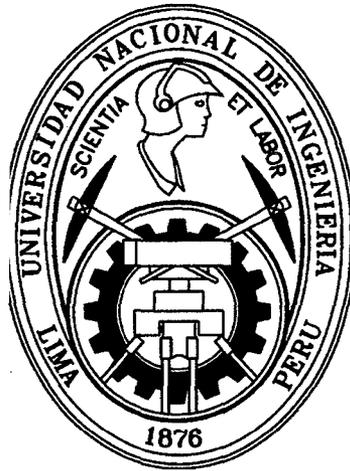


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO EN EL
MONTAJE DE MÓDULOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO NAVAL

JUAN JOSÉ UCHUYA LÓPEZ

LIMA – PERU

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Agradecimiento

A nuestro Dios Padre y su unigénito nuestro Señor Jesucristo, por el amor, la gracia y las profundas convicciones que entrega en mi vida cada día para dar honor a la verdad y actuar con sabiduría.

A mis padres Juan José y Silvia Cristina, por el amor, cuidado, apoyo y consejo que me ayudaron a andar conforme a principios y valores, por los muchos sacrificios y confianza que tienen para mí, y para mis hermanos.

Al profesor Mg. Víctor Nilo Acosta Pastor, por su asesoramiento y orientación en el trabajo de mi Tesis, y a todos los profesores y amigos de la Escuela de Ingeniería Naval de la UNI – Perú, por la confianza, amistad y el apoyo.

Al profesor Ph.D Rayad Qassim, por el apoyo brindado durante los años de estudio en el Programa de Ingeniería Naval y Oceánica de la COPPE – UFRJ.

A todos que contribuyeron para la realización de esta tesis.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1 TEMA 4	
1.2 MOTIVACIÓN	5
1.3 OBJETIVO	5
1.4 METODOLOGÍA	5
1.5 DESCRIPCIÓN.....	6
1.6 ORGANIZACIÓN.....	7
CAPÍTULO II: CADENA DE ABASTECIMIENTO EN TRES NIVELES	8
2.1 CONCEPTOS DE TRES NIVELES.....	8
2.1.1 Industria de Transporte.....	8
2.1.2 Industria Biocombustible	11
2.1.3 Industria de Construcción Naval.....	12
2.2 CONCEPTO UNIFICADO	13
CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN NAVAL.....	16
3.1 FASES EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	16
3.2 EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	18
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL CASCO POR MÓDULOS	21
3.4 EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN NAVAL	25
3.4.1 Construcción por sistemas.....	25
3.4.2 Construcción por módulos	25
3.4.3 Pre-preparación y preparación por zonas	25

IV

3.4.4 Construcción integrada.....	26
3.5 ESTRUCTURA DE COSTOS.....	27
3.5.1 Costos de Preparación.....	31
3.5.2 Costos de Corte.....	32
3.5.3 Costos de Movimiento de Carga y Transporte.....	33
3.5.4 Costos de Conformación.....	34
3.5.5 Costos de Montaje.....	35
3.5.6 Costos de Soldadura.....	35
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	39
CAPÍTULO V: MODELO MATEMÁTICO.....	46
5.1 MODELAJE MATEMÁTICA.....	47
5.1.1 Notación.....	48
5.1.2 Modelo matemático.....	49
5.1.3 Algoritmo matemático.....	51
5.1.4 Esquema del modelo matemático.....	52
CAPÍTULO VI: EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	54
6.1 INFORMACIÓN DEL MODELO.....	54
6.1.1 Modelo de Buque.....	54
6.1.2 Nomenclatura de sub productos.....	57
6.1.3 Parámetros de sub productos.....	58
6.1.4 Parámetros de costos para el arreglo de oficinas.....	63
6.2 CASO DE APLICACIÓN.....	70
6.2.1 Caso.....	72
6.2.2 Código de Programación.....	72
6.2.3 Resultados del caso.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
7.1 PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	81

7.2 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	81
BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS	87
ANEXO A – INFORMACIÓN DE PIEZAS Y ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE UN BUQUE PETROLERO PROPORCIONADO POR EL CURSO DE ARTE NAVAL DA UFPE (BRASÍL).....	87
FUNDO CENTRAL.....	88
FUNDO LATERAL.....	94
HOPPER HANK	97
COSTADO.....	103
ANTEPARA CENTRAL	106
CONVÉS BB	115
CONVÉS BE.....	119
DISCRIMINACIÓN DE LOS MÓDULOS	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Red de tres niveles de abastecimiento (TANCREZ, 2012).....	9
Figura 2: Cadena de abastecimiento para el orden de pedidos de bienes (KOLISH, 2000).....	12
Figura 3: División del buque en módulos – líneas llenas (BRITO et al., 2006, p. 20.) ..	22
Figura 4: Fabricación de piezas (BRITO et al., 2006, p. 21.).....	23
Figura 5: Montaje de piezas (BRITO et al., 2006, p. 21.).....	23
Figura 6: Montaje de subconjuntos (BRITO et al., 2006, p. 22.).....	23
Figura 7: Montaje de paneles (BRITO et al., 2006, p. 22.).....	24
Figura 8: Montaje de Módulos – Castillo de Proa (BRITO et al., 2006, p. 23.)	24
Figura 9: Montaje de Módulos – Roda de Proa (BRITO et al., 2006, p. 23.)	24
Figura 10: Layout de la oficina de submontaje y montaje	41
Figura 11: Detalles del proceso de construcción en el astillero - traducido (PINTO, 2007).....	42
Figura 12: Esquema del arreglo productivo	44
Figura 13: Layout del astillero de construcción	45
Figure 14: Ilustración del proceso de montaje de módulos	52
Figura 15: Arreglo general típico de un buque petrolera clase “Suezmax”.....	55
Figura 16: División de módulos que forman el anillo estructural de la sección maestra del buque.....	56
Figura 17: Estrategia de la secuencia de montaje de módulos dividido en sub-módulos.....	56
Figura 18: Secuencia y programación de edificación de un buque petrolero.....	61
Figura 19: Modelo ilustrativo del arreglo de las oficinas de producción.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Secuencia de procesos productivos y respectivos CER	30
Tabla 2: Nomenclatura de la oficina de sub montajes y montaje (MOREIRA, 2009)....	43
Tabla 3: Nomenclatura de los sub productos (MOREIRA, 2009)	44
Tabla 4: Características principales del buque	55
Tabla 5: Nomenclatura de sub productos	57
Tabla 6: Cantidad de piezas fabricadas i requeridas para formar sub-módulos j.....	59
Tabla 7: Cantidad de sub-módulos i requeridos para formar módulos k	60
Tabla 8: Programación de cada período en semanas para la construcción de módulos	63
Tabla 9: Nomenclatura de oficinas en una planta de construcción.....	64
Tabla 10: Nomenclatura de las oficinas para el modelo.....	65
Tabla 11: Parámetros operacionales de las oficinas de producción.....	66
Tabla 12: Costo de instalación de la oficina de sub montajes D3.....	67
Tabla 13: Parámetros de los costos unitarios de transporte	67
Tabla 14: Factores de conversión.....	68
Tabla 15: Tonelaje de cada sub-módulo.....	68
Tabla 16: Costo de producción para cada sub-módulo en cada sub montajes	68
Tabla 17: Coeficiente de complejidad relativos a la localización del módulo en el buque (ENNIS, 1997)	70
Tabla 18: Coeficiente de complejidad por el tipo de buque (ENNIS, 1997).....	70
Tabla 19: Abastecimiento de piezas de la oficina de fabricación por periodo	71
Tabla 20: Parámetros operacionales de las oficinas por nivel.....	72

VIII

Tabla 21: Consumo de tipo de piezas en la oficina de sub montajes por periodo	76
Tabla 22: Demanda de tipo de sub-módulos en la oficina de montaje de módulos	78
Tabla 23: Producción de tipo de sub-módulos en la oficina de sub montajes.....	79

PRÓLOGO

Alcanzar el éxito en un Astillero, es la visión empresarial que requiere una correcta gestión en su cadena productiva. Muchos astilleros han fracasado por carecer de esa gestión y, con frecuencia, se ha frustrado alguna aspiración de ser competitivos en el mercado de la construcción naval, no por falta de esfuerzo o de capacidad en un campo determinado, sino por no comprender el impacto que se produce en la toma de decisiones y finalmente por el fracaso al no encontrar una solución determinante para mejorar la productividad.

El planeamiento y la programación del proyecto de construcción naval tiene dos objetivos como base: reducir los tiempos y reducir los costos; conociendo que una de las actividades críticas de la construcción naval es el montaje de módulos, debe tenerse en cuenta su impacto entre la productividad versus costo. Por tanto el trabajo de tesis se sustenta en la investigación respecto a la cadena de abastecimiento en tres niveles a fin de resolver problemas en el montaje de módulos.

Este trabajo ofrece una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para la optimización de la cadena de abastecimiento.

En este orden de ideas, este trabajo de investigación fue diseñado para revisar los principios de la cadena de abastecimiento en la construcción naval, específicamente en el montaje de módulos, y su estructura de costos, para ilustrar su aplicación, y ofrecer una herramienta para asumir las responsabilidades de esta naturaleza.

Para lograr este fin hemos accedido a una extensa bibliografía especializada, de cuya investigación, hemos obtenido una visión más profunda respecto a la optimización de la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos. Además, hemos empleado el software comercial de optimización LINGO®, cuya tecnología de última generación nos da un buen soporte informático. Con este trabajo pretendemos demostrar y dar un enfoque en la optimización de la cadena de

abastecimiento, cuyo potencial es prometedor y facilitador en la distribución de piezas para formación de módulos y la designación de áreas con capacidades instaladas y nivelación de los stocks.

Es por eso que el presente estudio es útil y necesario. Por tanto, cada capítulo se ha escrito desde una perspectiva que administre las ideas mencionadas.

El desarrollo del trabajo comprende: el capítulo de Introducción, en el cual se desarrolla el objetivo que orienta de principio a fin nuestro trabajo de investigación, y su metodología empleada; el capítulo de Cadena de abastecimiento en tres niveles, el cual sustenta el tema de la tesis en su aplicación en la construcción naval; el capítulo de la Construcción naval, el cual define y sustenta los procesos constructivos y la estructura de costos en la construcción naval; el capítulo de Presentación del problema, el cual describe y plantea el problema en la cadena de abastecimiento en la construcción naval, específicamente en el montaje de módulos; el capítulo de Modelo matemático, el cual desarrolla el algoritmo matemático de optimización como propuesta para solucionar los problemas en la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos, y la técnica para su implementación computacional; el capítulo de Ejemplo de aplicación, el cual se elabora un ejemplo, que representa nuestro modelo de estudio de caso, compuesto por: a) determinar el buque y sus componentes, y b) ilustrar y representar paramétricamente un layout de una planta de producción de montaje de módulos; finalmente, el capítulo de Conclusiones y recomendaciones, el cual desarrolla las apreciaciones conclusivas del tema propuesto y su resultado en la optimización de la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos respecto al objetivo de la tesis, y sus recomendaciones finales.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El mercado de la industria naval es uno de los más globales, logrando que ésta industria mejore el sistema de producción de buques y su capacidad de venta la cual se sustenta, exclusivamente en una eficiente producción y reducción de costos del buque.

En las últimas décadas, la construcción naval mundial, ha sido desafiada a resolver varios problemas del sector, que se presentan particularmente, en la gestión de producción, en la productividad y articulación de redes de abastecimiento, entre otros.

Entre los diferentes problemas podemos precisar, la falta de herramientas que ayuden a la solución en la gestión de la producción y el planeamiento a fin de que sean determinantes para el éxito de estas áreas, comparado con otros países con industrias navales desarrolladas y avances en gestión y tecnología.

En la industria naval podemos identificar, que la cadena de producción en la construcción naval, posee una configuración compleja a gran escala, y de todos los procesos que la envuelven, puede concentrar su mayor dificultad en el montaje de módulos de construcción naval.

No hay una metodología que se sustenta exclusivamente en modelos matemáticos, con explicación lógica y contenido científico; para definir prioridades de distribución de sub productos en el montaje de módulos con respecto a los costos de construcción, cuyas definiciones son detalladas en las posteriores páginas.

En este orden de ideas, es menester señalar que en la construcción naval se conocen dos prioridades, la de reducir los tiempos y los costos. Respecto a la primera existen pesquisas con metodologías aplicadas para minimizar los tiempos en los procesos de construcción de módulos y así, cumplir con el plazo de entrega del buque. Ello no quiere decir que pueda garantizar una solución en el tratamiento de los costos. De lo expuesto se colige que a veces el atender los plazos puede

significar un costo alto, atendiendo la productividad con el que el astillero trabaje.

Teniendo en cuenta que hay una necesidad de definir una metodología basada en costos, que ayude la gestión en la productividad, el presente trabajo ofrece una solución a la distribución de los sub productos y la designación de áreas intermediarias de producción, para el montaje de módulos de construcción naval; que interactúen entre tres oficinas de producción (fabricación, montaje de sub-módulos, montaje de módulos), minimizando los costos de trabajo y servicio de las oficinas.

La propuesta presenta un modelo matemático sustentado en el modelo propuesto por Tancrez, en su artículo titulado “Three-level Supply Chain”, adecuándolo al contexto naval, de tal manera, que optimice el flujo de los sub productos en una red de instalaciones entre oficinas que permita una reducción de los costos de trabajo.

1.1 TEMA

Sabiendo que la cadena de producción en la construcción naval posee una configuración compleja a gran escala, precisando que todos los procesos que la envuelven concentran su mayor complejidad en el montaje de módulos; precisando que el módulo es formado por planchas y perfiles de acero, con formas predeterminadas de acuerdo con el proyecto del buque.

El planeamiento de la producción, realizada por distintos sectores del astillero, tienen la responsabilidad de analizar y definir las actividades realizadas antes, después y/o en paralelo en el montaje de módulos. Para lograr esto, el planeamiento de la producción, debe contar con herramientas de apoyo a la toma de decisión respecto de la cadena productiva. Por tanto el desarrollo de nuestro tema, resalta el apoyo a la decisión para optimizar la cadena de abastecimiento, con un enfoque en los costos, que comparado a otros tipos de tratamiento del problema que lo enfocan a los tiempos, de manera tal, que atendiendo la demanda de diferentes proyectos de construcción naval, pueda de manera organizada, contarse a la hora de planear la secuencia de construcción, facilitando las actividades en el montaje de módulos.

El montaje de módulos ha sido tradicionalmente sustentado en la experiencia del astillero en sí. No obstante su dimensión, ésta no deja de ser una actividad crítica del proceso de construcción naval. Ello implica la necesidad de tratar este tema con una aproximación a la realidad de la producción en los astilleros, vale

decir, que los astilleros puedan contar con herramientas desarrolladas, especialmente para dar ese soporte en sus decisiones en lo que respecta la distribución interna, flexibilidad productiva en las instalaciones intermediarias para evitar el cuello de botella, y buscar minimizar los costos de operación.

1.2 MOTIVACIÓN

El conocimiento y la comprensión de la estructura de costos de la cadena productiva en la construcción naval, con el objeto de estudiar su comportamiento y así ofrecer una propuesta que tenga como fin optimizar la cadena productiva. En nuestro caso, será la cadena de abastecimiento, la que y pueda aligerar los procesos de trabajo que aseguren y garanticen la competitividad del astillero en medio de tantos otros que compiten en el sector de construcción naval es la motivación del presente estudio.

Otra motivación de este estudio es buscar solucionar los problemas que surgen en las actividades críticas en la construcción de un buque, por ejemplo, el montaje de módulos. En tal sentido se pensó en desarrollar una herramienta computacional, con la capacidad de emitir resultados que ayuden a los agentes responsables de la gestión, interpretar los resultados tomando las decisiones que beneficie la productividad en las actividades. Sin embargo, esta herramienta computacional debe contener un lenguaje que describa el comportamiento de la cadena de abastecimiento, sometido al objetivo de optimizar la cadena, con un enfoque en los costos que la integran.

1.3 OBJETIVO

Esta investigación tiene como objetivo, crear un algoritmo matemático de optimización como herramienta de apoyo en la toma de decisiones en la gestión de la cadena de abastecimiento, específicamente en el montaje de módulos en la construcción de un buque con enfoque en los costos.

