaciones que afectan a este tipo de proyectos especiales, efectuados en la construcción naval militar del Perú.

ABSTRACT

Currently, the naval metal-mechanic industry in Peru represents a sector of great activity and economic development for the country. This sector, specialized in the construction of ships, requires new methodologies that can be developed, a better analysis of the construction operations applied. Consequently, the team that executes the project must be qualified to effectively implement the activities requested by the particular client. In this sense, the present research work has the main purpose of improving productivity in the modular construction of a multipurpose ship, based on the Lean Construction methodology, through its General Activity Level (NGA) and Balance Sheet (CB) tools. , used in the first stage of the manufacture of the modules.

In the development of the research, the analysis of the construction process demonstrated in the modular construction of ships was carried out, in order to recognize and identify the productive, contributory and non-contributory activities. Obtaining, in this way, an evaluation of the level of real activity of human resources oriented to construction operations. With which, proposals were developed to improve productivity.

In addition, the case study was developed for module manufacturing projects, which, together with the experience of the contractor study company, made these projects ideal for this research work.

Finally, the results obtained were analyzed, being able to verify that the proposed proposals improved the levels of real activity, taking into account the

various limitations that prompted this type of special projects, carried out in the military shipbuilding of Peru.

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	1
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1. Generalidades.....	4
1.2. Planteamiento del problema	5
1.2.1. Descripción del problema de investigación	5
1.2.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Hipótesis	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Hipótesis específicas	15
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de estudio.....	16
2.1.1. Antecedentes internacionales	16
2.1.2. Antecedentes nacionales	37
2.2. Conceptos básicos.....	47
2.2.1. Los efectos de la metodología lean en la construcción naval	47
2.2.2. Productividad	48
2.2.3. Mejora de la productividad	49
2.2.4. Desperdicios o pérdidas en la metodología lean	50
2.2.5. Lean construction.....	51
2.2.6. Modelo de conversión de procesos	52
2.2.7. Modelo de flujos de procesos	52
2.2.8. Muestreo de trabajo	53
2.2.9. Trabajo productivo (TP)	54
2.2.10. Trabajo contributorio (TC).....	54
2.2.11. Trabajo no contributorio (TNC)	54
2.2.12. Nivel general de actividad (NGA).....	54
2.2.13. Cartas de balance (CB).....	56

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.1. Tipo y diseño de investigación	60
3.2. Unidad de análisis.....	62
3.3. Operacionalización de variables	62
3.4. Etapas de la investigación	64
3.4.1. Recolección de datos.....	64
3.4.2. Procesamiento de la información y análisis de datos	65
CAPITULO IV: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	67
4.1. Descripción del proyecto.....	67
4.2. Organigrama de la empresa	72
4.3. Análisis de actividades productivas en la fabricación de módulos	73
4.3.1. Metodología empleada para la evaluación de la productividad.....	77
CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
5.1. Selección de actividades productivas	87
5.2. Diagnóstico y medición de los niveles de actividad real en la fabricación de los módulos A35 y A45.	89
5.3. Nivel general de actividad en la fabricación de los módulos A36 y A46.....	99
5.4. Cartas de balance en la fabricación de los módulos A36 y A46.	107
5.4.1. Sub ensamble de placas.....	107
5.4.2. Soldeo a tope de placas sub ensambladas.....	113
5.4.3. Sub ensamble de refuerzos en panel	119
5.4.4. Soldadura de filete de refuerzos sub ensamblados en panel.....	126
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	131
6.1. Contrastación de las hipótesis planteadas.....	131
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES.....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
ANEXOS.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Variación en la actividad comercial en los astilleros a nivel mundial en los últimos veinte años.....	6
Figura 2 Efectos de la pandemia por COVID-19 sobre los nuevos pedidos. .	6
Figura 3 Variación anual del PBI a nivel mundial y del volumen de comercio internacional.....	8
Figura 4 Montaje de un módulo en la construcción de buques clase Liberty.	18
Figura 5 Modularidad aplicado a proyectos de construcción naval y su relación con la adaptabilidad y flexibilidad.....	19
Figura 6 Estudios continuos sobre el sistema modular en el programa Ship Systems Engineering Standards (SSES).....	20
Figura 7 Línea de ensamblaje de módulos.	22
Figura 8 Mapa de flujo de valor para la secuencia original de la línea de ensamblaje de paneles.	24
Figura 9 Disposición de placas y refuerzos.	25
Figura 10 Actividades que no agregan valor al tiempo total disponible.	26
Figura 11 Mapa de flujo de valor de la línea de producción tradicional.	28
Figura 12 Códigos y disposición de los paneles.	29
Figura 13 Mapa de flujo de valor de la línea de producción futura.....	30
Figura 14 Análisis de los niveles de productividad en la construcción naval.	31
Figura 15 Línea tradicional del proceso de ensamblaje de módulos.	32
Figura 16 Modificación de la línea de fabricación.	34
Figura 17 Categorías para el ensamblado de bloques.	36
Figura 18 Bloque típico de doble fondo.	36
Figura 19 Construcción de buque multipropósito BAP UNIÓN.	39
Figura 20 Construcción de buque multipropósito BAP PAITA.	39
Figura 21 Descripción de resultados para la cuadrilla 1.	41
Figura 22 Análisis de rendimiento contractual, planificado y ejecutado.	41

Figura 23 Curva de productividad para las cuadrillas tradicionales y modificadas.....	42
Figura 24 Mapa de flujo de valor para la línea de fabricación de paneles. ...	43
Figura 25 Formato de tarjeta Kanban para medición de la producción de paneles.	44
Figura 26 Actividades que generan valor y el tiempo de entrega del producto terminado.....	48
Figura 27 Desperdicios identificados por la metodología Lean.....	51
Figura 28 Formato de carta balance para cada cuadrilla que ejecuta una determinada actividad.....	57
Figura 29 Resultados de los datos procesados mediante los formatos de cartas de balance.....	58
Figura 30 Ruta metodológica del trabajo de investigación.....	66
Figura 31 Mapa de ubicación del astillero SIMA callao.....	68
Figura 32 Imagen panorámica del astillero SIMA Callao.	68
Figura 33 Dimensiones generales del módulo A35.....	70
Figura 34 Distribución de los módulos A36 y A46.....	71
Figura 35 Distribución de los módulos en la construcción del buque multipropósito.....	72
Figura 36 Organigrama de la empresa.	73
Figura 37 Proceso de fabricación y erección de un módulo.	75
Figura 38 Diagrama de producción en calderería y soldadura.	76
Figura 39 Modelo de conversión tradicional para la construcción de un módulo.	77
Figura 40 Esquema de la metodología empleada.....	78
Figura 41 Sistema de fabricación de paneles reforzados.	79
Figura 42 Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo del módulo A35 y A45.	83
Figura 43 Distribución del trabajo en la fabricación de los paneles reforzados de los módulos A35 y A45.	83
Figura 44 Programa de procesamiento de datos para los datos recopilados.	85

Figura 45 Distribución del área de trabajo.	88
Figura 46 Flunctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo del módulo A35 y A45.	91
Figura 47 Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TC.	95
Figura 48 Distribución del tiempo empleado para las subcategorías de los TNC.	95
Figura 49 Análisis de la distribución del tiempo para cada trabajador.	96
Figura 50 Análisis de distribución de tiempos para cada cuadrilla.	97
Figura 51 Distribución de los trabajos en la fabricación de paneles de los módulos A35 y A45.	98
Figura 52 Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo de los Módulos A36 y A46.	100
Figura 53 Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TC.	103
Figura 54 Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TNC.	103
Figura 55 Análisis de la distribución del tiempo para cada trabajador.	104
Figura 56 Análisis de distribución de tiempos para cada cuadrilla.	105
Figura 57 Distribución de los trabajos en la fabricación de paneles de los módulos A36 y A46.	106
Figura 58 Diagrama de flujo para el proceso de sub ensamble de placas.	108
Figura 59 Diagrama de distribución de cuadrillas para la actividad de sub ensamble de placas.	109
Figura 60 Trabajo productivo para la actividad de sub ensamble de placas.	109
Figura 61 Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.	110
Figura 62 Ocupación del tiempo del Calderero "C" para la actividad de sub ensamble de placas.	111
Figura 63 Ocupación del tiempo del Oficial "S" para la actividad de ensamble de placas.	112

Figura 64 Diagrama de flujo para el proceso de soldeo de placas sub ensambladas.....	114
Figura 65 Distribución de cuadrilla en el área de trabajo.	115
Figura 66 Trabajo productivo para la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.....	115
Figura 67 Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.....	116
Figura 68 Ocupación del tiempo del soldador "A" en la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.	117
Figura 69 Ocupación del tiempo del oficial "B" en la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.	118
Figura 70 Diagrama de flujo para el proceso de sub ensamble de refuerzos en panel.	120
Figura 71 Distribución de cuadrilla en el área de trabajo.	121
Figura 72 Trabajo productivo para la actividad de ensamble de refuerzos sub ensamblados.....	122
Figura 73 Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.....	123
Figura 74 Ocupación del tiempo del calderero "F" en la actividad de ensamble de refuerzos sub ensambladas.	124
Figura 75 Ocupación del tiempo del oficial "G" en la actividad de ensamble de refuerzos sub ensambladas.	124
Figura 76 Diagrama de flujo para el proceso de soldeo de refuerzos sub ensamblados en panel.....	126
Figura 77 Trabajo productivo para la actividad de soldeo de refuerzos sub ensamblados en panel.....	127
Figura 78 Diagrama de flujo para el proceso de ensamble de refuerzos de panel.	127
Figura 79 Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.....	128
Figura 80 Ocupación del tiempo del soldador "N" en la actividad de soldeo de refuerzos sub ensambladas.	129

Figura 81 Ocupación del tiempo del soldador "O" en la actividad de soldeo de refuerzos sub ensambladas.	129
Figura 82 Comparación de resultados de los niveles de actividad real del NGA.	133
Figura 83 Distribución de la ocupación del tiempo para distintas obras y un manejo optimizado de los niveles de actividad real.	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis de costos para la secuencia original.....	24
Tabla 2 Costos obtenidos al reducir las pérdidas.	27
Tabla 3 Características técnicas de los paneles.....	29
Tabla 4 Cantidad de tiempo de espera, en la fabricación de paneles.....	44
Tabla 5 Comparación de resultados antes y después de la implementación.	45
Tabla 6 Valores porcentuales de la productividad para las muestras seleccionadas.	46
Tabla 7 Matriz de operacionalización de variables.	63
Tabla 8 Cuadro de actividades identificadas para los TP, TC y TNC en el proceso constructivo.	81
Tabla 9 Actividades productivas seleccionadas.....	88
Tabla 10 Resultados de las 10 muestras obtenidas para los tipos de trabajo.	91
Tabla 11 Sub categorías para cada tipo de trabajo.	92
Tabla 12 Promedio absoluto y valores porcentuales para cada actividad y subcategoría de TP, TC y TNC registrados.	94
Tabla 13 Resultados de las 14 muestras obtenidas para los tipos de trabajo.	100
Tabla 14 Promedio absoluto y valores porcentuales para cada actividad y subcategoría de TP, TC y TNC registrados.	102
Tabla 15 Comparación de los resultados en la aplicación de NGA.	132
Tabla 16 Comparación de resultados de los niveles de actividad real obtenidos de la aplicación del NGA en cada módulo fabricado.....	135
Tabla 17 Análisis de costos y duración para cada proyecto de fabricación de módulos.	137

PRÓLOGO

El presente trabajo de investigación se divide en seis (6) capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el primer capítulo, se realizó una síntesis de las generalidades, indicando de qué forma las propuestas planteadas en la presente investigación, logran mejorar la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito. Además, se describe la problemática del proyecto de investigación, indicando las causas, consecuencias y limitaciones en la construcción naval, a nivel nacional e internacional. Seguidamente, se realiza la formulación del problema y se define el objetivo de la investigación. Finalmente, se presentan las hipótesis del trabajo de investigación, dando inicio al desarrollo de la tesis.

El segundo capítulo, abarca el marco teórico, en donde se presentan los antecedentes nacionales e internacionales, realizando un recuento de todas aquellas referencias relacionadas con el tema de investigación. Además, se presentan los conceptos básicos que fundamentan todo lo relacionado a la metodología *Lean Construction* y sus herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB), utilizadas en la presente investigación.

En el tercer capítulo, se desarrolla la metodología de la investigación, de acuerdo al tipo de datos recolectados y la forma de procesamiento para la información recopilada. Por consiguiente, en este capítulo, se indica que la investigación es del tipo cuantitativa y de diseño no experimental. Además, se

indica como unidad de análisis la mejora de la productividad en la construcción modular de buques para el proyecto “Construcción del Buque Multipropósito B.A.P. PAITA”, construido en el astillero Servicios Industriales de la Marina (SIMA) en la provincia constitucional del Callao. Finalmente, se presenta la operacionalización de las variables definidas y la ruta metodológica seguida para el desarrollo de la tesis.

En el cuarto capítulo, se realiza el desarrollo del trabajo de investigación. En resumen, se efectúa la descripción del proyecto “Construcción de un Buque Multipropósito clase MAKASSAR BAP PAITA”. En seguida, se presenta el organigrama de la empresa contratista ejecutora orientada al desarrollo del proyecto. En suma, se brinda una breve explicación del proceso de fabricación de módulos, lo cual favorece a la identificación de las actividades efectuadas que se clasifican en categorías de trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC). Por último, se realiza una descripción de las herramientas utilizadas, pertenecientes a la metodología *Lean Construction* y el método empleado para la evaluación de la mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.

En el quinto capítulo, se efectúa un análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB). Además, se realiza la selección de actividades constructivas identificadas por medio del muestreo de trabajo, aplicado directamente a la mano de obra. También, se indica la distribución de las

cuadrillas sobre el área de trabajo, logrando reducir, de esta manera, las actividades que no agregan valor (perdidas). En suma, se muestra la elaboración de un diagrama de flujo de procesos para las actividades seleccionadas, con la finalidad de generar una secuencia productiva. Seguido de esto, se presenta la evaluación de la mejora de la productividad mediante los indicadores definidos en la investigación. Finalmente, se describe las propuestas para cada una de las actividades constructivas más representativas.

Y, por último, en el sexto capítulo, se desarrolla la discusión de los resultados analizados en el capítulo anterior, con la finalidad de efectuar una comparación de los resultados con valores referenciales, después de emplear las mejoras aplicadas en el desarrollo de la presente investigación. Finalmente se contrasta la hipótesis con los resultados finales de la investigación.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El presente trabajo de investigación, tiene como objeto proponer mejoras en la productividad orientada a la construcción modular de un buque multipropósito, basado en la metodología establecida por *Lean Construction*.

La primera mejora, se realiza mediante el desarrollo de un modelo de análisis que introduce niveles de fluctuación diaria, obteniendo porcentajes de ocupación del tiempo, identificadas en la ejecución de las actividades desarrolladas en la fabricación de módulos. En consecuencia, se identifica y se reduce las actividades que no generan valor en el producto final, lo que permite determinar y verificar que las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB), basadas en la metodología *Lean Construction*, logran obtener una evaluación por medio de indicadores de los niveles de actividad real en la construcción modular.

La segunda mejora se realiza en el proceso de control del recurso humano, distribuyendo las cuadrillas de trabajo, mediante la interpretación de los resultados obtenidos en el análisis, diagnóstico y ordenamiento de las actividades productivas, basadas en los principios planteados por la metodología *Lean Construction*, logrando, mediante propuestas audaces, reducir las pérdidas en el proceso de construcción de módulos, lo cual, permite un mejor control y administración de operaciones basados en indicadores de nivel de actividad confiables.

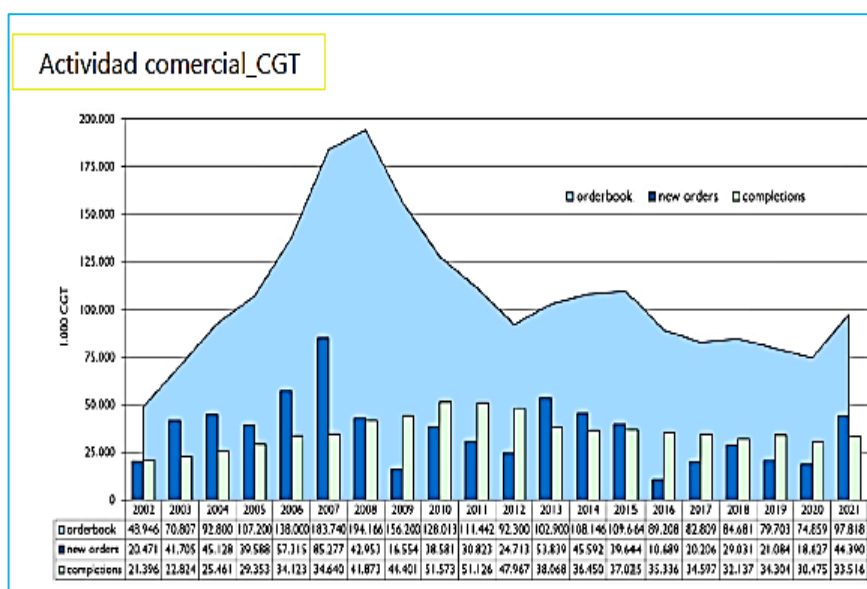
1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción del problema de investigación

En la actualidad, según el reporte de la *Sea Europe Shipyards' & Maritime Association*, "la actividad comercial en los astilleros a nivel mundial para la contratación, en el año 2021 representó un aumento del 138% respecto a los niveles de 2020 en términos de arqueo bruto compensado CGT (Compensated gross tonnage)" (p. 2). Por consiguiente, se evidencia una creciente demanda de nuevos pedidos en los astilleros a pesar del impacto por el COVID-19, que afectó a la industria de la construcción naval a nivel global en el periodo 2020 (ver figura 1). A pesar de esto, el impacto de la pandemia por COVID-19 generó en los astilleros europeos una caída del 37% interanual con respecto al año 2020 en nuevos contratos y del 78% respecto al 2019 (Ver figura 2).

Figura 1

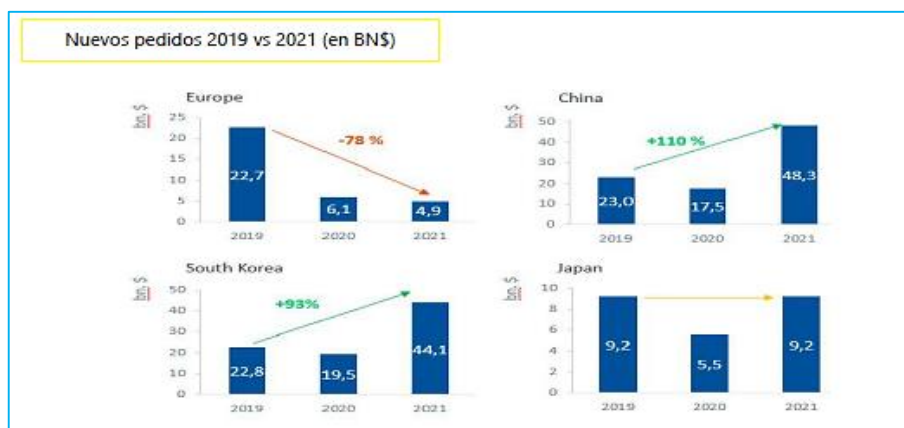
Variación en la actividad comercial en los astilleros a nivel mundial en los últimos veinte años.



Nota. La figura muestra la productividad medida en unidades de arqueado bruto compensado. Fuente: Sea Europe/ IHS FairPlay, (2021).

Figura 2

Efectos de la pandemia por COVID-19 sobre los nuevos pedidos.



Nota. La figura muestra los valores porcentuales de la variación de los nuevos pedidos entre el año 2019 y 2021. Fuente: Sea Europe/ IHS FairPlay, (2021).

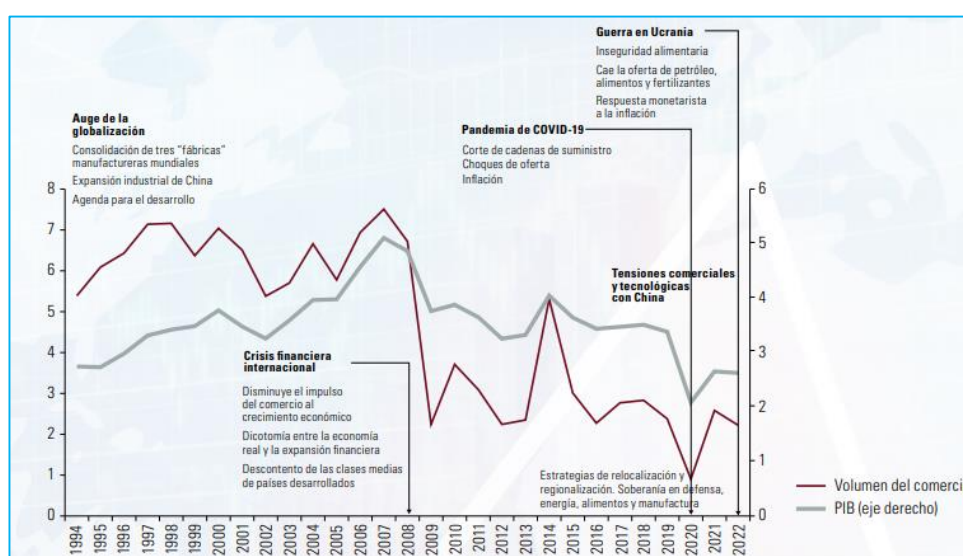
En suma, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en su Revista “Repercusiones en América Latina y el Caribe de la guerra en Ucrania: ¿Cómo enfrentar esta nueva crisis?”, señala que:

La disputa comercial entre los Estados Unidos y China y posteriormente la pandemia de COVID-19 se tradujeron en rupturas en diversas cadenas productivas manufactureras. El caso más destacado es el de los microprocesadores, por sus efectos en un gran número de actividades que van desde la producción de hardware hasta la de automóviles y maquinaria industrial. En este contexto, han surgido cuestionamientos al modelo de globalización basado en cadenas de producción que operan con métodos productivos y de entrega justo a tiempo (just in time) y con bajos inventarios. Además, la guerra en Ucrania expande significativamente las disrupciones a los sectores de producción primaria (petróleo, gas, aluminio y cereales) y a sectores industriales que producen insumos de uso generalizado en la agricultura, por ejemplo, fertilizantes. En un sistema productivo tan integrado como el que se había desarrollado, las disrupciones en el sistema de transporte marítimo (saturación de puertos, largos períodos de espera de los barcos y alza de los fletes) tuvieron fuertes efectos en la logística de las cadenas y sus costos de operación. Incluso hechos puntuales, como el bloqueo del canal de Suez en marzo de 2021, mostraron la debilidad estructural de las cadenas y su gran vulnerabilidad a cambios exógenos. (CEPAL, 2022, p. 2).

Estos cambios han venido debilitando la globalización y no cabe duda que su eficiencia ha sido afectada por razones geopolíticas y con ello al comercio internacional (Ver figura.3).

Figura 3

Variación anual del PBI a nivel mundial y del volumen de comercio internacional.



Nota. La figura muestra la variación anual del PBI a nivel mundial y del volumen de comercio internacional de bienes desde 1994 hasta la actualidad. Fuente: CEPAL, (2022).

Esta crisis mundial repercute en el Perú y es por ello que entidades del estado se encuentran proponiendo iniciativas que puedan contrarrestar sus efectos, creando políticas que buscan desarrollar el sector de la industria naval, como lo indicó el Ministerio de Economía y Finanzas en su Resolución Ministerial No 170-2022-EF/10, la cual describe que “la industria naval se encuentra dentro de las actividades estratégicas que contribuye de manera directa e indirecta en el crecimiento, desarrollo sostenible y competitividad en la industria, impulsando la producción nacional con valor agregado,

generando competitividad y puestos de trabajo” (2022, p.1). Estas acciones que impulsan la industria naval en el Perú, se da porque:

Actualmente más del 90% del comercio mundial se realiza por mar, calculándose que alrededor de 100,000.00 buques mercantes transportan bienes y recursos hacia los principales puertos del mundo; en consecuencia, los grandes y acelerados cambios en la producción de bienes y servicios, así como de tecnología, requieren desarrollar una industria que esté a la par con esta nueva forma de intercambio comercial donde la industria naval tiene un rol fundamental. (R. M. No 170-2022-EF/10, 2022, P.1).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, se puede deducir que la industria naval es un eslabón estratégico para el desarrollo de los países. El Perú ha venido manteniendo una proyección en el sector de la producción, por consiguiente, se están generando esfuerzos que contribuyan al desarrollo del país en aras del interés público. Estas iniciativas buscan aumentar la competitividad y productividad en la industria naval. Tal es así, que instituciones y empresas como la Marina de Guerra del Perú (MGP) y los Servicios industriales de la Marina (SIMA) vienen desarrollando proyectos de construcción como las lanchas de interdicción marítima *Combat Boat CB-90 HSM* y el buque multipropósito BAP PAITA, además de presentar iniciativas como la siguiente:

Se constituiría en el motor económico nacional a partir del empleo en la Industria Naval mediante la construcción de, inicialmente, 23 buques

para la Marina de Guerra del Perú, a ser construidos en un periodo de 30 a 40 años, que potenciaría a los Servicios Industriales de la Marina (SIMA-PERÚ) y generaría una cadena de valor, la cual incidirá, de manera muy positiva, en la creación de empleo de calidad y en el cierre de las brechas sociales de nuestro país; tomando en cuenta que este enfoque es de carácter integral, en el que participarán sectores como Educación, Transportes y Comunicaciones, además de los Ministerios de Trabajo, Producción, Relaciones Exteriores e instituciones como el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) entre otros. (Noticias Navales, 2022).

También, se indica que durante los últimos años la industria de reparaciones marítimas navales en el Perú “presenta una fuerte competencia regional frente a: MEC Shipyards en Panamá (antes Braswell); Astinave, Vatadur y Asenabra en Ecuador, Cotecmar en Colombia, Marco Chilena Group, Detroit, Asenav y Asmar en Chile” (Política Nacional Marítima, 2019, p.46). Además, este documento indica que:

Durante los últimos años, se ha efectuado una importante inversión en el SIMA a fin de potenciar la industria naval. Ello ha permitido desarrollar proyectos de gran envergadura, como la construcción del buque escuela a vela BAP UNIÓN, el más grande de América, y el BAP PISCO, unidad multipropósito de tipo LPD con más de 10 000 TN de desplazamiento, concebido y diseñado para desempeñarse en operaciones navales, además de acciones cívicas y ayuda humanitaria.

También se logró la modernización de los submarinos peruanos con tecnologías para el corte de casco resistente, la construcción de patrulleras marítimas oceánicas, entre otros proyectos. (D. S. No N° 012-2019-DE, 2019, P.46).

El reto de aumentar la competitividad y la productividad en el sector de la industria naval, afectará de forma directa a la construcción, mantenimiento y reparación de buques. Este escenario, obliga a los astilleros a mejorar la gestión de sus procesos y así mejorar su competitividad.

En suma, la discontinuidad e intermitencia de la demanda actual de los astilleros, convierte a la subcontratación en una forma idónea de contratación que permite sofocar tal demanda y de esta manera poder variar los costos, reduciendo los costos fijos de las empresas de contratación directa. Así como poder obtener otras ventajas tanto en términos de costo como en términos de talento y de tecnología. Por lo tanto, la aplicación de nuevas técnicas y herramientas basadas en metodologías contribuirá a mejorar los procesos constructivos de estas empresas contratistas emergentes.

Por consiguiente, se debe desarrollar proyectos cada vez mejorados para ser más competitivos en calidad, costos y en tiempos de ejecución. Por ello, los proyectos deben ser mejorados desde su diseño hasta su planeamiento y ejecución, generando valor agregado, en cada etapa.

En esencia, las empresas contratistas en el Perú que se dedican a brindar servicios de fabricación, reparación, y montaje de estructuras metálicas en el sector de la construcción naval, mantienen una preocupación

constante por mejorar su producción y mantener sus costos bajos, de tal forma que puedan obtener ganancias mayores en plazos cortos. Sin embargo, la creciente competencia y altos estándares solicitados por los clientes, impulsa a estas empresas a cambiar el pensamiento para competir y mantenerse en el mercado. Es por ello, que surge la necesidad, no sólo de mejorar sus rendimientos, sino también de satisfacer la necesidad de sus clientes.

La Investigación se ejecuta en la empresa SERVICIOS TÉCNICOS S.A. proveedor del estado, capacitado y homologado por la empresa SIMA callao. La empresa, cuenta con más de 25 años de experiencia dedicada a la construcción, mantenimiento y reparación de buques para la armada peruana y embarcaciones comerciales. En contraste, la falta de aplicación de técnicas de mejora de la productividad y la falta de gestión de los recursos asignados, obligan a aplicar metodologías ágiles que permitan controlar los procesos productivos. Esto, no solo conlleva a que se sigan dando retrasos en los plazos de entrega, sino también, genera insatisfacción en sus clientes y pérdidas económicas. De lo anterior, se puede deducir la disminución de la calidad en el producto terminado, al efectuar un servicio deficiente.

En ese sentido, surge como propuesta, para la mejora de la productividad, la aplicación de la metodología *Lean Construction*, utilizando algunas de sus diversas herramientas, como el nivel general de actividad (NGA) y cartas de balance (CB), las cuales serán empleadas para la mejora del proceso constructivo naval en la fabricación de estructuras, realizando un diagnóstico del desarrollo de la construcción modular de un buque

multipropósito, tomando como base la fabricación de sub módulos que componen la construcción del buque para el proyecto “Construcción de un Buque Multipropósito Clase Makassar BAP PAITA”, unidad perteneciente a la Marina de Guerra del Perú.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema general

¿Cómo la propuesta de mejora de la productividad basada en la metodología *Lean Construction* afecta a la construcción modular de un buque multipropósito?

1.2.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo las herramientas de la metodología *Lean Construction* mejoran la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito?
- b) ¿Cuáles son las actividades que no generan valor y que afectan la mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología *Lean Construction*?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar propuestas de mejora en la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología *Lean Construction*.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las herramientas de la metodología *Lean Construction* que mejoran la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.
- b) Identificar las actividades que no generan valor mediante la metodología *Lean Construction* que afectan la mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al aplicar la metodología *Lean construction* mejorará la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Las herramientas de la metodología *Lean Construction* mejorarán la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito.
- b) Al mitigar las actividades que no generan valor, identificadas mediante la metodología *Lean Construction*, mejorará la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la actualidad, la construcción naval moderna se ha desarrollado a grandes escalas, siendo el diseño modular la estrategia para el mejoramiento de la construcción naval militar, según Arnheiter E. y Harren H. (2005), “la modularidad es el uso de módulos para facilitar el ensamblaje y la configuración personalizada de productos terminados. Esta técnica, puede simplificar y facilitar el diseño de sistemas de producción” (p. 701). Además, en otro artículo, Los autores afirman que:

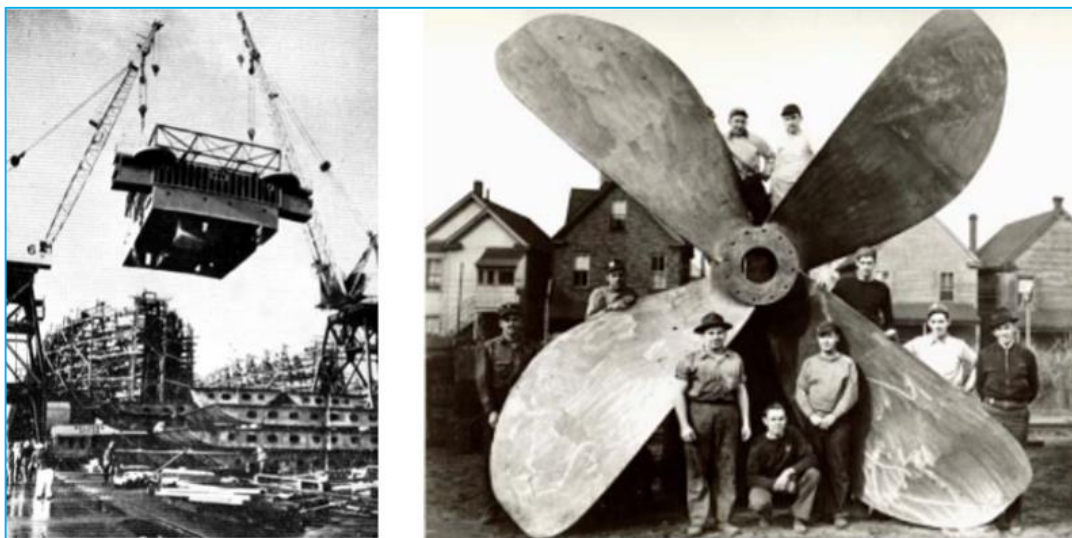
El desarrollo de la intercambiabilidad y la estandarización de piezas fueron, en muchos sentidos, los precursores de la “modularidad”. Estos conceptos no se originaron en los Estados Unidos. De hecho, ya en 1436 el Arsenal de Venecia utilizaba algunos componentes

estandarizados para construir buques de guerra. En 1785, Honore LeBlanc, un armero francés, le mostró a Thomas Jefferson un mosquete fabricado con piezas intercambiables. Entre 1801 y 1809, Eli Whitney y Simeon North produjeron 10.000 mosquetes para el gobierno de los EE. UU. basándose en el concepto de intercambiabilidad. Whitney llamó a su enfoque el "Sistema de Uniformidad". De 1815 a 1825, el primer uso a gran escala de la intercambiabilidad se vio en Springfield Armory en Massachusetts, bajo la dirección del coronel Roswell Lee (Hopp y Spearman, 2001). Así mismo, Durante la Segunda Guerra Mundial, Otto Merker investigó cómo se podía implementar la "modularidad" en la construcción de submarinos alemanes. Merker, con experiencia en la industria del automóvil, estaba convencido de que los largos plazos de entrega de la construcción naval eran un "legado de la construcción convencional única en los muelles". El almirante Donitz aprobó la producción de los nuevos diseños de submarinos modulares en agosto de 1943 (Rossler, 2001). En los EE. UU., la velocidad y la economía con las que se fabricaron los cargueros de la clase "Liberty" durante la Segunda Guerra Mundial fueron posibles en gran parte gracias a la adopción de técnicas de montaje modular. La Comisión Marítima de EE. UU. vio que la práctica empleada por los fabricantes estadounidenses de producir piezas en puntos centrales para ensamblarlas en otros lugares podría adaptarse a la construcción de barcos (Lane et al., 2001). (Arnheiter E. y Harren H., 2006, p. 85).

En tal sentido, es necesario tener en cuenta las referencias cronológicas, pues brinda información relevante para la investigación y entender la naturaleza de la modularidad y su relación con la estandarización, adaptabilidad y flexibilidad.

Figura 4

Montaje de un módulo en la construcción de buques clase Liberty.

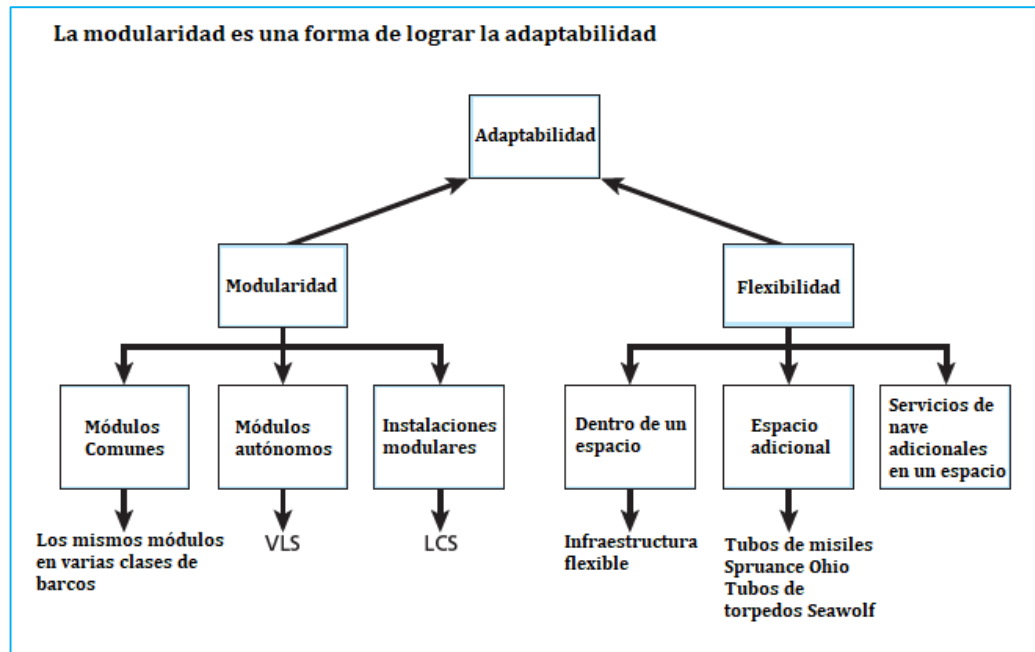


Nota. En la imagen se muestra el montaje o erección de módulos para la construcción de los buques clase Liberty. Fuente: imagen de página web, 2019, www.quevuelenaltolosdados.com.

En definitiva, según Piñeros et al. (2018), señala que “se desprenden a su vez dos conceptos como la modularidad y flexibilidad al describirse la capacidad de adaptación de un diseño proyectado a un futuro de desarrollo tecnológico y cambio sistemático para cubrir necesidades” (p. 12). En suma, se puede apreciar en la figura 5, la relación existente entre la modularidad, adaptabilidad y flexibilidad establecida por *RAND Corporation*, esquema al que hacen referencia los autores.

Figura 5

Modularidad aplicado a proyectos de construcción naval y su relación con la adaptabilidad y flexibilidad.



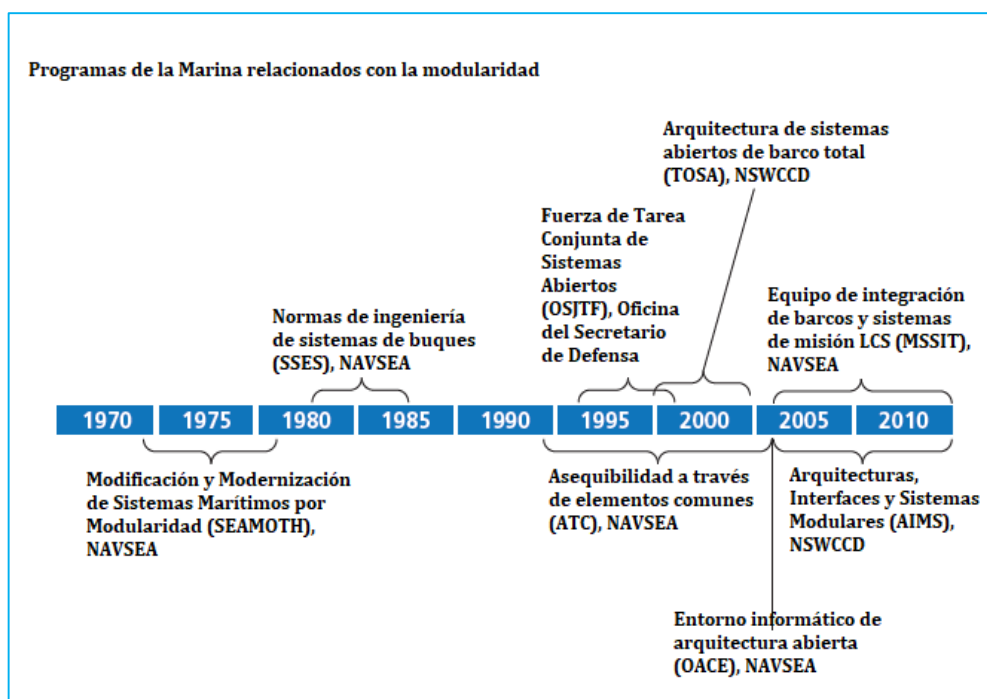
Nota. Relación establecida por RAND Corporation. Fuente: Piñeros et. al (2018).