Con este objetivo, el trabajo propone un modelo matemático de optimización que solucione los problemas de distribución de productos internos, de designación de instalaciones intermediarias, y de asegurar el stock, según el tipo de proyecto de construcción de un buque, utilizando conocimientos específicos para optimizar la cadena de abastecimiento en tres niveles de oficinas productivas.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología comprende el conocimiento respecto de la gestión de cadena de abastecimiento, particularmente en la construcción naval; el conocimiento de la

estructura de costos en la construcción de un buque; y el análisis deductivo y comparativo de la cadena de abastecimiento, específicamente en el montaje de módulos en la construcción de un buque en tres niveles de oficinas productivas.

En este orden de ideas, realizamos una extensa revisión de literatura que apoye y respalde nuestra pesquisa en crear un algoritmo que optimice la cadena de abastecimiento en tres niveles en el montaje de módulos.

El modelo matemático de la cadena de abastecimiento en tres niveles, para el montaje de módulos, en el software de optimización LINGO®, es implementado computacionalmente

Es elaborado un caso de estudio, con información alineada a los objetivos de la tesis, y configurada respecto al modelo matemático.

El modelo computacional es compilado en el programa LINGO®, verificando y procesando los datos ingresados del caso de estudio, elaborando un reporte computacional de los resultados obtenidos de la optimización de la cadena de abastecimiento, los cuales son objeto de análisis y de interpretación.

Finalmente, representan las conclusiones y recomendaciones respecto al beneficio de optimizar la cadena de abastecimiento en tres niveles en el montaje de módulos en la construcción naval; como un aporte al desarrollo de la ingeniería naval en el Perú.

1.5 DESCRIPCIÓN

No se ha hallado información o publicaciones de una metodología basada en un modelo matemático en tres niveles de la cadena de abastecimiento, para el montaje de módulos en un astillero, sobre todo con un apoyo científico que describa el comportamiento de la cadena con enfoque en los costos.

Esta ausencia de información complica la tarea de cumplir el objetivo de la tesis, sin embargo, la importancia de elaborar un algoritmo que incentive la iniciativa de resolver problemas en la gestión de la cadena de abastecimiento, desde un ángulo diferente, a lo que encontramos en la mayoría de publicaciones con enfoque en tiempos que en costos; nos anima a buscar nuevos fundamentos para la gestión de la cadena de abastecimiento.

En efecto, el presente trabajo adiciona nuevos fundamentos para la gestión de la cadena de abastecimiento y su familiarización con los costos. Además los fundamentos adecuados al contexto naval permite su flexibilidad para ser utilizado en otras cadenas productivas similares.

En conclusión, esta tesis debe considerarse como una contribución a la solución de los problemas que se presentan en las cadenas de abastecimientos y un aporte al conocimiento de su gestión.

1.6 ORGANIZACIÓN

Esta tesis además de contener bibliografía y anexos, está dividida en siete (7) capítulos.

1) **INTRODUCCIÓN:** En este capítulo se desarrolla una breve explicación del tema de nuestra investigación científica, la motivación, y el objetivo del trabajo, la metodología empleada, la descripción del tema y la estructura de trabajo.

2) **CADENA DE ABASTECIMIENTO EN TRES NIVELES:** En este capítulo se desarrolla una revisión de la literatura sobre modelos de optimización en tres niveles, y se efectúa un análisis de la adecuación del modelo con respecto a la construcción naval.

3) **CONSTRUCCIÓN NAVAL:** En este capítulo se ve y analiza una revisión de la literatura sobre la construcción naval respecto de sus fases, procesos constructivos, evolución y estructura de costos.

4) **PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA:** En este capítulo se presenta una descripción del problema en la gestión de la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos.

5) **MODELO MATEMÁTICO:** En este capítulo se describe y desarrolla el algoritmo matemático de optimización propuesto, para tres niveles de la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos, con un enfoque en los costos y su implementación computacional.

6) **EJEMPLO DE APLICACIÓN:** En este capítulo se desarrolla un ejemplo para la validación del modelo matemático. Dicho ejemplo es la construcción de un buque petrolero en un astillero, cuya configuración es proporcionada a través de parámetros representativos de la cadena de abastecimiento, y que verifica el funcionamiento del modelo y su respuesta al objetivo de la tesis.

7) **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** En este capítulo se incluyen las conclusiones finales y recomendaciones siguiendo la línea de investigación, tendientes a la aplicación del algoritmo matemático para resolver, mediante un enfoque en los costos, los problemas en la gestión de la cadena de abastecimiento.

CAPÍTULO II: CADENA DE ABASTECIMIENTO EN TRES NIVELES

Este capítulo presenta, como parte de la revisión bibliográfica, diferentes estudios y metodologías empleadas y seleccionadas por medio de la revisión de artículos, libros y otros materiales. El estudio y análisis de esta información no nos permitió encontrar un trabajo científico sobre una metodología basado en un modelo matemático en tres niveles de la cadena de abastecimiento. Sin embargo; esta información bibliográfica fue organizada de manera tal, que nos permitió contribuir en el desarrollo del modelo matemático propuesto como solución en los problemas que se presentan en el montaje de módulos en la construcción naval.

2.1 CONCEPTOS DE TRES NIVELES

2.1.1 Industria de Transporte

Uno de los temas que motivó la propuesta de la tesis, es el trabajo presentado en el artículo de Tancrez (2012), titulado “A location – inventory model for large three-level supply chains”, quien desarrolla un modelo matemático que soluciona la gestión de enormes y complejas cadenas de abastecimiento, específicamente, en el sector transporte. Su estudio o propuesta deja abierta la posibilidad de su aparición adecuada para solucionar problemas en algún otro tipo de cadena productiva que presente la complejidad en su cadena de abastecimiento.

El artículo tiene un enfoque en los costos, el cual puede ser hallado en diversa literatura sobre investigación operacional (OR, Operational Research), solo que a diferencia de otros autores, Tancrez integra la redes de abastecimiento en tres niveles de decisión en una red de transporte que proyectan la designan instalaciones intermediarias, distribución de ítems y el aseguramiento del inventario.

El modelo es basado para tasas constantes medias de demanda y producción de commodity en una línea continua de tiempo. Los flujos son balanceados de manera que el total de la producción sea igual al total de la demanda. Estas suposiciones son clásicas para niveles estratégicos. Modelos de este tipo son referidos como un modelo de planeamiento de periodo de horizonte único (MELO

ET AL., 2009),

En la figura 1 podemos observar la red en tres niveles de abastecimiento de tipo forward, que quiere decir, que la fuente de abastecimiento son las fábricas (Factory) y que los destinos son los clientes (Customer). Las instalaciones intermediarias son los centros de distribución (DC).

El modelo integra tres niveles de decisión: a) Designación de los centros de distribución (DC), b) Flujos de distribución, c) Tamaño de embarque en cada link. Estos tres niveles son integrados para un mismo tiempo en un solo modelo.

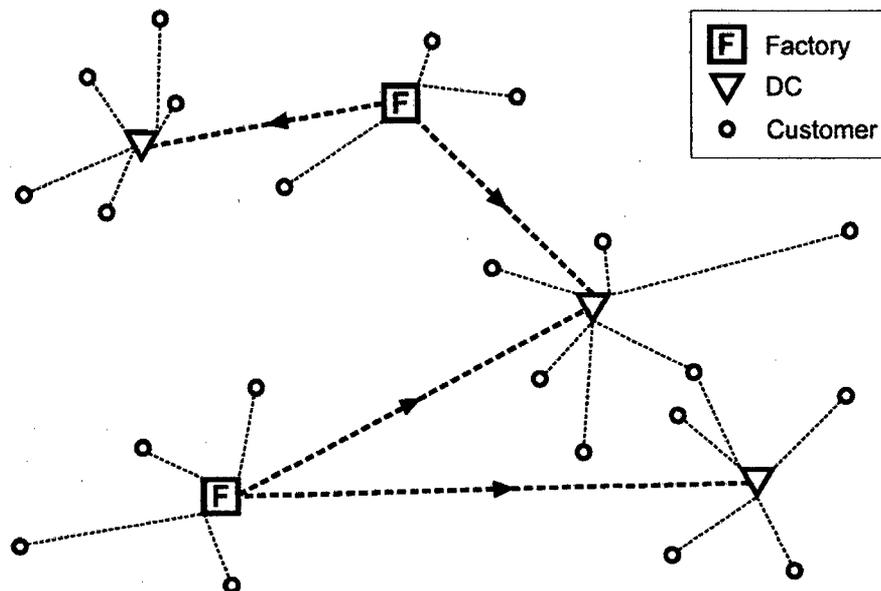


Figura 1: Red de tres niveles de abastecimiento (TANCREZ, 2012)

El objetivo de decidir la designación tiene que ver con la localización de los centros de distribución que constituyen el nivel intermedio en la red de abastecimiento. Las instalaciones intermediarias son seleccionadas por el número finito de candidatos con potencial para ser un centro de distribución. El modelo, por tanto, maneja una localización discreta, quiere decir, que cuando una instalación es abierta, la misma recibe un costo operacional fijo, vale decir que, todo costo que no es proporcional al número de ítems manipulados en el centro de distribución, no es considerado como costo operacional fijo, por ejemplo, el alquiler, amortización de la infraestructura, costos fijos administrativos/personal e impuestos.

La decisión de distribución tiene que ver con establecer una cantidad de links de distribución de la red de abastecimiento que pueda satisfacer la demanda. En este proceso de distribución, uno de los objetivos es minimizar la distancia

recorrida por los ítems y por consiguiente los costos de transporte. El centro de distribución es abastecido por varias fábricas, y el cliente es abastecidos por varios centros de distribución y/o fábricas. Esta última suposición es necesaria, una vez que las tasas de producción de la fábrica y las tasas de demanda de los clientes sean fijas. En general, no se puede asumir que la suma del número entero de exigencias del cliente sea igual a la producción de una fábrica. Algunos clientes tienen que ser satisfechos (directamente o no) por más de una fábrica, de modo tal, que las tasas de producción y de requerimiento sean respetadas.

Tancrez (2012) asume que la decisión del inventario de bienes o productos tiene que ver con el tamaño de embarque, vale decir que el número de ítems del tipo de commodity en un vehículo, en cada link de la red responde al tamaño del embarque. Los vehículos son ilimitados y capacitados. Cada embarque implica el pago de los costos de transporte, independiente de la carga real del vehículo. Consecuentemente, el aumento del tamaño de embarque en un vehículo reduce el costo de transporte por ítem. Esto crea un amplio inventario de los ítems en la red, y genera un mayor costo de manipulación o de manejo del inventario. En resumen, en cuanto se realiza mayores inventarios en los centros de distribución se reducen los costos de transporte. Esto denota la importancia del comercio entre el costo de transporte y el de almacenaje, y también justifica la integración de las decisiones de designación-distribución y gestión del inventario.

En la red de distribución, los clientes pueden ser abastecidos por la fábrica o por el centro de distribución. Si el cliente es abastecido directamente de la fábrica, el tamaño de embarque es determinado por el balance del costo de transporte y el costo de manipulación o de manejo según la fórmula del “Economic Order Quantity” (EOQ), que puede hallarse en diversa literatura o explicada en el artículo de Tancrez (2012).

Si el cliente es abastecido por el centro de distribución se considera que los beneficios y costos deben ser balanceados. El beneficio que es generado, compromete dos elementos. En primer lugar, la tasa en que los ítems son acumulados en los centros de distribución es más elevada comparado con la tasa de acumulación para los clientes individuales. Esto lleva a un mayor tamaño de embarque entre las fábricas y centros de distribución en contraste entre fábricas/clientes.

Los ítems de la commodity que pasan a través de un centro de distribución

serán cargados en un embarque mayor, para recorrer la mayor parte de la distancia hacia los clientes, es evidente que se incurrirá en un menor costo de transporte.

En segundo lugar, la distancia entre el centro de distribución y el cliente es probable que sea menor que la distancia entre fábrica/cliente. Por tanto, el tamaño de embarque entre los centros de distribución y los clientes será menor. Así, el inventario medio del stock del cliente será reducido. Por tanto, los costos adicionales serán también incrementados si el cliente no fuese abastecido por un centro de distribución. Quiere decir, primero, que cuando la distancia total recorrida por los ítems es más largo, es necesario hacer un desvío a través de un centro de distribución; segundo, un inventario adicional es creado en cada centro de distribución que haya sido seleccionado; tercero, como el tamaño de la carga transportada entre el centro de distribución y un cliente tiende a ser menor, el costo de transporte se incrementa a lo largo de esta parte (menor) de la ruta. Cuarto, los costos fijos operacionales y de manejo surgen debido a cada ítem, pasando a través de un centro de distribución.

El costo de instalación fija es compartido entre los clientes atribuidos a este centro de distribución. En este orden de ideas, la elección para abrir un centro de distribución está supeditado por la oportunidad de encontrar un número suficiente de clientes para compartir el costo fijo a fin de que los beneficios arriba mencionados no superen los costos.

El objetivo del modelo de Tancrez (2012), es proponer una solución aproximada de problemas reales de designación-inventario en una gran cadena de abastecimiento. Es conveniente revisar ese artículo, sobre todo en las variables y parámetros que son detallados en la sección 3.2, la función de los costos detallados en la sección 3.3, y, finalmente, la formulación del modelo matemático precisado en la sección 3.4.

2.1.2 Industria Biocombustible

El biocombustible ha sido una alternativa de energía, ha venido ganando espacio y la atención de los operadores de transporte, los fabricantes, etc. en los últimos tiempos, por ejemplo tenemos el bio-etanol. La importancia de la cadena de abastecimiento de transportar biocombustible para abastecer a los mercados finales, es una tarea compleja; si observamos que en la optimización de su distribución puede obtenerse resultados competitivos en el sector.

Awudu (2011), sugiere que es posible incorporar diferentes conceptos de la

cadena de abastecimientos para el biocombustible; asimismo describe una cadena de abastecimiento que posee varias configuraciones y que, en lo común con nuestro modelo, encontramos una cadena de abastecimiento semejante y de tres niveles, compuesta por: a) Centro de producción, b) Bio refinería, c) Puerto de exportación. Esta configuración nos revela que es posible contar con una cadena de abastecimiento de tres niveles en bio combustible, al igual que en el transporte, aproximándonos a un modelo de nuestro interés.

2.1.3 Industria de Construcción Naval

Kolish (2000) comenta que para hacer una orden de pedidos de bienes en una cadena de abastecimiento grande, como es el caso para un buque, se enfrentan problemas en el planeamiento de la producción. Los pedidos específicos de múltiples clientes son fabricados y sujetos a plazos ajustados y que al mismo tiempo alteran el makespan de la producción, como resultado de la espera de pedidos específicos para el montaje, así como de la espera de piezas especiales que son a veces fabricadas en la compañía o adquiridas externamente.

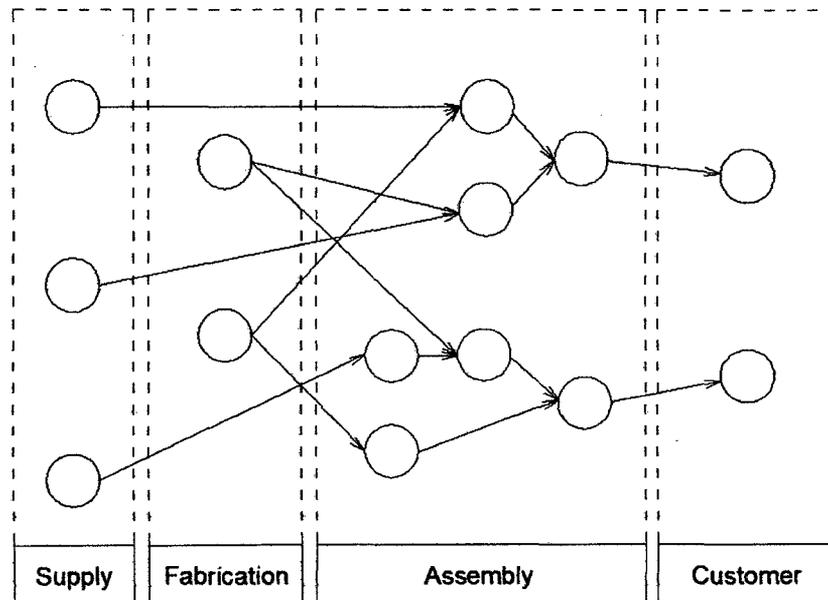


Figura 2: Cadena de abastecimiento para el orden de pedidos de bienes (KOLISH, 2000)

Por otro lado, la capacidad de abastecimiento para el orden de pedidos de bienes es generalmente escasa, pues para ser competitivos, se deben reducir los costos fijos por downsizing y tercerización. Las empresas pasan a concentrarse en sus esenciales competencias que son, la fabricación, la construcción y montaje de bienes específicos para el cliente. La figura 2 representa la distribución de la cadena de abastecimiento desde fuentes internas y externas para el montaje de bienes según la necesidad del cliente.

Por otro lado, Kim (2002), presenta una visión general de la producción de buques. La cadena de producción de un buque posee una configuración compleja a gran escala. Lo resaltante aquí reside en la parte de la cadena de producción que se ocupa del montaje del módulo, es decir, que las materias primas y componentes son entregados a partir de fuentes internas y externas para las oficinas de sub montajes, los que a su vez proveen de los paneles y sub-módulos a la oficina de montaje de módulos. De lo expuesto se colige que: a) la oficina de materias primas y componentes, b) la oficina de sub montajes, c) la oficina de montaje de módulos, constituyen una cadena de producción en tres niveles.

2.2 CONCEPTO UNIFICADO

Habida cuenta los conocimientos en la cadena de abastecimiento en tres niveles y su potencial aplicación en las diferentes cadenas de producción, concluimos que para solucionar el problema de la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos en la construcción naval; resulta establecer determinante un modelo que sea semejante al presentado por Tancrez (2012), tomando en cuenta algunas consideraciones importantes.

Es menester considerar que:

- 1) Dicho modelo es configurado para dar solución a una red de transporte de productos desde las fábricas a clientes con instalaciones intermediarias que son llamadas de centros de distribución, a fin de aliviar la logística en la cadena de abastecimiento, dicho modelo puede ser adecuado a la construcción naval; por contar con una estructura útil para optimizar recursos, espacio, inventario, distribución, entre otros.
- 2) En el escenario de la construcción naval, semejante al transporte, se tiene tres niveles en la cadena de abastecimiento: a) las oficinas de fabricación, b) las oficinas de sub montajes, c) las oficinas de montaje de módulos. De igual manera tenemos tres niveles de decisión, como son: a) la de distribución de productos o ítems, b) la de designación de instalaciones intermediarias y c) de aseguramiento de stocks entre las oficinas de producción.
- 3) Un detalle diferente al modelo de Tancrez (2012), aplicable a la construcción naval, es que la producción es orientada al proyecto del buque. Quiere decir que se tiene una variedad de sub productos, procesos de construcción y clientes internos como externos. Eso representaría un

problema multi-commodity (MAX SHEN, 2005), dado que un número de piezas genera un conjunto de sub productos y productos (paneles, sub-módulos, módulos, etc.).

- 4) Realizar una revisión cuidadosa del estado de arte de Tancrez (2012), nos ayuda a desarrollar un modelo para el estado de aplicación que busquemos para optimizar la cadena de abastecimiento, de tal manera que ello nos apoye a la toma de decisiones en la gestión de montaje de módulos. Por ejemplo tenemos la ventaja de utilizar un algoritmo heurístico para evitar la complicación de usar variables binarias, los cuales producen mayor tiempo de procesamiento, sin mencionar la complejidad del modelo que tiene que afrontar problemas multi-commodity y de soporte computacional con una alta capacidad de procesamiento de datos. Para evitar las variables binarias, nuestro modelo presentaría una herramienta con no solo una velocidad de respuesta, sino también con una economía computacional.
- 5) La decisión del modelo de optimización, es asumida por el flujo de los sub productos que pasan a través de las instalaciones intermediarias. Esto quiere decir, que la decisión de abrir o no, una instalación intermediaria (puede ser considerado como una expansión del área de trabajo para atender demandas dependiendo del tipo de proyecto) considerando si pasa o no flujo a través de ella, siendo cerrada, será (cero), cuando la opción de abrir esa instalación es nula, se considerará abierta cuando para un flujo considerable que a juicio y decisión del gestor de planeamiento sea útil su aplicación o decidir reconfigurar la cadena de abastecimiento.
- 6) Debo precisar que en la construcción naval se presenta un problema de integración del planeamiento de la producción, distribución y transporte de los sub productos en la cadena de abastecimiento (JOLAYEMI, 2010); por lo cual, nuestro trabajo busca dar una solución integrada de los tres niveles y mejore el ambiente de producción y sea dinámica en la creación del producto final (módulo).

Concluimos, que existe una verdadera necesidad de elaborar un modelo de solución en la cadena de abastecimiento para el montaje de módulos en la construcción naval, sobre todo en los astilleros de demanda media (3 a 4 buques de

medio y grande porte en un periodo de 12 a 18 meses), por lo cual consideramos que el modelo matemático y sus atribuciones son un aporte y contribución al mejoramiento y optimización de la gestión de la cadena de abastecimiento en la construcción de buques en astilleros.

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN NAVAL

En este capítulo se presentan los principales procesos y etapas asociadas a la construcción de buques en el astillero, los componentes y equipos necesarios para cada etapa y su tecnología disponible, así también, la estructura de costos.

Como referencia del contenido de este capítulo fueron utilizados el libro “Ship Design and Construction” (LAMB, 2003), los trabajos del Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ), los trabajos del Centro de Estudos de Gestão Naval (CEGN), trabajos de la disciplina del Arte Naval del curso de Engenharia Oceânica e Naval da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), y finalmente los trabajos del Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC) de la Universidade Técnica de Lisboa (UTL).

3.1 FASES EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

La construcción naval pasa su mayoría, por las siguientes fases (VAN DOKKUM, 2008), (BACHKO, 1980), y con sus respectivos costos asociados:

- Fase contractual
- Proyecto básico
- Proyecto de producción
- Fase de construcción naval
- Fase de preparación y acabado (tuberización, electricidad, maquinas y sistemas)
- Pruebas de mar y certificación
- Entrega al armador

Además de las fases anteriormente mencionadas, existen también fases de control de calidad, de transporte, de fiscalización y aprobación por parte del Astillero, de la oficina de proyecto, del Armador, de las Sociedades Clasificadoras y de las Autoridades Marítimas de bandera.

Brito, et al. (2006), hace un resumen de los procesos tecnológicos

comúnmente usados en astilleros navales dedicados a la construcción de estructuras navales. Las fases y procesos tecnológicos son generalmente los siguientes.

Fase	Procesos / Observaciones
Proyecto detallado	Partiendo del proyecto preliminar del buque, o el anteproyecto, se realiza el proyecto detallado que permite el establecimiento de la configuración del buque y la definición pormenorizada de todos los componentes a adquirir, manufacturar y montar. Esta fase también permite la definición de las necesidades del material a adquirir, estableciendo su respectiva encomienda.
Estudio y preparación de trabajo	Elaboración de los documentos técnicos que permitan ordenar la ejecución de los trabajos, con el uso extensivo del apoyo de los sistemas de información en el proyecto de ingeniería. Esta fase se confunde cada vez más con la anterior.
Trazo y planificación	Obtención de elementos informativos que permitan la definición geométrica de los componentes estructurales (paneles, refuerzos, otros). Obtención de las dimensiones antes de las deformaciones. Ejecución del alineamiento (nesting – la definición de las partes que serán obtenidas de una plancha de acero naval a través de un plano de corte), que es el proceso de decidir sobre el modo de aprovechamiento del material.
Marcación	Operación donde se define la forma y las dimensiones de los componentes a fabricarse. Es la operación física de insertar marcas en las superficies externas del material a través del uso de plotters y pinchazos. Hoy, con el uso del computador para apoyar el proyecto y la manufactura, es imposible prescindir de la marcación en operaciones de fabricación, designando el corte por medios automáticos. Los elementos informativos, son enviados directamente del proyecto para las máquinas de corte automáticos, entre otros.
Manufactura	Consiste en la fabricación de componentes individualizados, a partir de la materia prima; recurriendo, sobre todo al corte (térmico o mecánico, siendo el primero más generalizado) y a la deformación plástica o conformación. En caso de que sea necesario para la fabricación de perfiles con dimensiones no comercializados, se usa también la soldadura.
Pre-fabricación	Corresponde a la unión entre sí de piezas o componentes simples, formando paneles reforzados y módulos bidimensionales (pisos, mamparos, etc.). Se usa aquí principalmente el proceso de soldadura.

Montaje de módulos	Acoplamiento de piezas simples, de paneles y sub-módulos bi dimensionales entre sí, formando módulos tri dimensionales de diversas dimensiones. El acoplamiento es complejo de acuerdo a la estrategia de fabricación y capacidad de levante (grúa) del astillero. Se usa principalmente el proceso de soldadura.
Montaje del buque	Posicionamiento, alineamiento y acoplamiento de módulos entre sí. Se usan principalmente los procesos de soldadura y los medios para el movimiento e izamiento de carga.
Control de calidad	Uso de técnicas de medición lineal y de forma, inspección de soldadura, de pintura, de estanqueidad y otras en el ámbito de verificación de calidad. Estas actividades tienen el propósito de verificar la conformidad de las piezas y de su conjunto, con el que obra en los planos constructivos y en la especificación técnica del buque. Actividad que se realiza en todas las etapas del proceso constructivo.
Protección superficial	Arenado y pintura de las piezas y de su conjunto; estos trabajos son hechos en todas las fases. Particularmente la pintura total del buque es hecha al final de la construcción, salvo algunas excepciones.

3.2 EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL

Según la publicación de la ABDI (2008), las prácticas de proyecto y construcción de buques se distribuyen en diferentes niveles tecnológicos, relacionados con el nivel de productividad, costo y calificación de mano de obra empleada.

Un conjunto de estudios realizados a partir del inicio de la década del 90, expuso y analizó las prácticas de astilleros japoneses, coreanos, europeos y norte americanos, en las variadas actividades de la construcción naval, tanto en la tecnología hardware como software. Para cada actividad fue atribuida una puntuación del 1 al 5.

El nivel 1 corresponde al utilizado en un astillero de primera generación, común en el inicio de los años 60s, y el nivel 5 corresponde al estado de arte actual, aunque los estudios ya tengan seis o más años.

Esta clasificación es bastante útil como plano de fondo a la discusión las siguientes propiedades fundamentales asociadas a cada nivel:

- Nivel 1 – Refleja la práctica de los astilleros hasta el comienzo de la década de 1960. El astillero utilizaba varias gradas simultáneamente, grúa de baja

capacidad y nivel bajo de mecanización. El acabado (outfitting) era realizado prácticamente a bordo, después del lanzamiento. Los sistemas operacionales eran simples e implementados manualmente.

En resumen, el astillero es caracterizado por los equipamientos, sistemas y técnicas más básicos. Los métodos y procesos son, hoy en día, totalmente obsoletos.

- Nivel 2 – Es una tecnología empleada en los astilleros construidos o modernizados a final de la década del 60 e inicio del 70. Son caracterizados por un menor número de gradas, en algunos casos un dique de construcción, grúas mayores y un nivel más elevado de mecanización. Los sistemas ópticos sustituían las salas de riesgo. Las computadoras eran empleados en algunas rutinas operacionales y en las actividades del proyecto, pero en aplicaciones totalmente aisladas. La introducción de la construcción en módulos, con oficinas de pre-montaje alejadas de las gradas, mayores espacios para el almacenaje de componentes y galpones con equipos más avanzados de fabricación y Movimiento, son otras de sus características. El acabado era realizado prácticamente todo a bordo, después del lanzamiento. Los métodos y procesos son muy inferiores al padrón actual de la industria mundial.
- Nivel 3 – Corresponde a la mejor práctica de la construcción naval de finales de la década del 70. Es representado por los nuevos astilleros, recién construidos o completamente remodelados, usualmente son norte-americanos, europeos, coreanos y japoneses. Típicamente poseen un único dique o área de edificación, con grúas de alta capacidad, alto grado de mecanización en la producción de la estructura y uso extensivo de computadoras en todas las áreas, pero aún con sistemas no integrados.

Esos nuevos astilleros tienen una organización orientada al proceso. El layout es planeado para facilitar el flujo directo y continuo de material. Son instalados, en general, en grandes áreas, sin restricciones físicas para el layout. Aunque algunos de esos astilleros aún emplean gradas, el estándar es la construcción en dique. Tales astilleros introducen tecnología avanzada en el procesamiento del acero, fabricación de la estructura y en los sistemas de transporte y movimiento interna que de la carga. Adoptan estaciones de trabajo fijas y claramente definidas. El flujo de pre-montaje y montaje de módulos y anillos tomó un aspecto de proceso de línea de montaje. Se introduce, además, el acabado

avanzado, pero sin integración de proyecto, planeamiento de la construcción, control de materiales y control del proceso. La mano de obra aún es, típicamente, unifuncional.

- Nivel 4 – Se refiere a astilleros que avanzan tecnológicamente durante la década del 80. Generalmente tenían un único dique, con buena protección ambiental, ciclos cortos de producción, alta productividad, extensiva práctica de acabado avanzado y alto grado de integración estructura-acabado. Los sistemas operacionales y CAD/CAM eran plenamente desarrollados. Esos Astilleros adoptan el modelo de organización orientada al producto. Los conceptos de la Tecnología de Grupo (Group Technology o Family Technology) son introducidos en la construcción naval. Aunque en ese periodo se logró el avance en las técnicas de fabricación y procesamiento.

El progreso más notable ocurre en la ingeniería de la producción. El principal objetivo es en este nivel sincronizar la producción a fin de minimizar el almacenaje y el transporte interno. Los tamaños de los módulos son optimizados para mantener el equilibrio en el flujo de trabajo, en base en el acabado por zona.

Para los astilleros con diques integrados a los galpones de montaje, la tendencia es de construcción de módulos de hasta 250 toneladas (pero aún con excepciones importantes).

Para los astilleros con diques alejados de las oficinas, la tendencia es la construcción de grandes módulos de 700 hasta 1,000 toneladas, cuando se usan grúas, y hasta 3,000 toneladas, con sistemas de desplazamiento horizontal y levantadores.

El carácter multifuncional de trabajo en la construcción naval, impuesto por el nuevo modelo de producción, al lado del alto nivel de automatización, exige nuevos estándares de formación y entrenamiento de los trabajadores.

Este nivel representa el padrón actual de la mayoría de los astilleros de clase mundial.

- Nivel 5 – Representa el estado de arte de la tecnología de construcción naval a partir del final de la década de los 90. Es alcanzado a partir del nivel cuatro por el desarrollo de la automatización y robótica en todas las áreas donde pueden ser efectivamente empleadas, y por la integración de los sistemas operacionales, por ejemplo, con el uso efectivo de CAD/CAM/CIM. Este nivel se caracteriza por la

filosofía de producción modular en el proyecto y en la producción, atendiendo a un alto nivel de estandarización de componentes intermediarios, aplicable para buques diferentes.

El astillero de esta generación dispone de estaciones de trabajo y líneas de procesamiento especializado en tipos específicos de módulos o anillos, con un alto grado de automatización y robotización.

Este nivel es también caracterizado por la alta eficiencia en control de material computadorizado y por la garantía de calidad plenamente efectiva. Han sido introducidos nuevos métodos de corte, soldadura, edificación y pintura, y fuertemente desarrollados los padrones de precisión y control dimensional. Pocos Astilleros pueden ser caracterizados como el nivel cinco.

Por tanto, aunque no representan un padrón ya atendido por los astilleros competitivos modernos, caracteriza el estado de arte y las tendencias en tecnología de procesos industriales, instalaciones, sistemas, gerencia y recursos humanos.

Es preciso enfatizar que aunque es presentada como referencia histórica de desarrollo de la construcción naval, los niveles tecnológicos son atemporales, existiendo astilleros hoy, que aún utilizan niveles primarios de tecnologías constructivas, lo que no significa necesariamente que son malos. El nivel tecnológico empleado por un constructor y el contexto específico llevan a un determinado nivel de productividad y costo. De ese modo, cuando se considera el panorama socio económico específico de determinado País, se verifica que el menor costo no está necesariamente asociado a una mayor productividad. Aun así, los costos de implementación de nuevas tecnologías productivas de punta no parecen ser tan grandes a punto de justificar inversiones en padrones tecnológicos más antiguos, porque son más baratos. La existencia, o no, de mano de obra calificada, la posibilidad de utilizar tecnologías más actuales y costosas puede, tal vez, justificar la elección por proceso más antiguo.

3.3 CONSTRUCCIÓN DEL CASCO POR MÓDULOS

En el desarrollo del proyecto estructural de un buque se aplican los reglamentos de las Sociedades Clasificadoras y la experiencia adquirida, de forma tal que se integren de modo simple y eficiente los diferentes componentes estructurales en conjuntos, formando paneles, módulos y finalmente el casco. Este modo de proceder permite aumentar la productividad en el montaje.