En adición, Schank, J., et al. (2016), indica que: “la modularidad y la flexibilidad son conceptos relacionados pero distintos. Mientras que la modularidad se enfoca en la división funcional discreta en elementos aislados, la flexibilidad implica la adaptabilidad de la misión a través de futuras modernizaciones y mejoras” (p. 3). En resumen, la flexibilidad permite la instalación de una gran variedad de armas diferentes y sistemas de sensores, así como las diferentes configuraciones que llegan hasta la planta de propulsión con la finalidad de modificar y modernizar un buque. En suma, se muestra en la figura 6, la evolución de diversos programas modulares para la modificación y modernización de sistemas marítimos planteados por la

armada estadounidense. Cabe recalcar, que “el programa sugirió que las ventajas del sistema modular superaban cualquier desventaja y que un barco modular sería más efectivo que un barco que no incorporara conceptos de modularidad” (Schank, 2016, p. 8)

Figura 6

Estudios continuos sobre el sistema modular en el programa Ship Systems Engineering Standards (SSES).



Nota. En la figura se muestra las modificaciones y modernizaciones planteadas desde 1970 hasta el 2010 efectuadas por la armada estadounidense. Fuente: Schank, J., et al., (2018).

Por otro lado, Anuar, A., (2016), en su artículo, “A Review of Modular Construction Shipbuilding in Malaysian Shipyard”, detalla un recuento de la construcción modular aplicada en astilleros surcoreanos, específicamente indica que:

El comienzo de la historia de la industria de la construcción naval de Corea del Sur fue muy singular, por lo que se le llamó "comenzar sin nada". Fundada en 1973, HHI (Hyundai Heavy Industries), la primera y más grande historia de la construcción naval. Dicho esto, se dio el primer pedido para HHI, como lo fue un VLCC (Very Large Crude Oil Carrier) de 260 000 DWT, el cual se completó simultáneamente con la gran inauguración del astillero. Esto se dio, bajo el fuerte apoyo de la política industrial del gobierno de Corea del Sur que enfatizó en la industria pesada en las décadas de 1970 y 1990. En consecuencia, HHI ha podido invertir su capacidad tanto en calidad como en cantidad, así como enfatizar la capacitación de la fuerza laboral. Por otro lado, el segundo y tercer astillero más grande del mundo, SHI (Samsung Heavy Industries) y DSME (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering) respectivamente, también se fundaron y ampliaron sus instalaciones durante un período de tiempo similar. En consecuencia, en el año 2000, la familia de constructores navales de Corea del Sur alcanzó el estatus de constructor naval número uno del mundo superando a sus pares japoneses en términos de pedidos recibidos y pedidos pendientes. Finalmente, A partir de hoy, a pesar del feroz desafío de China, Corea del Sur ha mantenido una posición de liderazgo debido a la tecnología superior, fuertes inversiones en I+D y sistemas de gestión de la calidad. (p. 136).

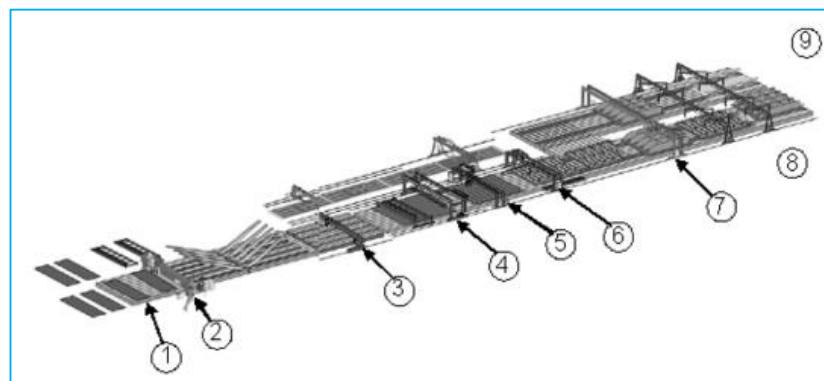
Así mismo, Anuar, A., (2016), indica que “la construcción modular se obtuvo a partir del planteamiento de la metodología *Lean Production*, una

teoría aplicada en la industria naval, tal cual lo propuso, por primera vez, la industria de la construcción naval de EE.UU.” (p. 136). En adición, plantea que los principios básicos de la construcción modular son: a) especificar el valor a partir de la percepción del cliente, b) identificación del flujo valor, c) flujo (flow), d) tirar (Pull) y e) Perfección (Calidad aceptable).

Seguidamente, Kolic D., et al. (2011), plantea que “el proceso de ensamblaje de módulos comienza con la producción de paneles y conduce a bloques completos listos para su montaje en la grada o en el muelle de atraque” (p. 74). Según el autor, existen nueve actividades principales que crean valor agregado en la fabricación de módulos, las cuales se describen en la figura 7.

Figura 7

Línea de ensamblaje de módulos.



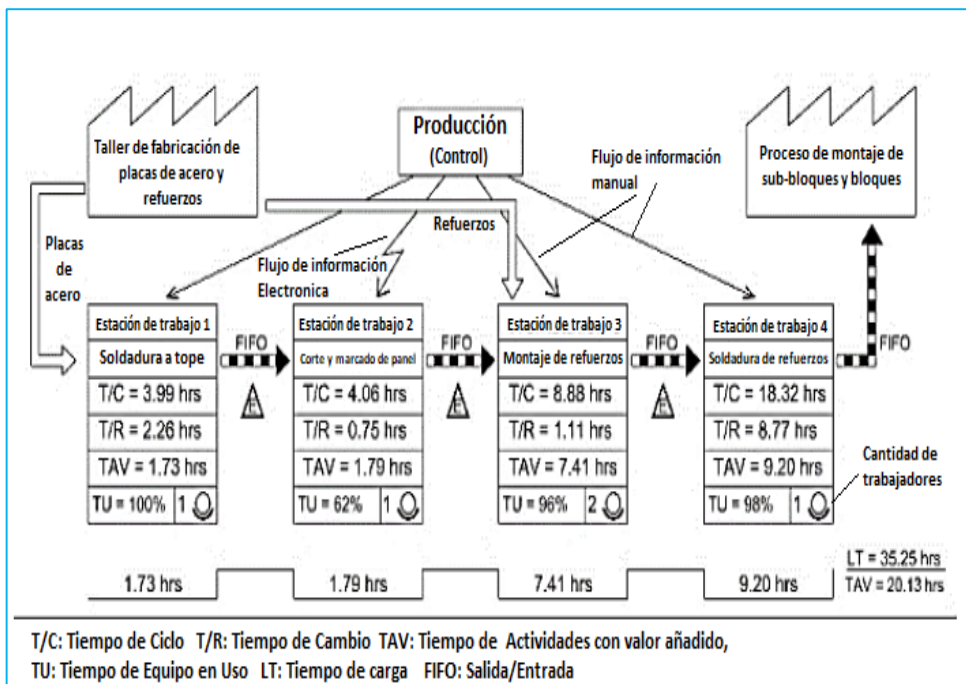
Nota. En la figura se puede apreciar las nueve actividades que agregan valor, las cuales son: 1) ensamble de placas, 2) soldadura de placas, 3) diseño de paneles, 4) colocación de refuerzos, 5) soldadura de refuerzos, 6) montaje de estructura interna, 7) soldadura y equipamiento de unidades armadas, 8) torneado y montaje 9) soldadura y equipamiento de módulos. Fuente: Kolic et al, (2011).

En síntesis, Oliveira y Gordo (2018), en su artículo, “Lean Tools Applied to a Shipbuilding Panel Line Assembling Process”. Presentan un análisis de una modificación simple aplicada en la secuencia del proceso de la línea de ensamblaje de paneles, lograda mediante la aplicación de algunos conceptos claves del enfoque *Lean* basado en eliminar los siete principales desperdicios que se encuentran en la producción que son: sobreproducción, espera, movimiento, transporte, reprocesos, inventario y defectos. Los Autores plantean que la mejora del proceso de fabricación solo se puede lograr mediante la comprensión e interpretación del flujo secuencial original del proceso de producción (ver figura 8) y el análisis de los costos que involucra el proceso (ver tabla 1), para luego aplicar metodologías de mejora en la secuencia de producción. Esta secuencia está constituida por cuatro estaciones de trabajo, las cuales se describen a continuación:

- a) En la primera estación de trabajo, se realiza la unión de las placas que componen cada panel, utilizando la tecnología de soldadura por arco sumergido SAW (Submerged Arc Welding);
- b) La segunda estación, es responsable de completar el corte de la placa y el marcado automático donde posteriormente se colocarán los refuerzos;
- c) La tercera estación, consiste en el montaje manual de los refuerzos y su distribución y, por último,
- d) La cuarta estación, corresponde a la soldadura semiautomática GMAW (Gas Metal Arc Welding) de los refuerzos.

Figura 8

Mapa de flujo de valor para la secuencia original de la línea de ensamblaje de paneles.



Nota: En la figura se muestra cada estación de trabajo y los tiempos obtenidos por parte de la supervisión encargada. Fuente: Oliveira y Gordo (2018).

Tabla 1

Análisis de costos para la secuencia original.

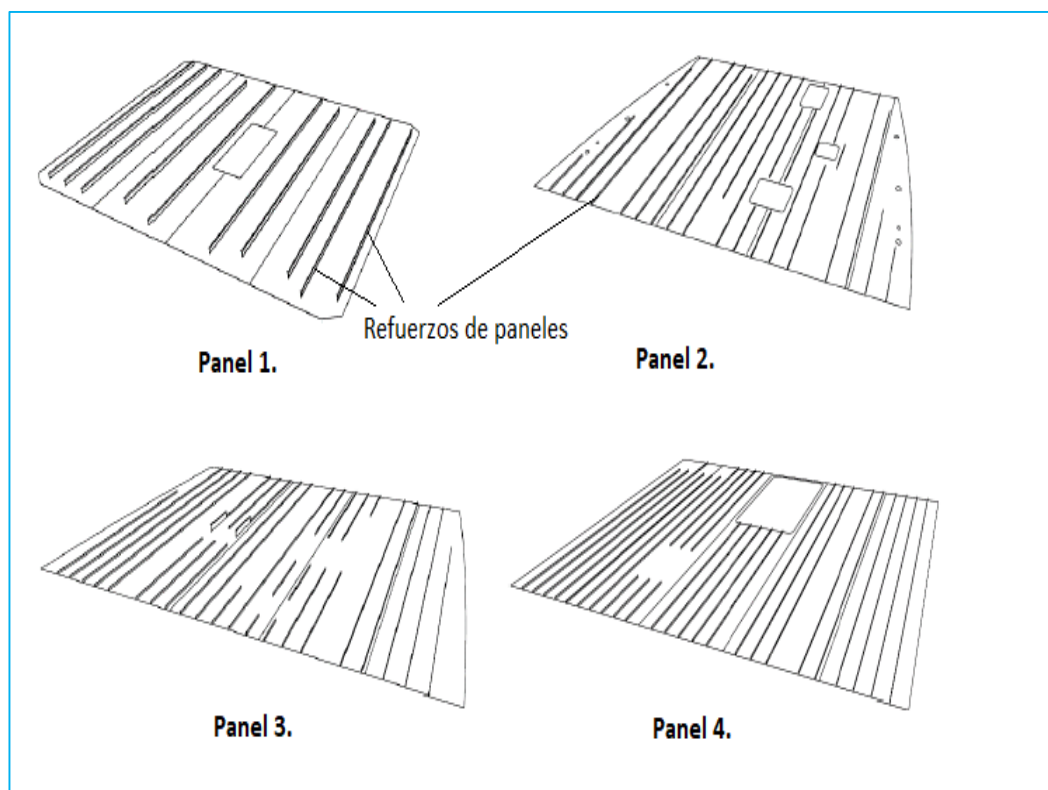
Estaciones de trabajo	Costos de consumibles (€)	Costo Laboral activo (€)	Costo de mano de obra inactiva (€)
Soldadura a tope	31.6	66.3	(-)
Corte de placa de panel	14.7	50.7	30.0
Ensamble de Refuerzos	86.6	340.6	14.7
Soldadura de refuerzos	234.5	431.2	7.1

Nota. Datos obtenidos por los autores. Fuente: Oliveira y Gordo (2018).

Para el estudio el autor utilizó diecinueve (19) placas que componen los cuatro (4) paneles y noventa y siete (97) refuerzos de diversas medidas que pasaron por el proceso de fabricación, tomando en cuenta características como las dimensiones de placas, cantidad de refuerzos y la longitud total de unión por soldadura eléctrica (ver figura 9). cabe mencionar que los paneles utilizados en el artículo formaban parte de la construcción nueva de un buque en el astillero portugués “WESTSEA Shipyard”, y los tiempos de las etapas de construcción de la línea de paneles correspondientes, se obtuvieron mediante la supervisión directa de los autores.

Figura 9

Disposición de placas y refuerzos.



Nota: En la figura se muestra los paneles utilizados para la investigación.

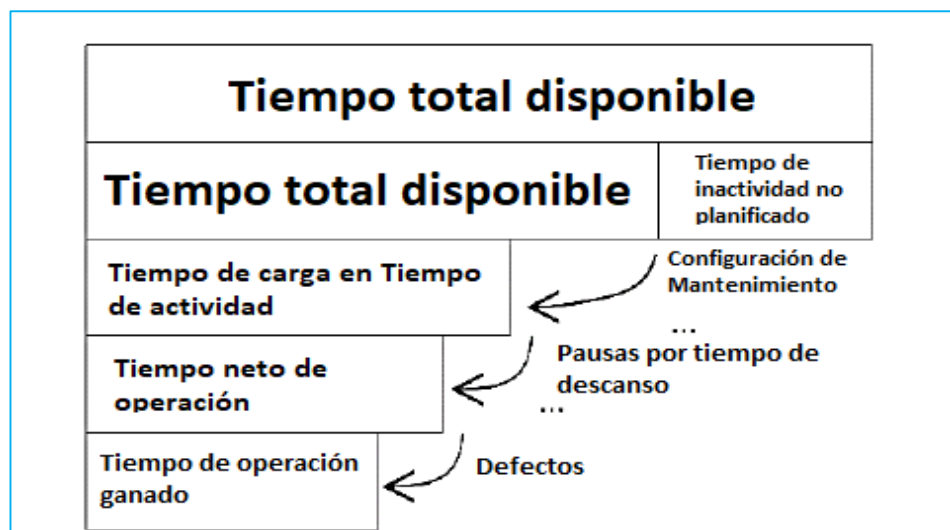
Fuente: Oliveira y Gordo (2018).

Para el desarrollo de la investigación, los autores realizaron tres modificaciones al flujo de valor original de la línea de ensamblaje de paneles. Siendo la última, donde se aplicó la metodología lean, mediante el concepto de la eliminación de los desperdicios mencionados en la primera parte y la eficiencia general del equipo OEE (Overall Equipment Efficiency) (ver figura 10 y tabla 2).

Los resultados obtenidos mediante las pruebas permitieron evidenciar que el uso de las herramientas Lean condujeron a obtener una disminución de los residuos OEE. Tal es así, que el caso de estudio indica una reducción del 10% del coste de producción y, simultáneamente, el tiempo necesario para completar el proceso de fabricación de los cuatro paneles se reduce en un 17%, pasando de 81,4 h a 66,2 h.

Figura 10

Actividades que no agregan valor al tiempo total disponible.



Nota. En la figura se muestra un análisis de pérdidas teniendo en cuenta la eficiencia general de equipo (OEE). Fuente: Oliveira y Gordo (2018).

Tabla 2*Costos obtenidos al reducir las pérdidas.*

Estaciones de trabajo	Costos de consumibles	Costo Laboral activo	Costo de mano de obra inactiva
Soldadura a tope	28.7	52.4	(-)
Corte de placa de panel	13.7	48.2	18.1
Ensamble de Refuerzos	86.6	340.6	5.3
Soldadura de refuerzos	227.3	341.5	10.4

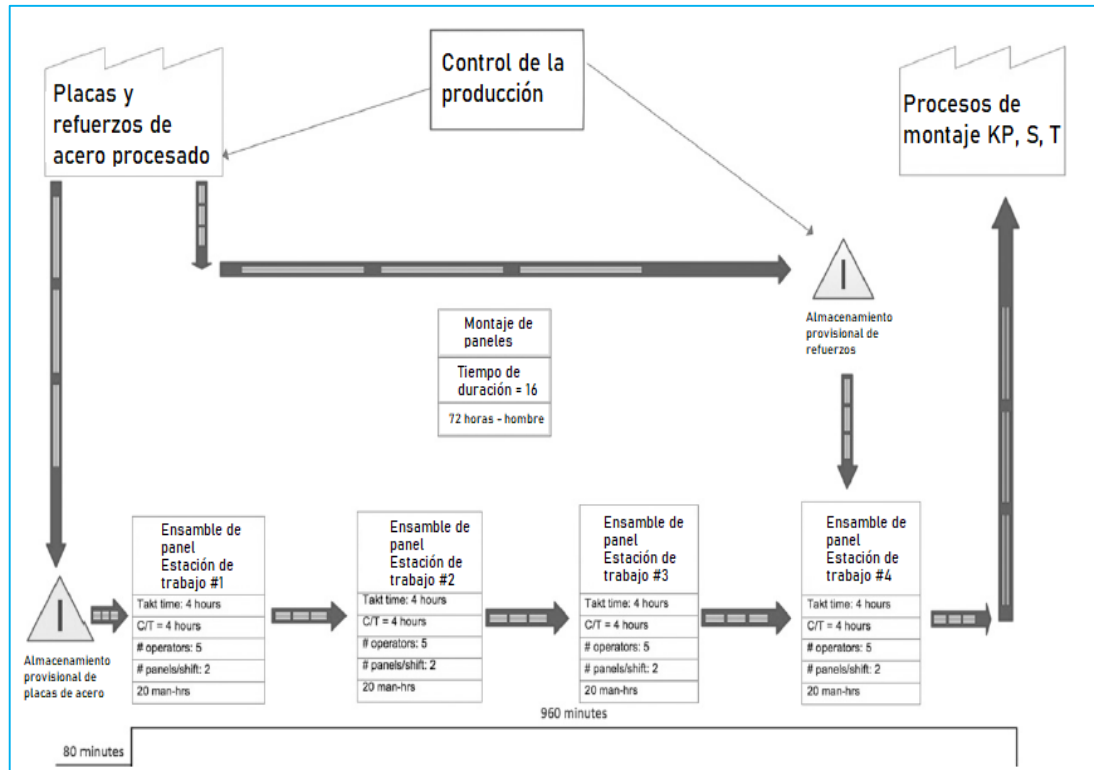
Nota. Todas las cantidades se encuentran en €. Fuente: Oliveira y Gordo (2018).

Finalmente, el artículo es sustancial para la tesis, puesto que la identificación de las pérdidas y propuestas para mitigarlas, evidencian una clara intención por parte de los autores de obtener mejoras para el proceso constructivo, aplicando herramientas de análisis basados en la metodología Lean.

Por otro lado, Kolic, D., (2017), en su artículo “Lean Methodology to Transform Shipbuilding Panel Assembly”. Realizó un estudio sobre la reducción de pérdidas en el proceso de ensamblaje de paneles, mediante la aplicación de la metodología *lean*, entre ella destaca el mapeo de flujo de valor para la línea de producción tradicional, la identificación de pérdidas y su planteamiento para el diseño de un nuevo mapeo de flujo de valor controlado (ver figura 11), aplicando las técnicas kaizen para la mejora continua. El autor asegura que los paneles representan más del 60% de los productos provisionales en los buques comerciales.

Figura 11

Mapa de flujo de valor de la línea de producción tradicional.



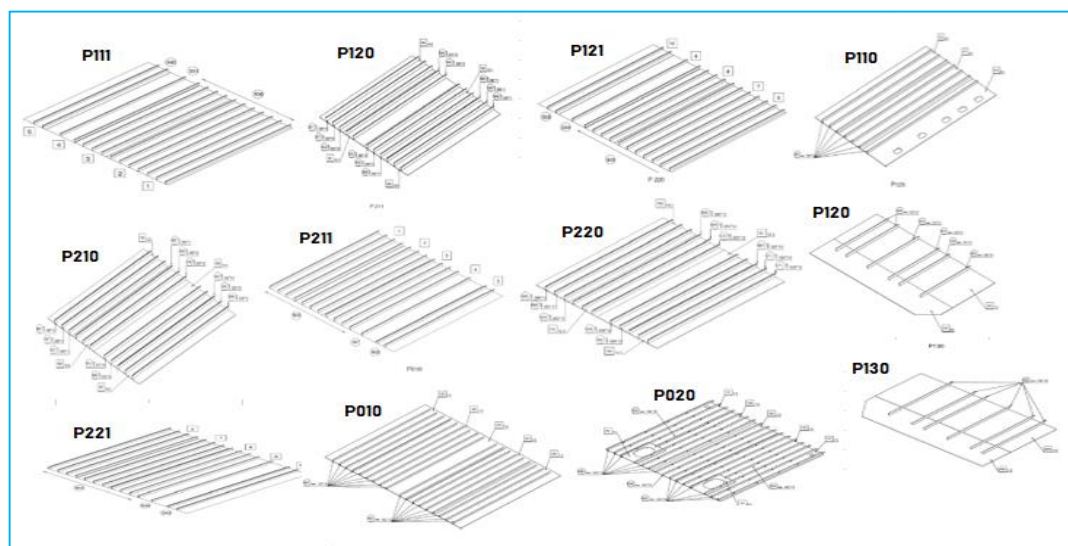
Nota. En la figura se muestra todas las etapas en proceso de ensamblaje de paneles. Fuente: Kolic, (2017).

Para realizar el mapeo de forma correcta en el proceso de ensamblaje, fue necesario analizar las características de cada panel, así como las horas hombre programadas para realizar la fabricación. Todos estos datos se muestran en la tabla 3. Así mismo, en la figura 12 se muestra la forma y la distribución de los paneles utilizados para la investigación. Por consiguiente, una vez realizado el análisis el autor logra obtener un diseño para el mapa de flujo de valor de la línea de producción futura como se puede evidenciar en la figura 13.

Tabla 3*Características técnicas de los paneles.*

CÓDIGO DE PANELES	HORAS - HOMBRES	MASA (kg)	ESPESOR DE PANEL (mm)	LONGITUD DE PANEL (mm)	ANCHO DE PANEL (mm)	ALTURA DE REFUERZOS (mm)	ESPESOR DE REFUERZOS (mm)	LONGITUD DE REFUERZOS (mm)	CANTIDAD DE REFUERZOS POR TIPO	CANTIDAD DE REFUERZOS
C_P110	99	16756	13	10540	11050	300	12	121550	4	11
C_P111	112	23648	16	12500	11050	260	11	154700	3	14
C_P120	104	16815	13	10540	11050	300	12	121550	3	11
C_P121	112	23737	16	12500	11050	270	11	154700	3	14
C_P210	103	16756	13	10540	11050	300	12	121550	4	11
C_P211	115	23648	16	13110	11050	270	11	154700	1	14
C_P220	115	16815	13	10592	11050	300	12	121550	4	11
C_P221	113	23737	16	13110	11050	270	11	154700	1	13
B_P010	104	10600	7	10210	14000	150	10	183780	1	18
B_P020	105.5	9987	7.5	10750	11200	160	15	177234	1	17
B_P110	53.5	6122	9	10210	6510	160	15	71470	1	7
B_P120	39	2546	7.5	6368	4624	150	15	17502	1	6
B_P130	43	2259	7	6368	3507	150	10	23016	1	7
B_P210	53.5	6122	9	10210	6464	160	15	71470	1	7
B_P220	47.5	2556	7.5	7963	4623	150	15	17502	1	7
B_P230	39	2253	7.5	6247	3507	150	10	26852	1	7

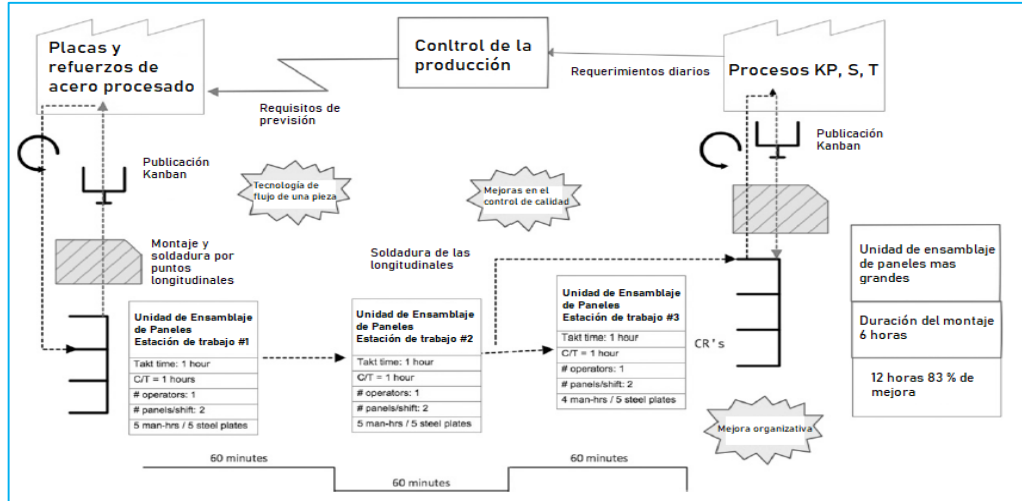
Nota. En la figura se muestra los paneles o productos intermedios que son parte de un grupo perteneciente a un buque quimiquero. Fuente: Kolic, (2017).

Figura 12*Códigos y disposición de los paneles.*

Nota. En la figura se muestran algunos paneles utilizados para la investigación y la distribución de placas y refuerzos. Fuente: Kolic, (2017).

Figura 13

Mapa de flujo de valor de la línea de producción futura.



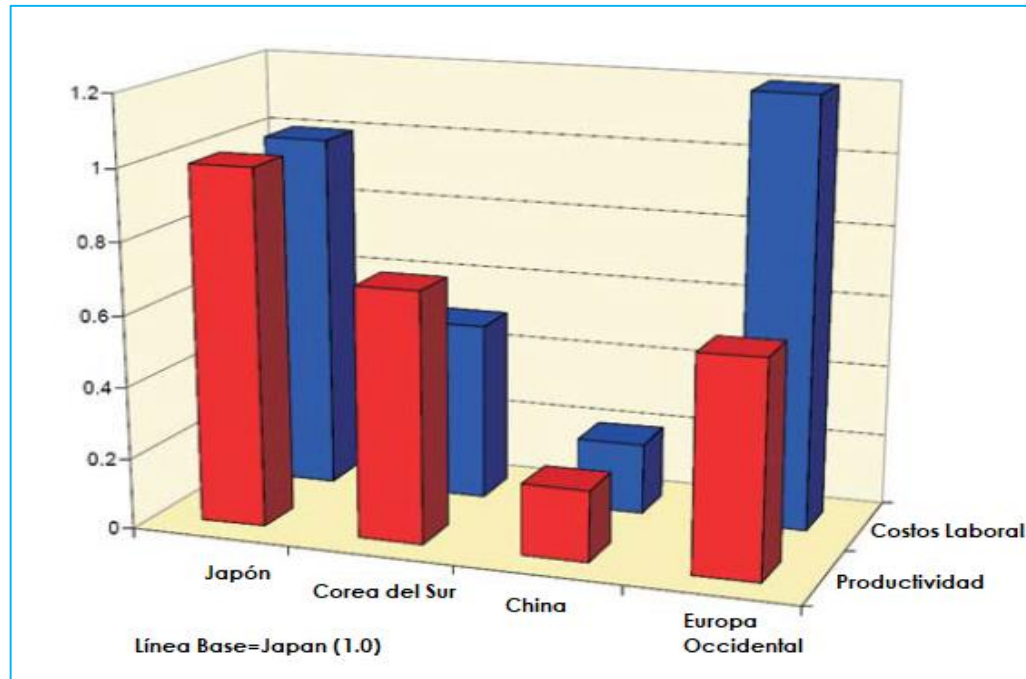
Nota. En la figura se muestra un diseño de flujo de valor basado en la aplicación de técnicas lean. Fuente: Kolic, (2017).

Para concluir, este artículo es importante para la tesis, porque detalla la modificación del proceso de fabricación en tres partes, tales como: (1) mapeo de flujo de valor de la línea de producción tradicional de paneles, (2) identificación de las pérdidas en el proceso constructivo y (3) propuestas de mejoras en la productividad orientada a la línea productiva de la fabricación de productos provisionales.

En adición, Kolic, Fafandjel y Zamarin (2013), en su artículo, "Lean Manufacturing Methodology for Shipyard" desarrolla un caso de estudio y crítica de los astilleros europeos mediante el análisis del proceso de ensamble de módulos tradicional (Ver figura15) y un plan alternativo para cambiar el estado de la línea de producción de los astilleros, para ello compara los niveles de productividad de la construcción naval de los astilleros europeos con respecto a los asiáticos (ver figura 14).

Figura 14

Análisis de los niveles de productividad en la construcción naval.

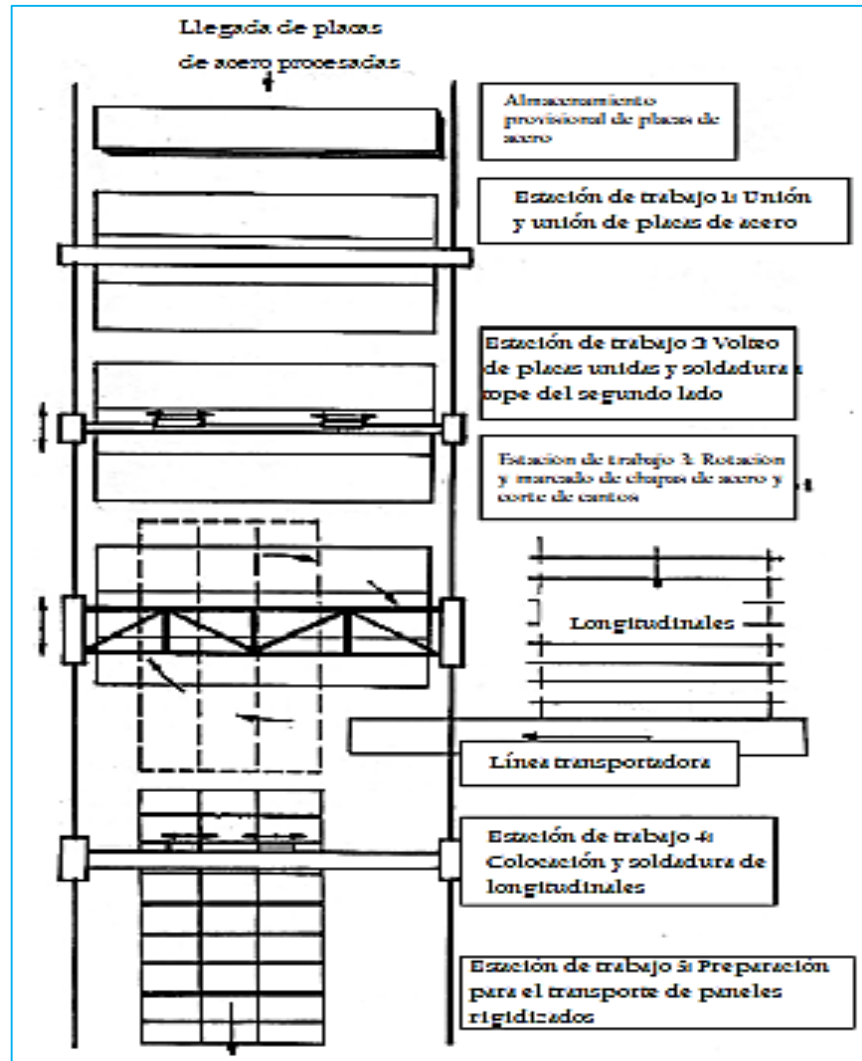


Nota. Las comparaciones mostradas en la figura se hicieron tomando como línea base la productividad y los costos laborales de Japón. Fuente: Kolic, et al. (2013).

Los autores proponen mejoras en la línea de producción tradicional produciendo resultados óptimos a través del análisis de las horas - hombre en el proceso de fabricación (ver figura16), esto se logra a través de la implementación y el monitoreo del enfoque lean en las instalaciones actuales del astillero. Describe los beneficios de la aplicación del lean manufacturing, la importancia y la estrategia para desarrollar la construcción naval a través de la competitividad.

Figura 15

Línea tradicional del proceso de ensamblaje de módulos.



Nota. vista de planta de la línea tradicional y sus respectivas fases para el ensamblado de paneles. Fuente: Kolic, et al. (2013).

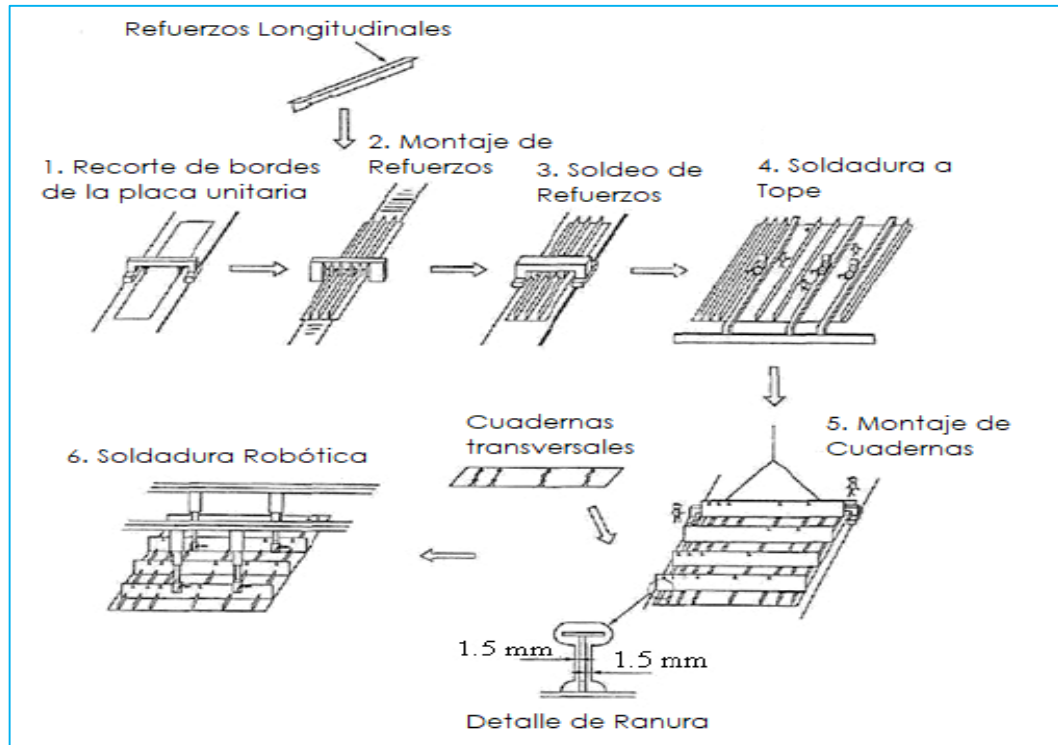
En la investigación, los autores realizaron un análisis de la comparación de tiempos de operación en horas-hombre (HH) para el ensamblado completo de bloques antes y después de las modificaciones. Para este fin, utilizaron el método de Monte Carlo que ayudó a la estimación y disminución del riesgo en el proceso de la toma de decisiones.

A continuación, se presenta la secuencia modificada la cual está constituida por cuatro estaciones de trabajo, que se describen a continuación:

- a) En la primera estación de trabajo se aceptan exclusivamente placas de acero individuales de entre 1,5 y 4,5 m de ancho, donde se recortan según sea necesario;
- b) En la segunda estación se instalan hasta cuatro longitudinales en el panel de la unidad “simultáneamente usando procesos automatizados;
- c) En la tercera estación de trabajo, los longitudinales se sueldan simultáneamente. Según el tamaño del panel rígido final, luego
- d) En la cuarta estación de trabajo se unen hasta seis paneles unitarios sobre los cuales los paneles unitarios rígidos se sueldan entre sí utilizando tecnología de soldadura automática de un solo lado, también conocida como respaldo de cobre fundente “Flux Copper Backing” (FCB).
- e) En la estación de trabajo 5 se da inicio al proceso de construcción de paneles.
- f) Finalmente, el uso de soldadura robótica en la estación de trabajo 6 mejora adicionalmente el proceso de fabricación al reducir las HH y el tiempo de duración del ensamble.

Figura 16

Modificación de la línea de fabricación.



Nota. Análisis de la modificación del proceso de fabricación reduciendo las horas hombre y el tiempo de duración del ensamble, adicionando la soldadura robótica. Fuente: Kolic, et al. (2013).

Así mismo se logra la transformación lean de la línea de ensamble de bloques siguiendo cuatro categorías, las cuales representan el armado de cuadernas (vigas transversales) con opciones viables que se utilizaron para el análisis del contenido de trabajo. Estas categorías se describen a continuación:

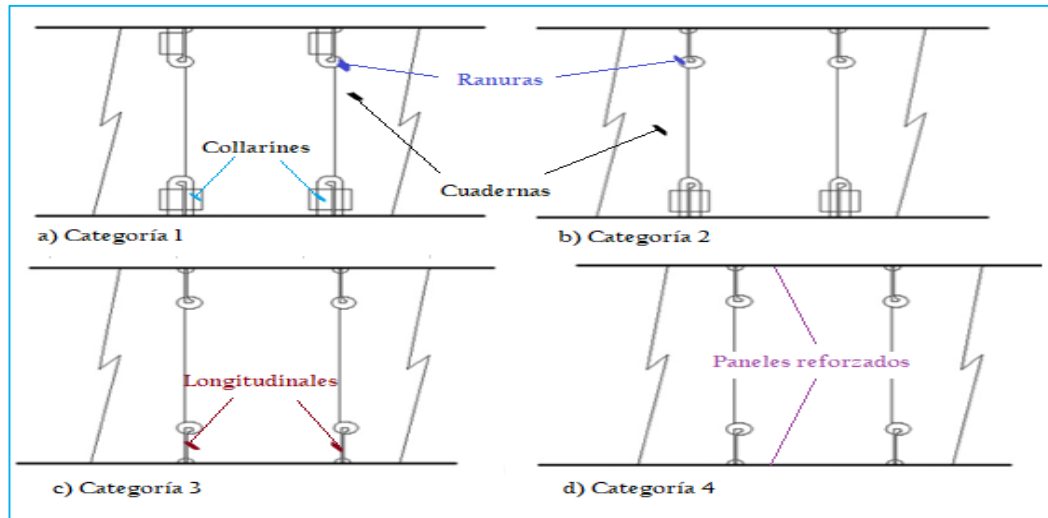
- a) En la categoría 1, las cuadernas con cortes se colocan sobre los longitudinales y luego se sueldan. Los longitudinales superiores tienen un collarín en un lado. Los longitudinales inferiores tienen

orejetas en ambos lados (Ver figura 17), representa el método tradicional que aún se usa en muchos astilleros.

- b) En la categoría 2 existe un panel construido ensamblado de forma tradicional con cortes en transversales mientras que el segundo panel se desliza a través de ranuras (Ver Figura 17).
- c) En la categoría 3, las cuadernas se deslizan sobre los longitudinales. Luego, los longitudinales superiores se deslizan a través de las ranuras superiores en los transversales y se ajustan. Finalmente, el panel de base ensamblado se voltea sobre una placa de base correspondiente y se suelda (ver figura 17).
- d) En la categoría 4, todos los longitudinales se empujan a través de ranuras ajustadas en los transversales ensamblados en una plantilla de matriz fuera de la línea del panel (ver figuras 17 y 18).