El grado de desarrollo del proyecto estructural depende de los siguientes elementos:

- Definición de los módulos y métodos de montaje;
- Tipo de trazo;
- Tipo de corte (manual o por CN);
- Extensión de la soldadura automática;
- Disponibilidad de una instalación automática de fabricación de paneles;
- Espacios y medios en general.

Independientemente de los medios disponibles en el desarrollo del proyecto, la preocupación constante de reducir la mano de obra necesaria para la construcción del casco. Para conseguir este objetivo es determinante hacer una correcta definición de los módulos que van a formar el casco y sus pormenores.

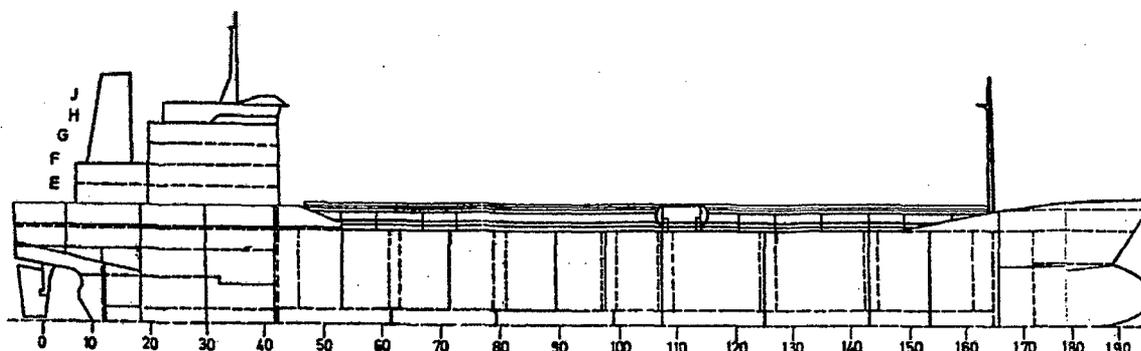


Figura 3: División del buque en módulos – líneas llenas (BRITO et al., 2006, p. 20.)

La construcción del casco se hace normalmente en cinco niveles de operación de modo que se optimice el flujo de trabajo y se reduzca el tiempo de montaje en la grada o dique.

1º Nivel - Fabricación de piezas (Figura 4).

Esta fabricación está distribuida por las siguientes zonas:

- Planchas planas;
- Planchas curvas;
- Perfiles.

2º Nivel – Montaje de piezas (Figura 5)

Los trabajos típicos de este nivel son:

- Montaje de perfiles de secciones no ofrecidas por la siderúrgica;
- Montaje de componentes como, por ejemplo, un refuerzo relacionado a la ala de un perfil.

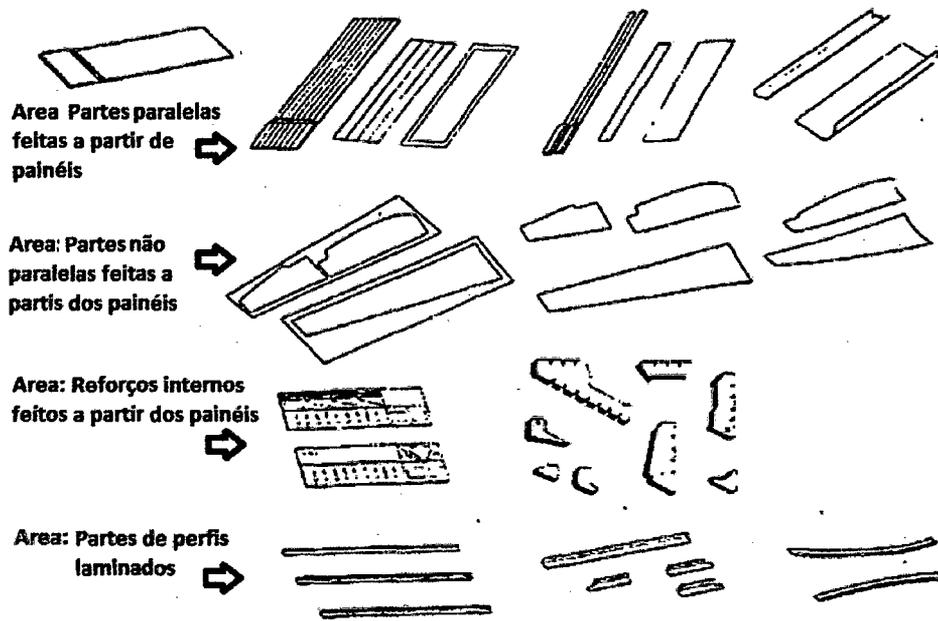


Figura 4: Fabricación de piezas¹ (BRITO et al., 2006, p. 21.)

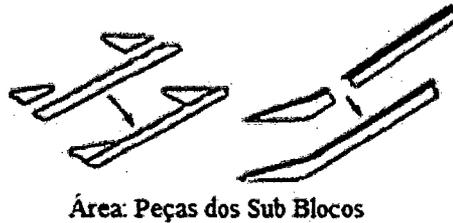


Figura 5: Montaje de piezas² (BRITO et al., 2006, p. 21.)

3º Nivel – Montaje de módulos en dos dimensiones (Figura 6 y Figura 7)

Este montaje envuelve, en una primera fase, la construcción del panel y, en una segunda fase, el montaje sobre el panel de los elementos resistentes.

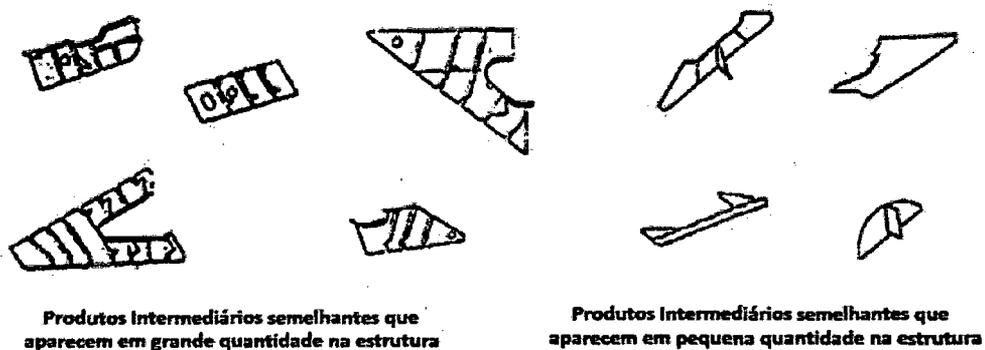


Figura 6: Montaje de subconjuntos³ (BRITO et al., 2006, p. 22.)

¹ Feitas (Hechas); Painéis (Paneles); Reforço (Refuerzo); Perfis (Perfiles)

² Peças (Piezas); Sub Blocos (Sub-módulos)

³ Produtos (Productos); Semelhantes (Semejante); Quantidade (Cantidad); Estrutura (Estructura); Pequena (Pequeña)

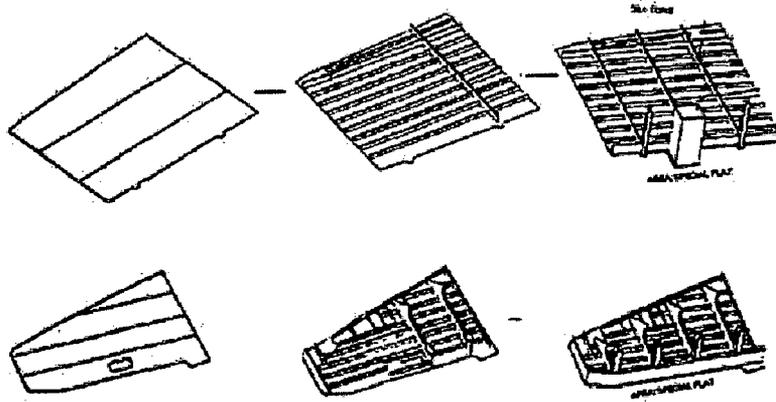


Figura 7: Montaje de paneles (BRITO et al., 2006, p. 22.)

4° Nivel – Montaje de módulos en 3 dimensiones (Figura 8 y Figura 9).

Este montaje tiene lugar normalmente en zonas distintas organizadas en función de las necesidades operacionales por lo que podrán existir los siguientes:

- De módulos planos;
- De módulos curvos;
- De superestructuras.

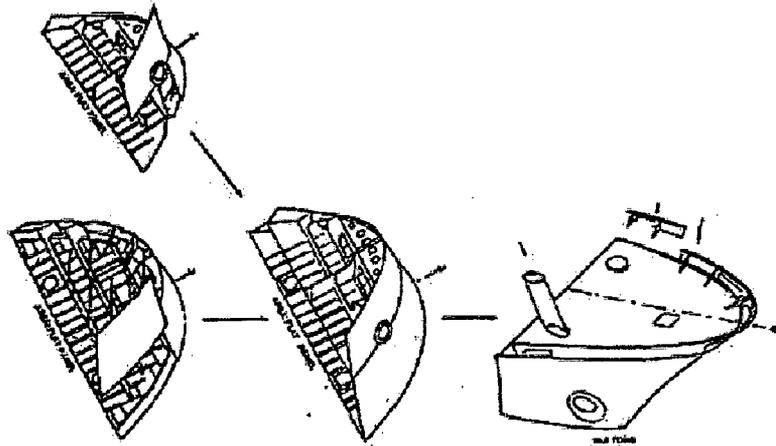


Figura 8: Montaje de Módulos – Castillo de Proa (BRITO et al., 2006, p. 23.)

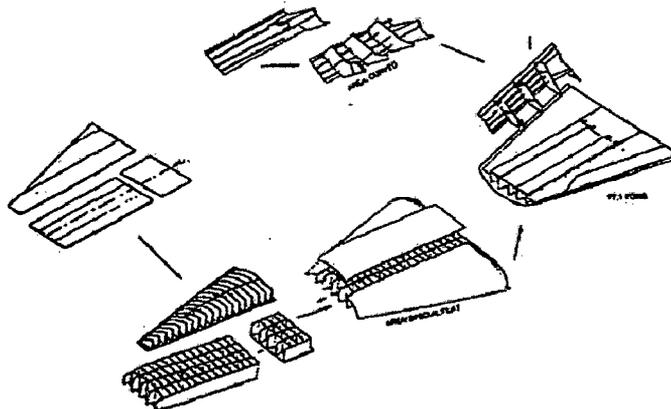


Figura 9: Montaje de Módulos – Roda de Proa (BRITO et al., 2006, p. 23.)

5° Nivel - Montaje del casco.

El montaje del casco en dique o en la grada es el nivel final. Se consideran las siguientes áreas específicas:

- Cuerpo de popa;
- Sala de máquinas;
- Cuerpo cilíndrico;
- Cuerpo de proa;
- Superestructura.

En este sentido debe tenerse en cuenta una amplia incorporación en la preparación previa al montaje del casco que se utiliza, en algunos astilleros, el montaje de anillos a través de módulos de 3 dimensiones. El montaje final del casco es realizada por la unión de estos anillos según una secuencia predeterminedada.

3.4 EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS EN CONSTRUCCIÓN NAVAL

3.4.1 Construcción por sistemas

El montaje de los elementos estructurales mayores se realiza en la grada de construcción o dique, uno a uno. La preparación del montaje final se realiza de forma parcial en la grada y también después del lanzamiento al agua.

3.4.2 Construcción por módulos

Los módulos del casco son ejecutados en oficinas, siendo posteriormente llevados a la grada de construcción o dique; la mayor parte de los trabajos estructurales se realizan en la oficina. Esta evolución se basa en la evolución tecnológica de los procesos de soldadura y está asociada a una mayor capacidad de los medios de elevación y de movimiento en el astillero. La preparación se realiza cuando el casco este completo.

La cantidad de preparación realizada en la grada de construcción, aumenta relativamente el procedimiento anterior, sin embargo prevalece el acabado después del lanzamiento al agua.

3.4.3 Pre-preparación y preparación por zonas

En este procedimiento, aprovechando las facilidades de acceso, se introducen en los módulos algunos elementos de preparación.

Los trabajos de construcción estructural del casco y de acabado, van avanzando en paralelo, con una significativa parte de coordinación de la Ingeniería de Producción.

La información del proyecto es organizada principalmente por sistemas, comenzándose a establecer módulos simples de equipamientos y notar la necesidad de información estructurada de otra forma acorde con el procedimiento de montaje. Se comienza a reducir el periodo de acabado después del lanzamiento al agua.

3.4.4 Construcción integrada

Los trabajos de construcción estructural, acabado y pintura, avanzan en simultáneo, según las posibilidades de realización local.

La información técnica se desarrolla basándose en la división del buque en productos intermedios.

En este último caso se procura la estandarización y la construcción modular. La evolución para este procedimiento solo es posible, con la evolución para uso de los sistemas CAD y con los recursos de la gestión integrada de proyecto y materiales.

El tiempo de acabado, en la grada de construcción o dique y después del lanzamiento al agua, es reducido, así como el periodo total de la construcción.

Algunos conceptos básicos de la construcción integrada son las siguientes:

- a) Todo lo que se pueda terminar anticipadamente, debe ser concretizado lo más temprano posible.
- b) Se debe aprovechar el momento más oportuno para realizar trabajos, evitándose esfuerzos y posiciones incómodas, maniobras y medios auxiliares.
- c) Siempre que sea posible debe inducirse el efecto en serie, buscando afinidades en las obras a realizar.

La concretización de la construcción integrada debe tener en consideración los conceptos referidos y debe observar la siguiente metodología:

- a) Dividir el buque en zonas y considerar que éstas deben ser concebidas como un conjunto de productos intermedios.
- b) Definir el plano de ejecución de cada uno de los productos intermedios (notar que el buque completo es el “producto intermedio” de mayor ámbito).
- c) Identificar los módulos estructurales, de preparación y otros, y diligenciar la ejecución del mayor número de trabajos en buenas condiciones en recintos cubiertos.
- d) Orientar todo el proyecto de producción para el producto y para el

proceso, en detrimento de la visión funcional.

Con la construcción integrada se pretende reducir el periodo de construcción por la realización simultánea de mayor número de trabajos y se puede igualmente reducir el costo, porque el plazo de construcción es reducido, porque las condiciones de realizar los trabajos son mejores, y porque la coordinación entre tareas es más eficaz.

A través de la construcción integrada también se espera mejoría de la calidad, asociada a la mejoría de las condiciones de ejecución.

3.5 ESTRUCTURA DE COSTOS

Este estudio incidirá únicamente en las fases del proyecto de producción (ingeniería de producción), y en la fase de construcción del casco, con excepción hecha a la etapa relativa de unión de módulos.

Dentro de la fase de construcción del casco, principal objeto de este estudio, tenemos las siguientes etapas:

- Corte de piezas, planchas y refuerzos.
- Unión de planchas (mamparos, suelos, revestimientos)
- Montaje y soldadura de piezas y refuerzos en las planchas para formar subconjuntos y paneles.
- Unión de subconjuntos para formar módulos.
- Unión de módulos para formar el buque completo.

Pasando ahora a la vertiente económica de cada una de estas fases, podemos decir, de una forma general que los costos son medidas monetarias de los recursos con los cuales un individuo u organización tienen que guardar a fin de atender sus objetivos. Siendo esos objetivos el uso de servicios o bienes que permitan la creación de nuevos productos o servicios.

Una estructura de costos se puede considerar como el conjunto de gastos que una empresa tiene que tener en cuenta en la manufactura de un producto o en la prestación de un servicio. La estructura de costos de una empresa puede ser evaluada como la relación entre los costos fijos y los variables.

Cada gasto está asociado a un centro de costos, que por su vez está asociado a un tipo de actividad. Como tipo de actividades en la construcción y reparación naval del casco tenemos: el proyecto, corte, montaje, soldadura, control de calidad, transporte y seguridad.

Resultado importante analizar y distinguir en cada actividad, cuales son los costos directos y los costos indirectos inherentes a cada una de ellas.

La estructura de costos, o sistema de acumulación de costos, de una empresa representa el ambiente básico en el cual operan los sistemas y acuerdos de financiamiento. Este sistema se encuentra íntimamente enlazado al Sistema productivo de cada empresa, el cual puede ser en general de dos tipos: A) Sistema de producción por encomienda – fabricación discontinua de productos no estandarizados (caso de la construcción/reparación naval); b) Sistema de producción continua – fabricación en serie de productos estandarizados (caso de industria automotriz).

De forma análoga a los sistemas de producción aparecen los dos sistemas básicos de acumulación de costos: a) Sistema de acumulación por encomienda y b) Sistema de acumulación por proceso.

El costo total de una construcción o reparación naval representa un sumatorio de dos partes: Costo directo y Costo indirecto.

Los costos directos representan todos los elementos, y gastos en un emprendimiento de una forma directa como es el caso de la mano de obra, equipamiento, utensilios, energía, etc.

Los costos indirectos representan todos los elementos que inciden de un modo indirecto en el costo final del emprendimiento, o sea, que no son directamente gastos en el emprendimiento, pero que son imprescindibles para la realización de este, como sean los costos administrativos, costos de carga tributaria, costos de proyecto e investigación, etc.

El margen de beneficio representa la parte de los costos que proporciona a la entidad que provee el servicio, la obtención de ganancias relativas al esfuerzo consumido en la ejecución de la tarea. Este margen se diferencia de astillero a astillero, de País a País y de situaciones financieras o estratégicas económicas distintas, no siendo por tanto considerada en este estudio.

Aunque relativamente a los costos se puede decir que estos podrían ser divididos en costos fijos o variables.

- a) Los costos variables son costos cuyas bases unitarias poseen un valor que no se altera con las cantidades producidas, pero que cuyo valor total varia de modo directamente proporcional a la cantidad producida.
- b) Los costos fijos son costos cuyo valor total no se altera con la cantidad

de bienes servicios producidos. Sin embargo, su costo unitario varía de forma inversamente proporcional a la cantidad producida.

El modelo operacional de una actividad industrial determina la mayor parte de su estructura de costos. *Un modelo operacional que no esté direccionado en una vertiente competitiva nunca tendrá la posibilidad de ofrecer precios competitivos en el mercado.* En otras palabras, el modelo operacional de una empresa que no distinga lo esencial de lo accesorio está condenado a la falta de competitividad en su área de actividad.

Al final, la acción de un gestor será la de organizar la estructura de costos de una actividad, determinando verificando lo que se gasta y donde se gasta, pudiendo así efectuar las necesarias y posibles alteraciones del modelo operacional de modo que se puedan reducir los costos de la actividad.

De un modo general, los costos de mano de obra tienden a ser siempre superiores a los costos restantes de operación de un determinado equipamiento, por lo que cuanto mayor fuese la automatización de un determinado equipamiento de fabricación, menor es serán también los gastos relacionados a la mano de obra de empleados. Por otro lado existen tareas que no pueden ser efectuadas sin el factor humano, por lo cual debe existir un equilibrio entre las capacidades de automatización y la presencia de operadores.

Entonces es admitido que los costos de mano de obra asumen la mitad del costo de construcción del casco del buque (ROSS, 2004), sin embargo, que es cierto que depende mucho de la complejidad y equipamientos del buque, tales como en el caso de un buque de guerra (MOROYANNIS, 2006), (KALUZNY, 2006), o de un buque crucero, este último puede llegar al 60% (CAPRACE, 2004). Por otro lado verificamos que la proporción de los costos de la construcción de un casco en acero se divide en $\frac{1}{4}$ en la compra de material (acero) y $\frac{3}{4}$ en la mano de obra (MDO) (BOLE, 2007).

Existen diversos factores que dificultan las estimativas de costos de una determinada construcción naval como son: La falta de metodologías estandarizadas y aceptadas globalmente, anexadas a) la falta de una base de datos global de construcciones; b) la falta de comunicación y de intercambio de información entre diferentes departamentos de producción y comercial de un astillero; c) la inexistencia de intercambio de datos entre astilleros y de las dificultades en el abastamiento de los astilleros a otras entidades de investigación o gestión (como

siendo las universidades); d) la inexistencia de la preocupación de reunir datos estadísticos por parte de los astilleros para uso futuro en el perfeccionamiento de las estimativas de presupuesto.

Sin embargo, existen diversas herramientas computacionales disponibles en el mercado, que proporcionan grandes bases de datos de astilleros, aliadas a modelos analíticos de costos, que proponen resolver de una forma eficaz el presupuesto de costos de construcción de un buque, dividiendo su construcción en una serie de áreas de costos. Como ejemplo de un programa tenemos el SPAR ESTIMATE que recurre del modelo PODAC (ENNIS, 1997), (TRUMBULE, 1999). Por otro lado, también ya comienza a ser usual entre los propios astilleros desarrollar sus propias herramientas computacionales para la solución de problemas de análisis de costos de producción naval (BERTRAM, 2004).

Los costos pueden ser indexados usualmente al peso (USD/t), a longitudes (USD/m), al tiempo (USD/h) y a hombres-horas requeridas (HH).

Esta relación entre variables de tiempo, peso, longitudes, dinero, entre otras, son en general denominadas CER (Cost Estimation Relationship) (DESCHAMPS, 2003). Los CER son desarrollados directamente de mediciones de un único atributo físico relativo a una dada actividad, sea ello una cantidad o unidad medida, y el costo/MDO, necesario para realizar la actividad.

Existen CER tabuladas, con origen en la vasta experiencia de cada astillero. Por otro lado también existen CER obtenidos empíricamente por fórmulas desarrolladas por investigadores. La tabla 1 presenta algunos de las más comunes relaciones en los procesos productivos y los CER.

Tabla 1: Secuencia de procesos productivos y respectivos CER

Proceso	CER
Preparación de acero	HH/t
Fabricación de acero	HH/t
Montaje de módulos	HH/m <small>soldadura</small>
Pintura de módulos	HH/m ²
Tuberías	HH/m
Preparación	HH/equipo
Unión de módulos	HH/t
Bodega de carga	HH/m ³

Se pretende en esta tesis dividir y analizar dentro de las posibilidades, seis

tipos de costos relacionados directamente con la construcción del casco y superestructura en acero de un buque (excluyendo la propia compra del acero). Siendo así, se puede decir que la estructura de costos en el área de la construcción naval de un casco en acero, puede ser desagregada de un modo simple en los siguientes centros de costos asociados a cada proceso productivo:

- 3.5.1 Costos de Preparación;
- 3.5.2 Costos de Corte;
- 3.5.3 Costos de Movimiento y transporte;
- 3.5.4 Costos de Conformación;
- 3.5.5 Costos de Montaje;
- 3.5.6 Costos de Soldadura.

Para cada uno de estos centros es aplicado una formula genérica del tipo:

$$C_{Proceso} = C_{MDO} + C_{Energético} + C_{Materiales} \quad USD \quad (1)$$

En los cuales el costo energético es relativo a gastos eléctricos de los equipamientos envueltos en el proceso, los costos con materiales son relativos a gastos con consumibles. Estos dos costos referidos son tendencialmente mucho menor comparado con los costos de mano de obra (MDO).

3.5.1 Costos de Preparación

Respecto a la preparación podemos tener los siguientes costos relativos: costo energético, costo salarial de los preparadores/diseñadores, costo de formación (incluido en los costos de mano de obra), culminando en una ecuación de costos similar a la presentada:

$$C_{PRE} = \underbrace{n_p \times S_p \times h_p}_{\text{Mano de Obra}} + \underbrace{K_e \times P_e \times h_p}_{\text{Energía}} \quad USD \quad (2)$$

Siendo que:

n_p – Número de preparadores [H]

S_p – Salario de preparador [USD/HH]

h_p – Tiempo de preparación [h]

K_e – Consumo de energía [kW/h]

P_e – Precio de la electricidad [USD/kW]

En una tentativa de simplificación y correlación de estos costos relativos al peso de un módulo a ser construido, la ecuación se escribe de la siguiente forma:

$$C_{pre} = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_p \cdot MDO_p + CEQ_p \quad USD \quad (3)$$

Siendo que:

P_b – Peso del módulo[t]

γ_b – Coeficiente de complejidad del módulo.

CER_p – Productividad de preparación [HH/t]

MDO_p – Costo de mano de preparación [USD/HH]

CEQ_p – Costo con equipamiento de preparación [USD/t]

3.5.2 Costos de Corte

Respecto a los costos de corte, podemos tomar en cuenta: costo de equipo de corte (adquisición/alquiler, prestamos, leasing, desvalorización, mantenimiento), costos energéticos, costo con gases de corte, costos salariales de los técnicos de corte, costo de formación, culminando nuevamente en una serie de ecuaciones de costos similar a las presentadas en seguida:

Para el caso del corte por plasma:

$$C_{PLA} = \frac{n_{tc} \times S_{tc} \times h_c}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_c}{\text{Energía}} + \frac{K_{Ar} \times P_{Ar} \times h_c}{\text{Gas de Plasma}} \quad \text{USD} \quad (4)$$

Siendo que:

n_{tc} – Número de técnicos de corte [H]

S_{tc} – Salario del técnico de corte [USD/HH]

c – Tipo de corte [PLA, OXI, MOXI, MEC]

h_c – Tiempo de corte [h] ($h_c = \frac{d_c}{v_c}$)

v_c – Velocidad de corte [m/h]

d_c – Longitud de corte [m]

K_{Ar} – Consumo de gas de plasma [kg o m³/h]

P_{Ar} – Precio del gas de corte [USD/kg o m³]

Para el caso del corte por oxicorte automático podemos tener la siguiente ecuación de costos:

$$C_{OXI} = \frac{n_{tc} \times S_{tc} \times h_c}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_c}{\text{Energía}} + \frac{K_O \times P_O \times h_c}{\text{Oxígeno}} + \frac{K_A \times P_A \times h_c}{\text{Acetileno}} \quad \text{USD} \quad (5)$$

Siendo que:

K_O – Consumo de Oxígeno [kg o m³/h]

P_O – Precio del Oxígeno [USD/kg o m³]

K_A – Consumo de Acetileno [kg o m³/h]

P_A – Precio do Acetileno [USD/kg o m³]

Para el caso del corte por oxicorte manual podemos tener la siguiente ecuación de costos:

$$C_{MOXI} = \frac{n_{tc} \times S_{tc} \times h_c}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_O \times P_O \times h_c}{\text{Oxígeno}} + \frac{K_A \times P_A \times h_c}{\text{Acetileno}} \quad R\$ \quad (6)$$

Y finalmente para el caso del corte mecánico por fricción aplicamos la siguiente ecuación:

$$C_{MBC} = \frac{n_{tc} \times S_{tc} \times h_c}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_c}{\text{Energía}} \quad R\$ \quad (7)$$

De los costos anteriormente presentados, en la práctica, quien representa la mayor parte de estos es siempre la mano de obra. Siendo así, debemos separar los costos relativos a la mano de obra y juntar todos los restantes en una sola porción, como son los costos de adquisición, mantenimiento y gastos energéticos/gases de corte.

Estos costos irán ser estimados, relativamente, con la variable, peso de acero a ser producido por la siguiente ecuación simplificada:

$$C_c = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_c \cdot MDO_c + CC_c + CEQ_c \quad USD \quad (8)$$

Siendo que:

CER_c – Productividad de corte [HH/t]

MDO_c – Costo de mano de obra de corte [USD/HH]

CC_c – Costo con consumibles de corte [USD/t]

CEQ_c – Costo con equipo de corte [USD/t]

3.5.3 Costos de Movimiento de Carga y Transporte

Los costos relativos a los equipos de transporte no son de fácil cuantificación, pero consideramos que están relacionados con el costo del equipo en sí (adquisición/alquiler, prestaciones, leasing, desvalorización, mantenimiento, etc.), costo de mano de obra con operadores y costos energéticos (eléctrico o de combustible). Debemos precisar que algunos de estos costos pueden estar incluidos en un precio total de alquiler.

En el caso de costos eléctricos como es un puente de movimiento de carga (sea magnética o no), grúas, grúas de pórtico o montacargas aplicamos la siguiente ecuación:

$$C_{PON} = \frac{n_{ot} \times S_{ot} \times h_t}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_t}{\text{Energía}} \quad USD \quad (9)$$

Siendo que:

n_{ot} – Número de operadores de transporte [H]

S_{ot} – Salario del operador de transporte [USD/HH]

h_t – Tiempo de transporte [h]

En el caso de medios movidos a combustible fósiles como es el caso de carros, auto grúas, grúas flotantes o montacargas, tenemos una parte de costos de combustible, en substitución de los costos eléctricos:

$$C_{VEI} = \underbrace{n_{ot} \times S_{ot} \times h_t}_{\text{Mano de Obra}} + \underbrace{K_C \times P_C \times h_t}_{\text{Energía}} \quad \text{USD} \quad (10)$$

Siendo que:

K_C – Consumo de combustible [l/h]

P_C – Precio del combustible [USD/l]

Estos costos irán ser estimados, relativamente, con la variable de peso de acero a ser producido por la siguiente ecuación simplificada:

$$C_t = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_t \cdot MDO_t + CEQ_t \quad \text{USD} \quad (11)$$

Siendo que:

CER_t – Productividad de transporte [HH/t]

MDO_t – Costo de mano de obra de transporte [USD/HH]

CEQ_t – Costo con equipo de transporte [USD/t]

3.5.4 Costos de Conformación

Los costos de conformación son dependientes del costo del equipo usado en la conformación (adquisición/alquiles, prestaciones, leasing, desvalorización, mantenimiento, etc.), del costo de mano de obra con operadores, y costos energéticos.

En el caso de operadores con recursos a una maquina planchadora tenemos:

$$C_{CAL} = \underbrace{n_{oe} \times S_{oe} \times h_e}_{\text{Mano de Obra}} + \underbrace{K_e \times P_e \times h_e}_{\text{Energía}} \quad \text{USD} \quad (12)$$

Siendo que:

n_{oe} – Número de operadores de conformación [H]

S_{oe} – Salario del operador de conformación [USD/h]

h_e – Tiempo de conformación [h]

En las operaciones de conformación por medio de calores y recorrido del soplete multi-llamas son retirados los costos eléctricos e incrementados los costos con gases:

$$C_{MAÇ} = \underbrace{n_{oe} \times S_{oe} \times h_e}_{\text{Mano de Obra}} + \underbrace{K_O \times P_O \times h_e}_{\text{Oxígeno}} + \underbrace{K_A \times P_A \times h_e}_{\text{Acetileno}} \quad \text{USD} \quad (13)$$

Tenemos finalmente los costos relativos a la prensa mecánica para conformación de planchas:

$$C_{PSA} = \underbrace{n_{oe} \times S_{oe} \times h_e}_{\text{Mano de Obra}} + \underbrace{K_e \times P_e \times h_e}_{\text{Energía}} \quad \text{USD} \quad (14)$$

La ecuación de costos de la prensa de conformación de perfiles será idéntica a la ecuación (14).

Estos costos serán estimados relativamente con la variable, peso de acero a ser producido por la siguiente ecuación simplificada:

$$C_e = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_e \cdot MDO_e + CC_e + CEQ_e \quad USD \quad (15)$$

Siendo que:

CER_e – Productividad de conformación [HH/t]

MDO_e – Costo de mano de obra de conformación [USD/HH]

CC_e – Costo con consumibles de conformación [USD/t]

CEQ_e – Costo con equipo de conformación [USD/t]

3.5.5 Costos de Montaje

Los costos de montaje son dependientes del número de montadores (costos de operación), costo de equipos de montaje, costos de consumibles y costos energéticos. Se aplica la siguiente ecuación:

$$C_{MON} = \frac{n_m \times S_m \times h_m}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_s}{\text{Energía}} + \frac{K_{ele} \times d_{sol} \times P_{ele}}{\text{Electrodos Revestidos}} \quad USD \quad (16)$$

Siendo que:

n_m – Número de montadores [H]

S_m – Salario do montador [USD/h]

h_m – Tiempo de montaje [h]

h_s – Tiempo de soldadura [h]

K_{ele} – Consumo de electrodos revestidos [kg/m]

d_{sol} – Longitud de soldadura [m]

P_{ele} – Precio del electrodo revestido [USD/kg]

Estos costos serán estimados, relativamente, con el variable peso de acero a ser producido por la siguiente ecuación simplificada:

$$C_m = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_m \cdot MDO_m + CC_s + CEQ_m \quad USD \quad (17)$$

Siendo que:

CER_m – Productividad de montaje [HH/t]

MDO_m – Costo de mano de obra de montaje [USD/HH]

CC_s – Costo con consumibles de soldadura [USD/t]

CEQ_m – Costo con equipo de montaje [USD/t]

3.5.6 Costos de Soldadura

Los costos de soldadura son dependientes del costo de las maquinas de

soldar (adquisición/alquiler, prestaciones, leasing, desvalorización, mantenimiento), velocidad de soldadura, número de soldadores (formación y mano de obra), costo de consumibles y costos energéticos.