Figura 17

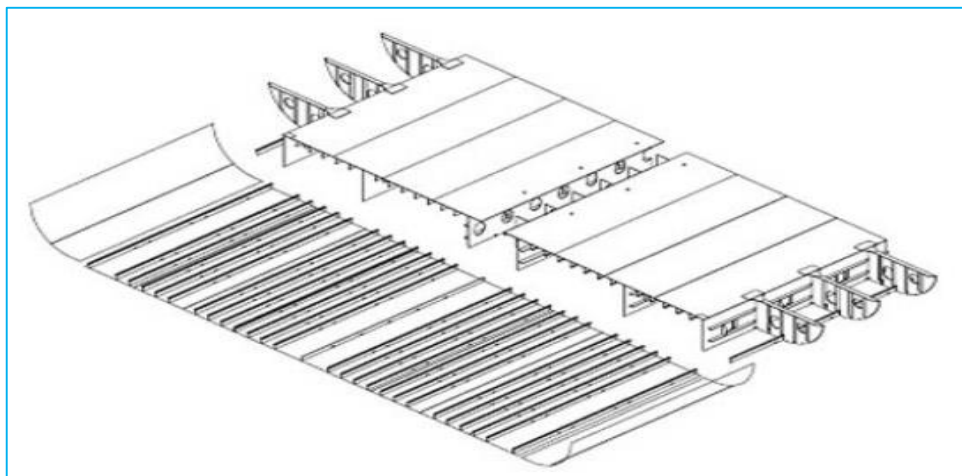
Categorías para el ensamblado de bloques.



Nota. En la figura se muestra las categorías para la actividad de ensamblado de bloques a ser analizadas de la manera tradicional y utilizando la transformación lean. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 18

Bloque típico de doble fondo.



Nota. En la figura se muestra un bloque perteneciente a un buque petrolero después de la aplicación de la transformación lean. Fuente: Kolic, et al. (2013).

Finalmente, los autores evidenciaron que cuando las transformaciones lean se aplican correctamente, organiza mejor los procesos de producción,

permite una mejor relación entre los trabajadores y la tecnología. También obtuvieron una reducción de las horas – hombre hasta un 60% con respecto al estado original. Concluyendo así, que es posible ser más competitivos en el mercado internacional.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el Perú, la construcción naval militar se ha desarrollado gracias a la innovación y las políticas exteriores mediante el intercambio tecnológico en el sector defensa. Según la revista Ciencia y Tecnología para la Defensa (2018), “El B.A.P. UNIÓN es un buque escuela a vela construido para la Marina de Guerra del Perú y que marca una nueva etapa en la construcción de alto bordo, actividad retomada por el SIMA-PERÚ S.A. después de 25 años” (p. 28). Así mismo, mediante la transferencia tecnológica en cooperación surcoreana con los Servicios Industriales de la Marina (SIMA), se ha logrado contribuir al desarrollo de la construcción naval. En ese sentido, Zapata (2016), en su artículo, “La Transferencia Tecnológica como Instrumento de la Política Exterior y de la Innovación: el Caso de la Cooperación Surcoreana en el Sector Defensa del Perú” menciona que:

El proyecto emblemático con asistencia técnica surcoreana comprende la construcción a bajo costo de dos buques multipropósitos, clasificados como *Landing Platform Dock* (LPD), equivalente al tipo Makassar de Indonesia, con capacidad para transportar 11 mil toneladas a plena carga. Estos barcos de alto bordo se están fabricando y ensamblando en el astillero SIMA Callao, haciendo uso del **sistema modular de**

construcción naval y del acero de alta resistencia de grado A y AH-32. Para tal efecto, la Marina contactó a la Agencia de Promoción de Inversiones y Comercio de la República de Corea (KOTRA) y a Daewoo International Corporation. (p. 17).

De lo anterior, se evidencia una orientación a la mejora en la construcción naval militar, mediante la implementación del sistema modular (ver figura 19 y 20). Esta información es importante para la investigación pues permite comprender la necesidad de la implementación de técnicas de construcción, adaptado a la realidad nacional y como es que se ha relacionado tanto su modularidad como su flexibilidad, es justamente el carácter de esta investigación la aplicación de nuevas técnicas que permitan mejorar la productividad de esta técnica constructiva.

Figura 19

Construcción de buque multipropósito BAP UNIÓN.



Nota. En la figura se puede apreciar la ejecución de la construcción mediante el sistema modular. Fuente: Ciencia y Tecnología para la Defensa, (2018).

Figura 20

Construcción de buque multipropósito BAP PAITA.



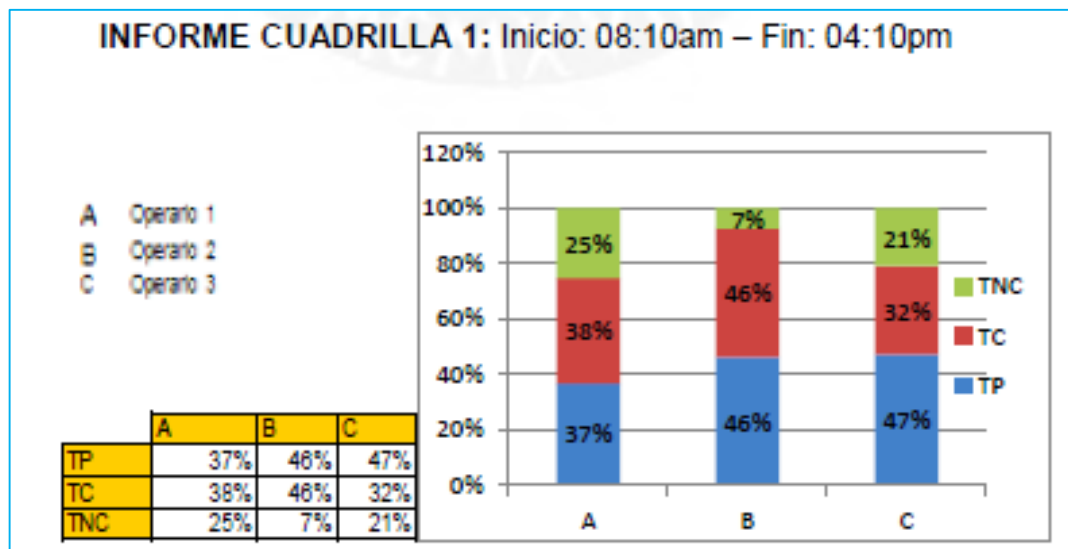
Nota. En la figura se muestra la erección del módulo H12 en el futuro buque multipropósito BAP PAITA. Fuente: infodefensa.com, (2022).

En síntesis, Carbajal, G y Bermúdez, D. (2017), en su tesis de pregrado que lleva por título “First run study y la optimización de procesos en la

construcción de muros anclados”, realiza una propuesta de mejora para el procedimiento de construcción de muros anclados en el Perú. Para lograr este objetivo analiza la mano de obra, el manejo de los equipos y el uso de materiales en las actividades programadas para las cuadrillas basándose en la metodología **lean construction**. El autor realiza una descripción del proceso constructivo de muros anclados y evalúa la productividad de las cuadrillas tradicionales por medio de la herramienta cartas balance (ver figura 21) obteniendo buenos resultados de rendimientos como se muestra en la figura 22. Se demuestra, mediante la optimización del proceso constructivo, una tendencia continua para el rendimiento de las cuadrillas de mano de obra en la ejecución de las actividades programadas, tal como lo indica la curva de productividad mostrada en la figura 23. lo interesante de esta investigación es el correcto análisis del proceso constructivo, la identificación de las deficiencias técnicas y como mediante la estandarización del trabajo se logra obtener una mejor distribución de los recursos asignados al proyecto sin afectar la calidad del producto terminado.

Figura 21

Descripción de resultados para la cuadrilla 1.



Nota. En la figura se muestra los porcentajes de TP, TC y TNC para cada trabajador que compone la cuadrilla 1 (tradicional). Fuente: Carbajal y Bermúdez, (2017).

Figura 22

Análisis de rendimiento contractual, planificado y ejecutado.

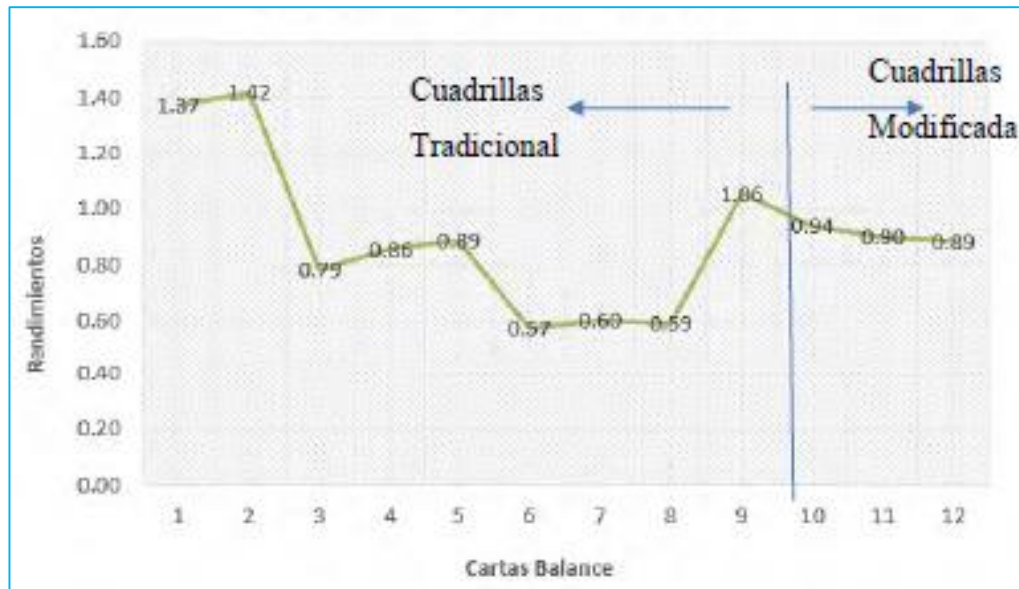
	Rend. Contractual	Rend. Planificado	Rend. Inicial Ejecutado	Rend. Promedio Ejecutado	Rend. Pico Ejecutado
Duración	5.89h	5.13h	3.00h	5.29h	3.34h
hh/m²	1.01	0.89	1.37	0.91	0.57

*Las dimensiones son de 3.50m x 5.00m
 *El rendimiento se calcula en base a la cuadrilla de 3 persona por encofrado de muro

Nota. En la figura se muestra un análisis de rendimiento para cada etapa del proyecto correspondiente a una cuadrilla de tres personas. Fuente: Carbajal y Bermúdez, (2017).

Figura 23

Curva de productividad para las cuadrillas tradicionales y modificadas.



Nota. En la figura se muestra una comparación de la productividad obtenida de forma directa mediante la aplicación de cartas balance para una cuadrilla tradicional y una modificada. Fuente: Carbajal y Bermúdez, (2017).

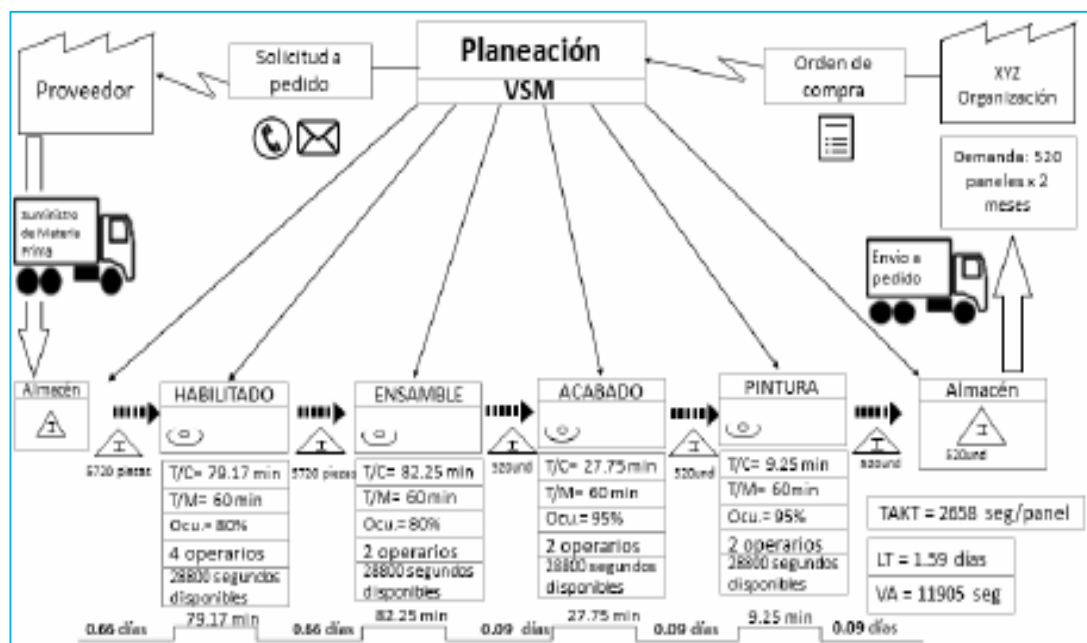
En suma, el autor comprueba que aplicando las herramientas carta de balance mantiene la calidad del encofrado de muros anclados, disminuyendo el costo de la mano de obra en la partida. Esta investigación es importante para el desarrollo de la tesis, porque señala las etapas y cálculos que se debe seguir durante la realización de la investigación, la cual será aplicada a la construcción naval.

Huamanchumo, M. (2021), en tu tesis de pregrado “Herramientas *lean* para mejorar la productividad de la fabricación de la línea de paneles metálicos en industrias Fabiola S.A.”, tiene el objetivo de evaluar la aplicación de las herramientas *Lean* para mejorar la productividad al reducir las deficiencias del

área de fabricación de la línea de paneles metálicos. El autor, evidencia desperdicios, tales como una gran cantidad de reprocesos, defectos en el producto, falta de capacitación del personal, el no cumplimiento de los plazos de entrega, pérdida de ventas y una reducción en el nivel de confiabilidad.

Figura 24

Mapa de flujo de valor para la línea de fabricación de paneles.



Nota. Fuente: Huamanchumo, (2021).

Específicamente, el autor propone la implementación de las herramientas *lean*, tales como el mapeo de flujo de valor (ver figura 24), la estandarización de los trabajos, kanban (ver figuras 25) y Lección de un punto. Estas herramientas mencionadas, permitieron reducir las pérdidas, comprobando que al aplicar correctamente la metodología *lean* se logra obtener beneficios en los procesos. En ese sentido, se indica en la tabla 4, una reducción considerable en los tiempos de espera después de aplicada las modificaciones del proceso de fabricación.

Figura 25

Formato de tarjeta Kanban para medición de la producción de paneles.

Tipo de Kanban
↓

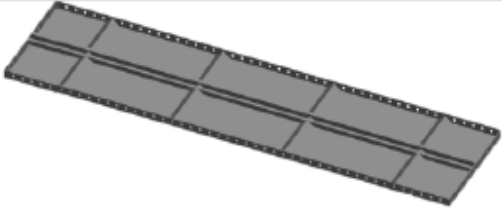
INFASA Industria Fabiola S.A.		KANBAN PRODUCCION	
Elemento	----->	ELEMENTO	PIEZA FINAL
Descripción	----->	DESCRIPCION	PANEL METALICO 600 X 2400 mm
Unidades a Producir	----->	UNIDADES	15
Nro de Tarjeta	----->	CANTIDAD KANBAN	01 DE 05
Imagen	----->		

IMAGEN
PIEZA FINAL

Nota. En la figura se muestra las características de los paneles donde se indica las características del producto. Fuente: Huamanchumo, (2021).

Tabla 4

Cantidad de tiempo de espera, en la fabricación de paneles.

Semana	Muestra Pre Test	Muestra Post Test
	Mayo 2021 – Junio 2021	Julio 2021 – Agosto 2021
1	555	282
2	595	281
3	639	285
4	421	282
5	744	286
6	717	281
7	730	283
8	417	282

Nota. Comparación de pre-test y pos-test de una muestra para los tiempos de espera en la fabricación de paneles metálicos. Fuente: Huamanchumo, (2021).

Tabla 5

Comparación de resultados antes y después de la implementación.

Hipótesis específica	Dimensiones de variable independiente	Dimensiones de variable dependiente	Indicadores por semana	Pre - test	Post - Test	Diferencia
1	Estandarización de trabajo	Reprocesos	Porcentaje de reproceso	58.63	12.13	Disminuyó 46.50 (79%)
2	Kanban	Tiempo de entrega	Porcentaje de tiempo de espera	602.25	282.75	Disminuyó 319.50 (53%)
3	Lección de un punto	Manipulación de una máquina herramienta punzadora	Porcentaje de errores en la manipulación de una herramienta punzadora	59.25	12.38	Disminuyó 46.87 (79%)

Nota. Muestra pre-test en la etapa de habilitado de la fabricación de paneles del mes de mayo y junio del 2021. Fuente: Huamanchumo, (2021).

Finalmente, la investigación concluye que las aplicaciones de las herramientas *lean*, reduce la cantidad de reprocesos en un 46.5%, también se evidencia una disminución en el tiempo de entrega de 53% y los errores por manipulación de una máquina se reduce en 46.87% (ver tabla 5). De esta manera, se puede desprender los beneficios de la metodología *lean* a través de la aplicación de sus herramientas. Por consiguiente, esta investigación es importante para la tesis, debido a que brinda una secuencia en cuanto a las mejoras que se pueden aplicar en la mejora del proceso de fabricación de módulos desarrollados en la construcción naval.

Por otro lado, Gilacopa, A. (2020), en su tesis de pregrado que lleva por título “Aplicación de la filosofía *lean Construction* para mejorar la productividad de las obras de edificaciones en la Ciudad de Tacna”. Realiza un análisis, por medio de las herramientas de la metodología *lean construction*, e identifica las actividades que generan pérdidas en el proceso

constructivo. Para lograr su objetivo, aplicó la técnica de recolección de datos mediante el muestreo del trabajo directo sobre las cuadrillas de mano de obra, el autor, realizó diez muestreos con un promedio de 397 observaciones mediante las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y la Carta de Balance. De este modo, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Valores porcentuales de la productividad para las muestras seleccionadas.

Muestra:	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Fecha	10/08/20	11/08/20	12/08/20	13/08/20	14/08/20
TP	31.91%	27.89%	21.11%	29.90%	29.15%
TC	48.99%	54.52%	55.53%	40.70%	49.25%
TNC	19.10%	17.59%	23.46%	29.40%	21.61%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Muestra:	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10
Fecha	21/08/20	24/08/20	25/08/20	26/08/20	27/08/20
TP	33.43%	21.36%	36.68%	35.18%	34.42%
TC	39.44%	55.03%	39.71%	34.42%	33.17%
TNC	27.13%	23.62%	23.61%	30.40%	32.41%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Nota. Valores porcentuales de los trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios(TNC) para cada muestra realizada por parte del autor. Fuente: Gilacopa, (2020).

Según el autor los resultados alcanzados en su investigación demuestran la importancia de realizar el monitoreo y evaluación, de forma continua, en el proceso constructivo. Finalmente, esta investigación es sustancial para la tesis porque aporta un enfoque metodológico para el

desarrollo de la investigación puesto que explica detalladamente las características del enfoque ***Lean Construction*** y su implementación en la búsqueda de la optimización de los procesos.

2.2. Conceptos básicos

2.2.1. Los efectos de la metodología lean en la construcción naval

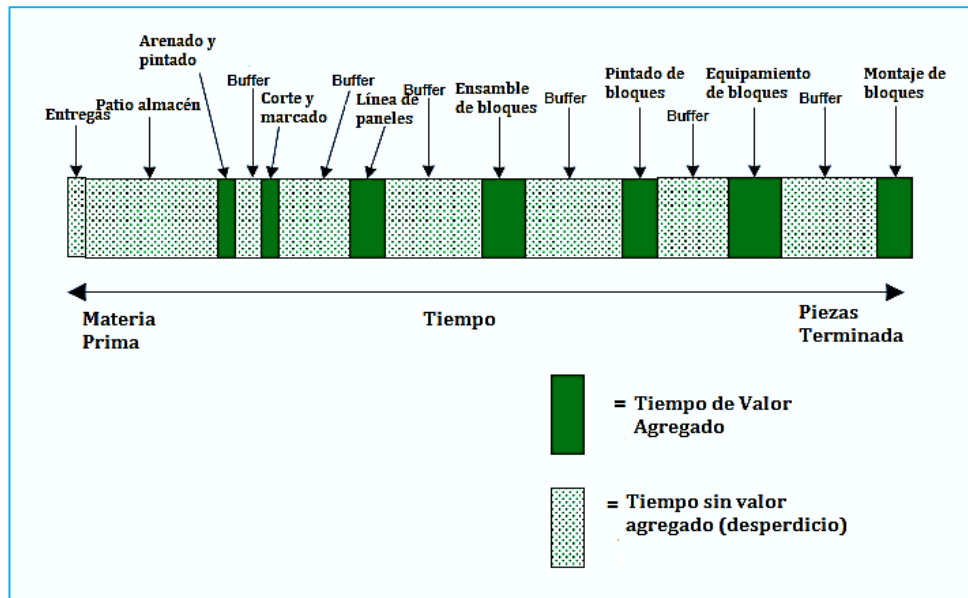
Actualmente, la metodología *Lean* plantea un cambio del modelo productivo, tal es así que, a nivel mundial, se han obtenido resultados en la eficiencia de los procesos constructivos y la construcción naval no ha sido la excepción. Según Liker y Lamb (2002):

El pensamiento *Lean* se enfoca en el flujo de valor agregado y la eficiencia del sistema en general. Por lo que, si una pieza se encuentra en una pila de inventario, ya es un desperdicio y el objetivo es mantener el flujo de los productos intermedios y agregar valor tanto como sea posible. El enfoque está en el sistema general y en la sincronización de las operaciones para que estén alineados y produzcan a un ritmo constante. (p. 4).

Metodologías aplicadas como *lean manufacturing* y *lean production* es un esfuerzo por obtener mejoras en la productividad dirigidas a la construcción naval, ajustando el producto a las expectativas del cliente de tal manera que el sistema general de la producción sea más eficiente, reduciendo el tiempo de ciclo necesario para las actividades con valor agregado (ver figura 26).

Figura 26

Actividades que generan valor y el tiempo de entrega del producto terminado.



Nota. La figura se puede apreciar, de forma clara, el desarrollo del proceso de fabricación de un módulo. Fuente: Liker y Lamb, (2002).

2.2.2. Productividad

El concepto de productividad está relacionado a sistemas y procesos que involucran recursos. Según Oglesby, Parker y Howell (1989):

La productividad tiene una variedad de significados. Se expresa comúnmente como un valor constante de producción dividido por los insumos, como las horas de trabajo. Para el propietario de una planta existente u otra propiedad o equipo, puede ser el costo por unidad de producción producida por la instalación. Para el constructor, una medida aproximada suele ser la cantidad o porcentaje cuyos costos están por debajo (o por encima) del pago recibido del propietario. Básicamente, todos estos enfoques, y otros que se podrían citar,

intentan medir la eficacia con la que se emplean las habilidades de gestión, los trabajadores, los materiales, el equipo, las herramientas y el espacio de trabajo en las actividades del frente de trabajo o en apoyo de las mismas para producir un producto terminado. (p. 5)

Por lo tanto, la productividad se define como la medida de la eficiencia con que los recursos son administrados para la obtención de un producto. En ese sentido se entiende como productividad al uso óptimo de un recurso.

2.2.3. Mejora de la productividad

Serpell, A. (2002). Indica que:

“Es la descripción que se presenta con relación a la gran cantidad de problemas que afectan a la construcción y ofrece una pauta para evaluar la situación que presenta una obra o empresa y que conllevan a tomar acciones correctivas orientadas a la solución de los problemas identificados”. (p. 47).

El autor menciona que para llevar a cabo el mejoramiento de la productividad es conveniente utilizar el ciclo de mejoramiento de la productividad cuyas etapas se presentan de la siguiente manera:

- Medición de la productividad que involucra toma de datos, análisis y procesamiento de la información.
- Evaluación de la productividad que compone el diagnóstico, identificación de problemas, determinación de cursos de acción y evaluación de alternativas.

- Sistemas o planes de mejoramiento como la implementación de estrategias, acciones de mejoramiento, el seguimiento y el control de la implementación y sus resultados.

Finalmente, Rodríguez, W. (2012). Indica que “existen más de 70 técnicas de mejoramiento de la productividad donde la medición del trabajo y el procesamiento de datos están orientados a la mejora del proceso, mientras que *Lean Construction* pertenece a las técnicas modernas de mejoramiento de la productividad” (p. 65).

2.2.4. Desperdicios o pérdidas en la metodología lean

Según Lamp (2001), “desperdicio es cualquier cosa que aumenta el tiempo y el costo de fabricar un producto, pero que no agrega valor al producto desde el punto de vista del cliente” (p.123). Actualmente existen 8 pérdidas, según *Lean Construction México*, (2021), “Desperdicio es toda aquella acción que consume recursos materiales, humanos, económicos y de tiempo, que no agregan valor al producto” (p, 221). Estos desperdicios son: inventario, sobre procesamiento, tiempos de espera, defectos, sobre producción, transporte, movimientos y talento no utilizado (Ver figura 27).

Figura 27

Desperdicios identificados por la metodología Lean.



Nota. La figura muestra los 8 desperdicios en la construcción planteados en la metodología lean construction. Fuente: Lean Construction México, (2022).

2.2.5. Lean construction

Rojas, M., Henao M. y Valencia M. (2016), define al “*Lean Construction*” como una filosofía que cambia el pensamiento tradicional de trabajo en el sector construcción mediante sistemas de gestión innovadores fundamentados en el análisis de pérdidas, planificando actividades con el objetivo de mejorar la productividad en la construcción” (p. 116). El término *Lean* significa “esbelto” o “sin grasa”, pone mucho énfasis en la eliminación del desperdicio, en consecuencia, todo lo que no genera valor para el cliente. Se emplea en aquellos sistemas productivos que optimizan los recursos disponibles, de tal manera que garantiza menos defectos en el producto y a

su vez mayor variedad. Su origen se encuentra basado en la metodología *Lean Production* desarrollado en Japón por *Toyota Motors*.

En síntesis, *Lean Construction* es una técnica que permite la optimización de las actividades que agregan valor a un proyecto de construcción, dirigido a la reducción o la posible eliminación de pérdidas durante el desarrollo del proceso constructivo. En consecuencia, *Lean Construction* posee herramientas específicas que permiten medir la productividad en las distintas actividades que se desarrollan en los proyectos de construcción.

2.2.6. Modelo de conversión de procesos

El modelo de conversión consiste en la transformación de la “materia prima” en un producto terminado sin considerar los flujos existentes en el proceso de conversión. Por ende, Es la forma tradicional de representar las actividades dentro de la construcción.

2.2.7. Modelo de flujos de procesos

Según Ghio (2001), “el modelo de flujo de procesos ve el trabajo como un flujo de información y/o materiales desde la materia prima hasta el final del producto terminado, compuesto por la conversión propiamente” (p.10). El proceso de conversión representa el aspecto de conversión de la producción, pero los transportes, las esperas y las inspecciones representan el flujo de la producción.

2.2.8. Muestreo de trabajo

Según Serpell, A. (2002) “la técnica de muestreo de trabajo es un modelo de medición del nivel de actividad de un proyecto u operación, sirve para medir el porcentaje de tiempo que la mano de obra y los equipos ocupan en ciertas categorías predeterminadas” (p. 173). También, plantea algunas características que definen la técnica, las cuales son.

- Es una medición para el análisis cuantitativo en términos de tiempo de las actividades del recurso.
- Se aplica principalmente a la mano de obra y/o equipos.
- Las observaciones de muestreo deben ser hechas en forma aleatoria.
- Se deben establecer categorías predeterminadas de actividades en las cuales clasificar las observaciones del recurso.
- Los resultados permiten realizar una inferencia estadística de las actividades de los recursos.

Además, esta técnica es ampliamente utilizada en el análisis de las operaciones en la industria manufacturera y obras de construcción, basado en una validación estadística que determina el grado de confianza, según Serpell, A. (2002) “Por razones estadísticas se recomienda que, en general, en cualquier programa de muestreo se realicen no menos de 384 observaciones, ya que de esta forma se obtiene una confiabilidad de 95% y un error no mayor al $\pm 5\%$ ” (p. 180). Por último, es recomendable que el observador presente

énfasis en la importancia de su labor, puesto que, de ello depende la independencia y aleatoriedad de cada observación.

2.2.9. Trabajo productivo (TP)

Es todo tipo de actividad que agrega, de forma directa, un valor al producto final. (Ejemplo: ensamble de placas de paneles, ensamble de refuerzos en paneles, confección de refuerzos, soldeo de refuerzos estructurales, etc.)

2.2.10. Trabajo contributorio (TC)

Se denomina así a las actividades de apoyo, que no aportan valor al producto final. Sin embargo, son necesarias para que se pueda realizar el trabajo productivo. (Ejemplo: trazado de líneas de referencia, transporte de materiales, maniobra, habilitación de equipos, indicaciones, etc.)

2.2.11. Trabajo no contributorio (TNC)

Es toda actividad que no genera ningún valor al producto final, se clasifican como pérdidas. Estas actividades no son necesarias y tienen un costo, por lo que se busca eliminarlas para mejorar el proceso productivo. (Ejemplo: Esperas, descansos, reprocesos, conversaciones, etc.)

2.2.12. Nivel general de actividad (NGA)

En primer lugar, la herramienta Nivel General de Actividad, que propone la metodología *Lean Construction*, permite obtener un resultado general de la productividad en una determinada obra y que puede servir como

un indicador de la eficiencia con que se están efectuando los trabajos en campo. Esto consiste, en realizar un seguimiento continuo de sus índices de trabajo, en sus distintas categorías, como los Trabajos Productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC), que se van desarrollando en toda la obra y para todos los obreros con la finalidad de tener un indicador claro del nivel de actividad real a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación.

Las mediciones se pueden realizar de distintas maneras dependiendo de la persona que las realice, pero lo importante de estas, es que se llegue a medir a todos los trabajadores involucrados en la ejecución. Para esto, las mediciones se deben realizar desde un punto estacionario, si es que se puede visualizar toda la obra desde ahí. Caso contrario, lo ideal es ir recorriendo la obra de principio a fin con la finalidad de realizar las mediciones por zonas.

Las mediciones en campo, se deben de realizar en escenarios normales de obra (no situaciones atípicas) y de preferencia en diferentes días de la semana para minimizar los efectos de la variabilidad y tener resultados más acordes a la realidad, esto basado en que algunos autores sostienen que la productividad del personal es mayor los días entre semana y es menor los días viernes y sábado.

2.2.13. Cartas de balance (CB)

La Carta de Balance o carta de equilibrio es una de las herramientas que permite medir la productividad para una actividad específica. Según Carbajal y Bermúdez (2017): “Esta consiste en anotar a detalle el tipo de trabajo o actividad que está realizando cada trabajador de una determinada cuadrilla en cierto intervalo de tiempo” (p. 20). En ese sentido esta herramienta permite describir el desarrollo de una actividad durante su ejecución. Además de registrar importante información como la cantidad de obreros más adecuada para efectuar una operación constructiva y el análisis de rendimiento (ver figura 28). Además, Serpell (2002), “La carta balance de una cuadrilla es un gráfico de barras verticales, que tiene una ordenada de tiempo y una abscisa en la que se indican los recursos que participan en la actividad que se estudia, asignándole una barra vertical a cada recurso” (p. 184). Tal como se muestra en la figura 29.

Algunos indicadores que se presentan al realizar una Carta de Balance son los siguientes.

$$\text{Nivel de Actividad Real (N.A.R.)} = \frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja}}{\text{tiempo que el recurso está presente}} \times 100\%$$

$$\text{Coeficiente de Participación (C.P.)} = \frac{\text{Tiempo que el recurso está presente}}{\text{tiempo total de la actividad}}$$

$$\text{Nivel de Actividad Relativo} = \frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja}}{\text{Tiempo total de actividad}} \times 100\%$$

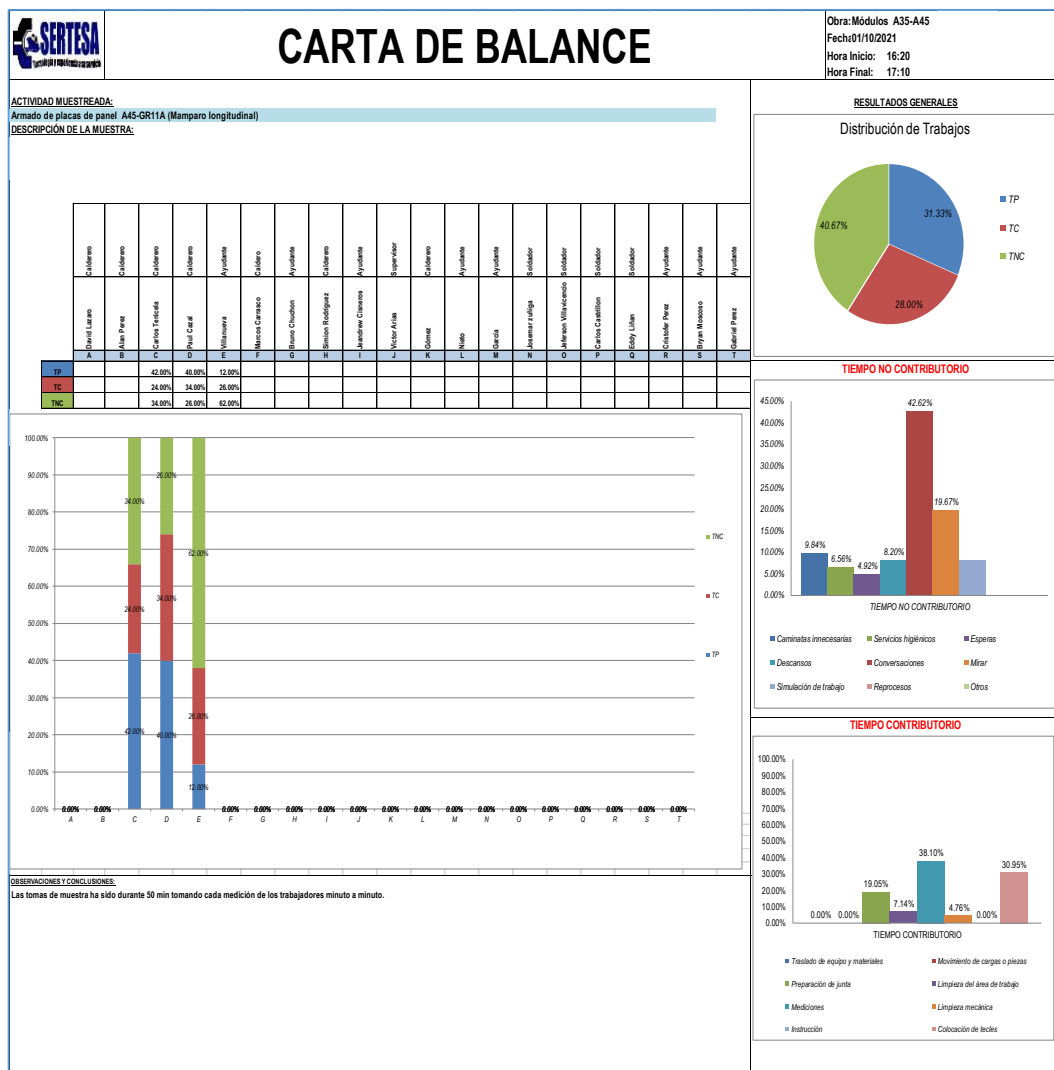
Según Quispe, R. (2017). “Con la información obtenida mediante el nivel de actividad real se obtiene un estudio orientado a la reducción de

tiempos improductivos” (p. 50). Por consiguiente, menciona la siguiente relación:

$$\text{Nivel de Actividad Real (N.A.R.)} = 100\% - \text{Porcentaje de trabajo no contributorio}$$

Figura 28

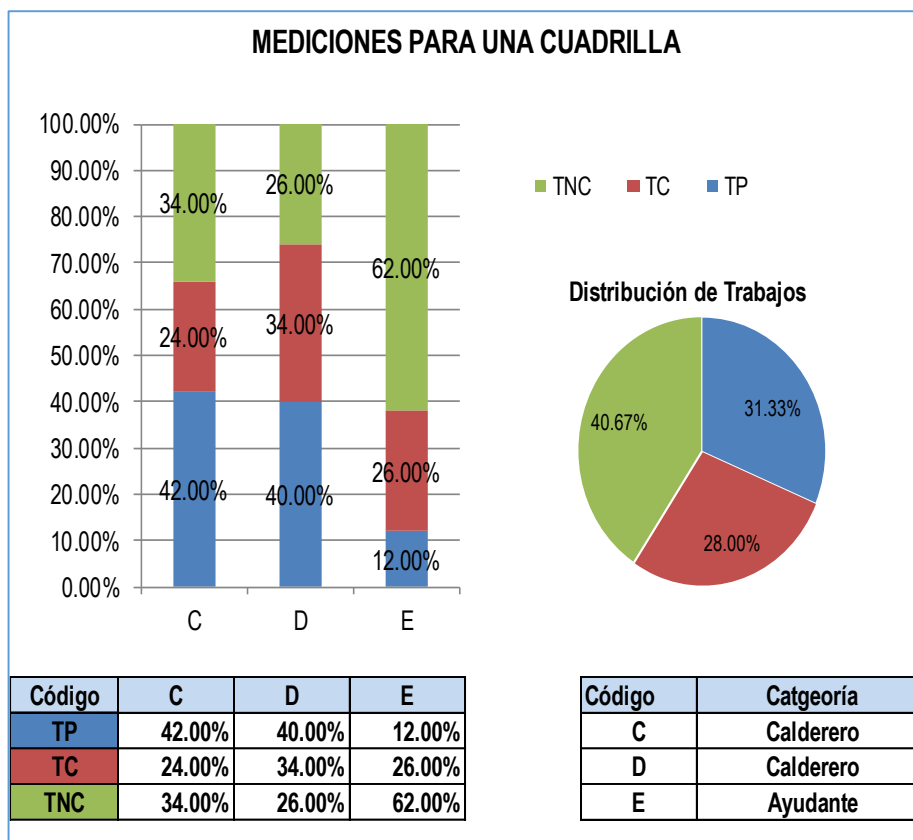
Formato de carta balance para cada cuadrilla que ejecuta una determinada actividad.



Nota. La figura se puede apreciar las características e integrantes de la cuadrilla para el muestreo durante cincuenta minutos para cada actividad.
Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 29

Resultados de los datos procesados mediante los formatos de cartas de balance.



Nota. La figura muestra los porcentajes de Trabajo productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC) y Trabajo no Contributorio (TNC) para cada trabajador que compone una cuadrilla. Fuente: Elaboración propia, (2022).

En una carta de balance, se selecciona un grupo de obreros, se toma un intervalo de tiempo (cada uno o dos minutos). Luego, para cada intervalo se verifica el tipo de trabajo que está realizando cada obrero en su actividad programada. Estas actividades son divididas en tres tipos de Trabajos, Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC).

Además, Según Serpell A., (2002), indica que “el objetivo de esta herramienta es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, de modo que no se pretende conseguir que los obreros trabajen más duro, sino en forma más inteligente” (p. 83). En consecuencia, las vías para mejorar la eficiencia del grupo de un trabajo que materializa las actividades de interés son, por lo tanto, la reasignación de tareas entre sus miembros y/o la modificación del tamaño del grupo que conforma la cuadrilla.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de investigación

En primer lugar, de acuerdo a la formulación del problema, objetivos e hipótesis planteados en el presente trabajo de investigación, se concluye que la investigación se caracteriza por ser de tipo: explicativo, cuantitativo y no experimental.

En síntesis, la investigación es de carácter explicativo. Puesto que, Según Hernández (2012), “una investigación será explicativa si se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto” (p. 26). En otras palabras, es la explicación del por qué y para qué del objeto de estudio con la finalidad de confirmar y/o rechazar las hipótesis propuestas. Por consiguiente, en el trabajo de investigación, se realiza el análisis de la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología *Lean Construction*. Para ello, se tuvo que realizar una investigación exploratoria; es decir, recopilación de la información

relacionada a la metodología *Lean Construction* a nivel nacional e internacional, la cual está compuesta por artículos, libros, tesis de investigación, revistas, etc.

También, la investigación posee un enfoque cuantitativo. Debido a que, según Ñaupas et al. (2013):

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos y el análisis de los mismos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis formuladas previamente, además confía en la medición de variables e instrumentos de investigación, con el uso de la estadística descriptiva e inferencial, en tratamiento estadístico y la prueba de hipótesis; la formulación de hipótesis estadísticas, el diseño formalizado de los tipos de investigación; el muestro, etc. (p. 45).

Por consiguiente, la tesis se clasifica como una investigación cuantitativa, ya que se realizó la recopilación de datos cuantificables por medio de la observación directa. Luego, a estos datos cuantificables se les dio un tratamiento, utilizando técnicas de cálculo estadístico, que conllevaron a resultados que fueron analizados en el desarrollo de la investigación.

Por último, la tesis se clasifica como una investigación no experimental. “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental” (Arias, 2012,

p. 31). En ese sentido, las condiciones existentes no fueron alteradas y la recolección de los datos fueron obtenidas directamente de la observación de los trabajos en campo. Además, las variables no fueron manipuladas ni controladas en el desarrollo de la investigación. En la tesis, la variable independiente es la “Metodología *lean construction*” y la variable dependiente es la “Mejora de la productividad”.

3.2. Unidad de análisis

En principio, la presente investigación tiene como unidad de análisis la productividad en la construcción modular en el proyecto Construcción del Buque Multipropósito B.A.P. “PAITA”, construido en el astillero Servicios Industriales de la Marina SIMA en la provincia constitucional del Callao. Por otro lado, la variable independiente de esta investigación, es la metodología *Lean Construction*, aplicando las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB) que proporcionan la medición de los indicadores de los niveles de productividad para la evaluación de las mejoras aplicadas.

3.3. Operacionalización de variables

Según Arias, F. (2012), “la operacionalización de variables es el proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores” (p. 62). Por consiguiente, en la tabla 7 se presenta la descripción de la operacionalización de variables y sus respectivos indicadores.

Tabla 7*Matriz de operacionalización de variables.*

Variable Dependiente: Mejora de la Productividad			
Definición	Dimensiones	Indicadores	Nivel
Es la descripción que se presenta con relación a la gran cantidad de problemas que afectan a la construcción y ofrece una pauta para evaluar la situación que presenta una obra o empresa y que conllevan a tomar acciones correctivas orientadas a la solución de los problemas identificados. Serpell, A. (2001).	1.Promedio general de los niveles de actividad real en la construcción modular de buques.	1.1 Nivel de actividad real	%TP [0 - 100%]
		trabajos productivos, contributorios y no contributorios	%TC [0 - 100%]
			%TNC [0 - 100%]
Variable independiente: Metodología <i>Lean Construction</i>			
Definición	Dimensiones	Indicadores	Nivel
Es una metodología que cambia el pensamiento tradicional de trabajo en el sector construcción mediante sistemas de gestión innovadoras fundamentadas en el análisis de pérdidas, planificando actividades con el objetivo de mejorar la productividad en la construcción. Rojas, M., Henao M. y Valencia M. (2016).	1. Nivel General de Actividad (NGA)	1.1 Formato de campo para el muestreo del trabajo por categorías y subcategorías.	
		1.2 Tabulación por categorías y subcategorías de trabajo e identificación de pérdidas (diagnostico)	
		1.3 Análisis de la información y propuestas de mejoras.	%TP [0 - 100%]
	2. Nivel de Carta de Balance (CB)	2.1 Formato de campo para el muestreo del trabajo por categorías y subcategorías.	%TC [0 - 100%]
		2.2 Registro de datos por categorías y subcategorías de trabajo e identificación de pérdidas (diagnostico)	%TNC [0 - 100%]
		2.3 Análisis de la información y propuestas de mejoras.	

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

3.4. Etapas de la investigación

3.4.1. Recolección de datos

Para la presente investigación, se empleará la técnica descriptiva por medio de la observación y la recolección de datos. Según Ñaupas et al. (2013):

Las técnicas descriptivas: son las que sirven para la recolección de datos que conllevan a la verificación de las hipótesis como: la observación, la entrevista, el test, el análisis de contenido, etc. Sirven de base para construir los instrumentos de investigación para la observación y control de variables dependientes, independientes. (p. 72).

En consecuencia, por medio de la observación y la recolección de datos, se recopila la información con formatos o guías de campo y cámaras fotográficas. De este modo, se logra obtener muestras del tiempo empleado en las actividades productivas, contributivas y no contributivas identificadas en el trabajo de investigación. Por consiguiente, se realizó la medición del tiempo de ejecución de una actividad específica como el sub ensamble de placas, confección de piezas, sub ensamble de refuerzos, etc. Luego, se procedió a clasificarlas en categorías y subcategorías mediante el uso de indicadores porcentuales por medio del procesamiento de la información. Cabe recalcar, que esta información se obtiene del análisis en el proceso

productivo en la fabricación de los módulos que pertenecen al proyecto “Construcción del buque multipropósito B.A.P. PAITA”.

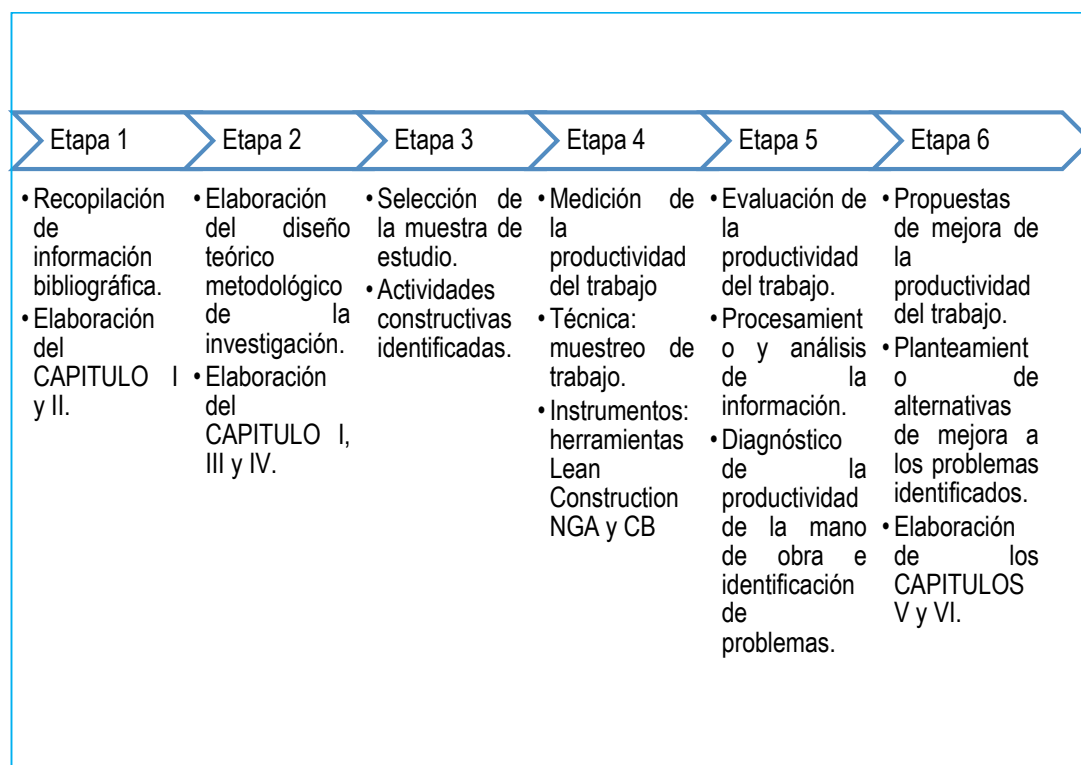
3.4.2. Procesamiento de la información y análisis de datos

En definitiva, Según Ñaupas et al. (2013), “Una de las fases más importantes de la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante el instrumento respectivo, para lo cual se recurre a la ciencia estadística tanto descriptiva como inferencial” (p. 152). Por consiguiente, mediante la revisión de libros, revistas, boletines, folletos indexados, formatos de recolección de datos, entre otros documentos, que fueron utilizados para efectuar el procesamiento de la información, se obtuvo los datos cuantitativos que fueron recopilados por medio del muestreo de trabajo mediante las herramientas Nivel General de Actividad y Cartas de Balance aplicadas en el desarrollo del proyecto de investigación. Ahora, es necesario indicar, que se siguió las etapas de la ruta metodológica diseñada, tal como se puede apreciar en la figura 30. Es decir, se dio el cumplimiento a las etapas de la investigación planteadas que conllevaron a la medición del nivel de actividad real a través de medios digitales, tal como el programa Microsoft Excel. En suma, el mencionado programa informático fue utilizado para la elaboración de los formatos de campo para la medición del Nivel General de Actividad y las Cartas de Balance (ver anexos a y b), las mismas que fueron utilizadas para registrar las mediciones durante el muestreo de trabajo. Por consiguiente, mediante el procesamiento de datos, se obtuvo resultados que fueron organizados en

gráficos y tablas las cuales fueron de utilidad para la evaluación de la mejora de la productividad.

Figura 30

Ruta metodológica del trabajo de investigación.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

CAPITULO IV

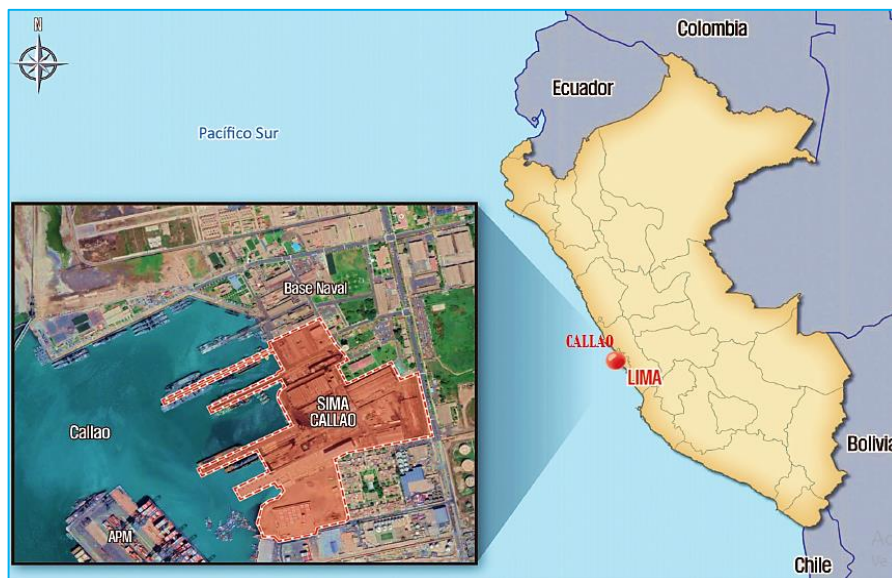
DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del proyecto

El buque multipropósito tipo LPD (Loading Platform Dock), es una unidad perteneciente a la Marina de Guerra del Perú, construido por la empresa Servicios Industriales de la Marina SIMA, astillero ubicado en la Av. Contralmirante Mora N° 1102, provincia constitucional del Callao, Perú (ver figuras 31 y 32). Según, Marchessini, A. (2021). “El proyecto está encargado de realizar, a órdenes de la Comandancia de Operaciones del Pacífico (COMOPERPAC), operaciones navales y de guerra anfibia; transporte de tropas y vehículos; además de acciones cívicas y ayuda humanitaria” (p. 1). Construido bajo el principio del sistema modular y compuesta por 119 módulos, el BAP PAITA tiene 122 metros de eslora, una manga de 22 metros y un calado de 4.9 metros, así como un desplazamiento máximo de 11,390 toneladas, proyecto de gran envergadura en el cual se ha realizado la toma y procesamiento de la información para el desarrollo de la investigación.

Figura 31

Mapa de ubicación del astillero SIMA callao.



Nota. Fuente: Knowledge Sharing Program, (2021).

Figura 32

Imagen panorámica del astillero SIMA Callao.

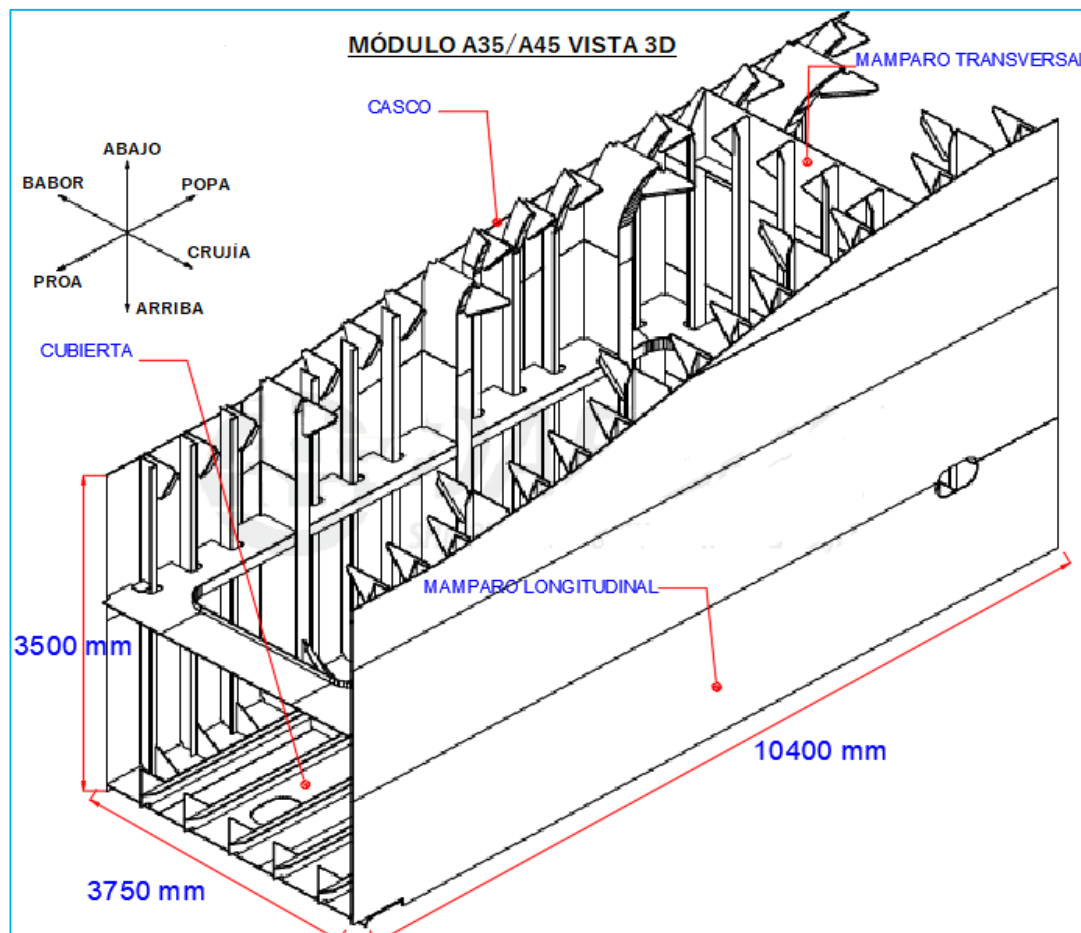


Nota. Ceremonia de bautizo y botadura del casco al mar del buque multipropósito BAP PAITA. Fuente: Plataforma digital del estado peruano, (2022).

Por otro lado, el proyecto fue construido junto a la empresa SERVICIOS TÉCNICOS S.A., como contratista calificada, para realizar el servicio de fabricación y erección de los módulos. En consecuencia, es necesario detallar que los módulos fabricados por la empresa se desarrollan en dos etapas y siguen un modelo de producción compuesta por una secuencia de actividades que van desde la recepción del material confeccionado, para la fabricación de los módulos (primera etapa), hasta el montaje y la erección de los módulos fabricados (segunda etapa). Para ser más comprensible, específicamente, los módulos son diseñados en base a un criterio de distribución de peso, de acuerdo con la capacidad de carga de las grúas pertenecientes al astillero u otras limitaciones. Cada módulo, posee un peso aproximado de 20 a 70 toneladas, solo considerando estructura, soportes de tubería y otros elementos que según el servicio de fabricación requiera. En promedio, los módulos poseen dimensiones de 4 a 6 metros de altura; de 3.5 a 11 metros de ancho y de 10 a 13 metros de largo, dependiendo, en gran medida, de las características propias del proyecto y del tipo de zona que involucre el módulo a fabricar, esto debido a lo complejo que conlleva los sistemas del buque como sistema de tanques de almacenamiento, sistema de ventilación, sala de máquinas, puente de mando, etc., tal como se puede apreciar en la figura 33.

Figura 33

Dimensiones generales del módulo A35.



Nota. En la figura se muestra un esquema y distribución de un módulo fabricado por la empresa SERTESA. Fuente: SIMA callao, (2022).

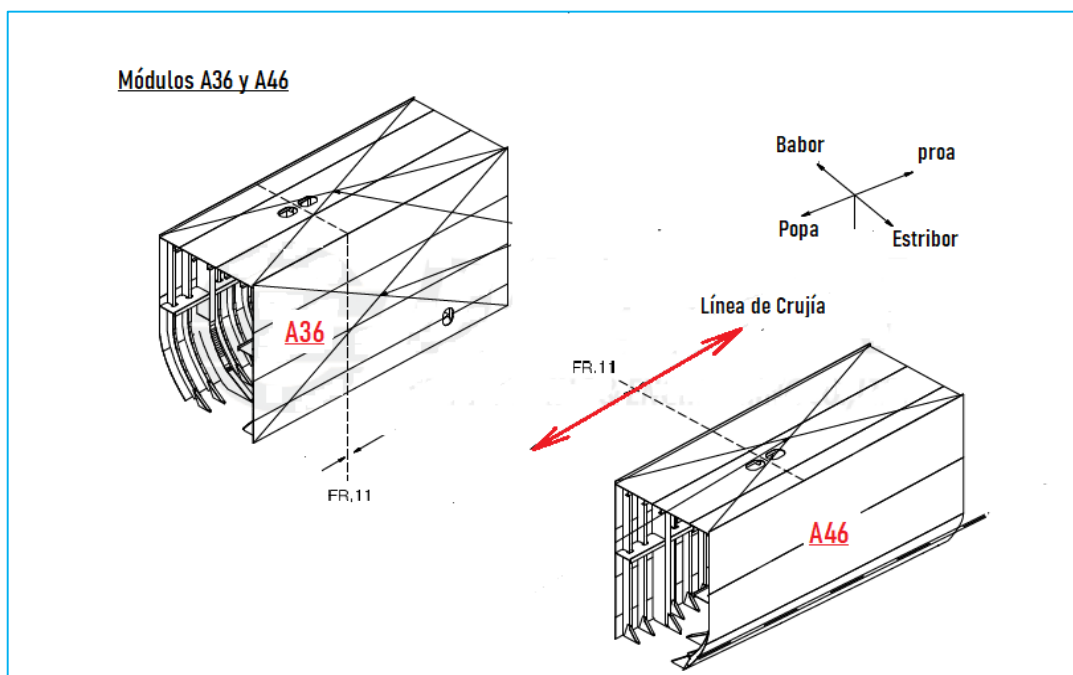
Los módulos, a su vez, están constituidos por una cantidad de paneles reforzados de acuerdo con el tipo de estructura transversal, longitudinal o mixta y a su función estructural como cubierta, mamparo, casco u otro elemento especificado en los planos constructivos del proyecto. En síntesis, la investigación se enfocará en la elaboración de propuestas para mejorar la productividad en la fabricación de los módulos, ya que este producto

corresponde a la primera entrega hacia el cliente, quien procede a su verificación y ensamblaje.

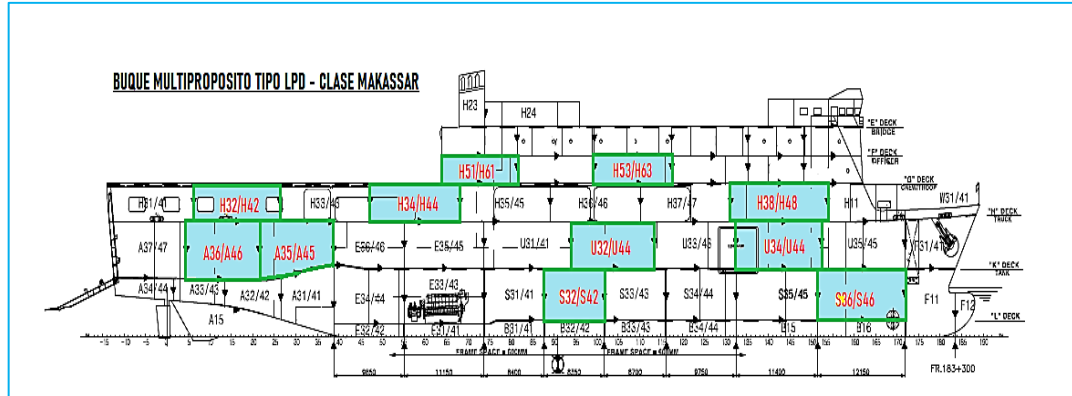
En síntesis, la fabricación de los módulos se da en pares, es decir, que el servicio de fabricación involucra dos módulos similares que presentan cierta simetría respecto a la línea de crujía del buque en construcción, las cuales se ubican, por lo general, a babor y a estribor en la construcción del buque, tal como se puede apreciar en la figura 34. Esto influye en el proceso de fabricación, debido a que los módulos se fabrican en paralelo y de forma traslapada. Además, cada módulo posee una geometría distinta, de acuerdo con su posición en la construcción del buque, tal como se puede evidenciar en la figura 35.

Figura 34

Distribución de los módulos A36 y A46.



Nota. Los módulos A36 y A46 están ubicados hacia popa y son parte de los tanques de lastre que poseerá el futuro buque. Fuente: SIMA callao, (2022).

Figura 35*Distribución de los módulos en la construcción del buque multipropósito.*

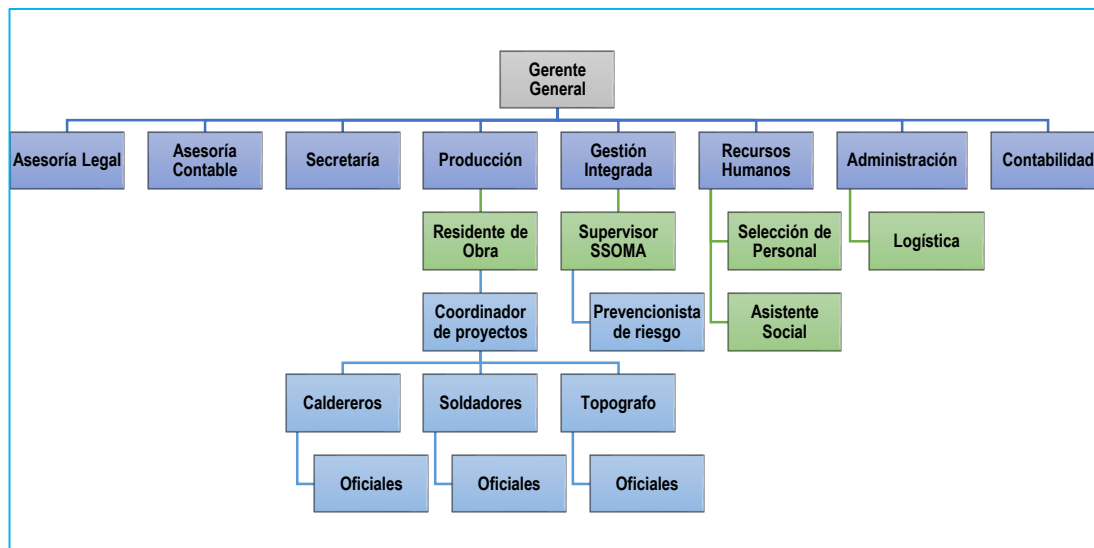
Nota. En la figura, se muestra, en color celeste, todos los módulos fabricados por la empresa contratista entre los años 2021 y 2022. Fuente: SIMA Callo, (2022).

4.2. Organigrama de la empresa

Ahora bien, es importante que se defina la distribución del personal en el desarrollo de cada proyecto de fabricación por parte de la empresa contratista, con la finalidad de determinar las funciones y actividades que desempeñaron cada uno de los responsables en sus respectivas divisiones. Por consiguiente, en la figura 36 se puede apreciar el organigrama de la empresa SERVICIOS TÉCNICOS S.A., en la cual, se representa la estructura gráfica como base para un proyecto de fabricación, esto conlleva a un orden adecuado y orientado hacia el mejoramiento del proceso de fabricación, así como, las distintas jerarquías existentes y los distintos responsables de cada actividad efectuada en el área administrativa y operativa.

Figura 36

Organigrama de la empresa.



Fuente: Servicios Técnicos S.A., (2022).

4.3. Análisis de actividades productivas en la fabricación de módulos

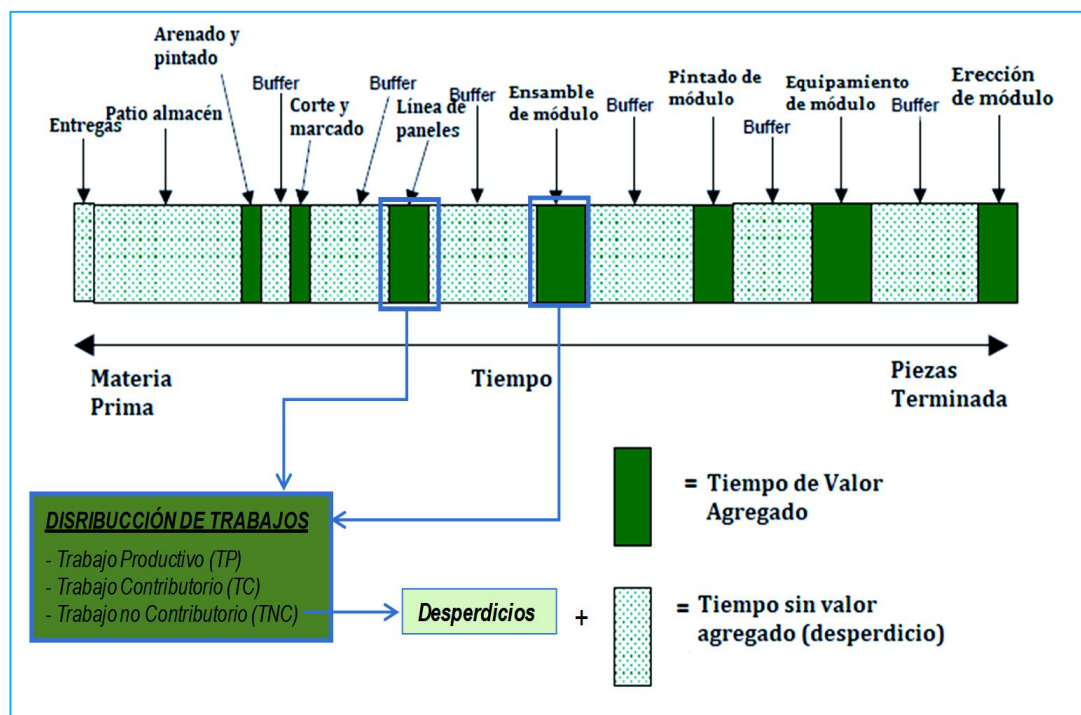
Según Vicente (2004), “La construcción naval es una disciplina que se caracteriza por el diseño y la construcción de productos únicos y distintos de los demás, por medio de un largo proceso de maduración en el que se aúnan disciplinas de diversa índole” (p. 2). Además, Martínez (2019), indica que “mejorar la organización del proceso constructivo es, sin duda, la mejor arma para conseguir reducir los costos de fabricación, y, de esta forma, poder aumentar la competitividad” (p. 1). Por lo tanto, la naturaleza de esta investigación es mejorar la productividad en el proceso de la construcción modular de buques. En consecuencia, en este apartado, se realizará el análisis y selección de las actividades productivas desarrolladas en la primera etapa de fabricación de los módulos.

Para la identificación de las actividades, que se desarrollan en la fabricación de un módulo, es necesario realizar un análisis respecto al proceso constructivo. Según W. Rodríguez (2012). “Para poder aplicar el principio *Lean Construction*, se inicia identificando las actividades que no agregan valor, estas pueden ser: esperas, viajes y transporte, mediciones e instrucciones entre otros. En seguida, se procede a medirlas para luego reducirlas de forma progresiva” (p. 99). Por consiguiente, en la figura 37, se precisa la secuencia del proceso fabricación y erección de un módulo para la construcción de un buque, en la cual, se puede evidenciar que la fabricación de paneles reforzados y el ensamble de los módulos son, en la línea de tiempo, actividades que añaden valor para el cliente dentro de todo el proceso de fabricación. Sin embargo, como se precisa en la figura 37, de acuerdo con las observaciones registradas en campo, cada etapa de valor agregado está compuesta por Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC). Siendo los últimos, actividades clasificadas como desperdicios y que se adicionan a las actividades sin valor agregado indicadas en la secuencia. Todas estas actividades se identifican y se seleccionan para el desarrollo de esta investigación. Según T., Lamp (2002). “Al considerar cualquier proceso de fabricación, la primera pregunta que se debe hacer es: ¿qué quiere el cliente de este proceso? Esto entonces define el valor. Luego, determine qué pasos de transformación se necesitan para convertir los materiales que ingresan al proceso en lo que el cliente desea”. (p.4). Por consiguiente, se precisa que los contratistas deben priorizar los requerimientos y lineamientos establecidos por el cliente, en cuanto a calidad

y plazos de entrega del producto final. Así mismo, en la figura 38 se muestra un diagrama general para la producción de un módulo perteneciente al astillero SIMA callao, donde se especifica la secuencia de fabricación para los trabajos de calderería y soldadura con su respectiva área responsable.

Figura 37

Proceso de fabricación y erección de un módulo.

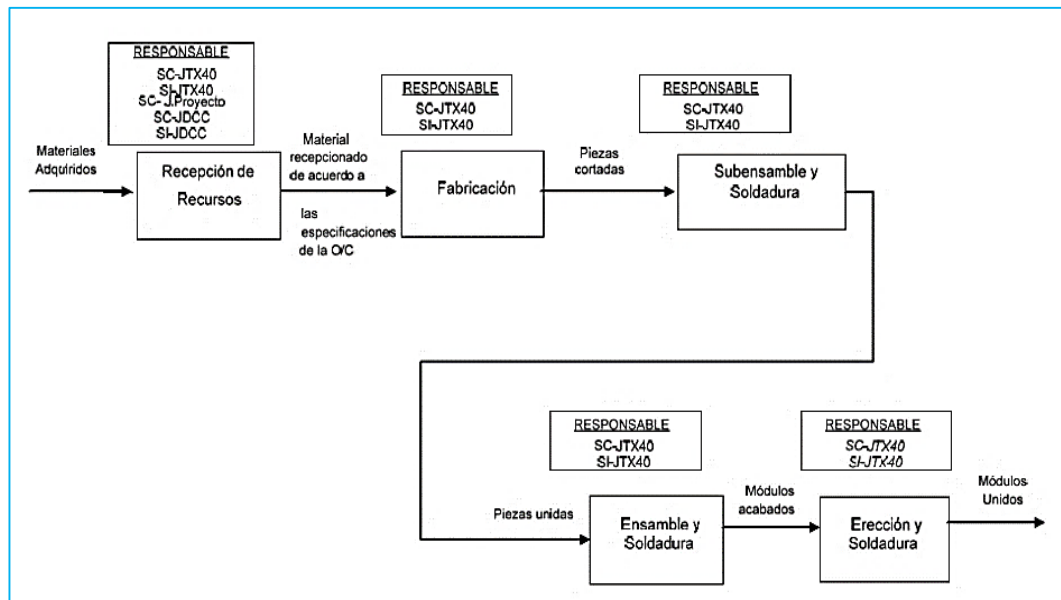


Nota. En la figura se puede evidenciar que cada actividad de valor agregado está compuesta por una distribución de trabajos denominados TP, TC y TNC.

Fuente: Liker y Lamb, (2002).

Figura 38

Diagrama de producción en calderería y soldadura.



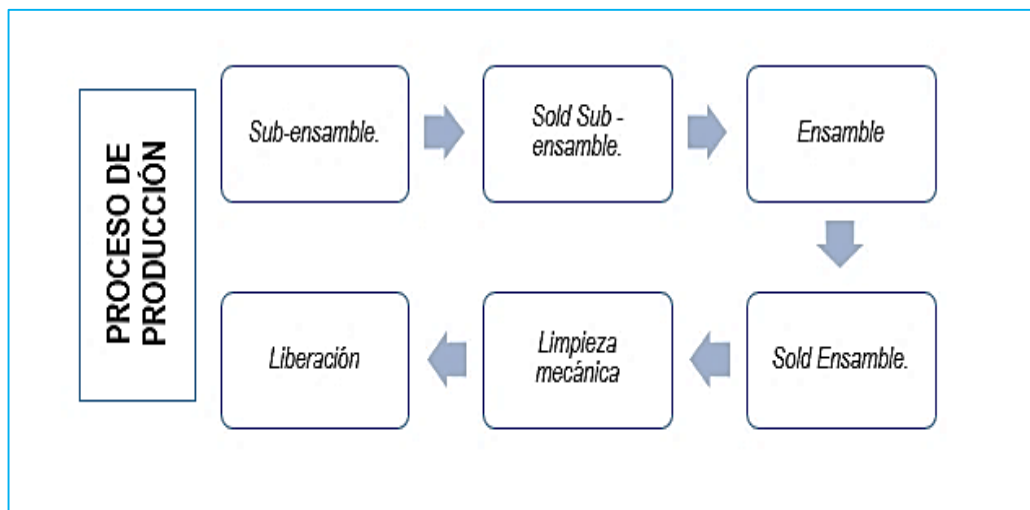
Nota. Fuente: SIMA Callao, (2020).

Por lo general, los módulos se construyen en un periodo de 2 a 3 meses dependiendo de la programación del astillero, quien prioriza todos los recursos en el proyecto de construcción del buque multipropósito.

A continuación, en la figura 39, se presenta el tren de trabajo basado en un modelo de conversión tradicional para las actividades que se desarrollan en todo el proceso constructivo de un módulo. Este modelo, es utilizado como base para la producción en la fabricación de módulos del astillero (ver figura 38), en el cual, se detalla las siguientes actividades: sub ensamble, Sold sub ensamble (Soldadura), ensamble, Sold. ensamble (Soldadura), limpieza mecánica y liberación.

Figura 39

Modelo de conversión tradicional para la construcción de un módulo.



Fuente: Elaboración propia, (2022).

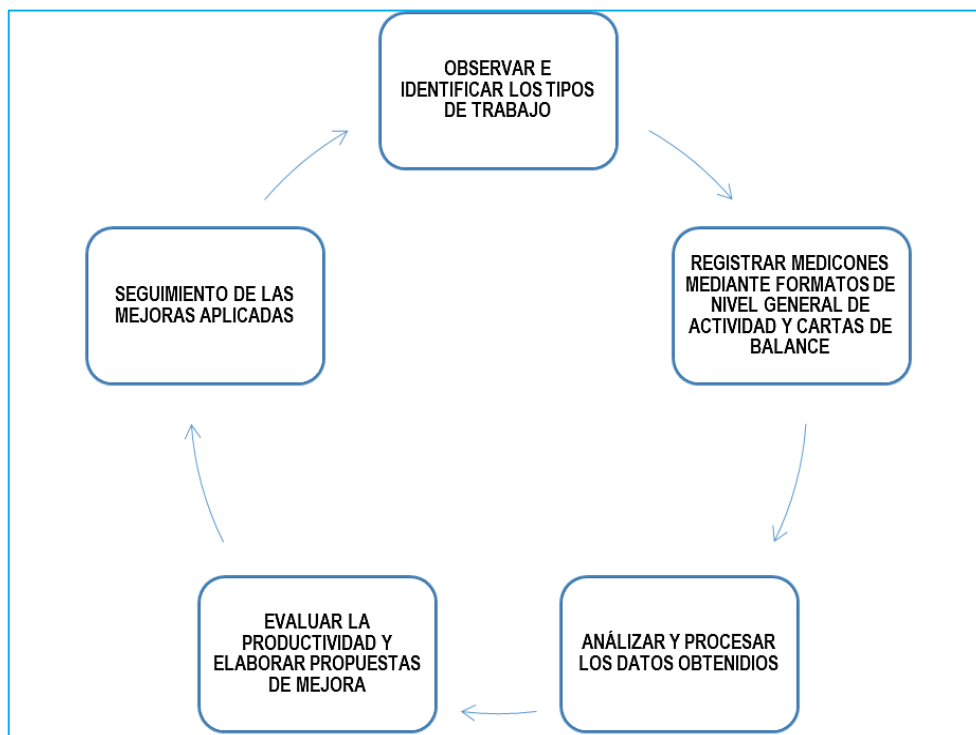
4.3.1. Metodología empleada para la evaluación de la productividad.

En principio, para el seguimiento de las actividades, se presenta la secuencia metodológica empleada para la evaluación de la productividad, tal como se puede evidenciar en la figura 40. Es necesario precisar, que esta secuencia será de utilidad en posteriores capítulos. En concreto, la secuencia inicia con la observación y la identificación de los tipos de trabajo (TP, TC y TNC), seguido del registro y recopilación de mediciones en intervalos de 1 a 2 minutos, según los formatos establecidos para el Nivel General de Actividad y Cartas de Balance (ver anexos a y b), en seguida, se procede a analizar y procesar los datos recopilados. Después, se efectúa la evaluación de los resultados y, por consiguiente, se elabora propuestas de mejora para el proceso de fabricación. Finalmente, a las mejoras aplicadas, se les brinda el seguimiento y con ello se cierra el ciclo en la secuencia. Este procedimiento

se mantiene en cada proyecto de fabricación de los módulos para, de esta manera, conseguir mejoras en proceso de la construcción del buque.