Relativamente a los costos de soldadura por arco sumergible tenemos:

$$C_{SAW} = \frac{n_s \times S_s \times h_s}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_s}{\text{Energía}} + \frac{K_{fio} \times d_{sol} \times P_{fio}}{\text{Material de Adición}} + \frac{K_{flu} \times d_{sol} \times P_{flu}}{\text{Flujo Protección}} \text{ USD} \quad (18)$$

Siendo que:

n_s – Número de soldadores [H]

S_s – Salario do soldador [USD/h]

K_{fio} – Consumo de alambres tubulares [kg/m]

K_{flu} – Consumo de flujo de protección [kg/m]

P_{fio} – Precio de alambres tubulares [USD/kg]

P_{flu} – Precio de flujo de protección [USD/kg]

Deberá estimarse relativamente, el consumo de flujo de protección parte del cual puede ser reaprovechado.

En relación al recurso de soldadura por alambres tubulares con protección gaseosa tenemos los siguientes costos:

$$C_{FCAW} = \frac{n_s \times S_s \times h_s}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_s}{\text{Energía}} + \frac{K_{fio} \times d_{sol} \times P_{fio}}{\text{Material de Adición}} + \frac{K_{pro} \times d_{sol} \times P_{pro}}{\text{Flujo Protección}} \text{ USD}$$

(19)

Siendo que:

K_{pro} – Consumo de gas de protección [kg o m³/m]

P_{pro} – Precio de gas de protección [USD/kg o m³]

Finalmente tenemos la soldadura de electrodos revestidos, que es en todo similar a la ecuación (16), substituyendo únicamente el tiempo de mano de obra de montaje por soldadura:

$$C_{ELE} = \frac{n_s \times S_s \times h_s}{\text{Mano de Obra}} + \frac{K_e \times P_e \times h_s}{\text{Energía}} + \frac{K_{ele} \times d_{sol} \times P_{ele}}{\text{Material de Adición}} \text{ USD} \quad (20)$$

Estos costos serán estimados relativamente, con la variable, peso de acero a ser producido por la siguiente ecuación:

$$C_s = P_b \cdot \gamma_b \cdot CER_s \cdot MDO_s + CC_s + CEQ_s \text{ USD} \quad (21)$$

Siendo que:

CER_s – Productividad de soldadura [HH/t]

MDO_s – Costo de mano de obra de soldar [USD/HH]

CEQ_s – Costo con equipo de soldar [USD/t]

Hay otros costos que pueden tenerse en cuenta, tales como los costos de perspectiva ambiental, de control de calidad, de inspección, relacionados con trabajos adicionales y penalidades por atraso en los plazos. Sin embargo, no serán analizados en el presente trabajo,

Para el cálculo de los costos ambientales totales de una empresa, se suma el costo de los materiales desperdiciados, gastos de mantenimiento y depreciación, y costos de salvaguarda ambiental.

Los costos de calidad están ligados con los gastos relativos al control de calidad en la producción o logística de un producto o servicio prestado.

Los costos de inspección están relacionados directamente con los costos de las diversas fases de fiscalización realizados por la sociedad clasificadora del casco del buque (caso este sea clasificado obviamente).

Los costos de trabajos adicionales se refieren a: rehacer trabajos de soldadura, acabados de piezas, pintura de protección, montaje de estructuras para transporte, montaje de andamio para acceso, corte de aberturas, corte de piezas nuevas o adicionales, trabajos de carenado, entre otros.

En resumen, el costo total general unificado de la construcción de un casco de un buque en acero es, igual a la suma de todos los costos anteriormente dichos, adicionando una parte referente a los costos que no serán analizados en nuestro estudio.

$$C_{TOTAL} = C_p + C_c + C_t + C_e + C_m + C_{EXTRAS} \quad USD \quad (21)$$

Las actividades de corte y soldadura son, en general, las que consumen más horas-hombres, y la tecnología utilizada puede inducir a importantes costos no productivos, Carvalho (2006).

La estructura de costos de la reparación naval es bastante más compleja que la estructura de costos de la construcción civil. Ello se debe a la existencia de muchos más factores y detalles a tener en consideración. El presupuesto de cada trabajo de reparación requiere un análisis detallado de cada trabajo a ser realizado a bordo del buque o fuera de él, en oficinas, Butler (2000), SHIPMATES (2007), y se requiere hacerlo en un tiempo corto.

Cabe resaltar que los costos mencionados que se producen en los procesos de montaje de módulos, van a ser definidos por la geometría de los productos, la mano de obra (MDO) utilizada en los procesos, y los materiales y recursos empleados. El trabajo de investigación busca utilizar costos que puedan representar

paramétricamente los procesos de producción de módulos.

De lo expuesto se colige que no todos los costos considerados en este trabajo de investigación, tienen la estructura de los costos citados en esta sección, pero si tienen un enfoque en los criterios respecto al análisis de los costos de la mano de obra, instalaciones y transporte.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Los astilleros nacionales deben priorizar la confiabilidad en los plazos, la rapidez de respuesta en el atendimento de pedidos, y la flexibilidad del proyecto y la producción en su estrategia competitiva. Es necesaria una flexibilidad para la construcción de buques más personalizados, ciertamente el valor agregado se traduce en precio, dándole más espacio en el mercado.

Los indicadores de productividad de los diversos procesos precisan ser actualizados y así mejorar la estimativa de plazo y costos de construcción en la negociación con el armador, garantizando mayor éxito o mejor posición en la negociación.

Los factores de expansión en el nivel de demanda, exigirá de los astilleros una mayor dedicación en la nivelación de la carga de trabajo, a costas de la flexibilidad de la producción y de las instalaciones. Deberá ser también evaluado el costo – beneficio, del planeamiento de recursos y de herramientas de programación de oficinas de fabricación y montaje del astillero (programación flow-shops y job-shops).

Entre las estrategias de producción, es necesario definir las estrategias de gerenciamiento de stocks. Las decisiones de producción determinan la política de stocks, en la medida en que un producto stockeado está en espera para ser transformado o transferido al usuario final.

Entre las principales funciones de stock están la mejoría del uso de los recursos y la protección contra las fluctuaciones en el abastecimiento de insumos y demanda. Así que, aunque puede traer una serie de costos (activos fijos, mantenimiento físico, deterioro del producto, etc.), adopta y mantiene una política de inventario general, recomendable. La excepción es el modelo just-in-time, que tiene como objetivo eliminar todos los tiempos y procesos que no agregan valor al producto, entre ellos el del tiempo de almacenamiento.

Otras orientaciones para la industria naval como un todo son: calificar a los

empleados; considerar en el planeamiento la subcontratación de módulos o submódulos, crear procesos dinámicos en los cuales se consideren a priori la posible cambio de los alcances con la finalidad de reducir los costos adicionales; evaluar el impacto del uso de mano de obra múltiple en la producción; buscar la cooperación entre los astilleros para la estandarización de componentes y partes compradas; realizar investigaciones de tiempos y métodos de los procesos realizados y documentados.

Los astilleros medianos compiten en aquellos segmentos en que la demanda es mayor y atraen la atención de los grandes astilleros, siendo fundamental para lograr el éxito la capacidad de ejecutar diferentes proyectos, en pequeña y media escala, y aceptar modificaciones en el proceso de la construcción a un precio relativamente bajo. Armadores más sensibles al tiempo de entrega son especialmente atractivos para el Perú.

También atienden aquellas encomiendas originadas por la política de contenido local, cuyo potencial de estandarización es relativamente bajo, y se concentran principalmente en los segmentos de: buques de apoyo offshore (diferentes proyectos para innumerables aplicaciones), plataformas (proyectadas para condiciones específicas), sondas (encomendadas en pequeños lotes) y variados buques mercantes para atender demandas acumuladas de armadores nacionales o extranjeros (principalmente petroleros, tanqueros y portacontenedores).

Causa de la dificultad de conseguir un grado razonable de estandarización en este escenario de demanda, los astilleros medianos deben encontrar una producción más flexible en los procesos adaptándose a diferentes requisitos del cliente, con menor costo y tiempo de setup. En ese sentido, un alto grado de mecanización no es interesante, pues las maquinas son más costosas y complicadas de estandarización. Los procesos realizados manualmente permiten mayor libertad de mudanzas, permitiendo controles de calidad y productividad más estrictos.

Así, el sistema de producción de los astilleros debe ser delineado teniendo en cuenta la necesidad de:

- Trabajar con un flujo productivo armonizado, balanceando la carga laboral en las oficinas y evitando los llamados picos de trabajo;
- Planear con precisión, basándose en indicadores históricos de productividad y actualización constante del cronograma macro;
- Implementar mecanismos de control, eficaces e integrales, priorizando

medidas basadas en el tiempo, costo y calidad;

- Obtener flexibilidad en la producción con simplificación de los flujos de materiales, reducción de la complejidad de los proyectos, y minimización en los tiempos de setup y paradas;
- Integrar los diversos sistemas de información con enfoque en la rapidez de alimentación del planeamiento para subsidiar la toma de decisión;
- Maximizar continuamente la eficiencia operacional, a través de estudios de tiempos y recursos con su evaluación en costo/beneficio, estandarización de las actividades, uso de la ingeniería en los problemas de la planta de fábrica, y su entrenamiento periódico;
- Desarrollar soluciones específicas para la ausencia de una cadena de potenciales abastecedores locales y que tenga en consideración la restricción de contenido nacional.

El montaje del módulo es determinada por un número de actividades que poseen relaciones de procedencias y requieren de recursos, tales como la mano de obra, equipamiento y materiales para ejecutar.

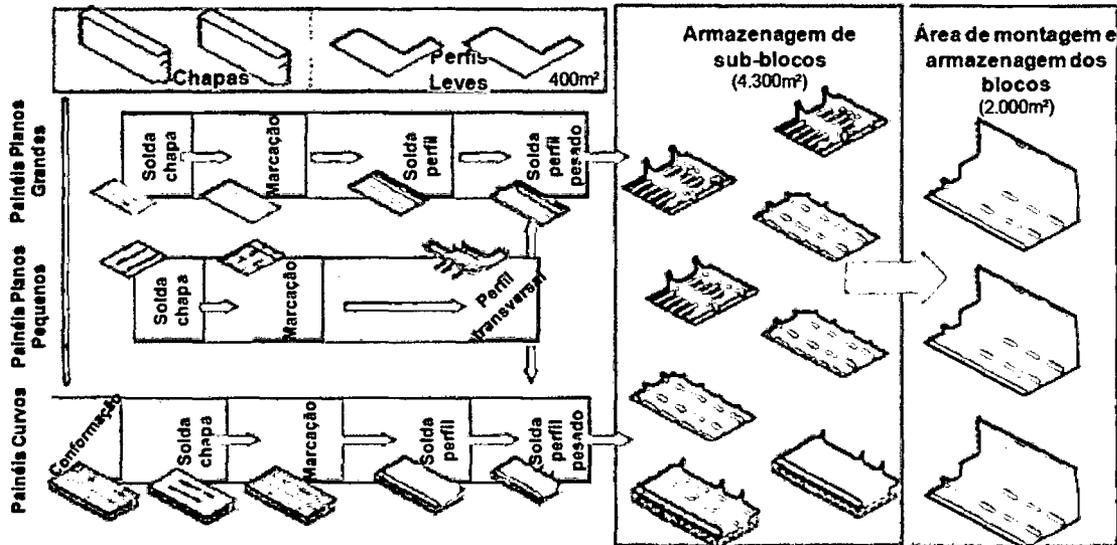


Figura 10: Layout de la oficina de sub montaje y montaje⁴

En la figura 10 se puede ver un layout general de la oficina de sub montajes y montaje, que según Favarin (2011), tiene un tipo de arreglo de línea y posicional. En esta figura también se puede ver áreas de abastecimiento de piezas (planchas y perfiles), se tiene líneas de preparación de paneles (planos grandes, pequeños y

⁴ Painéis (Paneles); Chapas (Planchas); Perfis (Perfiles); Leves (Livianos); Conformaço (Conformación); Marcação (Marcación); Armazenagem (Almacenaje); Montagem (Montaje); Sub-blocos (Sub-módulos); Blocos (Módulos)

curvos) y sus sub montajes, y se tiene por último la montaje del módulo y secciones pasan luego para un montaje mayor como, por ejemplo, el montaje en el dique seco.

Pinto (2007) comenta que la producción está orientada a dos tipos: una de procesos y otra a productos. El astillero se encaja en este primer tipo, caracterizado por el bajo volumen de producción (en comparación con una línea de producción continua), alta variedad de los productos (diferentes tipos de proyectos), flujo de materiales intermitentes (picos y estacionalidades propias del proceso constructivo), empleo de maquinas universales y mano de obra intensiva.

Dentro de esa clasificación, existen tres tipos de posibles arreglos físicos: 1) posicional, 2) funcional y 3) celular. En el primero, los recursos transformados no se mueven entre los recursos transformadores. En el segundo, los procesos similares se localizan juntos uno del otro. En el tercero, los recursos transformados son movidos hasta un área específica de la operación en el cual todos los recursos transformadores necesarios se encuentran.

Para un arreglo lineal, comúnmente vistos en procesos orientados al producto, la secuencia de actividades coincide con la secuencia la cual los procesos fueron arreglados físicamente.

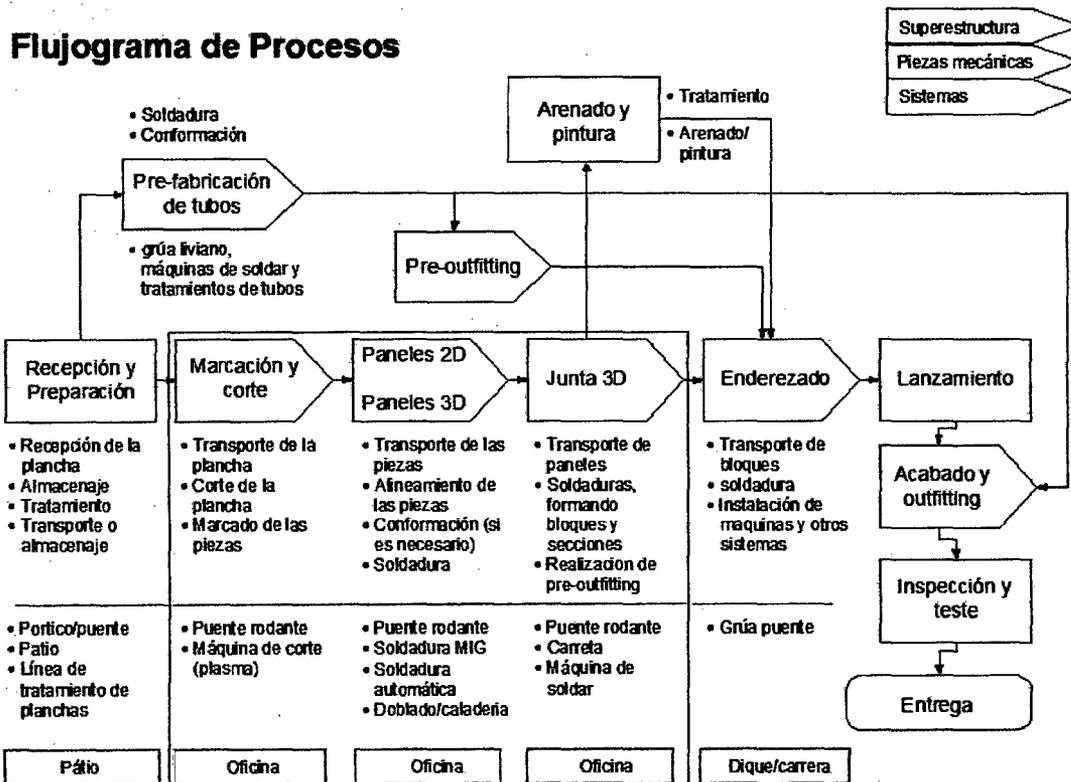


Figura 11: Detalles del proceso de construcción en el astillero - traducido (PINTO, 2007)

Segundo Pinto (2007), en la figura 11 presenta detalles de los procesos de

construcción naval. Por ejemplo, una plancha de acero es recibida y se queda en el patio de la empresa esperando el momento de su procesamiento. En el momento correcto la plancha es encaminada para la oficina 1 que hará la fabricación de partes que serán usadas en paneles, construidos en la oficina 2. Siendo que el panel finalizado, el mismo, es encaminado para la oficina 3 que hace el montaje de diversos paneles formando sub-módulos y módulos. Los módulos, a su vez, son conjugados para formar el buque en el dique que, después de su lanzamiento, es concluido con el acabado en el muelle.