Figura 40

Esquema de la metodología empleada.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

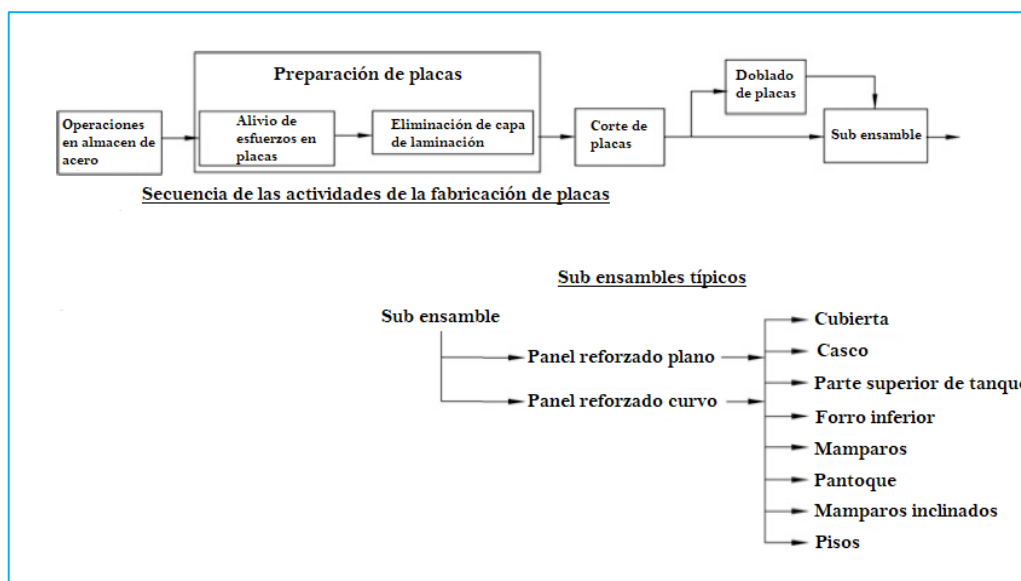
4.3.1.1. Identificación de las actividades productivas, contributivas y no contributivas

En definitiva, según N. Mandal (2017), “la construcción naval implica el ensamblaje de varios componentes prefabricados. Los productos de la primera etapa de ensamblaje se denominan sub ensamblajes. Estos sub ensamblajes juntos dan como resultado ensamblajes y posteriormente unidades, bloques y finalmente la nave completa” (p. 49). Por consiguiente,

se procede a realizar la identificación de las actividades productivas en el proceso de fabricación de los módulos, compuesta por la línea de sub ensamblajes de paneles reforzados.

Figura 41

Sistema de fabricación de paneles reforzados.



Nota. En La secuencia de fabricación de los paneles reforzados, se inicia con la preparación de placas tanto planas como curvas, las cuales son separadas para seguir su proceso específico de fabricación. Fuente: N. Mandal, (2017).

En la figura 41, se puede apreciar un esquema elaborado para la fabricación de los paneles reforzados y la secuencia de actividades en la preparación de placas. En concreto, se precisa que los primeros trabajos en el proceso de sub ensamble, son los paneles reforzados planos y curvos (cubiertas, mamparos, casco, pantoques, forros u otro elemento). Estos paneles se producen por medio de técnicas de calderería pesada. De hecho, la primera actividad que se desarrolla en el ensamble de paneles, es la unión de placas denominada también sub ensamble de placas. Por otro lado, y en

paralelo, se efectúan las actividades de sub ensamble de cuadernas, esloras, baos u otro elemento específico y la confección de refuerzos longitudinales o transversales elaborados con perfiles de acero naval suministrados por el astillero. Cabe recalcar, que todas las piezas confeccionadas ingresan por una zona de limpieza mecánica, según su configuración y requerimiento.

Por consiguiente, se procede a realizar el reconocimiento e identificación de los trabajos productivos (TP), trabajos contributorios (TC) y trabajos no contributorios (TNC) en la fabricación de los módulos para cada cuadrilla de trabajadores (ver tabla 8). En esencia, cabe mencionar que las mediciones serán obtenidas mediante las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB), siendo estas, las herramientas determinadas para el desarrollo de la investigación. De hecho, las mediciones se realizaron en campo por medio de la observación, registrando el tiempo empleado en el desarrollo de cada una de las actividades por medio de un registro específico, elaborado especialmente, para realizar el muestreo de trabajo (ver anexos a y b).

Tabla 8

Cuadro de actividades identificadas para los TP, TC y TNC en el proceso constructivo.

Trabajos productivos (TP)	Trabajos contributorios (TC)	Trabajos no contributorios (TNC)
Sub ensamble de placas	Traslado de equipos y materiales	Caminatas innecesarias
Soldadura a tope de placas sub ensambladas.	Movimiento de cargas o piezas	Servicios higiénicos
Sub ensamble de cuadernas, esloras, baos u otro elemento.	Preparación de junta	Esperas
Confección de refuerzos longitudinales o transversales	Trazado de líneas de referencia	Descansos
Sub ensamble de refuerzos de panel.	Mediciones	Conversaciones
Soldadura de filete de refuerzos sub ensamblados en panel.	Limpieza mecánica	Mirar
Ensamble de paneles reforzados planos.	Instrucción	Simulación de trabajo
Ensamble de paneles reforzados curvos.		Reprocesos

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

4.3.1.2. Muestreo de nivel general de actividad en el proceso constructivo

En primer lugar, cada cuadrilla es analizada de acuerdo con la distribución de los trabajos que se indican en la tabla 8. Según A., Serpell (2012). “Por razones estadísticas se recomienda, que en cualquier programa de muestreo se realicen no menos de 384 mediciones, ya que de esta forma se obtiene una confiabilidad de 95% y un error no mayor de $\pm 5\%$ ”. (p. 180). Las mediciones se realizaron en un periodo de 10 días calendario y la información obtenida se procesó por medio del uso del programa Microsoft

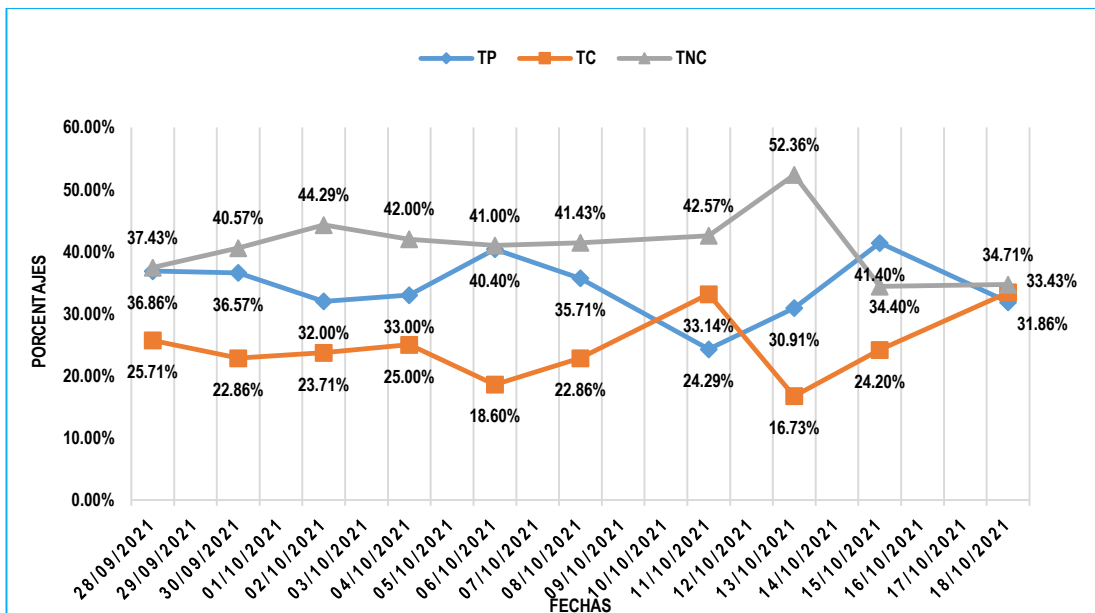
Excel. En consecuencia, se obtuvo resultados que fueron organizados en tablas y gráficos que permitieron evaluar la productividad de la mano de obra involucrada, obteniendo un diagnóstico acerca del desarrollo de las actividades en el área de trabajo. Finalmente, Se elaboró propuestas y sugerencias para la corrección de los problemas identificados y conseguir su posible mitigación o eliminación.

En suma, las mediciones, se efectúan en el desarrollo de cada proceso productivo desde el inicio hasta el final de la ejecución. Es necesario indicar que, para la correcta interpretación de las actividades, el observador debe estar ubicado en una posición, de tal manera, que se pueda tener una visión panorámica de los trabajadores, esto permite que, se tenga una mejor lectura de cada situación que se presente. Además, las incorporaciones de personal de apoyo en la supervisión de los trabajos lograron que se tenga un equipo de trabajo involucrado en el desarrollo de la aplicación de nuevas técnicas de muestreo.

En consecuencia, en las figuras 42 y 43, se puede apreciar los resultados de las mediciones procesadas para cada actividad desarrollada. También, se puede evidenciar, específicamente, los porcentajes de tiempo empleado para las actividades productivas, contributivas y no contributivas para el primer módulo en estudio.

Figura 42

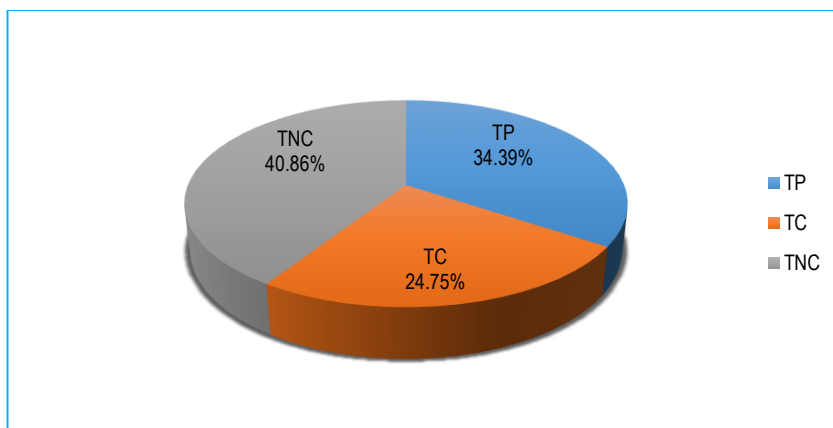
Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo del módulo A35 y A45.



Nota. En la gráfica, TP es el Trabajo Productivo, TC es el Trabajo Contributorio y TNC es el Trabajo no Contributorio. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 43

Distribución del trabajo en la fabricación de los paneles reforzados de los módulos A35 y A45.



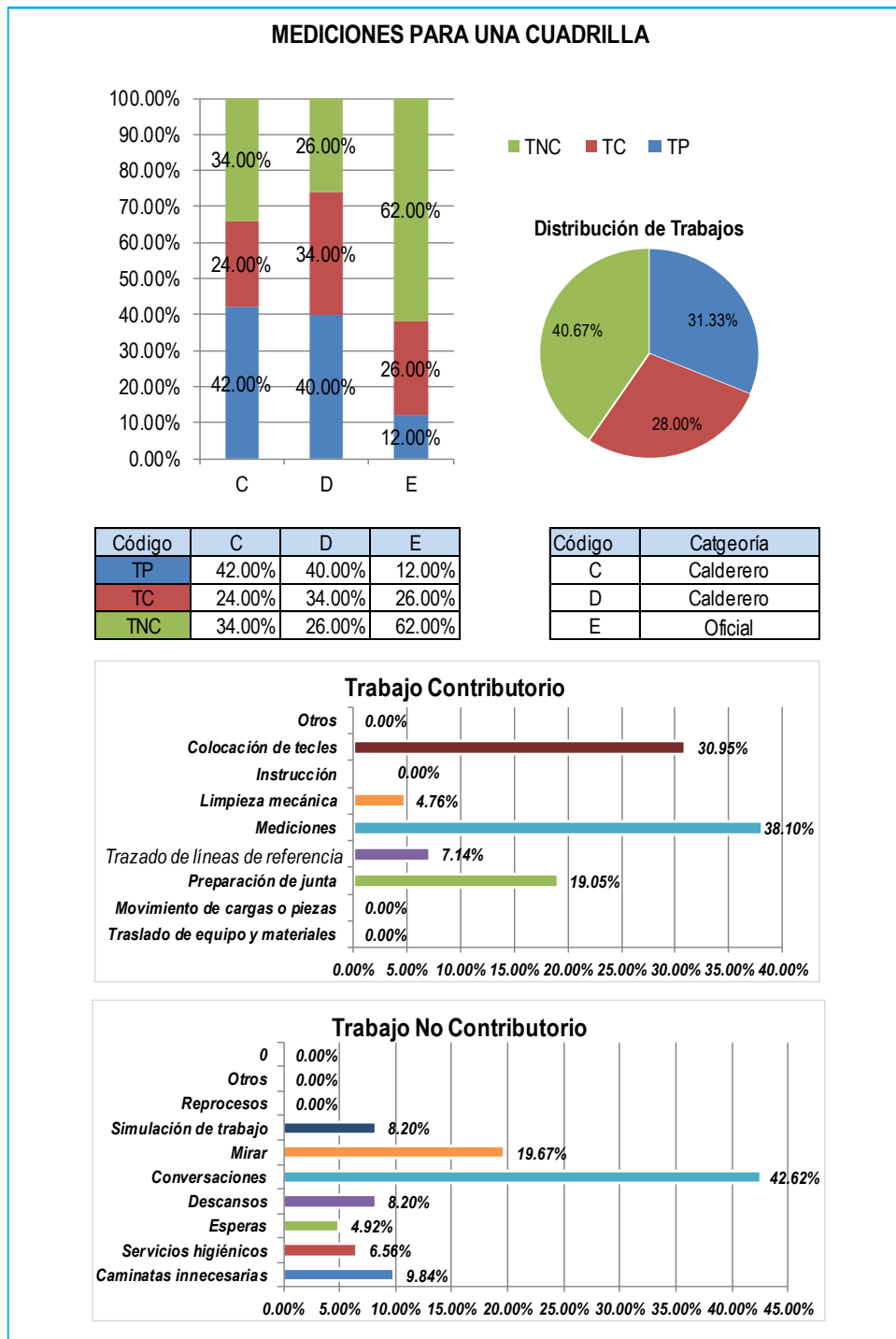
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

4.3.1.1. Aplicación de las cartas de balance

En principio, a aplicación de esta herramienta permite obtener la medición de la productividad para una actividad específica, según W., Rodríguez (2012), “El objetivo primordial de la carta balance es analizar el ciclo de producción y con ello nos permite mejorarlo” (p. 371). Es así, que se seleccionó las actividades de mayor demanda respecto a su importancia en el proceso productivo mediante el análisis del tiempo empleado en la ejecución de cada actividad. De esta manera, en la figura 44, se puede evidenciar los resultados de las mediciones procesadas para la actividad de sub ensamble de placas de un panel reforzado, cuya cuadrilla se encuentra conformada por dos caldereros y un oficial. También, se puede evidenciar, específicamente, los porcentajes de tiempo empleado para las actividades contributivas y no contributivas. Además, se muestran las gráficas de distribución del tiempo en porcentaje para las categorías (TP, TC y TNC) y subcategorías de los trabajos contributorios y no contributorios, así como, los porcentajes de trabajos para la cuadrilla y para cada trabajador. Ahora bien, al llegar a este punto, es crucial para el desarrollo y desempeño de las cuadrillas de trabajadores, la correcta distribución del espacio de trabajo, tomando en cuenta las medidas de seguridad y medio ambiente planteadas por el astillero. Por lo tanto, la metodología *Lean Construction*, prioriza al trabajador y lo posiciona como el ultimo planificador con un enfoque orientado a su bienestar y plantea aumentar la productividad por medio del análisis de las operaciones que se efectúan en cada actividad productiva.

Figura 44

Programa de procesamiento de datos para los datos recopilados.



Nota. Las mediciones se efectuaron para la actividad de Sub ensamble de placas. Fuente: Elaboración propia, (2022).

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección, se realizará el análisis de los resultados obtenidos de las muestras tomadas para el Nivel General de Actividad (NGA) y Cartas de Balance (CB) en los procesos de sub ensamble de placas, soldeo de placas, sub ensamble de refuerzos, soldeo de refuerzos de panel, etc. En esencia, el registro de mediciones se efectuó en la jornada laboral desde las 08:00 am hasta las 05:00 pm, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad del astillero en el espacio de trabajo. Por ende, en este primer muestreo se efectuó un diagnóstico del estado de la distribución de las cuadrillas y la identificación de las actividades productivas y no productivas, lo anteriormente mencionado, se logró mediante la aplicación de la herramienta Nivel General de Actividad (NGA). Cabe mencionar, que los muestreos se registraron en un formato adecuado obtenido de la metodología *Lean Construction* (Ver anexos a y b). Esto permitió registrar los porcentajes de niveles de actividad para los Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC). Todas las mediciones fueron efectuadas en la

fabricación de dos módulos, cuyos códigos son A35 y A45. Posteriormente, se presentan los resultados de las mediciones en la fabricación de los módulos A36 y A46, con las mejoras aplicadas, evidenciando así, un cambio en los niveles de actividad real con respecto a los resultados obtenidos en la fabricación de los primeros módulos.

Ahora bien, la presentación de los resultados se efectúa de la siguiente manera: en primer lugar, se da la selección de las actividades productivas. En segundo lugar, se da la presentación de resultados del diagnóstico y la medición de los niveles de actividad para la fabricación de los módulos A35 y A45, seguido de los resultados en los niveles de actividad real, luego de ello, se realiza el mismo análisis en la fabricación de los módulos A36 y A46 de manera detallada, y por último, se presenta una gráfica de fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo y la distribución del NGA y los resultados en la aplicación de la Cartas de Balance para las actividades específicas descritas.

5.1. Selección de actividades productivas

En la tabla 9, se puede evidenciar las actividades seleccionadas para la medición del Nivel General de Actividad y las Cartas de Balance. En consecuencia, se precisan las actividades seleccionadas de acuerdo con lo observado y a la prioridad que representan en el proceso constructivo, además de su importancia en los niveles de actividad real respecto a la mano de obra utilizada. Resulta, pues, que esta fase de la investigación permite

generar un orden secuencial y una redistribución del área de trabajo, tal como se puede apreciar en la figura 45.

Tabla 9

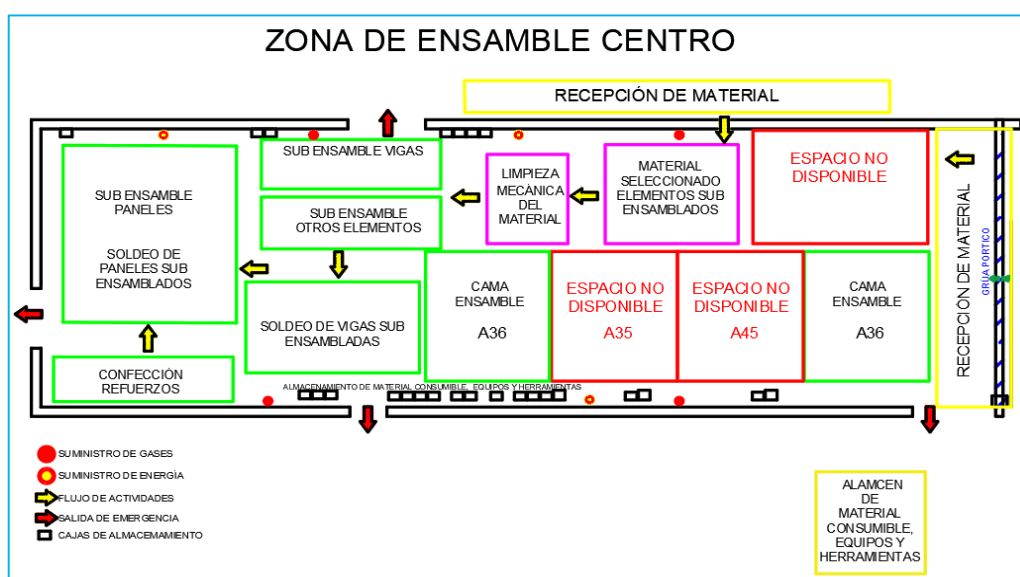
Actividades productivas seleccionadas.

Nivel general de actividad (NGA)	Carta de balance (CB)
Sub ensamble de placas	Sub ensamble de placas
Soldadura a tope de placas sub ensambladas.	Soldadura a tope de placas sub ensambladas
Sub ensamble de cuadernas, esloras, baos y otro elemento.	Sub ensamble de refuerzos de panel
Confección de refuerzos longitudinales o transversales.	Soldadura de filete de refuerzos sub ensamblados
Sub ensamble de refuerzos de panel.	
Soldadura de filete de refuerzos sub ensamblados en panel	
Ensamble de paneles reforzados planos	

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 45

Distribución del área de trabajo.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Cabe recalcar, que todas las actividades mostradas fueron obtenidas en el periodo de registro y están ligadas a la etapa de sub ensamble en la fabricación de los módulos. Estas actividades siguen un tren de producción cuyo producto intermedio es un panel reforzado y, como se puede evidenciar, la primera actividad es el sub ensamble de placas y cuya finalización se da con el soldeo de todos los refuerzos sub ensamblados en el panel, seguido del ensamble de los paneles planos, curvos y refuerzos que se ensamblan para formar la estructura total del módulo.

5.2. Diagnóstico y medición de los niveles de actividad real en la fabricación de los módulos A35 y A45.

En este apartado, se presentan los resultados que se obtuvieron luego de la recopilación de datos mediante el muestreo de trabajo. Por consiguiente, se procedió a organizar los resultados en gráficos y tablas que permitieron interpretar la información cuantitativa. Por consiguiente, se precisa que las mediciones se realizaron en un periodo de 10 días calendario (28 y 30 de setiembre y 2, 4, 6, 9, 10, 13, 15 y 18 de octubre de 2021) y en ese sentido, en la tabla 10 se muestran los valores porcentuales para los TP, TC y TNC para las 10 muestras obtenidas, así como también, la fecha en la que se efectuó cada muestra. Estos valores indican que, para las muestras 7 y 10 se obtuvieron valores máximos de 33.65% y 33.43% respectivamente, para los Trabajos Contributorios (TC). Por otro lado, se muestra también un valor máximo para los TNC en la muestra 8, la cual indica un valor de 52.27%, con

lo cual, se puede evidenciar una tendencia a efectuar actividades que no generan valor en el producto final.

En suma, en la figura 46 se puede observar que los valores porcentuales de TNC, se encuentran, en la mayoría de los casos, por encima de los valores de TP y de TC, evidenciando que el desempeño de los obreros presenta una tendencia a realizar actividades no productivas. Por consiguiente, esta información permite comprender la existencia de pérdidas en las actividades ejecutadas por parte del personal y de un seguimiento deficiente. Por otro lado, los valores porcentuales para los TC se encuentran con mínimos valores de 18.67% y 16.75%. De hecho, estos valores indican una mala distribución de las actividades que contribuyen a la productividad y que son afectados por el seguimiento de actividades de forma no sistemática e ineficiente. Además, de una inadecuada interpretación del proceso constructivo y una falta de formatos de control de calidad que afectan a la secuencia productiva y, obviamente, a la calidad del producto final.

Tabla 10

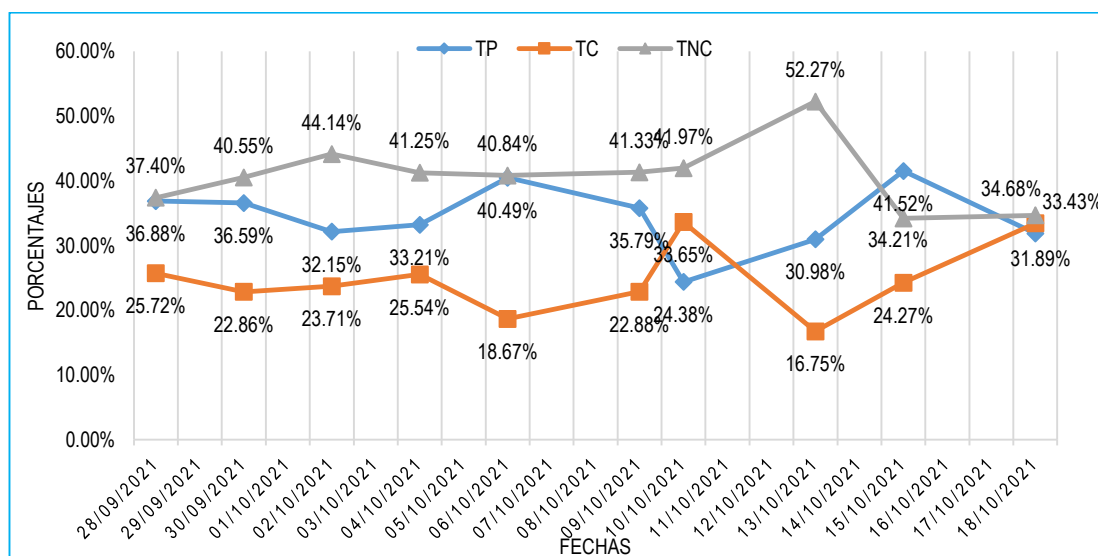
Resultados de las 10 muestras obtenidas para los tipos de trabajo.

Muestra	Fecha	TP	TC	TNC	Total
1	28/09/2021	36.88%	25.72%	37.40%	100.00%
2	30/09/2021	36.59%	22.86%	40.55%	100.00%
3	02/10/2021	32.15%	23.71%	44.14%	100.00%
4	04/10/2021	33.21%	25.54%	41.25%	100.00%
5	06/10/2021	40.49%	18.67%	40.84%	100.00%
6	09/10/2021	35.79%	22.88%	41.33%	100.00%
7	10/10/2021	24.38%	33.65%	41.97%	100.00%
8	13/10/2021	30.98%	16.75%	52.27%	100.00%
9	15/10/2021	41.52%	24.27%	34.21%	100.00%
10	18/10/2021	31.89%	33.43%	34.68%	100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 46

Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo del módulo A35 y A45.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

En contraste, para tener una mejor comprensión, en la tabla 11 se detalla las sub categorías identificadas y su respectiva codificación, cada una perteneciente a los Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC). De hecho, la identificación y clasificación de estas sub categorías permitió establecer un orden de las actividades que no generan valor en el producto final y que a medida que se fueron identificando, ordenando y reduciendo, produjo un cambio en el proceso productivo, como se explicará en el siguiente apartado.

Tabla 11

Sub categorías para cada tipo de trabajo.

Código	Trabajo contributorio (TC)	Código	Trabajo no contributorio (TNC)
TM	Traslado de equipo y materiales	CA	Caminatas innecesarias
MC	Movimiento de cargas o piezas	SH	Servicios higiénicos
PJ	Preparación de junta	ES	Esperas
TL	Trazado de líneas de referencia	DE	Descansos
ME	Mediciones	CO	Conversaciones
LM	Limpieza mecánica	MI	Mirando
IN	Instrucción	ST	Simulación de trabajo
CT	Colocación de tecles o topes	RP	Reprocesos

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

En adición, en la tabla 12. se puede apreciar el cálculo en promedio para los valores porcentuales registrados en las mediciones de campo mediante los formatos establecidos para el Nivel General de Actividad. Esto permitió obtener los valores porcentuales para cada subcategoría perteneciente a los TC y TNC. En consecuencia, se logró comprender como se distribuye el tiempo en cada categoría (ver figuras 47 y 48). De este modo, se desprende de la tabla 12 un valor de TP de 34.39% de la totalidad de actividades efectuadas por la mano de obra. Por otro parte, las otras actividades que no son productivas llegan a un valor de 65.61%, las cuales, se distribuyen en subcategorías para los TC y TNC. Por consiguiente, se tiene que el traslado de equipos y materiales (TM), representa un mayor valor porcentual de 5.25% y el movimiento de cargas o piezas (MC) con un porcentaje de 3.75%. Por otro lado, se tiene para los Trabajos no Contributorios las subcategorías de conversaciones (CO) con un mayor valor de 11% y esperas (ES) con un 9.20%. Finalmente, Con respecto a los reprocesos (RP) se tiene un valor porcentual de 0.5% esto se debe a que las mediciones se realizaron en la primera línea de entrega de sub – ensamble de paneles. Esta tendencia se debe a la falta de programación de actividades e inadecuada interpretación del proceso constructivo, identificando de esta manera, las actividades que se tienen mitigar o eliminar para obtener una mejora en la productividad de la mano de obra.

Tabla 12

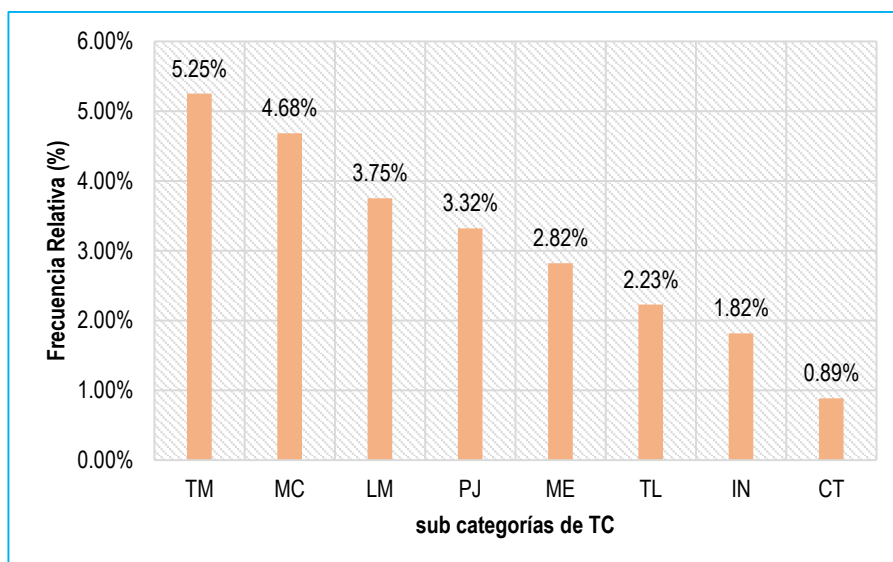
Promedio absoluto y valores porcentuales para cada actividad y subcategoría de TP, TC y TNC registrados.

Tipo de trabajo	Actividad	[Frecuencia absoluta]/10 (min)	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
TP	TP	151.3	34.39%	34.39%
	TM	23.1	5.25%	39.64%
TC	MC	20.6	4.68%	44.32%
	LM	16.5	3.75%	48.07%
	PJ	14.6	3.32%	51.39%
	ME	12.4	2.82%	54.20%
	TL	9.8	2.23%	56.43%
	IN	8.0	1.82%	58.25%
	CT	3.9	0.89%	59.14%
	CO	48.4	11.00%	70.14%
TNC	ES	40.5	9.20%	79.34%
	DE	32.8	7.45%	86.80%
	CA	22.8	5.18%	91.98%
	MI	21.5	4.89%	96.86%
	SH	7.3	1.66%	98.52%
	ST	4.3	0.98%	99.50%
	RP	2.2	0.50%	100.00%
Total		440	100.00%	(-)

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 47

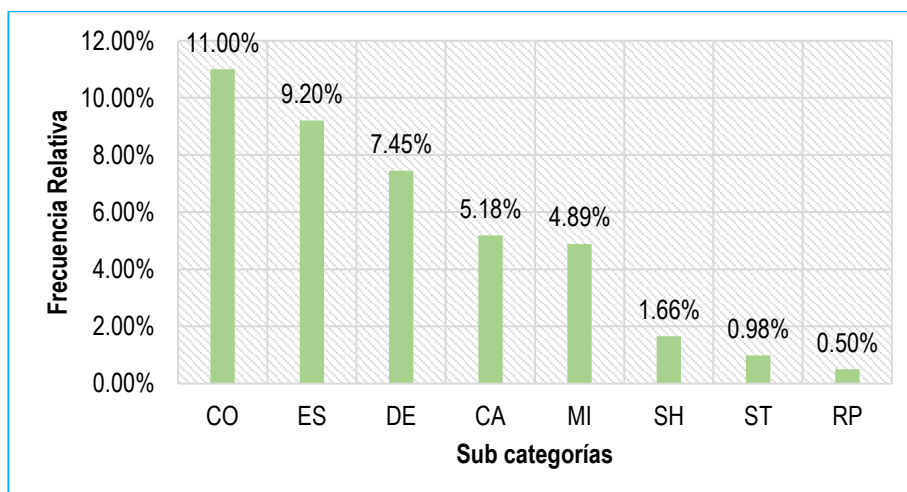
Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TC.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 48

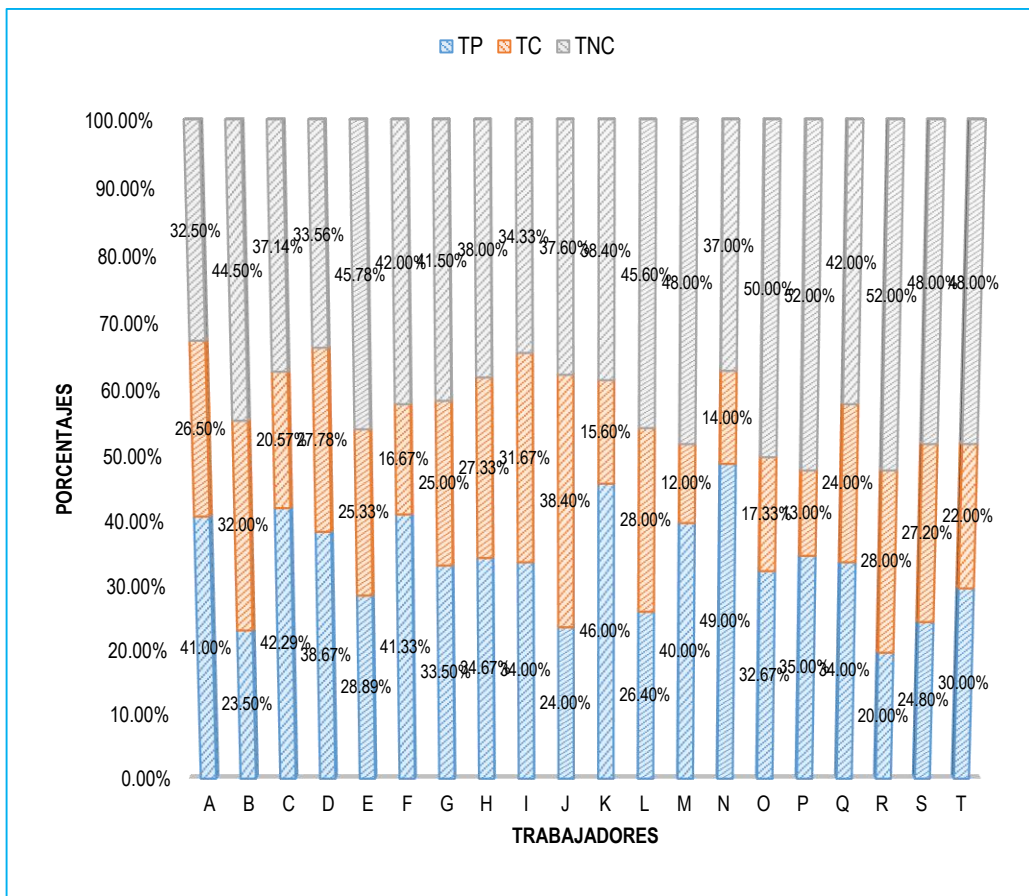
Distribución del tiempo empleado para las subcategorías de los TNC.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 49

Análisis de la distribución del tiempo para cada trabajador.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

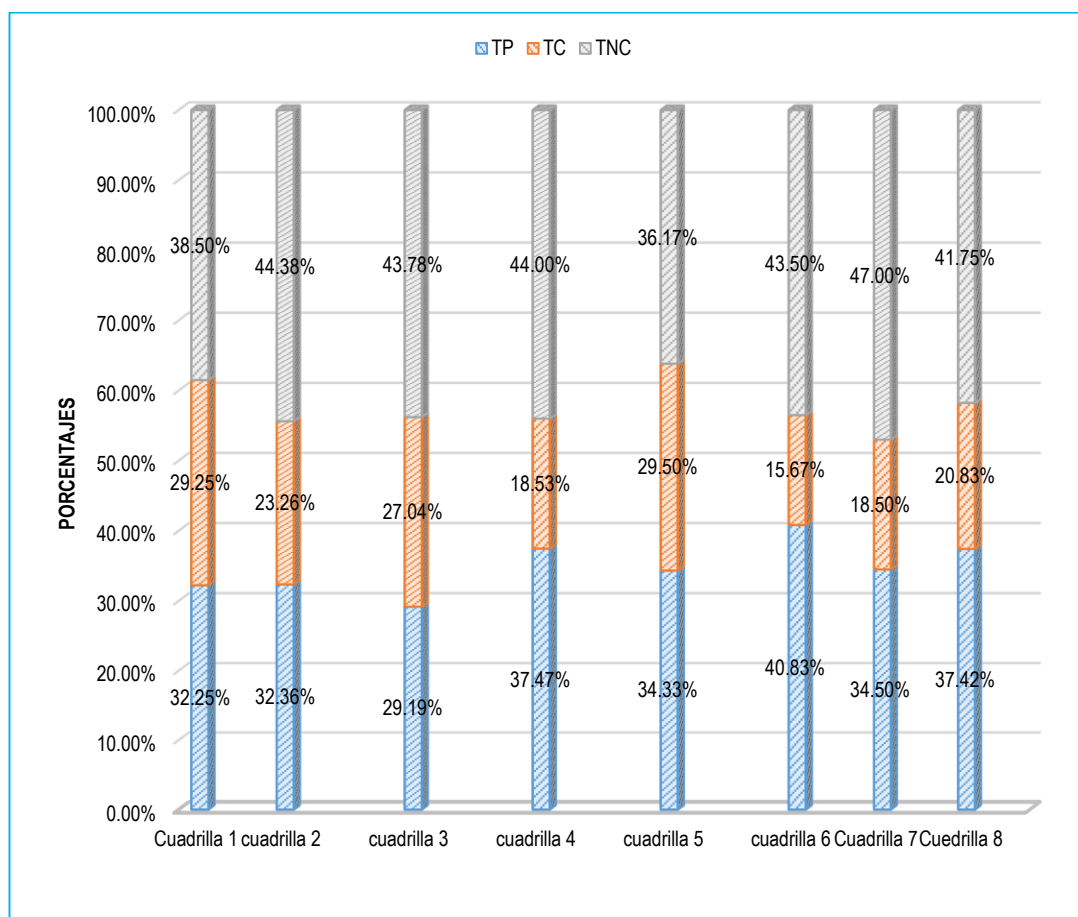
En suma, en la figura 49, se puede evidenciar que los trabajadores “K” y “N” poseen una mayor productividad con valores de TP de 46% y 49% respectivamente. En contraste, se tiene que los trabajadores “P” y “R” poseen, ambos, un valor de 52% de TNC. Por consiguiente, con esta información, se procede al ordenamiento de las cuadrillas para tener una mejor productividad futura.

En adición, en la figura 50, se presenta las cuadrillas programadas a lo largo del desarrollo de las actividades, lo cual, comprende 8 cuadrillas

programadas de las cuales se puede evidenciar que la cuadrilla 6 posee un mayor TP con un valor porcentual de 40.83%. Mientras que la cuadrilla 7, por otro lado, posee un TNC de 47.00 %. Este análisis permite tener un panorama del comportamiento de las cuadrillas con la finalidad del enfoque hacia la eliminación de actividades que no generan valor.

Figura 50

Análisis de distribución de tiempos para cada cuadrilla.



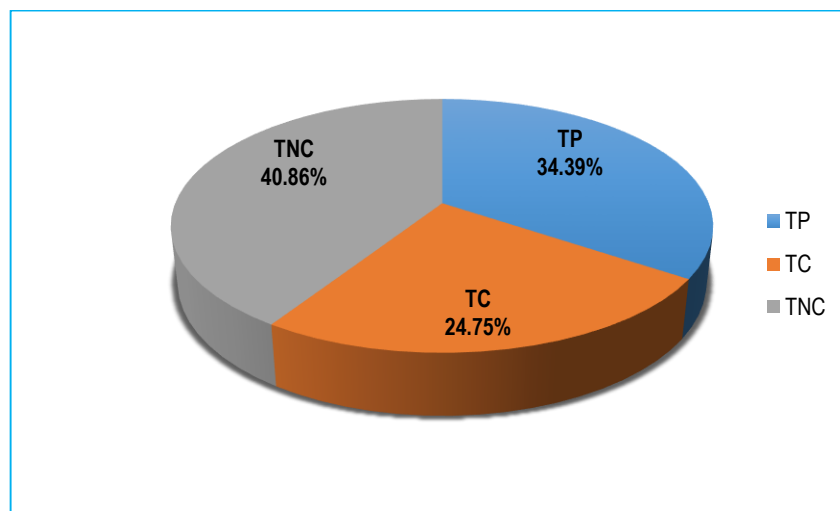
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Finalmente, en la figura 51, se logra obtener los valores generales para la productividad en la construcción de los módulos A35 y A45. Presentando así, un valor de 34.39% para los Trabajos productivos (TP), 24.75% para los

Trabajos Contributorios (TC) y un valor de 40.86% para los trabajos no Contributorios (TNC). Por lo tanto, se determinará las acciones y propuestas que puedan llevar a tener una mejora en la productividad de la mano de obra en los siguientes módulos construidos. Por consiguiente, en base a estos resultados, se requiere de la aplicación de nuevas metodologías que puedan efectuar un seguimiento en la ejecución de las actividades efectuadas en la fabricación de módulos y que permita mejorar la productividad en la construcción modular del buque multipropósito.

Figura 51

Distribución de los trabajos en la fabricación de paneles de los módulos A35 y A45.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

5.3. Nivel general de actividad en la fabricación de los módulos A36 y A46.

A continuación, con los resultados obtenidos del análisis y del diagnóstico en la fabricación de los primeros módulos, se procede a realizar las mediciones para la fabricación de los siguientes módulos A36 y A46. Por consiguiente, en la tabla 13 se presentan las muestras tomadas en la fabricación de los módulos A36 y A46, compuesta por 14 muestras tomadas en distintas fechas (27 y 30 de noviembre y 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 16 y 17 de diciembre). Con un registro de los valores porcentuales para los Trabajos productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos no Contributorios (TNC). De hecho, se puede apreciar que se obtuvo una mejora en los niveles de actividad real desarrollada en la ejecución de los trabajos de la mano de obra. Por consiguiente, se puede evidenciar, que la muestra 2 posee un valor máximo porcentual de 45% para los Trabajos Productivos (TP), así como, una disminución de los Trabajos no Contributorios (TNC) con un valor pico de 38.38% para la muestra 10. Además, en la figura 52 se puede observar que los valores porcentuales de TP se encuentran, en la mayoría de los casos, por encima de los valores de TC y TNC, evidenciando que el desempeño de los obreros presenta una tendencia a realizar actividades productivas.

Tabla 13

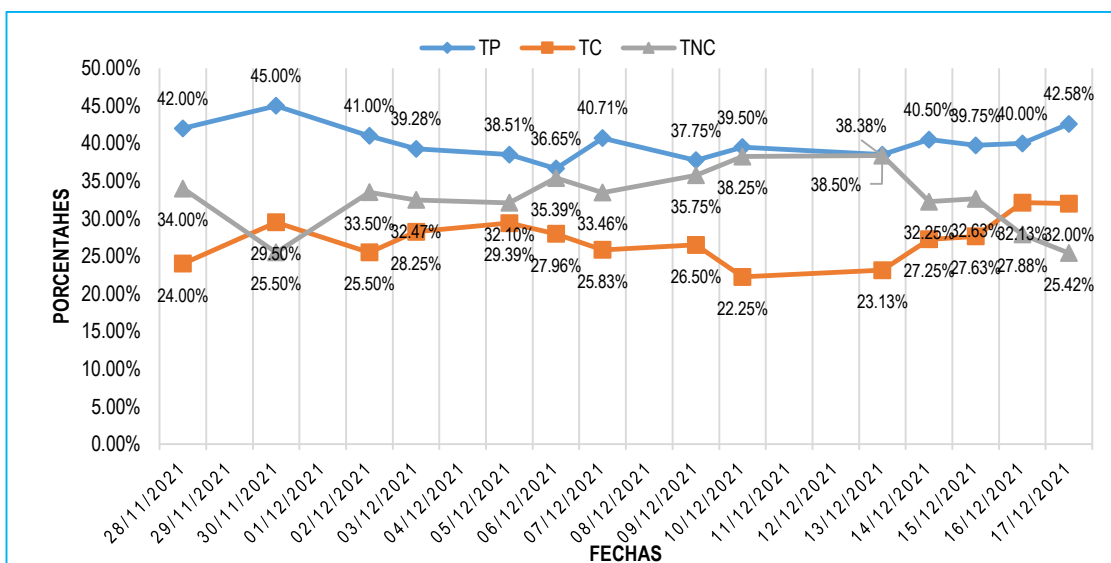
Resultados de las 14 muestras obtenidas para los tipos de trabajo.

Muestra	Fecha	TP	TC	TNC	Total
1	27/11/2021	42.00%	24.00%	34.00%	100.00%
2	30/11/2021	45.00%	29.50%	25.50%	100.00%
3	02/12/2021	41.00%	25.50%	33.50%	100.00%
4	03/12/2021	39.28%	28.25%	32.47%	100.00%
5	05/12/2021	38.51%	29.39%	32.10%	100.00%
6	06/12/2021	36.65%	27.96%	35.39%	100.00%
7	07/12/2021	40.71%	25.83%	33.46%	100.00%
8	09/12/2021	37.75%	26.50%	35.75%	100.00%
9	10/12/2021	39.50%	22.25%	38.25%	100.00%
10	13/12/2021	38.50%	23.13%	38.38%	100.00%
11	14/12/2021	40.50%	27.25%	32.25%	100.00%
12	15/12/2021	39.75%	27.63%	32.63%	100.00%
13	16/12/2021	40.00%	32.13%	27.88%	100.00%
14	17/12/2021	42.58%	32.00%	25.42%	100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 52

Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo en el proceso constructivo de los Módulos A36 y A46.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

En adición, se desprende de la tabla 14 un valor de TP de 40.12% de la totalidad de actividades efectuadas por la mano de obra. Mientras que, las otras actividades que no son productivas llegan a un valor de 59.88%, las cuales se distribuyeron en subcategorías para los TC y TNC. En ese sentido, la limpieza mecánica (LM) representa un mayor valor porcentual de 7.6%, seguido por el traslado de equipos y materiales (TM) que representa un valor porcentual de 4.43% y la preparación de junta (PJ) con un porcentaje de 2.98%. Por otro lado, se tiene para los Trabajos no Contributorios, las subcategorías de descansos (DE) con un mayor valor porcentual de 9.19% y esperas (ES) con un 7.66%. De hecho, el valor porcentual de conversaciones (CO) se redujo a un valor de 5.28%, evidenciando así, un cambio en el orden de la distribución de los TNC con reducciones considerables. Además, los descansos (DE) y Esperas (ES) se colocaron en las primeras posiciones, lo cual, brinda un panorama de mejora y reducción de las pérdidas (ver figuras 53 y 54). Por consiguiente, estos resultados se obtuvieron por medio de una adecuada interpretación del proceso constructivo y un seguimiento a las actividades productivas y cambios basados en la metodología *Lean Construction*.

Tabla 14

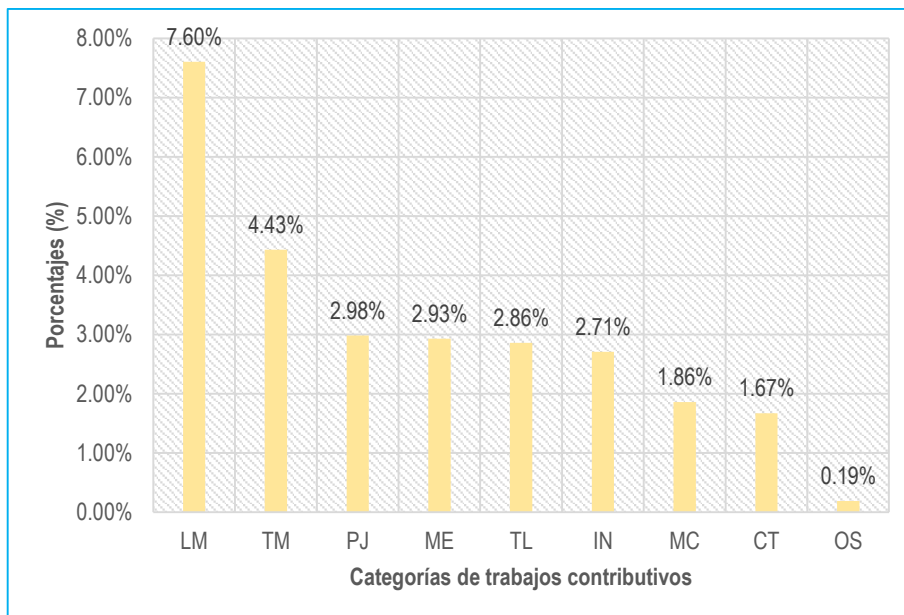
Promedio absoluto y valores porcentuales para cada actividad y subcategoría de TP, TC y TNC registrados.

Tipo de Trabajo	Actividad	[Frecuencia absoluta]/14 (min)	Frecuencia Relativa (%)	Frecuencia Acumulada (%)
TP	TP	166.21	40.12%	40.12%
	LM	31.50	7.60%	47.72%
	TM	18.36	4.43%	52.16%
	PJ	12.36	2.98%	55.14%
	ME	12.14	2.93%	58.07%
TC	TL	11.86	2.86%	60.93%
	IN	11.21	2.71%	63.64%
	MC	7.71	1.86%	62.79%
	CT	6.93	1.67%	65.31%
	OS	0.79	0.19%	65.50%
	DE	38.07	9.19%	74.69%
	ES	31.71	7.66%	82.34%
	CO	21.86	5.28%	87.62%
	MI	15.86	3.83%	91.45%
	TNC	CA	14.50	3.50%
ST		6.50	1.57%	96.52%
SH		3.79	0.91%	95.86%
RP		2.93	0.71%	97.22%
OR		0.00	0.00%	97.22%
Total			414.29	100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 53

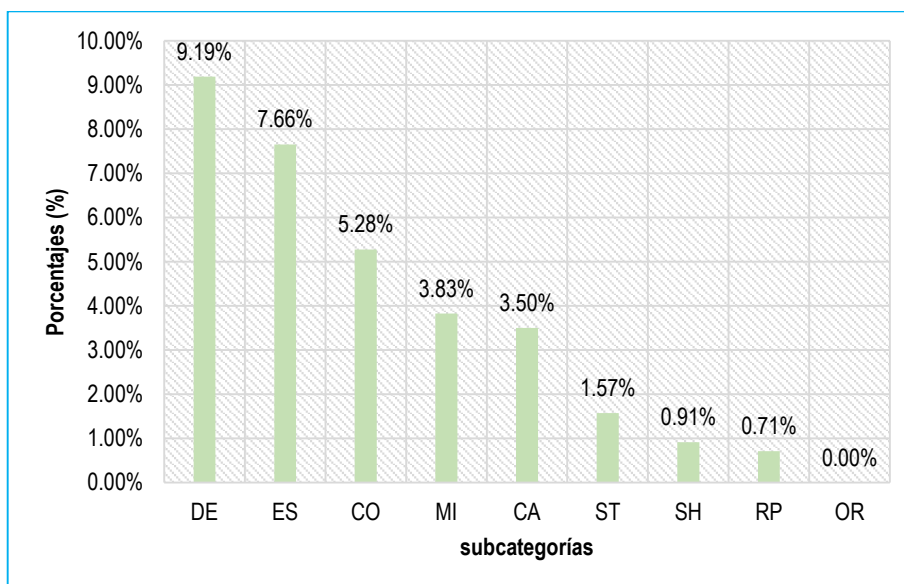
Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TC.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 54

Distribución del tiempo empleado para las sub categorías de los TNC.

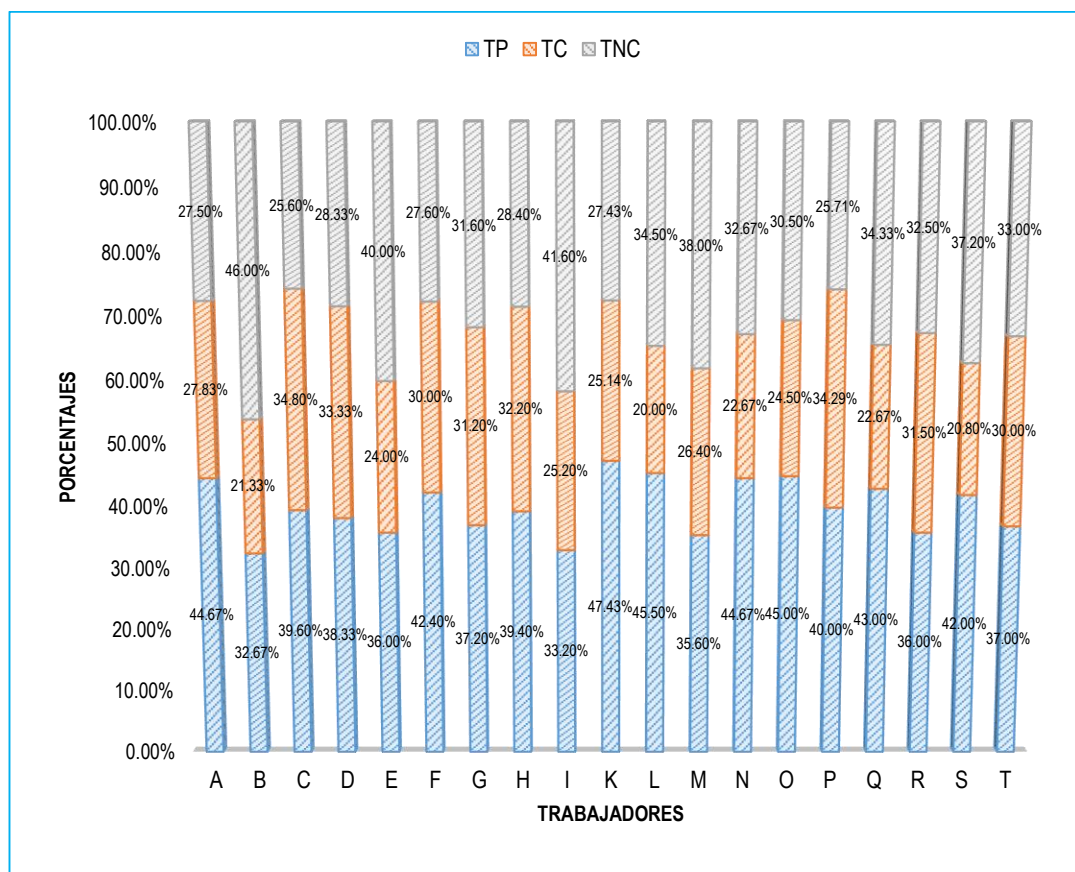


Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Además, en la figura 55, se puede evidenciar que los trabajadores “K” y “L” poseen un mayor nivel de actividad productiva con valores de TP de 47.46% y 45.5% respectivamente. En contraste, se tiene que los trabajadores “B” e “I” poseen valores porcentuales de 46% y 41.6% respectivamente, para los TNC. Estos resultados indican que mediante las herramientas aplicadas se obtiene un seguimiento individual por cada trabajador, el cual puede mejorar en proyectos posteriores.

Figura 55

Análisis de la distribución del tiempo para cada trabajador.

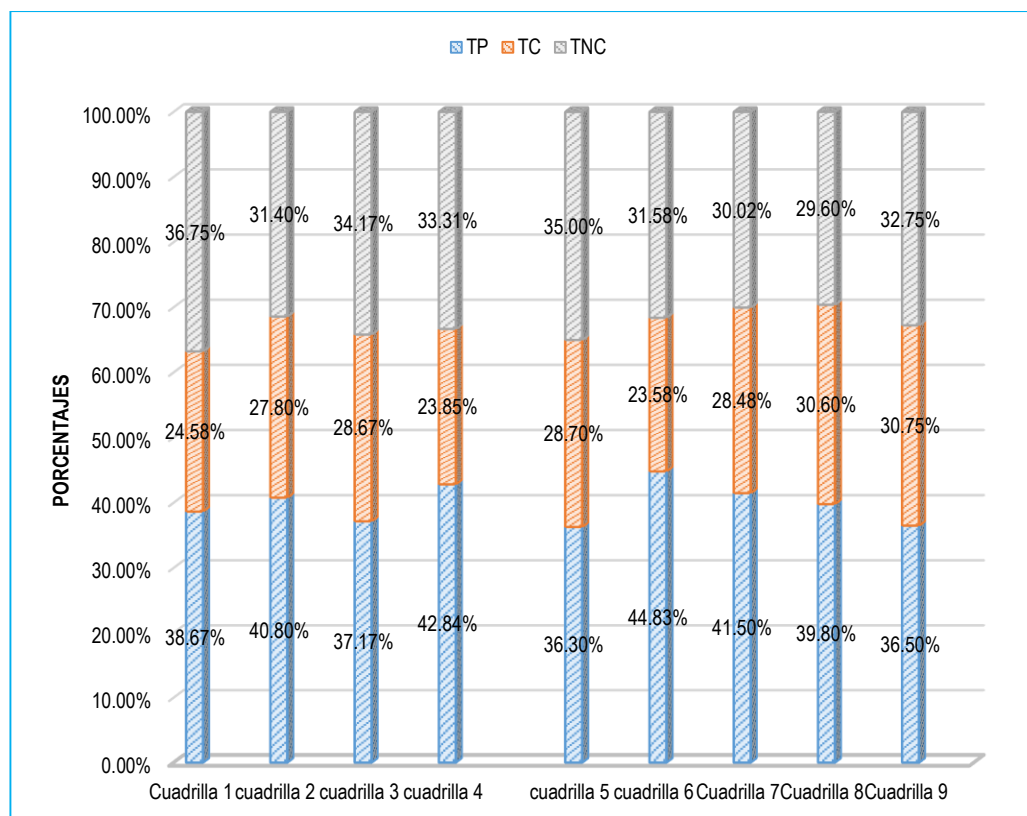


Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

En suma, en la figura 56, se presentan las cuadrillas programadas a lo largo del desarrollo de las actividades. Por consiguiente, se indica que, de las 9 cuadrillas programadas, la cuadrilla 6 posee un mayor TP, con un valor porcentual de 44.83%. Por otro parte, la cuadrilla 1 posee un mayor valor porcentual para los TNC de 36.75%, en ese sentido, se concluye que el ordenamiento de las cuadrillas y el seguimiento continuo en la ejecución de las actividades productivas, mejoran la productividad en el desempeño de los trabajadores.

Figura 56

Análisis de distribución de tiempos para cada cuadrilla.

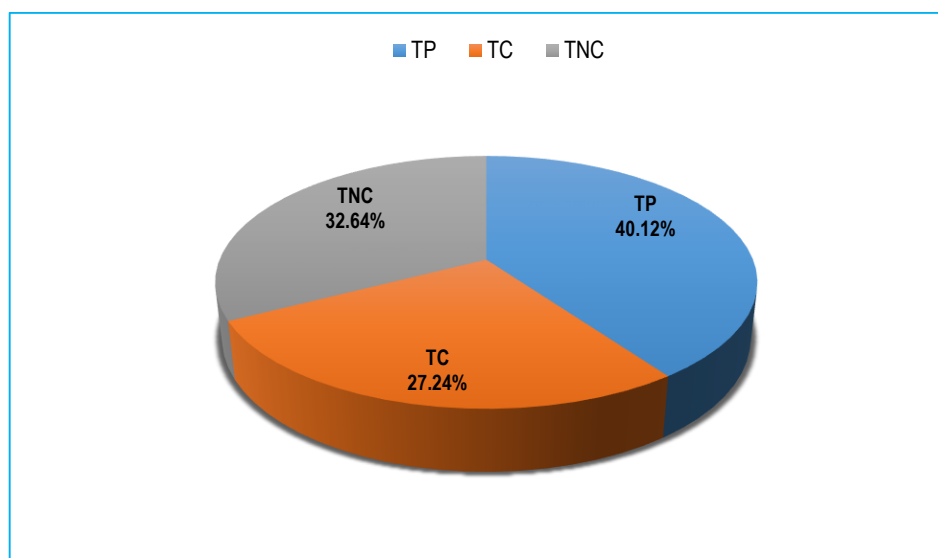


Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Por último, en la figura 57 se puede apreciar los valores generales para los niveles de actividad en la fabricación de los módulos A36 y A46. De hecho, se obtiene un valor de 40.12% para los Trabajos Productivos (TP), 27.24% para los Trabajos Contributorios (TC) y un valor de 32.64% para los trabajos no Contributorios (TNC). Por consiguiente, se precisa que los valores obtenidos evidencian mejoras en la construcción modular del buque y cuya discusión se realizará en el siguiente capítulo.

Figura 57

Distribución de los trabajos en la fabricación de paneles de los módulos A36 y A46.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

5.4. Cartas de balance en la fabricación de los módulos A36 y A46.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados de la aplicación de la herramienta Cartas de Balance en la fabricación de los módulos A36 y A46 para las cuadrillas distribuidas en el espacio de trabajo. En específico, se da un seguimiento iniciando con la elaboración de un diagrama de flujo para la actividad efectuada, seguido de la distribución del personal asignado, para después, presentar los resultados obtenidos. Luego, se prosigue con el análisis de los resultados y, por último, se describen las propuestas que contribuyeron a la mejora en el proceso productivo.

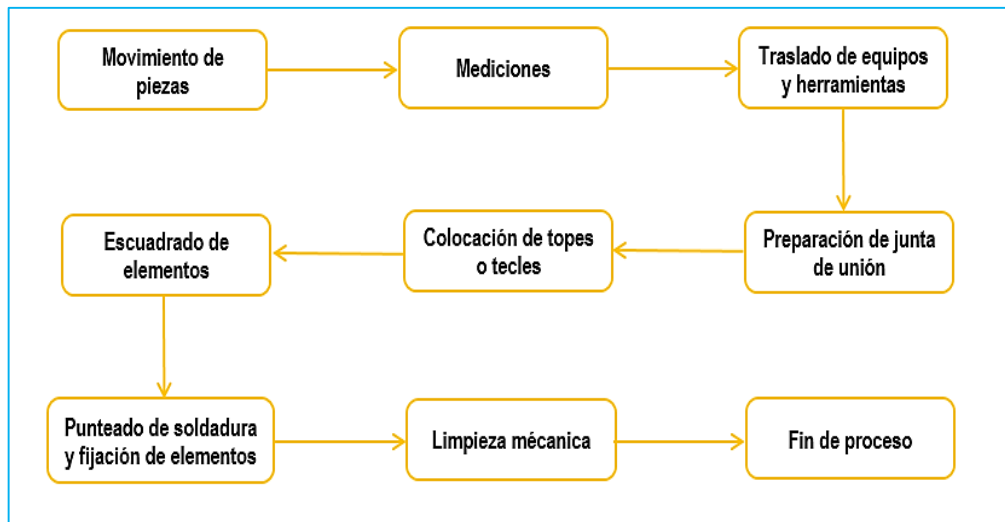
5.4.1. Sub ensamble de placas

a) Diagrama de flujo

Para esta actividad específica, en concreto, se realizó el ordenamiento de las actividades que se efectúan en cada proceso mediante un diagrama de flujo, el cual, se puede apreciar en la figura 58. En efecto, esto permitió representar de forma secuencial las actividades y tener un mejor análisis de las incidencias durante el desarrollo de cada actividad. Además, se obtuvo una mejor distribución de la mano de obra en el espacio de trabajo.

Figura 58

Diagrama de flujo para el proceso de sub ensamble de placas.



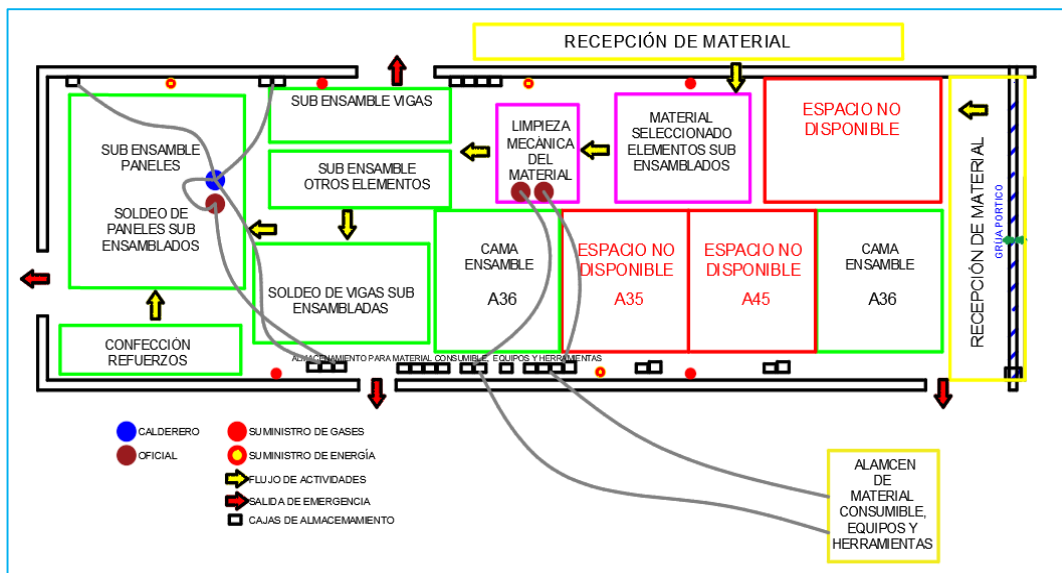
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

b) Distribución del personal asignado

En definitiva, se procedió a reducir las 4 personas distribuidas en 1 cuadrilla conformada por 2 caldereros y 2 oficiales, utilizadas en la fabricación de los módulos A35 y A45. En vez de ello, se estableció 1 cuadrilla conformada por 1 calderero y 1 oficial destinada a la fabricación de los nuevos módulos A36 y A46 (ver figura 59). En pocas palabras, se redujo la cantidad de integrantes de cada cuadrilla obteniéndose un total de 2 personas dirigidas a efectuar esta actividad (ver figura 60). En consecuencia, esto permitió tener una mejor distribución del personal. Además, se formó una cuadrilla de limpieza mecánica y preparación de junta para aumentar la calidad de la unión soldada y reducir los reprocesos.

Figura 59

Diagrama de distribución de cuadrillas para la actividad de sub ensamble de placas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 60

Trabajo productivo para la actividad de sub ensamble de placas.



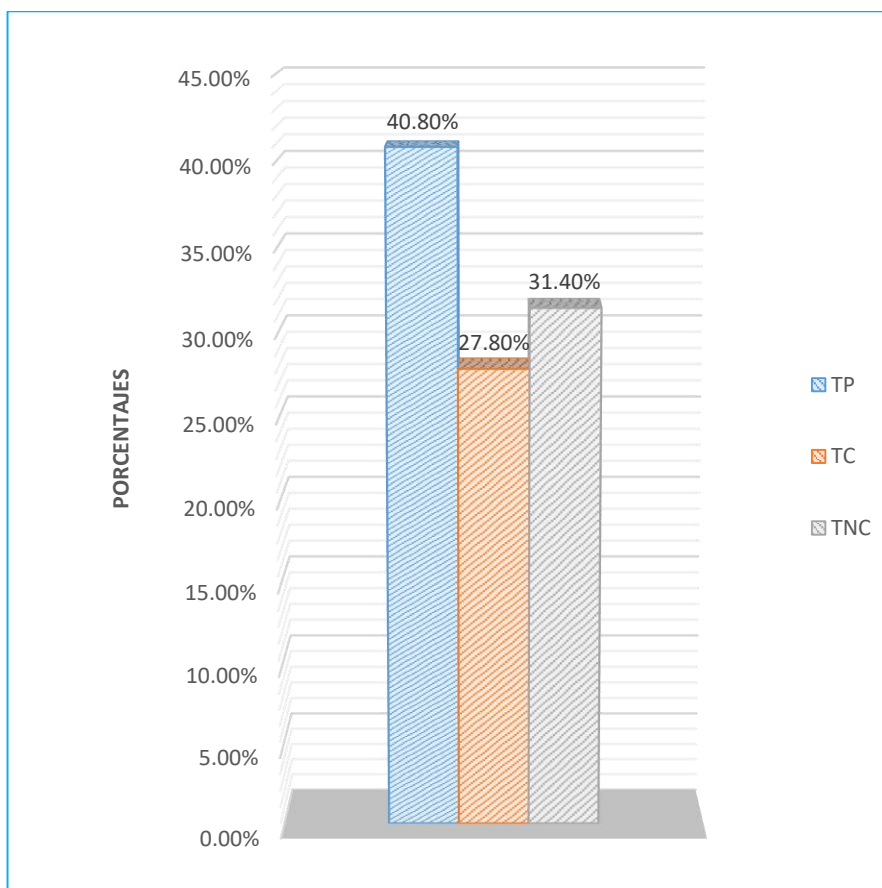
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

c) Resultados

Con todo y lo anterior, se presentan los resultados generales obtenidos para las cuadrillas analizadas, de los cuales, se desprende un valor porcentual de 40.80% para los trabajos productivos, 27.80% para los Trabajos Contributorios y 31.04% para los Trabajos no Contributorios, así, pues, esta información se puede evidenciar en la figura 61.

Figura 61

Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.



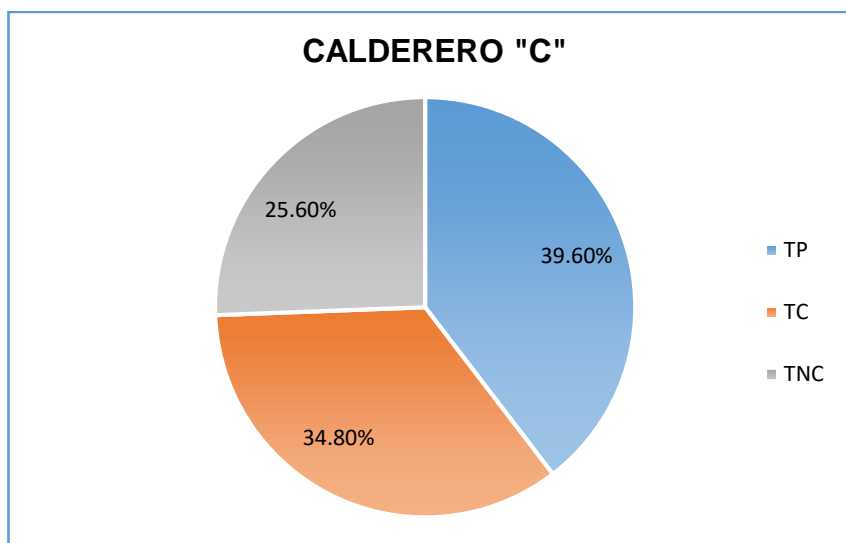
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

d) Análisis de resultados

De todo lo anterior, se puede evidenciar, que los resultados corresponden a una mejora en la productividad. De hecho, esta mejora procede de la correcta interpretación del proceso constructivo, a fin de obtener un mejor flujo del proceso para esta actividad. Por consiguiente, existe una tendencia a la reducción del TC y TNC que se muestra de forma detallada en las figuras 62 y 63. Sin embargo, estos valores pueden mejorar en futuros proyectos. Para ello, es necesario plantear propuestas de mejora continua.

Figura 62

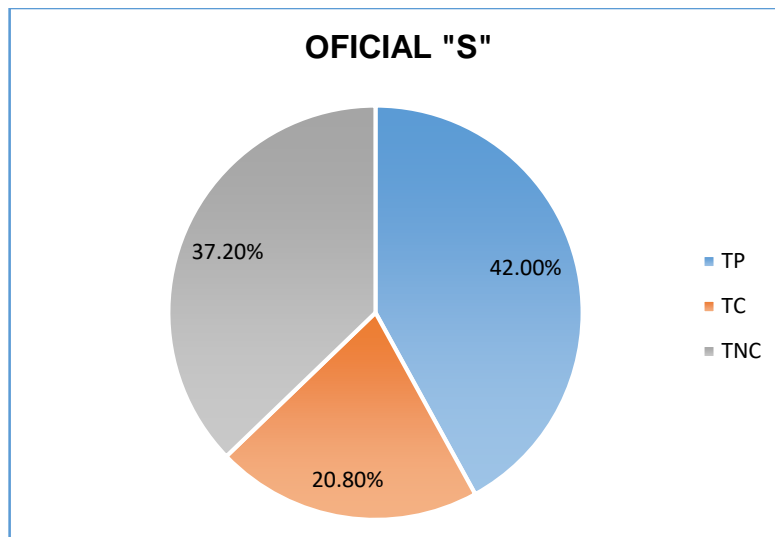
Ocupación del tiempo del Calderero "C" para la actividad de sub ensamble de placas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 63

Ocupación del tiempo del Oficial "S" para la actividad de ensamble de placas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

e) Propuestas de mejora

En primer lugar, es necesario conservar la cuadrilla que ejecuta esta actividad, puesto que se ofrece la posibilidad de aplicar instrucción técnica continua por medio de la capacitación de cada trabajador involucrado.

En segundo lugar, al realizar el análisis, por medio de las Cartas de Balance, se observó que los trabajadores que efectuaban la preparación de junta y limpieza de bordes en placas y otros elementos tenían elevados porcentajes de trabajos no Contributorios. Es por esta razón, que se propuso la formación de una cuadrilla especializada para efectuar la limpieza mecánica y preparación de junta de unión por soldadura. Consecuentemente, se le proporcionó un espacio de trabajo específico, para realizar esta función (ver figura 59).

Por otro lado, ya en la técnica de calderería, se trató en todo momento de no dañar el material, confeccionando cáncamos más pequeños y colocándolos a 50 cm sobre cada placa, a ambos lados de la unión, con esto se consiguió obtener el uso efectivo de tecles que permitieron ejercer una mayor presión sobre la junta, y así, conseguir un buen armado de las placas correspondientes a cada panel.

Además, se elaboró un formato de control dimensional para las placas que permitieron registrar mediciones antes, durante y después de cada proceso (ver anexos c y d).

Finalmente, de la correcta interpretación de los planos constructivos se planteó que los paneles que son parte de la estructura del casco se ensamblen de manera vertical sobre la cama de ensamble, esto debido al tipo de junta de unión por soldadura que tenían sus placas.

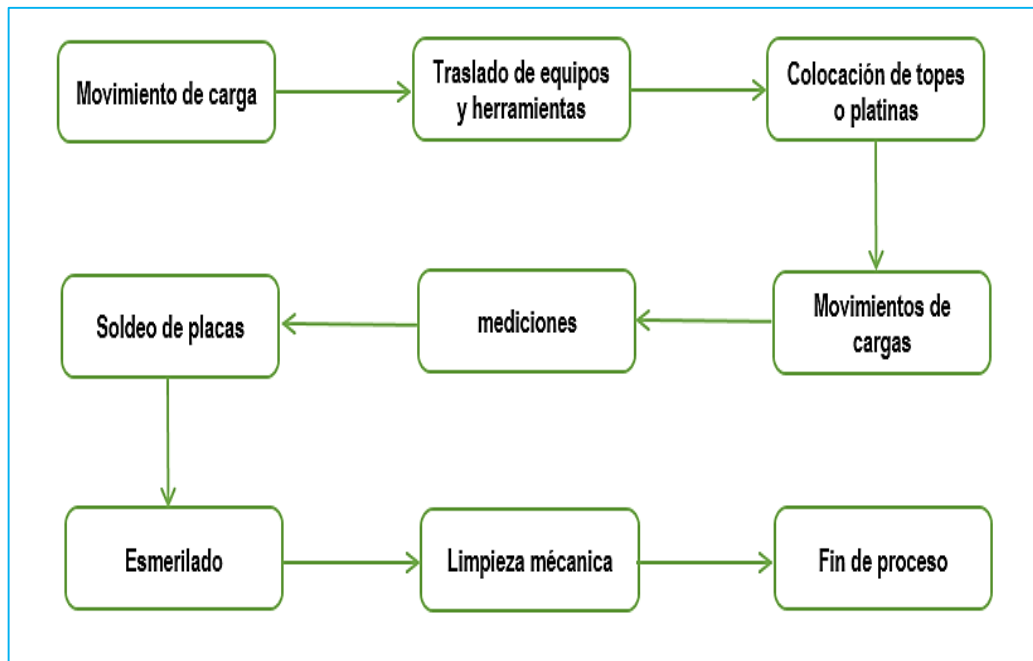
5.4.2. Soldeo a tope de placas sub ensambladas

a) Diagrama de flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo para la actividad productiva de soldeo de placas sub ensambladas. En efecto, como en el caso anterior (inciso a) se efectuó el ordenamiento de las actividades de forma secuencial (ver figuras 64). Por consiguiente, se logró tener un mejor análisis de las incidencias durante el desarrollo de la actividad seleccionada.

Figura 64

Diagrama de flujo para el proceso de soldeo de placas sub ensambladas.



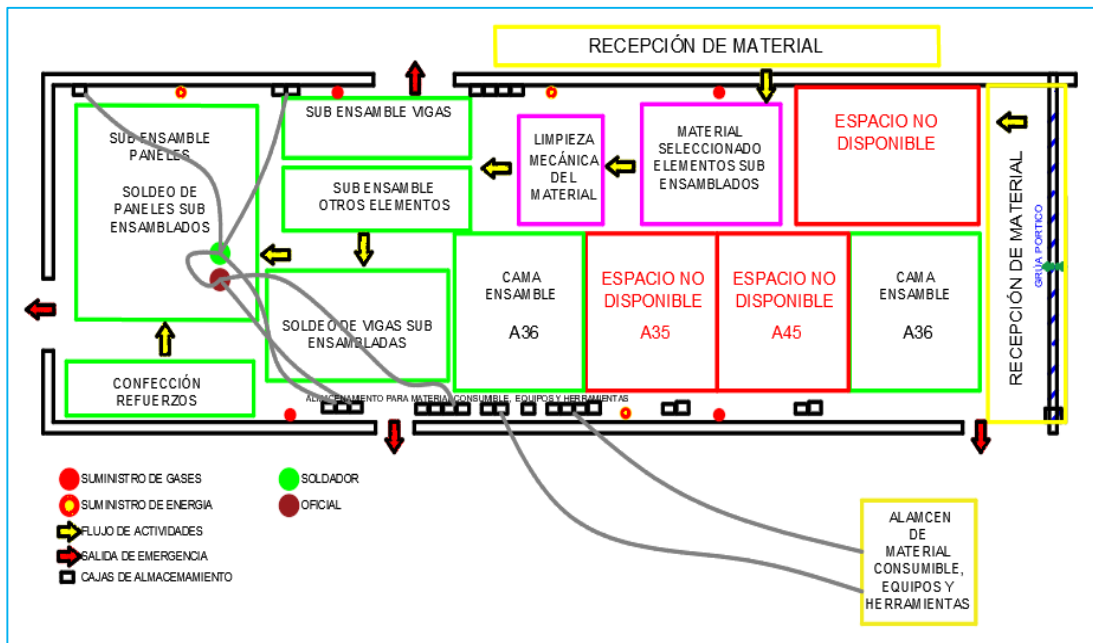
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

b) Personal distribuido

Específicamente, Para esta actividad se mantuvo la cuadrilla especializada en este tipo actividad. De lo cual, se aprovechó en efectuar una mejor instrucción a los miembros de la cuadrilla, compuesta por 1 soldador calificado y 1 oficial de apoyo distribuidos de forma efectiva (ver figuras 65 y 66). Sin embargo, la existencia de limitaciones como la disposición de una sola máquina soldadora para desarrollar esta actividad limitó el avance.

Figura 65

Distribución de cuadrilla en el área de trabajo.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 66

Trabajo productivo para la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.