Por otra parte, la figura 11 describe cómo interactúan las tres oficinas importantes (Oficina de fabricación de partes, línea de fabricación de paneles, montaje de sub-módulos, módulos y secciones). Para nuestro trabajo fue considerado que la oficina 1 representa la oficina de fabricación de partes, la oficina 2 es representada por la oficina de sub montajes y la oficina 3 representa la oficina de montaje de módulos. En la oficina 2 sucede el montaje de sub-módulos y paneles. Cabe resaltar que las oficinas interactúan en tres niveles diferentes con precedencias de actividades entre ellos.

En la conformación del módulo, segundo Moreira (2009), se tiene que pasar por un proceso de fabricación, transformación y montaje de sub productos que pueden ser definidas con sus inputs y outputs. La nomenclatura de las instalaciones entre las oficinas y sus definiciones se encuentra en la tabla 2.

Tabla 2: Nomenclatura de la oficina de sub montajes y montaje (MOREIRA, 2009)

Nomenclatura	Definición
OCSM	Oficina de corte de sub montajes
OCLPP	Oficina de corte de paneles planos
OCLPC	Oficina de corte de paneles curvos
OSM	Oficina de sub montajes
LPP	Línea de paneles planos
LPC	Línea de paneles curvos
OMT	Oficina de montaje

Para atender la productividad en el proceso de construcción de un buque es necesario considerar flujos estimados de sub productos entre las oficinas. En la tabla 3 se presenta una nomenclatura de los sub productos.

Es importante resaltar que para el cálculo del flujo de sub productos entre las oficinas deben existir las condiciones de la forma del buque y la división de anillos

en cuerpos paralelos, evaluar también como varia la productividad con relación con el tiempo de construcción en diferentes secciones de los anillos que conforman el buque.

Tabla 3: Nomenclatura de los sub productos (MOREIRA, 2009)

Subproducto	Código
Plancha	CH
Perfil	PF
Panel Plano	PP
Panel Curvo	PC
Sub-módulos	SM
Módulos	Módulos

En la figura 12 se presenta un esquema del que sería un arreglo productivo en el montaje del módulo.

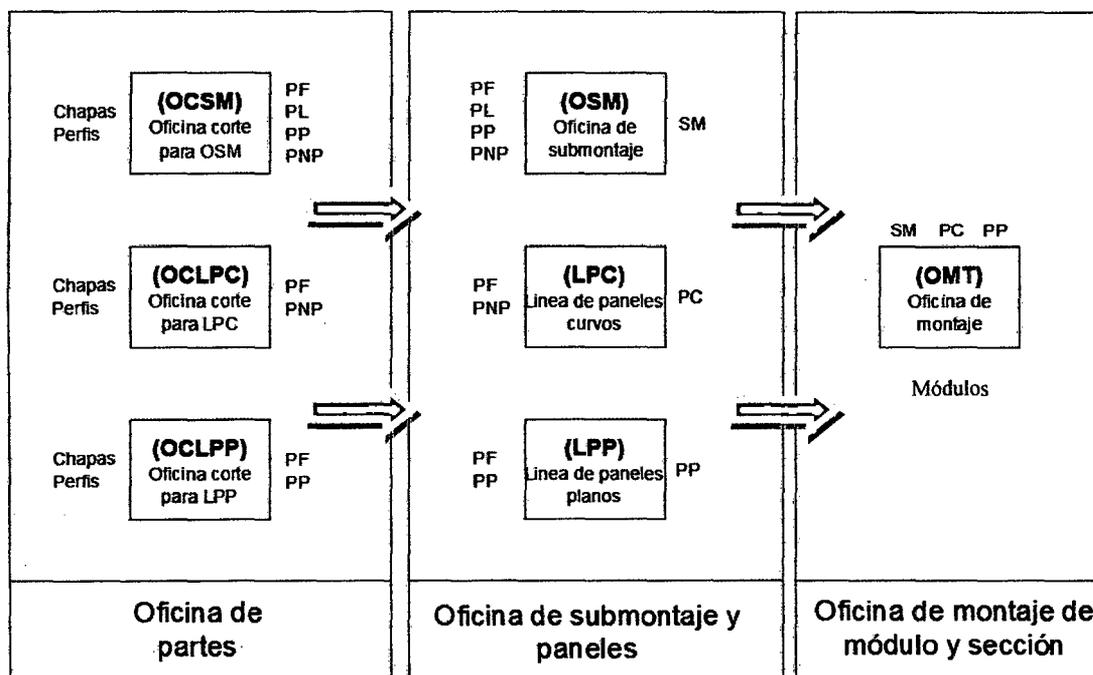


Figura 12: Esquema del arreglo productivo

Según lo planeado, la oficina de corte (OCSM), abastece de partes necesarias para la oficina de sub montajes (OSM), para la construcción de sub-módulos y paneles curvos, siendo representada a través de una fuente de piezas, que se puede observar en trabajos ya hechos para la aplicación del modelo matemático. De la misma forma actúa la oficina de corte para la línea de paneles (OCLPP y OCLPC).

La oficina de sub montajes (OSM), recibe las partes internas, partes de perfil, partes no paralelas y partes paralelas, y abastece de varengas, bulárcamas,

entre otras, incluyendo los paneles curvos.

La oficina de paneles planos (LPP), transforma las partes paralelas en paneles planos de fondo, costado y cubierta.

La oficina de paneles curvos (LPC), transforma las partes no paralelas en los paneles curvos de fondo, costado y cubierta.

En la oficina de montaje (OMT), son soldados entre si los sub-módulos, paneles curvos y paneles planos, construyendo los módulos.

En la figura 13, se puede observar una representación de un layout de producción de módulos de un astillero de construcción naval, donde se puede dividir la producción en tres niveles para la conformación del módulo.

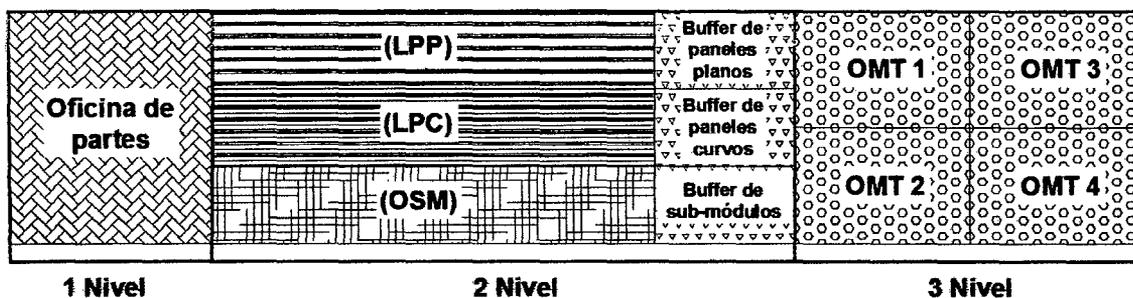


Figura 13: Layout del astillero de construcción

CAPÍTULO V: MODELO MATEMÁTICO

Definir un modelo matemático que contemple el contexto de la construcción naval debe considerar su orientación al tipo de proyecto. El astillero necesita una flexibilidad en el acoplamiento de las oficinas dedicadas al montaje de módulos para el tipo de proyecto naval que se planea ejecutar.

Como hemos sostenido, nuestro modelo debe seguir una lógica de designación de las oficinas y operaciones que obedezcan el objetivo planteado, de tal manera que las oficinas de la cadena de abastecimiento tengan el propósito de asegurar el stock de los productos distribuidos y consideren la alternativa de expansión de las instalaciones de trabajo.

Entre los principios que vamos considerar en nuestro modelo, definimos los siguientes:

- El proyecto de construcción de un buque, es conformado por un número de partes como piezas, paneles planos y curvos, sub-módulos, módulos, anillos, secciones, entre otros.
- El planeamiento y programación de producción, establece un cronograma de actividades de construcción y montaje de módulos definidos para un horizonte de tiempo.
- Cada instalación de la oficina de fabricación abastece de partes pre-fabricadas y fabricadas a la oficina de sub montajes, para la respectiva transformación de las partes en un sub-módulo.
- Cada instalación de la oficina de sub montajes recibe y transforma las partes en sub-módulos para luego abastecerlos a las instalaciones de montaje mayor.
- Cada instalación de la oficina de montaje de módulos recibe los sub-módulos para juntarlos y constituir módulos que posteriormente serán llevados a la grada o dique para ser edificado el buque.

- En las oficinas acontecen operaciones logísticas que son representados con parámetros con enfoque en los costos.
- Optimizar la distribución de los sub productos entre las instalaciones de las oficinas (fabricación, sub montajes y montaje de módulos), a través de rutas de abastecimiento definidas.
- Optimizar la designación de las áreas intermediarias de la oficina de sub montajes basado en rutas de abastecimiento y expansión de instalaciones.
- Minimizar los costos de transporte o de Movimiento que dependen del peso de la carga transportada, geometría y de la distancia recorrida.
- Asegurar el stock en las oficinas.
- Asumir el máximo aprovechamiento de los recursos, y un uso eficiente de los equipos y de mano de obra.
- Reducir el congestionamiento de materiales y recursos, para evitar los atrasos en la producción y entrega del buque.
- Flexibilizar el arreglo de las instalaciones intermediarias para operaciones pasibles en caso de surgimiento de nuevos proyectos de construcción.

Con base a los principios mencionados, presentamos en la siguiente sección el modelo matemático de optimización.

5.1 MODELAJE MATEMÁTICA

Teniendo en cuenta que nuestro modelo tuvo motivación a raíz de la configuración del modelo matemático del artículo “Three Level Supply Chain” (TANCRESZ, 2012), podemos colegir una configuración similar, pero adecuándolos al estudio de la cadena de abastecimiento en el contexto del montaje de módulos. Bajo esta consideración, la presentación del modelo matemático va a ser dividida por la notación de variables y parámetros, la formulación de la función objetivo y sus restricciones. No obstante ello es pertinente mencionar las siguientes observaciones:

- Los ítems de sub productos en las oficinas pueden ser identificadas por medio de índices que definirán su característica y su aplicación matemática.
- El equilibrio de la producción y demanda se ajustan a la realidad de los astilleros, puesto que, en la construcción naval se procura aprovechar al máximo el material usado para formación de módulos y edificación del buque.

- La expansión de las áreas o instalaciones en la oficina de sub montajes intenta ser una alternativa como flexibilidad de la producción, según el proyecto de construcción de un tipo de buque.
- La distribución de los sub productos es determinante, ya que a través de la designación de los componentes de la línea de producción y áreas de trabajo, es preciso conocer la densidad de los flujos de sub productos con el fin de determinar la carga de trabajo, con orientación a una disminución de los costos de producción.

5.1.1 Notación

Símbolo	Definición de variables
i	Índice de tipo de pieza; $i=1, \dots, n_i$
j	Índice de tipo de sub-módulo; $j=1, \dots, n_j$
k	Índice de tipo de módulo; $k=1, \dots, n_k$
f	Índice de oficina de fabricación (primer nivel); $f=1, \dots, n_f$
d	Índice de oficina de sub montajes (segundo nivel); $d=1, \dots, n_d$
b	Índice de oficina de montaje del módulo (tercer nivel); $b=1, \dots, n_b$
t	Índice de período de tiempo t ; $t=1, \dots, T$
Definición de parámetros	
λ_{jfdt}	Flujo de tipo de piezas i entre oficinas f y d en el período de tiempo t
λ_{jdbt}	Flujo de tipo de sub-módulo j entre oficinas d y b en el período de tiempo t
Λ_{ift}	Abastecimiento de tipo de pieza i en la oficina f en el período de tiempo t
Λ_{idt}	Consumo de tipo de pieza i en la oficina d en el período de tiempo t
Λ_{jdt}	Producción de tipo de sub-módulo j en la oficina d en el período de tiempo t
Λ_{jbt}	Demanda de tipo de sub-módulo j en la oficina b en el período de tiempo t
C_f	Capacidad de stock en la oficina f
C_d	Capacidad de stock en la oficina d
C_b	Capacidad de stock en la oficina b
E_i	Inventario inicial de tipo de pieza i en la oficina d en el período de tiempo $t=0$
E_j	Inventario inicial de tipo de sub-módulo j en la oficina d en el período de tiempo $t=0$
F_d	Costo de instalación de la oficina d
T_d	Cantidad máxima de producción de sub-módulo j en la oficina d en cada período de tiempo t
G_{ift}	Inventario de tipo de pieza i en la oficina f en el período de tiempo t
G_{idt}	Inventario de tipo de pieza i en la oficina d en el período de tiempo t

G_{jdt}	Inventario de tipo de sub-módulo j en la oficina d en el período de tiempo t
G_{jbt}	Inventario de tipo de sub-módulo j en la oficina b en el período de tiempo t
H_f	Costo unitario de stock en la oficina f
H_d	Costo unitario de stock en la oficina d
H_b	Costo unitario de stock en la oficina b
M_{jd}	Costo unitario de fabricación de tipo de sub-módulo j en la oficina d
P_{ij}	Cantidad de tipo de pieza i requerida para el tipo de sub- módulo j
N_{jk}	Cantidad de tipo de sub-módulo j requerida para el tipo de módulo k
L_{kb}	Número de tipo de módulo k en la oficina b
Z_{tk}	Número de tipo de módulo k en el período de tiempo t
Q_{fd}	Costo unitario de transporte a partir de la oficina f para d
Q_{db}	Costo unitario de transporte a partir de la oficina d para b

5.1.2 Modelo matemático

Función objetivo principal

Minimizar

$$\sum_t (\sum_f \sum_i H_f (\Lambda_{ift} - \sum_d \lambda_{ifdt})) + \sum_d \sum_f \sum_i Q_{fd} \lambda_{ifdt} + \sum_d H_d (\sum_i G_{idt} + \sum_j G_{jdt}) + \sum_d \sum_j M_{jd} \Lambda_{jdt} + \sum_d \sum_b \sum_j Q_{db} \lambda_{jdbt} + \sum_b \sum_j H_b G_{jbt} + \sum_d \Lambda_d > 0 \sum_i (F_d / \Lambda_{idt}) (\sum_f \lambda_{ifdt}), \quad (1)$$

Restricto a

$$\sum_d \lambda_{ifdt} + G_{ift} \leq \Lambda_{ift}, \quad i=1, \dots, n_i; \quad f=1, \dots, n_f; \quad t=1, \dots, T, \quad (2)$$

$$\sum_f \lambda_{ifdt} + E_i - \Lambda_{idt} \leq G_{idt}, \quad i=1, \dots, n_i; \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=1, \quad (3)$$

$$\sum_f \lambda_{ifdt} + G_{id,t-1} - \Lambda_{idt} \leq G_{idt}, \quad i=1, \dots, n_i; \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=2, \dots, T, \quad (4)$$

$$\sum_j \Lambda_{jdt} \leq T_d, \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=2, \dots, T, \quad (5)$$

$$-\sum_b \lambda_{jdbt} + E_j + \Lambda_{jdt} \leq G_{jdt}, \quad j=1, \dots, n_j; \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=1, \quad (6)$$

$$-\sum_b \lambda_{jdbt} + G_{jd,t-1} + \Lambda_{jdt} \leq G_{jdt}, \quad j=1, \dots, n_j; \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=2, \dots, T, \quad (7)$$

$$\Lambda_{jdt} \leq \sum_i (P_{ij} \Lambda_{idt}) / \sum_i P_{ij}, \quad j=1, \dots, n_j; \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=1, \dots, T, \quad (8)$$

$$\sum_d \lambda_{jdbt} + G_{jbt} \geq \Lambda_{jbt}, \quad j=1, \dots, n_j; \quad b=1, \dots, n_b; \quad t=1, \dots, T, \quad (9)$$

$$\sum_t \sum_b \Lambda_{jbt} \geq N_{jk} L_{kb}, \quad j=1, \dots, n_j; \quad k=1, \dots, n_k; \quad b=1, \dots, n_b, \quad (10)$$

$$\sum_b L_{kb} = \sum_t Z_{tk}, \quad k=1, \dots, n_k \quad (11)$$

$$\sum_i G_{ift} \leq C_f, \quad f=1, \dots, n_f; \quad t=1, \dots, T, \quad (12)$$

$$\sum_i G_{idt} + \sum_j G_{jdt} \leq C_d, \quad d=1, \dots, n_d; \quad t=1, \dots, T, \quad (13)$$

$$\sum_j G_{jbt} \leq C_b, \quad b=1, \dots, n_b; \quad t=1, \dots, T, \quad (14)$$

$$\lambda_{ifdt}, \lambda_{jdbt}, \Lambda_{idt}, \Lambda_{jdt}, \Lambda_{jbt}, G_{ift}, G_{idt}, G_{jdt}, G_{jbt} \geq 0, \\ i=1, \dots, n_i; \quad j=1, \dots, n_j; \quad k=1, \dots, n_k; \quad f=1, \dots, n_f; \quad d=1, \dots, n_d; \quad b=1, \dots, n_b; \quad t=1, \dots, T, \quad (15)$$