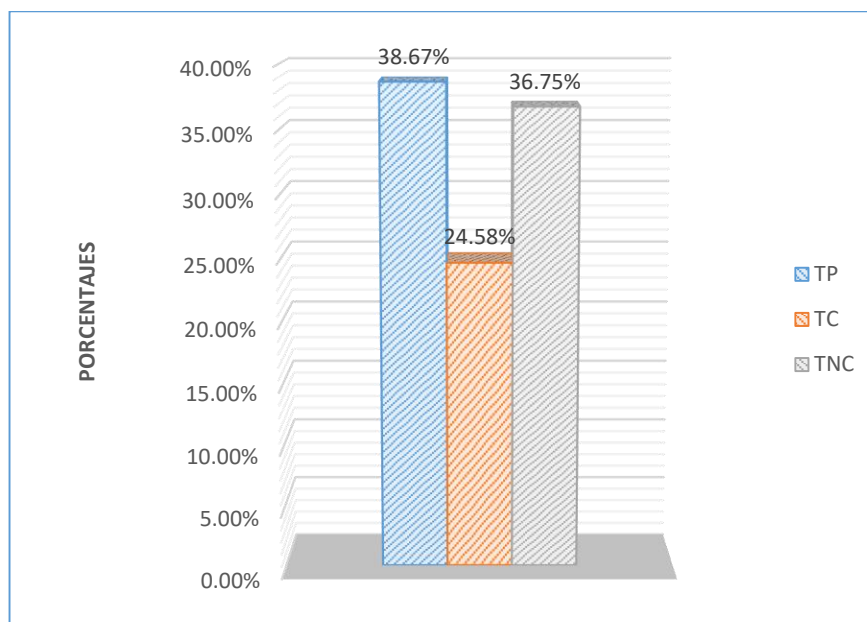
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

c) Resultados

A continuación, se muestran los resultados generales de la cuadrilla direccionada a la ejecución de esta actividad, de lo cual, se desprende un 38.67% para los Trabajos Productivos, 24.58% para los Trabajos Contributorios y 36.75% para los Trabajos no Contributorios, tal como se puede evidenciar en la figura 67.

Figura 67

Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

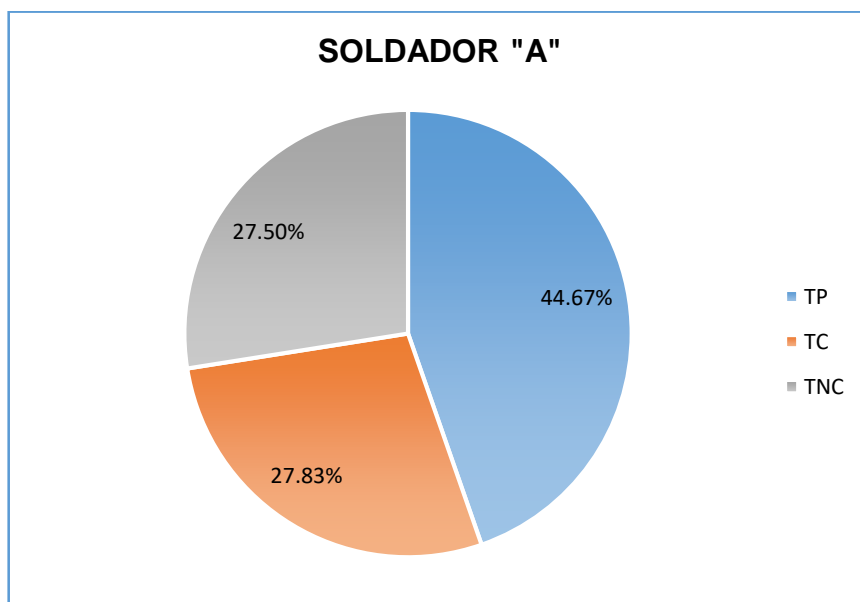
d) Análisis de resultados

Antes de presentar las propuestas para esta actividad es oportuno realizar un análisis de los resultados presentados anteriormente. De hecho, la correcta interpretación del proceso, logró el compromiso por parte de los integrantes de la cuadrilla. Tal es así, que se logró un TP de 44.67% para el soldador "A", esta información se puede evidenciar en la figura 68. Así como

un TP de 32.67% para el oficial de apoyo (ver figura 69). Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos, el oficial "B" obtuvo un valor de 46% de TNC. con lo cual, no se logró disminuir las actividades que no agregan valor puesto que existen maniobras que conllevan a esperas y demoras que no son ocasionadas por los trabajadores que ejecutan la actividad analizada.

Figura 68

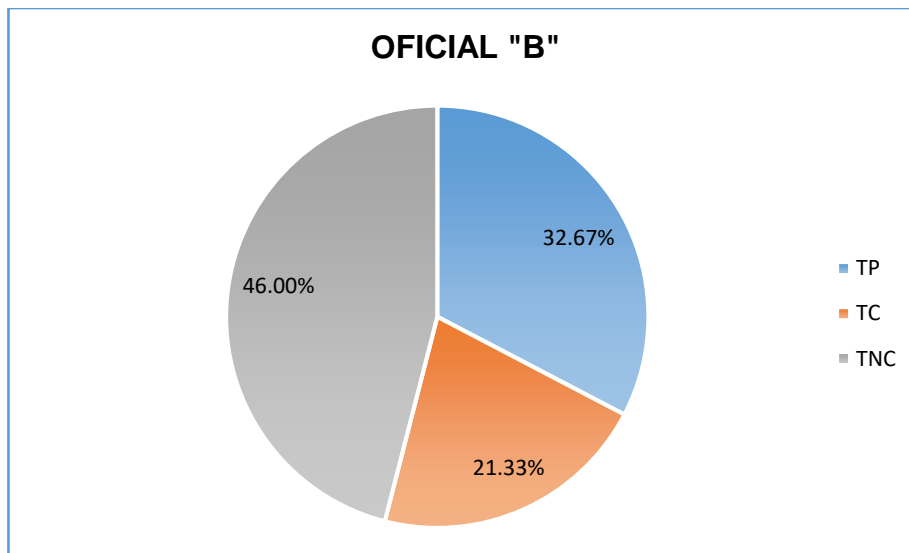
Ocupación del tiempo del soldador "A" en la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 69

Ocupación del tiempo del oficial "B" en la actividad de soldeo de placas sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

e) Propuestas de mejora

En principio, la cuadrilla fue conservada brindando la oportunidad de efectuar la instrucción técnica para la capacitación de cada trabajador, con la finalidad de poder obtener un mejor rendimiento.

Además, se planteó trasladar el contenedor (pañol) utilizado como almacén hacia el área del trabajo para reducir los viajes del personal por traslado de material, equipos y herramientas. Sin embargo, al no ser factible por motivos administrativos se optó por aumentar cajas de almacenamiento en el área de trabajo que sirvieron de almacén provisional. De esta manera, se logró obtener un flujo de materiales continuo. Es necesario recalcar, que se tuvo que delegar a un encargado con experiencia para la entrega de

material debido a constantes pérdidas por robo u otras situaciones que se dieron en el pasado.

En adición, para esta actividad se elaboró un formato de control de calidad que permitió tener un mejor flujo de información hacia el cliente (Astillero). Con ello, se pudo agilizar y minimizar los tiempos por demoras o esperas debido a descoordinaciones con la Dirección de Aseguramiento de la Calidad del cliente (Ver anexos c y d).

Por otro lado, de acuerdo al proceso constructivo, se orientó a que se efectúe el armado y soldeo de acuerdo a lo que indica los instructivos del cliente. Esto obligó a que el panel perteneciente al casco se arme de forma vertical en la cama de ensamble colocando primero las cuadernas, luego las placas y por último los refuerzos. De esta manera se logró un proceso correcto.

5.4.3. Sub ensamble de refuerzos en panel

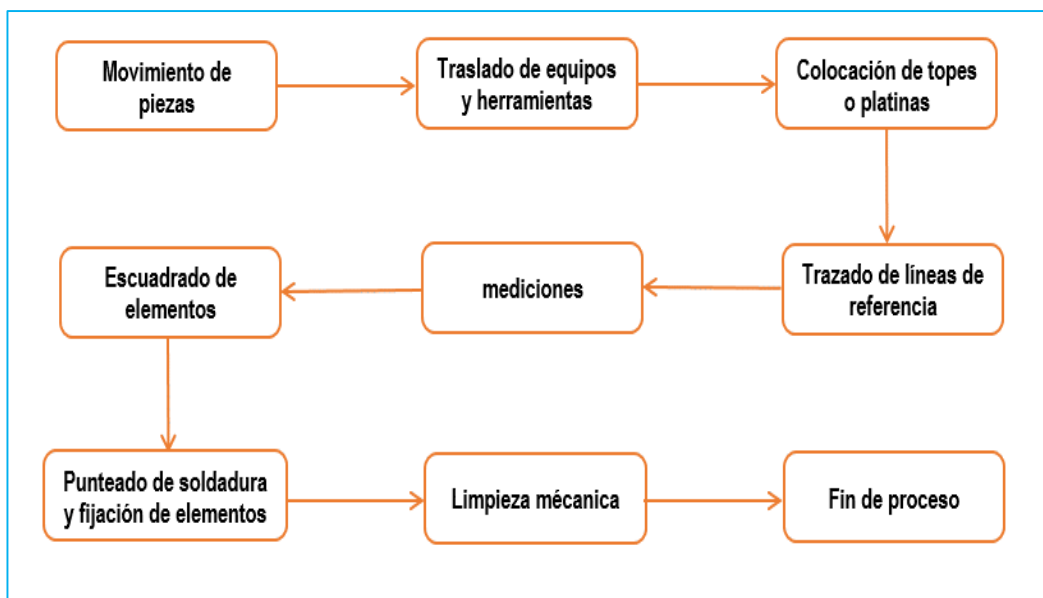
a) Diagrama de flujo

El diagrama de flujo, como se indicó anteriormente, abarca un análisis de todo el proceso de tal manera que se pueda generar una secuencia continua, tal cual se puede apreciar en la figura 70. Específicamente, en el ensamble de refuerzos, existen trabajos contributorios que se tienen que realizar de forma obligatoria para poder efectuar los trabajos productivos. Una de estas actividades es el trazado de líneas de referencia, el cual se realiza antes de la colocación de refuerzos y otros elementos. Estos trabajos

conlleven el consumo de horas hombre, que muchas veces no son tomados en cuenta. Además, de efectuarse por personal con experiencia y supervisión calificada para una correcta interpretación del trazado de cada línea. En suma, cabe mencionar que esta actividad depende de la confección de refuerzos y de otros elementos estructurales, es, pero ello, que en todo momento se mantuvo un flujo continuo con la habilitación oportuna de estos elementos.

Figura 70

Diagrama de flujo para el proceso de sub ensamble de refuerzos en panel.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

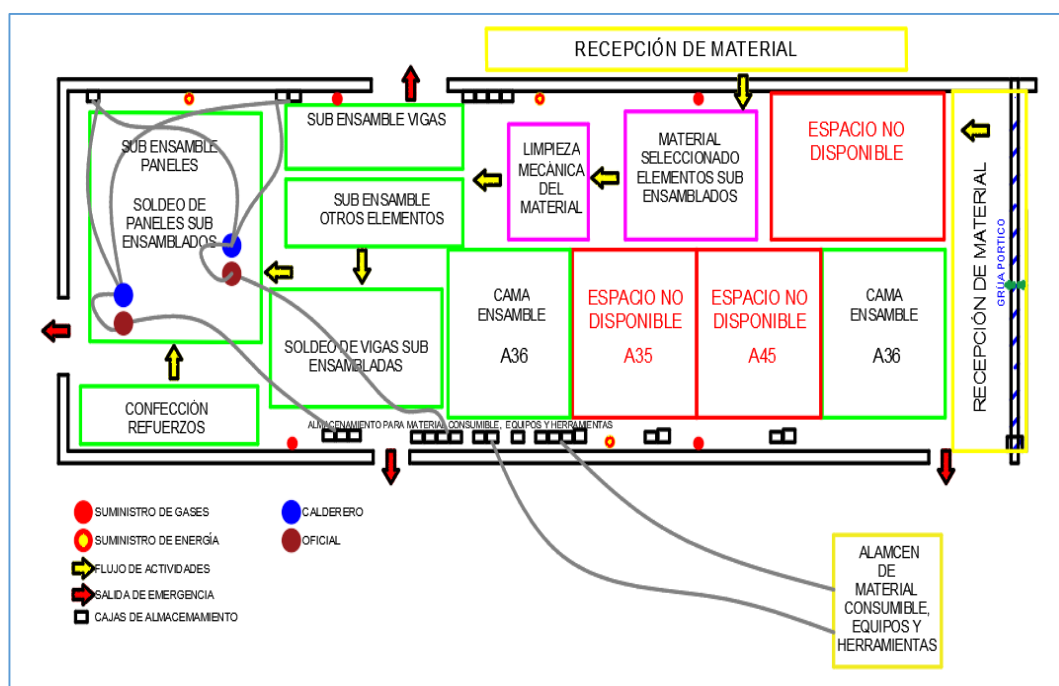
b) Personal distribuido

En definitiva, para esta actividad se mantuvo las 2 cuadrillas especializadas en este tipo actividad. De hecho, se aprovechó en efectuar una mejor instrucción a los miembros de cada cuadrilla, compuesta por 1 calderero calificado y 1 oficial, todos ellos, distribuidos de forma efectiva en el área de trabajo (ver figuras 71 y 72). En concreto, la existencia de la disposición de los

elementos a ensamblar listos y preparados mejoró el flujo de esta actividad, logrando así, desarrollar esta actividad con cierta efectividad. Recordar, que los refuerzos pertenecientes al panel que son parte de la cubierta, se ensamblan sobre la cama de ensamble nivelada, la cual, cumple la función de base para toda la estructura del módulo. Esto implica, en efecto, un tiempo de espera por parte de la cuadrilla encargada, debido al traslado de las placas sub ensambladas a la cama de ensamble, así como su limpieza, preparación y trazado de las líneas de referencia necesarias para el control dimensional del módulo.

Figura 71

Distribución de cuadrilla en el área de trabajo.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 72

Trabajo productivo para la actividad de ensamble de refuerzos sub ensamblados.



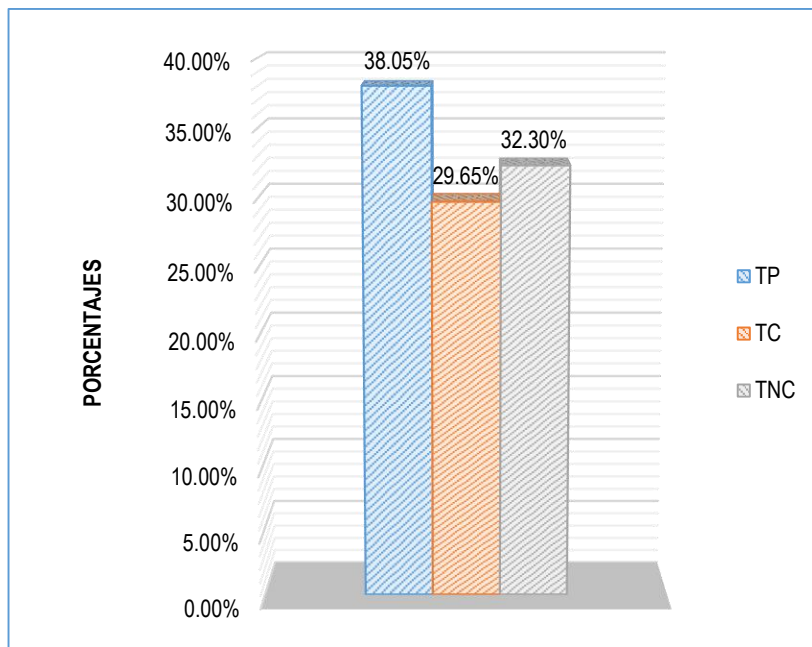
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

c) Resultados

En resumen, se muestran los resultados generales obtenidos para las cuadrillas analizadas, dividiéndose en un valor porcentual de 38.05% para los Trabajos productivos, 29.65% para los Trabajos Contributorios y 32.30% para los Trabajos no Contributorios, como se puede evidenciar en la figura 73.

Figura 73

Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.



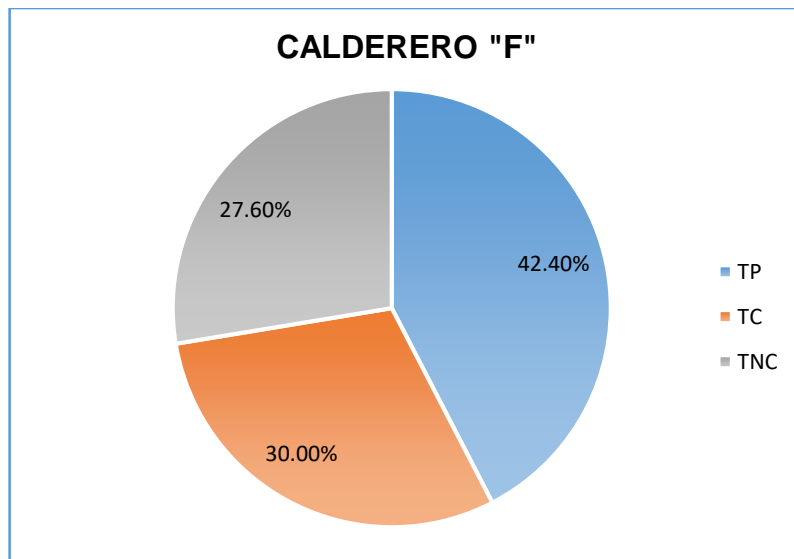
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

d) Análisis de resultados

Antes de presentar las propuestas para esta actividad es oportuno realizar un análisis de los resultados presentados anteriormente. Por consiguiente, la correcta interpretación del proceso, logró el compromiso por parte de los integrantes de la cuadrilla. Tal es así, que se logró un TP de 42.40% para el calderero “F”, esta información se puede evidenciar en la figura 74. Así como un TP de 37.20% para el oficial “G” (ver figura 75). Por otro lado, el oficial “G” obtuvo un valor de 27.60% de TNC. con lo cual se logró disminuir desperdicios. Mientras que, el oficial “G” registró un TNC de 31.6%. con lo cual se evidencia que con un correcto análisis del proceso constructivo tomando diversas precauciones, se logra conseguir un aumento en la productividad y una disminución de las pérdidas.

Figura 74

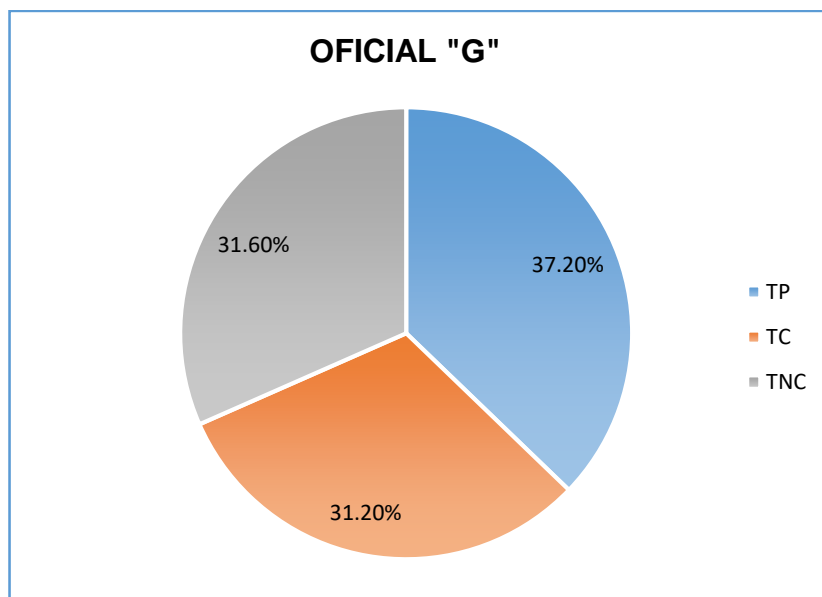
Ocupación del tiempo del calderero "F" en la actividad de ensamble de refuerzos sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 75

Ocupación del tiempo del oficial "G" en la actividad de ensamble de refuerzos sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

e) Propuestas de mejora

En primer lugar, la primera mejora para esta actividad se da al minimizar las pérdidas por demoras o esperas debido a la disposición de los refuerzos listos y preparados para su colocación. Estos elementos, pasaron por un correcto control de dimensiones en su confección cuidando detalles y medidas. En concreto, como se indicó, la primera actividad que se realiza, es el trazado de líneas sobre las placas sub ensambladas que sirven como referencia para la colocación de los refuerzos, estas se encuentran, a su vez, relacionadas entre sí para todos los paneles que corresponden al módulo. De hecho, son las que enmarcan la producción de los paneles reforzados. Es por ello, que el seguimiento de esta actividad se registró por medio de formatos de control dimensional con el objeto de efectuar la verificación por medio de la comparación entre las medidas reales y las medidas nominales establecidas en el diseño del módulo y obtenidas, directamente, de los planos constructivos (ver anexos c y d).

Por otro lado, de acuerdo al proceso constructivo, se orientó a que se efectúe el armado tal como indica los planos constructivos brindados por el cliente. Esto obligó a disponer de un tiempo en el trazado de líneas de referencia evitando desfases, desalineamientos u otro factor que pudiera provocar reprocesos o trabajos rehechos.

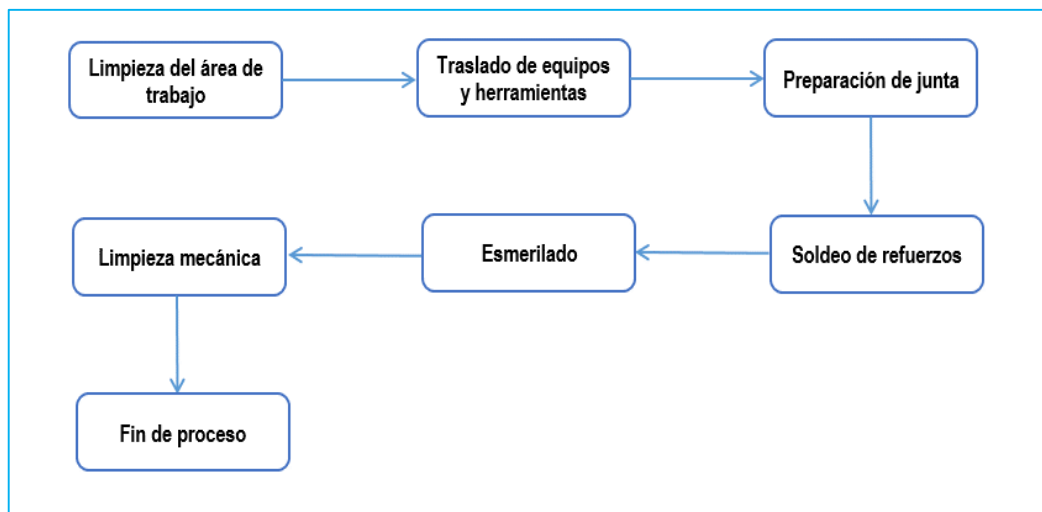
5.4.4. Soldadura de filete de refuerzos sub ensamblados en panel

a) Diagrama de flujo

En principio, para la actividad de soldeo de refuerzos, se realizó el ordenamiento de las actividades que se efectúan, seleccionando cada proceso como se puede apreciar en la figura 76. En consecuencia, esto permitió representar de forma secuencial las actividades y tener un mejor análisis de las incidencias que se fueron desarrollando. Además de obtener una mejor distribución de la mano de obra en el espacio de trabajo.

Figura 76

Diagrama de flujo para el proceso de soldeo de refuerzos sub ensamblados en panel.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

b) Personal distribuido

Específicamente, Para esta actividad se mantuvo la cuadrilla especializada en este tipo actividad. De lo cual, se aprovechó en efectuar una mejor instrucción a los miembros de las dos cuadrillas, compuesta cada una

por 2 soldadores calificados distribuidos de forma efectiva (ver figuras 77 y 78).

Figura 77

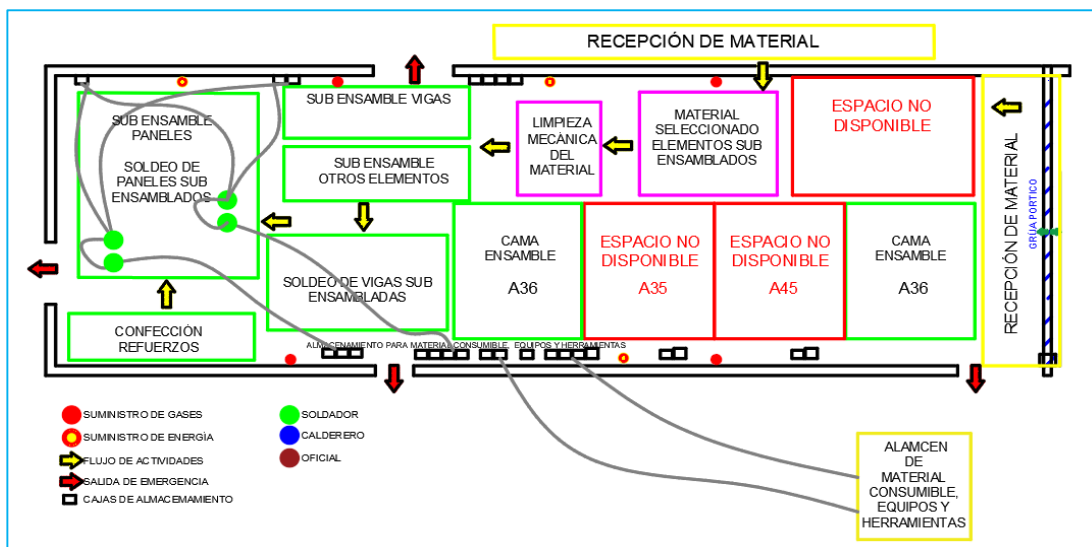
Trabajo productivo para la actividad de soldeo de refuerzos sub ensamblados en panel.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 78

Diagrama de flujo para el proceso de ensamble de refuerzos de panel.



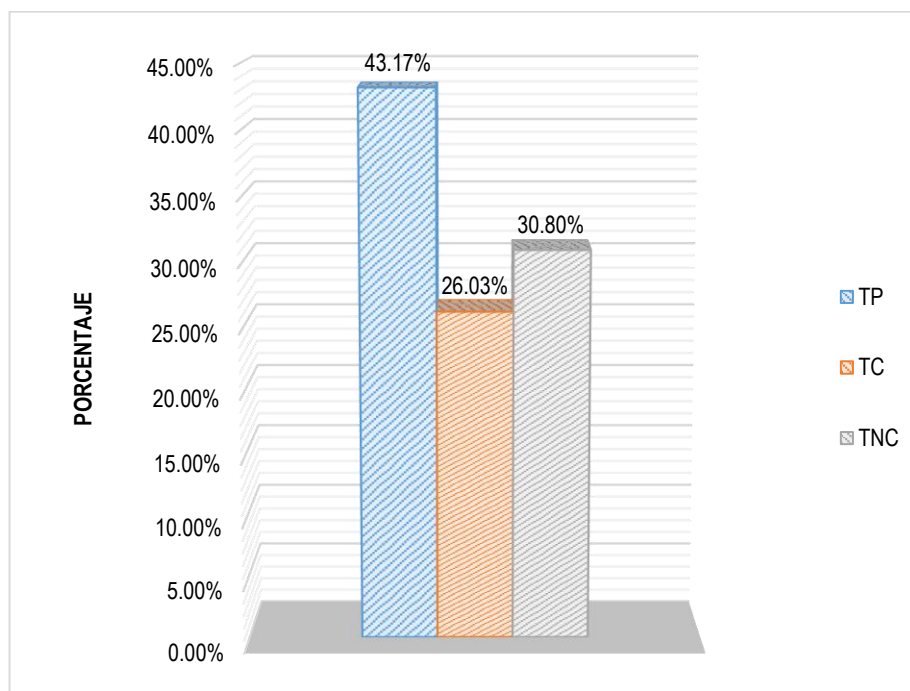
Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

c) Resultados

A continuación, se presentan los resultados generales obtenidos para las cuadrillas analizadas, dividiéndose en 43.17% para los Trabajos productivos, 26.03% para los Trabajos Contributorios y 30.80% para los Trabajos no Contributorios, como se puede evidenciar en la figura 79.

Figura 79

Resultados generales para los TP, TC y TNC para las cuadrillas analizadas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

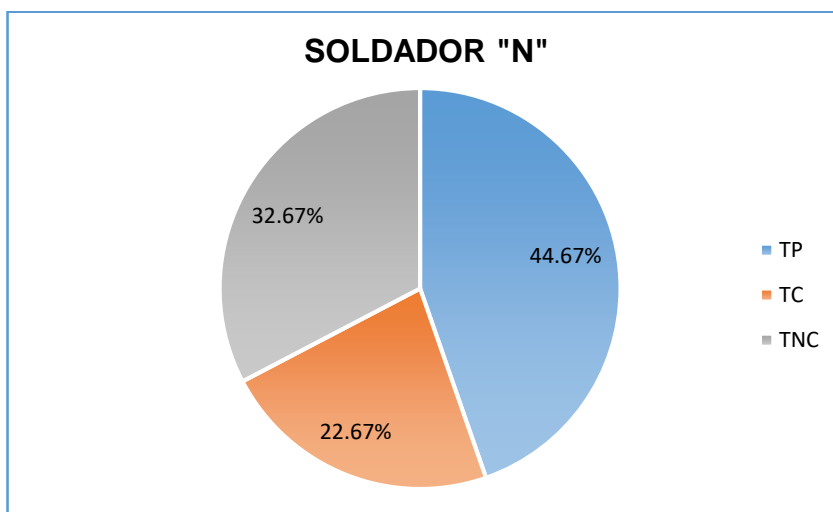
d) Análisis de resultados

Ahora, es oportuno realizar un análisis de los resultados presentados anteriormente. De hecho, la correcta interpretación del proceso, logró el compromiso por parte de los integrantes de la cuadrilla. Tal es así, que se logró un TP de 44.67% para el soldador "N", esta información se puede

evidenciar en la figura 80. Así como un TP de 45.00% para el soldador "O" (ver figura 81).

Figura 80

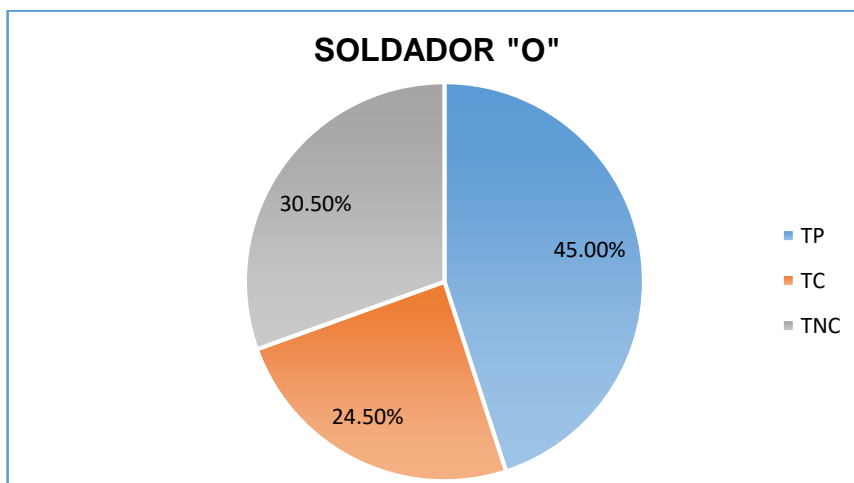
Ocupación del tiempo del soldador "N" en la actividad de soldeo de refuerzos sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 81

Ocupación del tiempo del soldador "O" en la actividad de soldeo de refuerzos sub ensambladas.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

e) Propuestas de mejora

En principio, las cuadrillas fueron conservadas brindando la oportunidad de efectuar la capacitación de cada trabajador, con la finalidad de poder obtener un mejor desempeño. Tal es así, que se le logró obtener buenos resultados.

Por otro lado, una vez realizado el seguimiento mediante Cartas de Balance, se observó que los trabajadores tenían elevados porcentajes de Tiempos No Contributorios. De hecho, se observó que al programar trabajos de armado y soldeo en simultaneo se producían demasiadas conversaciones y simulaciones de trabajo. Es por ello que se propuso que se efectúe el soldeo de refuerzos después de haber armado más del 85% de los refuerzos o, en lo posible, terminar de colocar todos los refuerzos en el panel. Esto permitió eliminar las distracciones entre los trabajadores y promover la competencia en cuanto a calidad y producción. De esta manera se logró mantener un correcto procedimiento, evitar incidentes, promover incentivos y minimizar pérdidas.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de las hipótesis planteadas

En primer lugar, es conveniente presentar los niveles de actividad real de los trabajos productivos, trabajos contributorios y trabajos no contributorios que fueron obtenidos de los resultados generales, los cuales, se encuentran expresados en la tabla 15 y en la figura 82. Por consiguiente, para el caso de los módulos A36 y A46 las actividades productivas superan a las otras dos categorías no productivas. De hecho, de los resultados se desprende un valor porcentual de 40.12% para los trabajos productivos (TP), le siguen los trabajos no contributorios (TNC) con 32.64%, valor que dista por ocho puntos porcentuales, aproximadamente, de los trabajos productivos, y un valor porcentual de trabajos contributorios (TC) de 27.24%. En adición, en la tabla 15, también se pudo apreciar una comparación con los resultados de las mediciones que se realizaron sin haber aplicado principios de la metodología *Lean Construction*. Los cuales, arrojaron variaciones con un aumento de

5.73% para los TP, un aumento de 2.47% para los TC y una disminución de 8.22% para los TNC, con respecto a los valores porcentuales obtenidos en el caso de los módulos A35 y A45. Por último, se puede concluir que los resultados alcanzados en la presente investigación logran demostrar, que al aplicar la metodología *Lean Construction*, mejora la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito, de lo cual, se concluye que la hipótesis general del trabajo de investigación es válida y que, además, al mitigar las actividades que no generan valor, identificadas mediante esta metodología, logra conseguir mejoras en los niveles de actividad real concluyendo que la segunda hipótesis específica es válida. Además, se consigue demostrar que las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y cartas de balance (CB) son las adecuadas para el seguimiento continuo del proceso constructivo y, con ello, se concluye que la primera hipótesis específica es válida.

Tabla 15

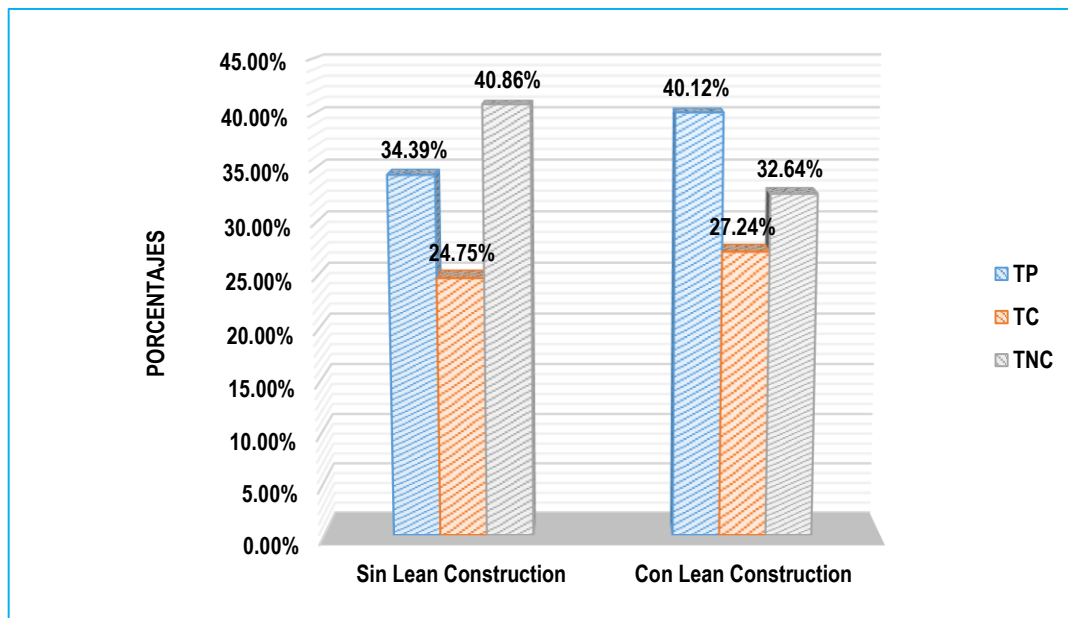
Comparación de los resultados en la aplicación de NGA.

Aplicación de Nivel General de Actividad (NGA)				
Seguimiento	Módulos	TP	TC	TNC
Sin <i>Lean Construction</i>	A35 y A45	34.39%	24.75%	40.86%
Con <i>Lean Construction</i>	A36 y A46	40.12%	27.24%	32.64%
Variación	(-)	5.73%	2.49%	-8.22%

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 82

Comparación de resultados de los niveles de actividad real del NGA.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Además, en la tabla 16, se presentan los valores porcentuales obtenidos a lo largo del desarrollo de todos los módulos fabricados por la empresa contratista. De donde se resalta, que a partir de los módulos A36 y A46 se logran obtener mejoras en las distintas categorías. También, en la figura 83, se muestra algunos promedios generales para cada categoría según el tipo de obra. También, en la figura 83, se adjuntan los valores óptimos para los niveles de actividad en casos donde se ha realizado un seguimiento continuo, aplicando sistemas de mejoramiento de la productividad obteniendo valores porcentuales con un trabajo productivo (TP) de 60%, trabajo contributivo (TC) de 25% y un trabajo no contributivo (TNC)

de 15%¹. De hecho, se puede apreciar que existe una gran diferencia entre los valores óptimos y los valores presentados en la investigación. Sin embargo, es necesario precisar que solo son valores referenciales y que podrían presentar cierta variabilidad. Además, se agrega, en la Figura 83, los valores porcentuales en promedio para los niveles de actividad real en la construcción modular de buques, resultados que se obtuvieron lo largo de la investigación. En donde se precisa que, en general, los valores porcentuales, en promedio, fueron de 38.25% para los TP, 26.67% para los TC y un valor de 35.05% para los TNC.

Por otro lado, es necesario recalcar, que el nivel de actividad real más alto, se obtuvo en la fabricación de los módulos H38 y H48 con un valor de TP de 43.53%. Sin embargo, las comparaciones entre la fabricación de los módulos A35 y A45 y los módulos A36 y A46, se analizaron, específicamente, por presentar las mismas características en dimensiones, peso y distribución. Además, también se puede apreciar que el valor porcentual más bajo de TNC, se obtuvo en la fabricación de los módulos H34 y H44 presentando un valor de 30.12%.

¹ Los porcentajes mostrados en el texto se encuentran en el libro "Administración de Operaciones de la Construcción" cuyo autor es Alfredo Serpell B. en la página 37. Específicamente, el autor indica que la aplicación de sistemas de mejora de la productividad ha permitido establecer valores óptimos de TP de 60%, TC de 25% y TNC de 15%.

Tabla 16

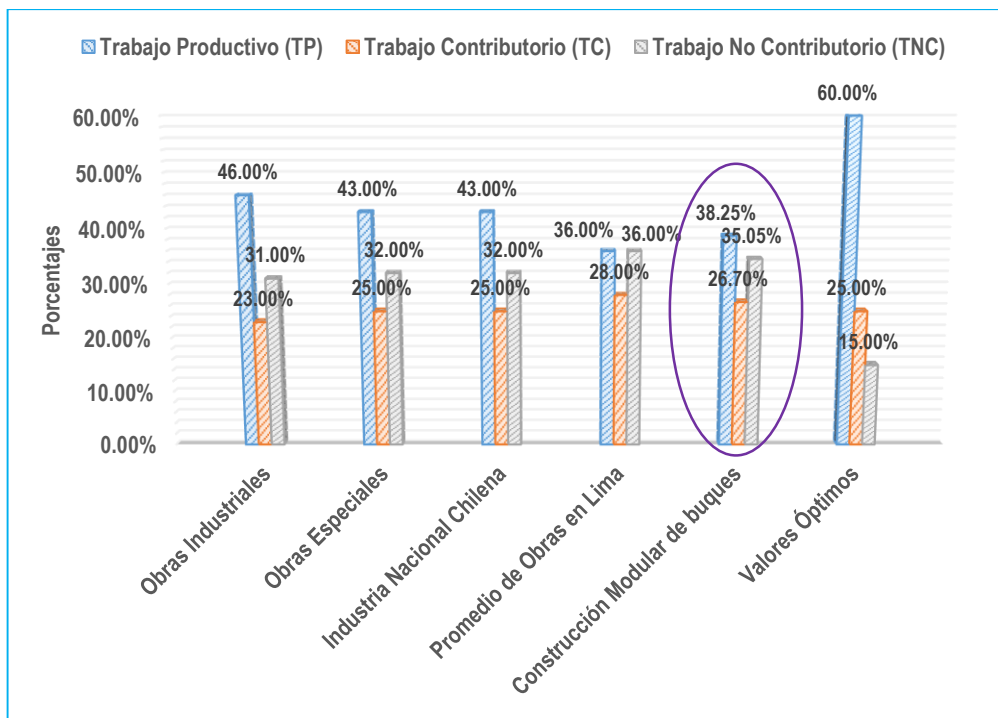
Comparación de resultados de los niveles de actividad real obtenidos de la aplicación del NGA en cada módulo fabricado.

Módulos	Trabajo productivo (TP)	Trabajo contributorio (TC)	Trabajo no contributorio (TNC)
U34 y U44	29.14%	28.90%	41.96%
A35 y A45	34.39%	24.75%	40.86%
A36 y A46	40.12%	27.24%	32.64%
H34 y H44	41.52%	28.36%	30.12%
H32 y H42	40.80%	26.12%	33.08%
H38 y H48	43.53%	24.85%	31.62%
Nivel de Actividad Promedio	38.25%	26.70%	35.05%

Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 83

Distribución de la ocupación del tiempo para distintas obras y un manejo optimizado de los niveles de actividad real.



Nota. Fuente: Elaboración propia, (2022).

Por consiguiente, los resultados de la investigación presentan porcentajes de trabajos productivos cerca del 40%, mientras que el tiempo restante, se empleó en otras actividades, es decir, que al rededor del 60% de la ocupación del tiempo se distribuyó en trabajos que contribuyen y desperdicios, actividades que no generan valor al producto final.

Por otro lado, al realizar un análisis de costos y plazos de entrega, se obtiene también una tendencia a ajustar los constantes retrasos que se dieron sin haber realizado la aplicación de la metodología *Lean Construction* que impliquen un seguimiento continuo en sus niveles de actividad, en sus distintas categorías aplicadas para el mejoramiento de la productividad. En resumen, en la tabla 17, se pudo apreciar el tiempo real de ejecución y el plazo de entrega contractual y que a partir de la fabricación de los módulos A36 y A46 se logró entregar los módulos antes de lo indicado contractualmente. Sin embargo, sostener esa tendencia implica predisposición por parte de los involucrados que, debido a la variabilidad, discontinuidad y traslapes entre proyectos de fabricación ocasionaron días de retraso, pero de forma ajustada a lo proyectado.

Tabla 17*Análisis de costos y duración para cada proyecto de fabricación de módulos.*

Módulos	Inició	Fin	Duración Programa da(días)	Duración Real (días)	Peso Total (kg)	Costo de Fabricación (1ra Etapa/ 75%)	Precio por kilogramo de Acero Procesado
U32-U42	27/01/2021	06/04/2021	60	69	68836.70	S/.247,295.85	S/.4.79
U34-U44	28/06/2021	30/08/2021	55	63	66562.20	S/.239,124.71	S/.4.79
A35-A45	20/09/2021	29/11/2021	60	70	53113.40	S/.197,601.71	S/.4.96
A36-A46	23/11/2021	17/01/2022	60	55	56747.70	S/.212,174.66	S/.4.99
H34-H44	26/01/2022	25/03/2022	60	58	60223.70	S/.271,819.67	S/.6.02
H32-H42	28/01/2022	26/03/2022	60	57	53812.60	S/.243,798.98	S/.6.04
H38-H48	03/03/2022	03/05/2022	60	64	77348.20	S/.349,555.76	S/.6.03
H51-H61	30/06/2022	"suspendido ."	60	(-)	20807.80	S/.100,889.28	S/.6.46
H53-H63	11/07/2022	"suspendido ."	60	(-)	33083.80	S/.158,802.24	S/.6.40
Total	Promedio de días de duración		59	62	490536.10	S/.2,021,062.84	(-)

Nota. El costo que se presenta en el recuadro, solo representa el 75% del costo total, mientras que el precio por kilogramo procesado es el precio unitario para el costo total que involucra la primera y segunda etapa en la fabricación de cada módulo. Fuente: Elaboración propia, (2022).

De la tabla 17, se puede evidenciar, que la fabricación de los módulos A36 - A46, H34 - H44 y H32 - H42 se consiguió entregar los módulos con un adelanto de 5, 2 y 3 días, respectivamente. De lo anterior se obtiene un ahorro de aproximadamente s/. 47,697.08 por parte de la empresa contratista que representa el 2.37% del costo de todos los módulos fabricados, así como, cambios en el esquema organizacional mediante la orientación, capacitación y actualización de los trabajadores, quienes cumplen un rol de gran importancia en el sector de la industria naval.

CONCLUSIONES

- a) En la actualidad, la construcción naval militar no presenta registros sobre estudios en referencia a los niveles de actividad real. En ese sentido, en la construcción modular del buque multipropósito, la metodología *Lean Construction*, consigue ordenar la línea de proceso de fabricación de módulos, tal es así, que se obtienen valores porcentuales en promedio para los niveles de actividad real con un 38.25% para los trabajos productivos (TP). Es decir, que al rededor del 35.05% de la ocupación del tiempo, se distribuyó en trabajos contributorios (TC) y un 26.7% en trabajos no contributorios (TNC). Con ello, se consigue identificar las actividades que no generan valor y se obtiene un registro de las pérdidas en cada caso analizado, brindando la mejora continua del proceso fabricación de los módulos, lo cual, conlleva a la mitigación de los desperdicios.
- b) Además, en el estudio de la fabricación de los módulos A36 y A46 se evidenció una variación de los niveles de actividad real respecto a los módulos A35 y A45, tal es así, que se obtiene un aumento de los niveles de actividad real para los TP y TC de 5.73% y 2.49%, respectivamente, así como una disminución de los TNC (desperdicios) de – 8.22%; demostrando que la metodología *Lean Construction* mejora los niveles de actividad real. De hecho, mediante sus herramientas Nivel General de Actividad y Cartas de Balance se logra obtener resultados positivos y una posibilidad para la aplicación de esta técnica moderna adicional para la mejora de la productividad.

- c) También, se determinó una reducción del costo operativo orientado a la mano de obra de s/. 47,697.08 para el caso de los módulos fabricados por parte de la empresa contratista, lo cual, representa el 2.37% del costo de fabricación de todos los módulos. De hecho, se estima que si se llegara a aplicar la metodología *Lean Construction*, en todo el proyecto de construcción, se obtendrían ahorros mayores y sobre todo la aplicación y adaptación de sistemas de mejoramiento de la productividad mediante un seguimiento continuo.
- d) Por último, al efectuar el ordenamiento de las actividades identificadas y clasificadas en categorías y subcategorías. Los desperdicios (TNC) en la fabricación de los módulos A36 y A46, se obtuvieron valores porcentuales para la subcategoría de Descansos (DE), que consumen un porcentaje de 9.19% y las Esperas (ES) de 7.66% del tiempo programado. Así como los reprocesos (RP) que corresponden a un valor de 0.71%. Con ello, los descansos y Esperas se colocaron en las primeras posiciones, lo cual, brinda un panorama de mejora orientada a la reducción de las pérdidas, de esto, se concluye que la hipótesis general del trabajo de investigación es válida y que, además, al mitigar las actividades que no generan valor, identificadas mediante esta metodología, se logra conseguir mejoras en los niveles de actividad real concluyendo que la segunda hipótesis específica es válida. Además, se consigue demostrar que las herramientas Nivel General de Actividad (NGA) y cartas de balance (CB) son las adecuadas para el seguimiento continuo del proceso constructivo y, con ello, se concluye que la primera hipótesis específica es válida.

RECOMENDACIONES

- a) Se propone, que los astilleros mejoren el control de la producción por parte de las contratistas. Esto implica la aplicación de nuevas metodologías, como la desarrollada en la presente investigación, de manera que se tenga un mejor control del proceso constructivo mediante el manejo de herramientas, recolección de datos, procesamiento y análisis de resultados.
- b) Se sugiere, que la Escuela Profesional de Ingeniería Naval (EPIN) de la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM) inicie la apertura de una línea de investigación orientada a la capacitación para la evaluación de la productividad en la construcción modular naval y su desarrollo en el país, considerando las propuestas por parte de la mesa ejecutiva instalada por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) en conjunto con el Ministerio de Defensa (MINDEF) cuya finalidad es promover y modernizar la industria naval con el objeto de incrementar la productividad en este sector. En consecuencia, lograr ser más competitivos a nivel regional con respecto a los astilleros de los países vecinos como Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Panamá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anuar, A., Ubaidah, M., Abdul K., y Anuar H. (2016) A Review of Modular Construction Shipbuilding in Malaysian Shipyard, *Proceeding of Ocean, Mechanical and aerospace, Science and Engineering*: 3(2016), 135-143. Obtenido de: [\[PDF\] A Review of Modular Construction Shipbuilding in Malaysian Shipyard | Semantic Scholar](#)
- Arias, F., (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6ta. Ed.). Caracas Venezuela, Editorial Episteme C.A. Obtenido de: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Arnheiter E. y Harren H., (2005). A Typology to Unleash the Potential of Modularity. *Journal of Manufacturing Technology*. 16(2005), 699-711. DOI: <https://doi10.1108/17410380510619923>
- Carbajal, G. & Bermudez, D. L., (2017). *First Run Study y optimización de procesos en la construcción de muros anclados*. [Trabajo de grado, Ingeniería Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Repositorio Institucional Pontificia Universidad Católica del Perú- RIPUCP- <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9387>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2022). Repercusiones en América Latina: ¿cómo enfrentar esta nueva Crisis? Obtenido de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47912-repercusiones-america-latina-caribe-la-guerra-ucrania-como-enfrentar-esta-nueva>

Decreto Supremo N° 012-2019-DE. Política Nacional Peruana, *Apruébase la Política Nacional Marítima 2019-2030, de carácter Multisectorial, que como Anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo*, (20 de diciembre de 2019). Obtenido de: <https://www.gob.pe/institucion/mindef/normas-legales/391605-012-2019-de>.

Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: Diagnostico, crítica y propuesta* (1ra. Ed.). Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú Fondo Editorial

Gilacopa, A. E., (2020). Aplicación de la filosofía Lean Construction para mejorar la productividad de las obras de edificaciones en la Ciudad de Tacna. [Trabajo de grado, Ingeniería Civil]. Universidad Privada de Tacna. Repositorio Institucional Universidad Privada de Tacna – RIUPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1563>

Hernández, R., (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta. Ed.). México D.F., McGraw-Hill/ Interamericana Editores.

<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Huamanchumo, M. M., (2021). Herramientas lean para mejorar la productividad de la fabricación de la línea de paneles metálicos en industrias Fabiola S.A. [Trabajo de grado, Ingeniería Industrial]. Universidad Ricardo Palma. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma – RIURRP.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4860>

Kolich, D. (2017). Lean Methodology to Transform Shipbuilding Panel Assembly. *Journal of Ship Production and Design*, 33(4), 317-326. DOI:

<https://doi.org/10.5957/JSPD.160028>

Kolich, D., Fafandjel N. y Rubesa, R. (2011). Applying Lean Quality with Risk Analysis to Aid Shipyard Block Assembly Decision Making. *BrodoGradnja*, 53(2011), 73-82. <https://hrcak.srce.hr/file/113025>.

- Kolich, D., Fafandjel N. y Zamarin, A. (2013). Lean Manufacturing Methodology for Shipyard. *BrodoGradnja*, 63(2012), 18-21. DOI: <https://studylibit.com/doc/7578741/lean-manufacturing-methodology-for-shipyards>
- Lamb, T. y Hellesoy, K., (2002). A Shipbuilding Productivity Predictor. *Journal of Ship Production*, 18(2002), 121-142. DOI: <https://doi.org/10.5957/jsp.2002.18.2.79>
- Lamb, T. y Liker, K., (2002). What is Lean Ship Construction and Repair. *Journal of Ship Production*, 18(2002), 121-142. DOI: [10.5957/jsp.2002.18.3.121](https://doi.org/10.5957/jsp.2002.18.3.121)
- Lean Construction México [LCM]. (2021, 2 junio). Desperdicio en lean construction. <https://think-productivity.com/desperdicios-lean-construction/>
- Mandal, R., (2017). *Ship Construction and Welding*. Springer: <https://www.pdfdrive.com/ship-construction-and-welding-d186419164.html>
- Marchessini A., (2021). *Modernización de submarinos y construcción de BAP "PAITA" y patrulleras para la Marina de Guerra del Perú: SIMA en SITDEF*. <https://www.defensa.com/sitdef-2021/modernizacion-submarinos-construccion-bap-paita-patrulleras-para>.

- Martínez F., (2019). *Construcción Naval: Estrategía, planificación, fabricación y control* (1ra Ed.). Internacional de Creative Commons <https://fmdecastro.files.wordpress.com/2020/03/construccic3b3n-naval-estrategia-planificacic3b3n-fabricacic3b3n-y-control-2019-2.pdf>
- Ministerio de Defensa, (2018). *Ciencia y Tecnología para la Defensa*. <https://docplayer.es/115956959-Editorial-ciencia-y-tecnologia-para-la-defensa-ministro-de-defensa-jose-huerta-torres.html>
- Noticias Navales (2022). Implementación de la reforma de la Industria Naval a través del fortalecimiento de la Industria Naval en el Perú. <https://www.marina.mil.pe/es/noticia/implementacion-de-la-reforma-de-la-industria-nacional-a-traves-del-fortalecimiento-de-la-industria-naval-en-el-peru/>.
- Ñaupas, H., Mejía E., Novoa E., y Villagómez A., (2013). *Metodología de la investigación: Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la Tesis* (4ta. Ed.). Bogotá Colombia, Editorial Ediciones de la U: <https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/046.-mastertesis-metodologicc81a-de-la-investigacioc81n-cuantitativa-cualitativa-y-redaccioc81n-de-la-tesis-4ed-humberto-ncc83aupas-paitacc81n-2014.>
- Oglesby, Parker y Howell (1989). *Productivity improvement in construction*. Flaymond E. Levitt (Stamford University).

- Oliveira, A. y Gordo, J., (2018). Lean Tools Applied to a Shipbuilding Panel Line Assembling Process. *BrodoGradnja*, 69(2018), 53-64. DOI: <https://doi.org/10.21278/brod69404>
- Piñeros, L., Segovia, C., y Julio, L., (2018). La Modularidad y su Aplicación en Buques de Guerra. *Derrotero la Revista de la Ciencia y la Investigación*, 12(2018), 9-26. <https://www.researchgate.net/publication/342914862>
- Quispe, R., Aplicación de Lean Construction para Mejorar la Productividad en la ejecución de Obras de Edificación. [Trabajo de posgrado, Ingeniería Civil]. Universidad Cesar Vallejo. Repositorio Institucional Universidad Cesar Vallejo – RIUCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/14979>.
- Resolución Ministerial N° 170-2022-EF/10. Mesa Ejecutiva para la implementación de la reforma de la Industria Nacional a través del Fortalecimiento de la Industria Naval en el Perú (13 de julio de 2022). [Resolución Ministerial N.º 170-2022-EF/10 - Normas y documentos legales - Ministerio de Economía y Finanzas - Plataforma del Estado Peruano \(www.gob.pe\)](#).
- Rodríguez, W., (2012). *Técnicas de Mejoramiento de la Productividad”, Mejoramiento de la Productividad en la Construcción de Obras con Lean Construction* (1ra Edición). Editorial Culturabierta.
- Rojas, M., Henao M. y Valencia M. (2016). Lean Construcion – LC bajo pensamiento lean. *Ingenierías Universidad de Medellín*. 16(30), 115-128. DOI: [10.22395/rium.v16n30a6](https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6)

Schank, J., Savitz, S., Munson, K., Perkinson B., McGee J. y Sollinger J., (2016). Modularity and Flexibility in Future Ship Designs, *RAND Corporation*, 1(2016), <https://doi.org/10.7249/RR696>

Sea Europe Shipyards' & Maritime Equipment Association (2021) Shipbuilding Market Monitoring Report: N°53-2021.Consultado de: https://www.aclunaga.es/wp-content/uploads/2022/06/07_n%C2%BA53_SEA-EUROPE-Market-Monitoring_2021.pdf

Serpell A. (2002). *Administración de operaciones de Construcción* (2nd ed.). Alfaomega grupo editor. <https://docer.com.ar/doc/xes88ex>

Vicente, P., (2004). Analisis de la viabilidad técnica y económica de un diseño modular aplicado a buques para el transporte de productos químicos. [Trabajo de posgrado, Ingeniería Naval]. Universidad Politécnica de Madrid. doi.org/10.20868/UPM.thesis.228.

Zapata, S., (2016). La transferencia Tecnológica como Instrumento de Política Exterior y de la Innovación: el Caso de la Cooperación Surcoreana en el Sector Defensa del Perú. https://www.academia.edu/37036200/La_Transferencia_Tecnol%C3%B3gica_como_Instrumento_de_la_Pol%C3%ADtica_Exterior_y_de_la_Innovaci%C3%B3n_el_Caso_de_la_Cooperaci%C3%B3n_Surcoreana_en_el_Sector_Defensa_del_Per%C3%BA

ANEXOS

Anexo 1: Formato de Nivel General de Actividad para la recolección de datos.

NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD									
PROYECTO:	"SERVICIO DE FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS _____"								
MUESTREADOR:									
N° DE FORMATO:	CS - _____								
ACTIVIDAD:									
REGISTRO DE MEDICIONES									
MINUTOS									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									

FECHA:		
INDO:		
FINA:		
CÓDIGO	CARGO	NOMBRE DEL TRABAJADOR
A:	Soldador	David Lazaro
B:	Oficial	Alan Perez
C:	Calderero	Carlos Tenorio
D:	Calderero	Paul Casal
E:	Oficial	Clemente Villanueva
F:	Calderero	Marcos Casasos
G:	Oficial	Bruno Cluchon
H:	Calderero	Simón Rodríguez
I:	Oficial	Joséw Cisneros
J:	Supervisor	Victor Atlas
K:	Calderero	Maximiliano Gómez
L:	Oficial	Nieto
M:	Oficial	García
N:	Soldador	Josemar Zuhiga
O:	Soldador	Jeferson Villafomelo
P:	Soldador	Carlos Castillon
Q:	Soldador	Eddy Lina
R:	Oficial	Cristofer Perez
S:	Oficial	Cruz Regalado
T:	Oficial	Gabriel Perez

ACTIVIDADES		
EM	ESMERLADO	TRABAJO PRODUCTIVO (TP)
EC	ENCUADRADO	
PU	PUNTEADO	
SO	SOLDEO	
CX	CORTE CON OJOS DE TUBO	
OT	OTROS	
TM	TRASLADO DE EQUIPO Y MATERIALES	TRABAJO CONTRIBUTORIO (TC)
MC	MOVIMIENTO DE CARGAS Y RESAS	
RJ	PREPARACION DE JUNTA	
TL	TRAZADO DE LINEAS DE REFERENCIA	
ME	MEDICIONES	
LM	LIMPIEZA MECANICA	
IN	INTRODUCCION	
CT	COLOCACION DE TEGLE, TOPES O CARGAMOS	TRABAJO NO CONTRIBUTORIO (TNQ)
OS	OTROS	
CA	CAMINATAS INNECESARIAS	
SH	SERVICIOS HIGIENICOS	
ES	ESPERAS	
DE	DESANGOS	
CO	COMERCACIONES	
M	MIRAR	
ST	SIMULACION DE TRABAJO	
RP	REPROCESOS	
OR	OTROS	



Anexo 2: Formato de Cartas Balance para la recolección de datos.

CARTA BALANCE DE CUADRILLA										
PROYECTO:	"SERVICIO DE FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS _____"									
MUESTREADOR:										
Nº DE FORMATO:	CB - _____									
ACTIVIDAD:										
REGISTRO DE MEDICIONES										
MINUTOS										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										

FECHA:		
INICIO:		
FINAL:		
CÓDIGO	CARGO	NOMBRE DEL TRABAJADOR
A:	Soldador	David Lazaro
B:	Oficial	Alan Perez
C:	Calderero	Carlos Tenkosta
D:	Calderero	Paul Casal
E:	Oficial	Clemente Villanueva
F:	Calderero	Marcos Carrasco
G:	Oficial	Bruno Chuchon
H:	Calderero	Sirión Rodríguez
I:	Oficial	Joséw Cáceres
J:	Supervisor	Victor Arias
K:	Calderero	Maximiliano Gómez
L:	Oficial	Melo
M:	Oficial	García
N:	Soldador	Josemar Zubiga
O:	Soldador	Jeferon Villanuncio
P:	Soldador	Carlos Castillon
Q:	Soldador	Esthy Llanin
R:	Oficial	Cristofer Perez
S:	Oficial	Cruz Rojasado
T:	Oficial	Gabriel Perez

ACTIVIDADES		
EM	ESMERLADO	TRABAJO PRODUCTIVO (TP)
EC	ENCUADRADO	
PU	PUNTEADO	
SO	SOLDADO	
CK	CORTE CON OXIGENO/PLASMA	
OT	OTROS	
TM	TRABAJO DE EQUIPO Y MATERIALES	TRABAJO CONTRIBUTIVO (TC)
MC	MOVIMIENTO DE CARGAS Y PIEZAS	
FJ	PREPARACION DE JUNTA	
TL	TRAZADO DE LINEAS DE REFERENCIA	
ME	MEDICIONES	
LM	LIMPIEZA MECANICA	
IN	INTROUCCION	
CT	COLOCACION DE TIGUE, TOPES O CASCAMOS	
OS	OTROS	
CA	CAMINATAS INNECESARIAS	TRABAJO NO CONTRIBUTIVO (TNQ)
SH	SERVICIOS HIGIENICOS	
ES	ESPERAS	
DE	DESORGANOS	
CO	CONVERSACIONES	
M	MIRAR	
ST	SIMULACION DE TRABAJO	
RP	REPROCESOS	
OR	OTROS	

Anexo 3: Formato de reporte de inspección para el control dimensional de ensamble de módulos.

		REPORTE DE INSPECCIÓN				Código	S-01-OI																																																																							
						Fecha:	11/09/2020																																																																							
						Versión	. 01																																																																							
						Páginas:	. 02																																																																							
1	Proyecto/ Trabajo:	LPD 2 - B.A.P. PAITA	3	Cliente:	SIMAC																																																																									
2	Fecha de inspección:	06/12/2021	4	N° Reporte:	RI-000021																																																																									
5	Inspector a cargo:	Silvestre Espinoza, Roosevelt Wilder																																																																												
6	Inspectores participantes:	a. García Sanchez, Linder b. Mantari Laureano, Jesús d. Arias Egusquiza, Victor c. Quispe Haro, Carlos Eduardo																																																																												
7	Personal Responsable SIMAC:	Castillo Heredia, Keybi Yoel																																																																												
8	Inspección:	CONTROL DIMENSIONAL	9	Proceso Constructivo:	ENSAMBLE Y SOLDADURA																																																																									
10	Sistema/ Módulo	MÓDULO A36	Norma : IACS , rev.10 , sep. 2021. Criterio de aceptación: Table 6.6 - Block Assembly / Item: Flat Plate Assembly / Squareness. Tolerancia: ± 5 mm (Standard) , ± 10 mm (Limit)																																																																											
11	Descripción/ Analisis																																																																													
<p>Control Dimensional de Planitud de Cama de Ensamble para el Módulo A36:</p> <p>En principio, se efectuó el procedimiento del control dimensional de planitud para la cama estructural de acuerdo al seguimiento del proceso constructivo del módulo A36. Por consiguiente, se tomó como referencia el plano constructivo especificado en la página N°9 del documento 1801 A36 JO(0)20190409, las cuales son utilizadas para la nomenclatura del presente documento. En síntesis, para esta actividad, se tomó como punto de referencia (punto cero), la intersección entre las transversal FR8 y la longitudinal L14, tal como se puede apreciar en la figura 2. Además, en la tabla 1, se puede evidenciar la medida de las desviaciones tomadas y registradas después de realizada la inspección.</p> <p>Convención de signos: (+) desviación hacia arriba (-) desviación hacia abajo.</p> <table border="1" data-bbox="790 1361 1305 1563"> <thead> <tr> <th colspan="8">Medida de desviaciones en cada intersección</th> </tr> <tr> <th></th> <th>FR5</th> <th>FR7</th> <th>FR11</th> <th>FR15</th> <th>FR17</th> <th>FR19</th> <th>FR21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GR11</td> <td>0.0</td> <td>+0.9</td> <td>0.0</td> <td>+0.2</td> <td>(-)</td> <td>+0.9</td> <td>+0.8</td> </tr> <tr> <td>L12</td> <td>0.0</td> <td>(-)</td> <td>0.0</td> <td>(-)</td> <td>0.0</td> <td>(-)</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>L13</td> <td>+0.1</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>+0.4</td> <td>(-)</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>L14</td> <td>0.0</td> <td>-0.1</td> <td>+0.1</td> <td>0.0</td> <td>+0.9</td> <td>(-)</td> <td>+0.7</td> </tr> <tr> <td>L15</td> <td>+1.0</td> <td>+0.9</td> <td>+0.8</td> <td>+0.7</td> <td>0.0</td> <td>-0.1</td> <td>+0.9</td> </tr> <tr> <td>L16</td> <td>0.0</td> <td>(-)</td> <td>+0.9</td> <td>+0.8</td> <td>(-)</td> <td>(-)</td> <td>+1.8</td> </tr> <tr> <td>SS1A (-10mm)</td> <td>+0.1</td> <td>+0.2</td> <td>0.0</td> <td>+0.8</td> <td>(-)</td> <td>0.1</td> <td>-0.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Equipos e instrumentos de medición: - Estación Total óptico SUNWAY A05063. - Distanciómetro laser LEICA 21CFR 1040 10. - Cinta métrica calibrada.</p> <p style="text-align: center;">Figura 1. Planilla de control dimensional de la cama de ensamble A36.</p>							Medida de desviaciones en cada intersección									FR5	FR7	FR11	FR15	FR17	FR19	FR21	GR11	0.0	+0.9	0.0	+0.2	(-)	+0.9	+0.8	L12	0.0	(-)	0.0	(-)	0.0	(-)	0.0	L13	+0.1	0.0	0.0	+0.4	(-)	0.0	0.0	L14	0.0	-0.1	+0.1	0.0	+0.9	(-)	+0.7	L15	+1.0	+0.9	+0.8	+0.7	0.0	-0.1	+0.9	L16	0.0	(-)	+0.9	+0.8	(-)	(-)	+1.8	SS1A (-10mm)	+0.1	+0.2	0.0	+0.8	(-)	0.1	-0.8
Medida de desviaciones en cada intersección																																																																														
	FR5	FR7	FR11	FR15	FR17	FR19	FR21																																																																							
GR11	0.0	+0.9	0.0	+0.2	(-)	+0.9	+0.8																																																																							
L12	0.0	(-)	0.0	(-)	0.0	(-)	0.0																																																																							
L13	+0.1	0.0	0.0	+0.4	(-)	0.0	0.0																																																																							
L14	0.0	-0.1	+0.1	0.0	+0.9	(-)	+0.7																																																																							
L15	+1.0	+0.9	+0.8	+0.7	0.0	-0.1	+0.9																																																																							
L16	0.0	(-)	+0.9	+0.8	(-)	(-)	+1.8																																																																							
SS1A (-10mm)	+0.1	+0.2	0.0	+0.8	(-)	0.1	-0.8																																																																							
12	Estado:	CONFORME																																																																												
13	Conclusiones y Recomendaciones	<p>Por medio del presente reporte, se indica que las medidas de las desviaciones tomadas para la cama estructural del módulo A36, se encuentran dentro de los criterios de aceptación según el ítem 10. Por consiguiente, al estar en estado conforme, se informa que la colocación del panel A36-DK1A se realizará en las proximas horas. Por consiguiente, recomendamos a la Dirección de Aseguramiento de la Calidad, programar la inspección con el objeto de verificar las medidas indicadas en el presente documento.</p>																																																																												
 <p>SORTE S.A. CONTRATISTAS SECAIALES JOSE P. SALAZAR DE LA CRUZ GERENTE GENERAL</p>																																																																														

14 Refistro Fotográfico/ Esquema



Figura 1. Panel fotográfico de la cama estructural fabricada para el módulo A36.

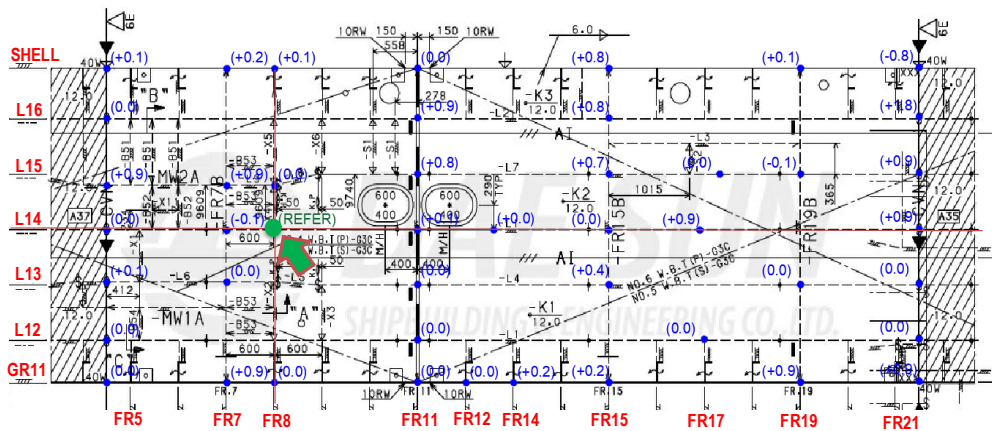




Figura 2. Planilla de control dimensional de la cama de ensamble A36.

SERTE S.A.
 CONTRATISTAS GENERALES
 JOSE SALAZAR DE LA CRUZ
 GERENTE GENERAL

Anexo 4: Formato de reporte de inspección para el control dimensional del sub ensamble de paneles reforzados.

		REPORTE DE INSPECCIÓN			Código	S-01-01												
					Fecha:	11/09/2020												
					Versión	. 01												
					Páginas:	. 02												
1	Proyecto/ Trabajo:	LPD 2 - B.A.P. PAITA	3	Cliente:	SIMAC													
2	Fecha de inspección:	01/02/2022	4	N° Reporte:	RI-000032-LPD													
5	Inspector a cargo:	Silvestre Espinoza, Roosevelt Wilder																
6	inspectores participantes:	a. Villajuan Huaman, Silvia Katharine b. Arias Egusquiza, Victor c. Quispe Haro, Carlos Eduardo																
7	Personal Responsable SIMAC:	Castillo Heredia, Keybi Yoel																
8	Inspección:	CONTROL DIMENSIONAL	9	Proceso Constructivo:	SUB ENSAMBLE Y SOLDADURA													
10	Sistema/ Módulo	MÓDULO H34	Norma : IACS , rev.10 , 2021. Criterio de aceptación: Table 6.6 - Block Assembly / Item: Flat Plate Assembly / Squareness. Tolerancia: ± 5 mm (Standard) , ± 10 mm (Limit)															
11	Descripción/ Analisis																	
<p><u>Control Dimensional del Panel H34-DK1A:</u></p> <p>En principio, debido a que las líneas de trazado de referencia, provenientes del taller X40 (corte y confección de piezas), se encontraron desviadas, se procedió a efectuar la corrección y el trazado de las líneas partiendo desde la línea centro (center line) y una longitudinal paralela y auxiliar ubicada a 10400 mm de la línea centro. En suma, las otras líneas que se trazaron fueron las transversales FR48 y FR62. (ver figura 1). Por consiguiente, se tomaron como vértices los puntos de intersección P1, P2, P3 y P4 y las diagonales D1 y D2 del cuadrante formado por las líneas trazadas. En consecuencia, se procedió a la toma y registro de las medidas correspondientes a las diagonales entre los puntos de intersección, obteniendo los siguientes valores:</p> <p><u>Medidas de las diagonales:</u></p> <table border="0"> <tr> <td>Dimensiones Reales:</td> <td>Dimensiones Nominales:</td> <td>Variación:</td> </tr> <tr> <td>Diagonal 1: P1/P3 = 13373mm</td> <td>Diagonal 1: P1/P3 = 13377mm</td> <td>-4.0 mm</td> </tr> <tr> <td>Diagonal 2: P2/P4 = 13374.2mm</td> <td>Diagonal 2: P2/P4 = 13377mm</td> <td>-2.8 mm</td> </tr> <tr> <td>variación: +1.2 mm</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p><u>Equipos e instrumentos de medición:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Estación Total óptico SUNWAY A05063. - Distanciómetro laser LEICA 21CFR 1040 10. - Cinta métrica calibrada. 							Dimensiones Reales:	Dimensiones Nominales:	Variación:	Diagonal 1: P1/P3 = 13373mm	Diagonal 1: P1/P3 = 13377mm	-4.0 mm	Diagonal 2: P2/P4 = 13374.2mm	Diagonal 2: P2/P4 = 13377mm	-2.8 mm	variación: +1.2 mm		
Dimensiones Reales:	Dimensiones Nominales:	Variación:																
Diagonal 1: P1/P3 = 13373mm	Diagonal 1: P1/P3 = 13377mm	-4.0 mm																
Diagonal 2: P2/P4 = 13374.2mm	Diagonal 2: P2/P4 = 13377mm	-2.8 mm																
variación: +1.2 mm																		
12	Estado: CONFORME																	
13	Conclusiones y recomendaciones:	Mediante el presente reporte, se concluye que las dimensiones de las diagonales trazadas sobre el panel H34-DK1A se encuentran dentro de los criterios de aceptación según el ítem 10. Por consiguiente, recomendamos a la Dirección de Aseguramiento de la Calidad, programar inspección con el objeto de verificar las medidas indicadas en el presente documento.																
																		

14 Refistro Fotográfico/ Esquema

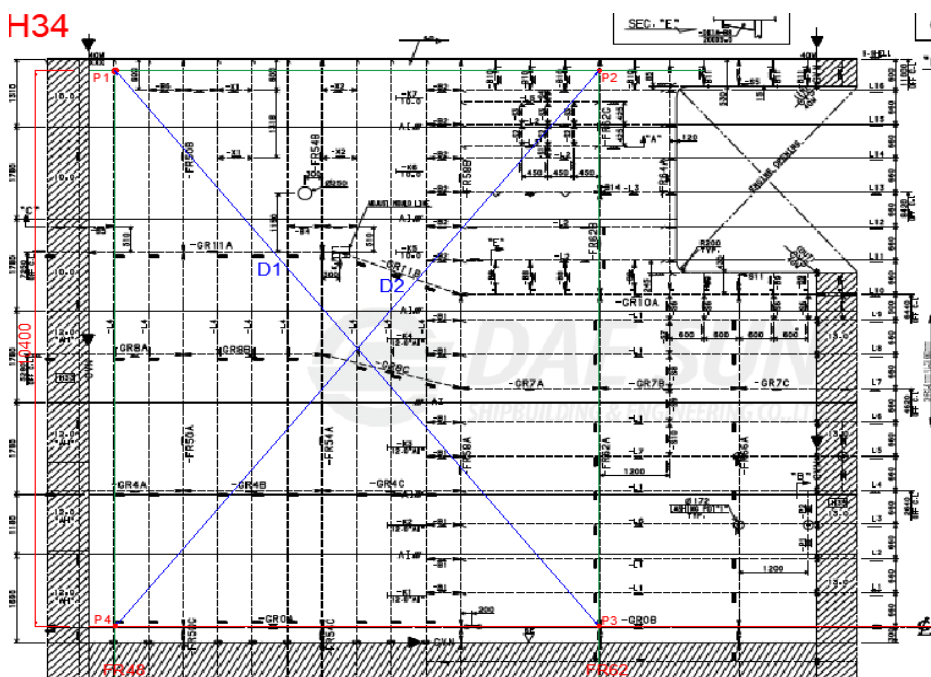


Figura 1. Planilla de control dimensional de trazado de la cubierta H34.

ERTE SA
 CONTABILIDAD Y ASesorIA
 JOSÉ AMADOR DE LA CRUZ
 GERENTE GENERAL

Anexo 5: Matriz de consistencia

TEMA: MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN MODULAR DE UN BUQUE MULTIPROPÓSITO BASADO EN LA METODOLOGÍA <i>LEAN CONSTRUCTION</i>						
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTE	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<p><u>Problema General</u> ¿Cómo la propuesta de mejora de la productividad basada en la metodología <i>Lean Construction</i> afecta a la construcción modular de un buque multipropósito?</p>	<p><u>Objetivo General</u> Desarrollar propuestas de mejora en la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología <i>Lean Construction</i>.</p>	<p><u>Hipótesis General</u> Al aplicar la metodología <i>Lean Construction</i> mejorará la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito.</p>	<p>Y:Mejora de la Productividad</p>	<p>X:Metodología <i>Lean Construction</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de actividad real: - Porcentaje de trabajos productivos (%TP). - Porcentaje trabajo contributivo (%TC). - Porcentaje de trabajo no contributivo (%TNC). 	<p>Variable Dependiente: Mejora de la productividad</p> <p>1. Promedio general de los niveles de actividad real en la construcción modular de buques.</p> <p>1.1 Nivel de actividad real de los trabajos productivos, contributorios y no contributorios</p>

<p><u>Problema Específicos</u> ¿Cómo las herramientas de la metodología <i>Lean Construction</i> mejoran la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito?</p>	<p><u>Objetivos Específicos</u> Determinar las herramientas de la metodología <i>Lean Construction</i> que mejoran la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito</p>	<p><u>Hipótesis Específicas</u> Las herramientas de la metodología <i>Lean Construction</i> mejorarán la productividad de la construcción modular de un buque multipropósito.</p>			<p>Niveles: %TP: [0 - 100%] %TC: [0 - 100%] %TNC: [0 - 100%]</p>	<p>Variable Independiente: Metodología <i>Lean Construction</i> Herramientas: 1. Nivel General de Actividad (NGA). 1.1 Formato de campo para el muestreo del trabajo por categorías y subcategorías. 1.2 Tabulación por categorías y subcategorías de trabajo e identificación de pérdidas (diagnostico) 1.3 Análisis de la información y propuestas de mejoras. 2. Nivel de Carta de Balance (CB). 2.1 Formato de campo para el muestreo del trabajo por categorías y subcategorías. 2.2 Tabulación por categorías y subcategorías de trabajo e identificación de pérdidas (diagnostico) 2.3 Análisis de la información y propuestas de mejoras.</p>
<p>¿Cuáles son las actividades que no generan valor y que afectan la mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito basado en la metodología <i>Lean Construction</i>?</p>	<p>Identificar las actividades que no generan valor mediante la metodología <i>Lean Construction</i> que afectan la mejora de la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.</p>	<p>Al mitigar las actividades que no generan valor, identificadas mediante la metodología <i>Lean Construction</i>, mejorará la productividad en la construcción modular de un buque multipropósito.</p>				