Explicación de la función:

$$\text{Minimizar } \sum_t [\sum_f \sum_i H_f (\Lambda_{ift} - \sum_d \lambda_{ifdt}) + \sum_d \sum_f \sum_i Q_{fd} \lambda_{ifdt} + \sum_d H_d (\sum_i G_{idt} + \sum_j G_{jdt}) + \sum_d \sum_j M_{jd} \Lambda_{jdt} + \sum_d \sum_b \sum_j Q_{db} \lambda_{jdbt} + \sum_b \sum_j H_b G_{jbt} + \sum_d, \Lambda_d > 0 \sum_i (F_d / \Lambda_{idt}) (\sum_f \lambda_{ifdt})]$$

La función objetivo (1) tiene el fin de minimizar los costos relevantes en el montaje de módulos en un horizonte de tiempo. El primero, tercero y sexto término toman en consideración los costos de stock en las oficinas de fabricación, sub montajes y montaje de módulos, respectivamente. El segundo y quinto término representan los costos de transporte entre las oficinas de fabricación– sub montajes – montaje de módulos, respectivamente. El cuarto y séptimo término representan los costos de producción y de instalación en la oficina de sub montajes.

$$\sum_d \lambda_{ifdt} + G_{ift} \leq \Lambda_{ift}, i=1, \dots, n_i; f=1, \dots, n_f; t=1, \dots, T$$

La restricción (2) verifica el balance de material para cada tipo de pieza en cada instalación de la oficina de fabricación para cada periodo de tiempo.

$$\sum_f \lambda_{ifdt} + E_i - \Lambda_{idt} \leq G_{idt}, i=1, \dots, n_i; d=1, \dots, n_d; t=1$$

La restricción (3) verifica el balance de material inicial para cada tipo de pieza en cada oficina de sub montajes en el periodo de tiempo $t=1$. En esta restricción se considera E_i como el inventario inicial de tipo de pieza en la oficina de sub montajes en el periodo de tiempo $t=0$.

$$\sum_f \lambda_{ifdt} + G_{id,t-1} - \Lambda_{idt} \leq G_{idt}, i=1, \dots, n_i; d=1, \dots, n_d; t=2, \dots, T$$

La restricción (4) verifica el balance de material para cada tipo de pieza en cada oficina de sub montajes en el periodo de tiempo mayor o igual a $t=2$. En esta restricción se garantiza la conservación y continuidad del material en stock de tipo de piezas desde un periodo de tiempo para el próximo.

$$\sum_j \Lambda_{jdt} \leq T_d, d=1, \dots, n_d; t=1, \dots, T$$

La restricción (5) asegura que la producción de tipo de sub-módulo no exceda una cantidad máxima de producción por periodo de tiempo en cada oficina de sub montajes.

$$- \sum_b \lambda_{jdbt} + E_j + \Lambda_{jdt} \leq G_{jdt}, j=1, \dots, n_j; d=1, \dots, n_d; t=1$$

La restricción (6) verifica el balance de material inicial para cada tipo de sub-módulo en cada oficina de sub montajes en el periodo de tiempo $t=1$. En esta restricción se considera E_j como el inventario inicial de tipo de sub-módulo en la oficina de sub montajes en el periodo de tiempo $t=0$.

$$- \sum_b \lambda_{jdbt} + G_{jd,t-1} + \Lambda_{jdt} \leq G_{jdt}, j=1, \dots, n_j; d=1, \dots, n_d; t=2, \dots, T$$

La restricción (7) verifica el balance de material inicial para cada tipo de sub-módulo en cada oficina de sub montajes en el periodo de tiempo $t=2$. En esta restricción se garantiza la conservación y continuidad del material en stock de tipo de sub-módulo desde un periodo de tiempo para el próximo.

$$\Lambda_{jdt} \geq \sum_i (P_{ij} \Lambda_{idt}) / \sum_i P_{ij}, j=1, \dots, n_j; d=1, \dots, n_d; t=1, \dots, T$$

La restricción (8) asegura que la demanda para cada tipo de sub-módulo sea satisfecha en cada oficina de sub montajes en cada periodo de tiempo. Se considera P_{ij} como a cantidad de tipo de piezas requeridas para cada tipo de sub-módulo.

$$\sum_d \lambda_{jdbt} + G_{jbt} \geq \Lambda_{jbt}, j=1, \dots, n_j; b=1, \dots, n_b; t=1, \dots, T$$

La restricción (9) verifica el balance de material para cada tipo de módulo en cada oficina de sub montajes para cada periodo de tiempo.

$$\sum_t \sum_b \Lambda_{jbt} = N_{jk} L_{kb}, j=1, \dots, n_j; k=1, \dots, n_k; b=1, \dots, n_b; t=1, \dots, T$$

La restricción (10) asegura que la demanda para el total de tipo de módulo sea satisfecha en cada oficina de montaje de módulos.

$$\sum_b L_{kb} = \sum_t Z_{tk}, k=1, \dots, n_k$$

La restricción (11) asegura que la programación de las actividades de fabricación de módulos sea satisfecha en cada periodo de tiempo.

$$\sum_i G_{ift} \leq C_f, f=1, \dots, n_f; t=1, \dots, T$$

$$\sum_i G_{idt} + \sum_j G_{jdt} \leq C_d, d=1, \dots, n_d; t=1, \dots, T$$

$$\sum_j G_{jbt} \leq C_b, b=1, \dots, n_b; t=1, \dots, T$$

Las restricciones (12) – (14) asegura que las capacidades de stock no sean excedidas en cada oficina de fabricación, sub montajes y montaje de módulos, respectivamente, y para cada periodo de tiempo.

$$\lambda_{ifdt}, \lambda_{jdbt}, \Lambda_{idt}, \Lambda_{jdt}, \Lambda_{jbt}, G_{ift}, G_{jdt}, G_{jdt}, G_{jbt} \geq 0,$$

$$i=1, \dots, n_i; j=1, \dots, n_j; k=1, \dots, n_k; f=1, \dots, n_f; d=1, \dots, n_d; b=1, \dots, n_b; t=1, \dots, T$$

La restricción (15) define el dominio numérico de las variables que comprenden el modelo matemático.

5.1.3 Algoritmo matemático

El algoritmo matemático fue desarrollado en Código LINGO® con una interface de datos con el software Excel, que a su vez expresa un comportamiento de tipo horizonte rodante del problema, también incorpora la posibilidad de analizar diferentes escenarios. Esa característica no tiene un impacto matemático, mas tiene un impacto computacional, específicamente en el tiempo computacional consumido.

5.1.4 Esquema del modelo matemático

En la figura 14, es ilustrado como se componen las variables y parámetros según la configuración de la cadena de abastecimiento con la adecuación al contexto del montaje de módulos. Esta figura 14, si bien está en inglés, vale la pena mencionar que tenemos tres oficinas (o estaciones) y podemos observar que las variables y parámetros en azul representan los datos de entrada del modelo matemático, y que los parámetros en rojo representan los datos de salida.

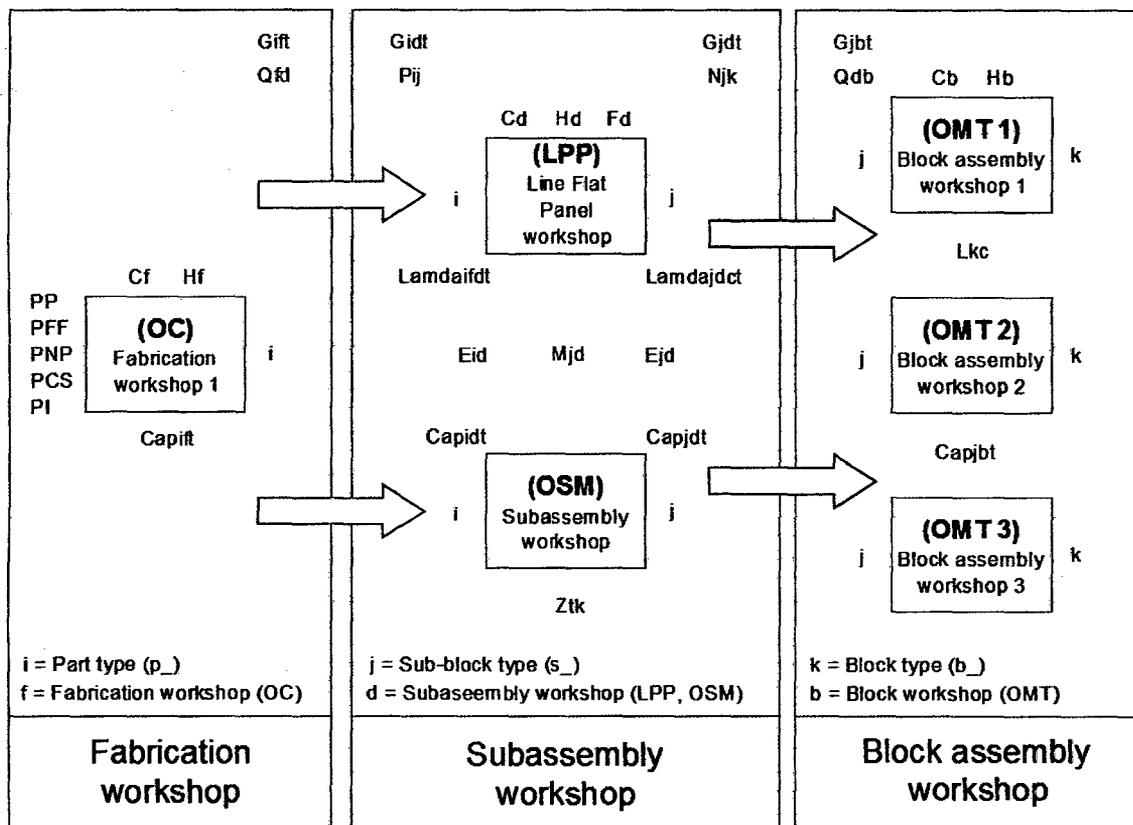


Figure 14: Ilustración del proceso de montaje de módulos

La ilustración muestra que la oficina de fabricación proporciona de piezas predeterminadas (perfiles paralelos, perfiles no paralelos, perfiles curvos, platinas, etc.) a las oficinas de sub-montajes a través del flujo de piezas definido por λ_{ifdt} (Lamda) para cada periodo de tiempo. Ese flujo determina un consumo de sub-productos para cada oficina de sub-montajes definido por λ_{ifdt} (Cap) para cada periodo de tiempo, para luego después ser procesado (o transformado) en sub-módulos generando así una producción de sub-módulos λ_{jdft} (Cap) para cada periodo de tiempo, que a su vez encamina los sub-módulos para las oficinas de montaje de módulos a través de un parámetro de flujo definido por λ_{jdbt} (Lamda). El flujo entre los tres niveles determinan también el inventario entre las oficinas que

llamamos G_{ift} , G_{idt} , G_{jdt} y G_{jbt} .

Todos los datos de salida serán representados de manera numérica, y la mayoría viene directamente del reporte de los resultados proporcionado por el programa LINGO®, y otros por la interface con el software Excel de manera que faciliten la visualización de los resultados obtenidos.

Datos entregados por el reporte del software LINGO®.

G_{ift}	Inventario de tipo de pieza i en la oficina f en cada periodo de tiempo t
G_{idt}	Inventario de tipo de pieza i en la oficina d en cada periodo de tiempo t
G_{jdt}	Inventario de tipo de sub-módulo j en la oficina d en cada periodo de tiempo t
G_{jbt}	Inventario de tipo de sub- módulo j en la oficina b en cada periodo de tiempo t
Λ_{idt}	Consumo de tipo de pieza i en la oficina d en cada periodo de tiempo t
Λ_{jdt}	Producción de tipo de sub- módulo j en la oficina d en cada periodo de tiempo t

CAPÍTULO VI: EJEMPLO DE APLICACIÓN

En este capítulo se presenta un buque petrolero de clase “Suezmax” como ejemplo de aplicación. El buque sigue las características de diseño y construcción que serán referidas más adelante. El buque es fabricado pasando por oficinas de producción que cuentan con características que son representadas a través de parámetros sintéticos de operación. Estas oficinas de producción son modeladas a través de la configuración de un layout de fabricación ilustrativo que ayude a evaluar el modelo por medio de su implementación computacional en el software LINGO®, con el fin de alcanzar el objetivo propuesto.

6.1 INFORMACIÓN DEL MODELO

Esta sección contiene información dispuesta por el curso de Arte Naval del programa de Ingeniería Naval de la Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), cuyo profesor titular, el Dr. Silvio Melo, proporcionó el material recopilado de sus clases ofrecidos en los años 2012 y 2013.

La información proporcionada fue analizada y procesada, a fin de que pueda ser objeto de estudio y aplicación en el modelo matemático, por ejemplo con la adecuación de los datos pueda ser incluido como datos de entrada (input) según su variable y parámetro. Ver Anexo A.

La información, para fines de cálculo, fue procesado en el software Excel para así facilitar una interface con el software LINGO®.

6.1.1 Modelo de Buque

Como fue dicho, el buque escogido para ser utilizado como parte de estudio y análisis es un petrolero de clase “Suezmax”, cuyas características son presentadas en la tabla 4.

En la figura 15 se presenta un arreglo general típico de un buque petrolero de clase “Suezmax”.

Tabla 4: Características principales del buque

Especificaciones	Dimensiones	-
Tipo	Petrolero	
TPB	165000	t
Eslora PP.	264	m
Manga	45	m
Puntal	22,6	m
Calado	17	m

Para fines de evaluación del modelo matemático y reduciendo la información en análisis, ha sido pertinente considerar del buque, la parte estructural con cuerpo paralelo que su vez es dividido en diez (10) anillos estructurales iguales. Esta división permite tomar en cuenta la capacidad de movimiento de las grúas pórtico o móviles.

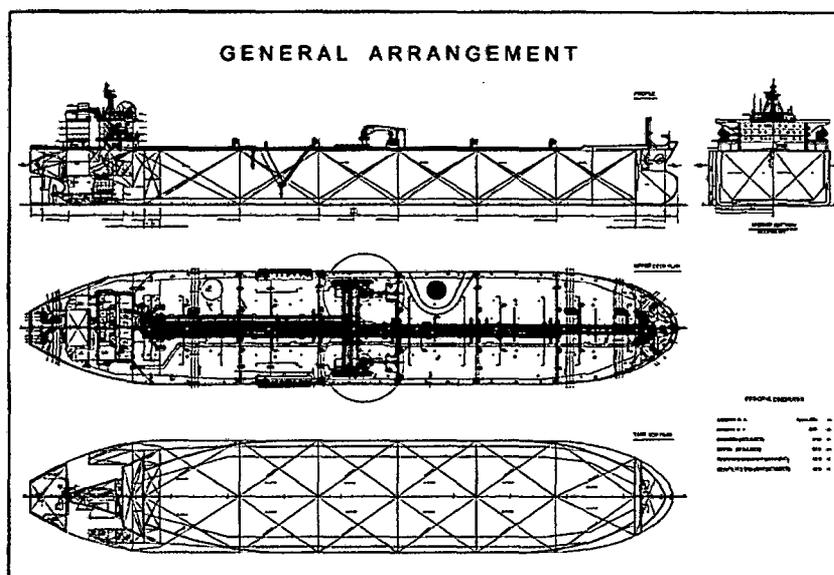


Figura 15: Arreglo general típico de un buque petrolera clase "Suezmax"

La figura 16 presenta un plano del cuerpo paralelo de la sección maestra del buque petrolero, el cual conforma el anillo estructural, el cual a su vez esta dividido en módulos. Esta división en módulos, como parte de un ejemplo visual, aporta una idea en la adopción de una estrategia de construcción según la secuencia de montaje.

El planeamiento y programación de la producción debe considerar la flexibilidad de las áreas de producción, esto es, la capacidad para que las instalaciones se adapten para atender la demanda interna de trabajo y producción, además esta flexibilidad debe asegurar que la producción obedezca a las estrategias planteadas según la secuencia de montaje adoptada.

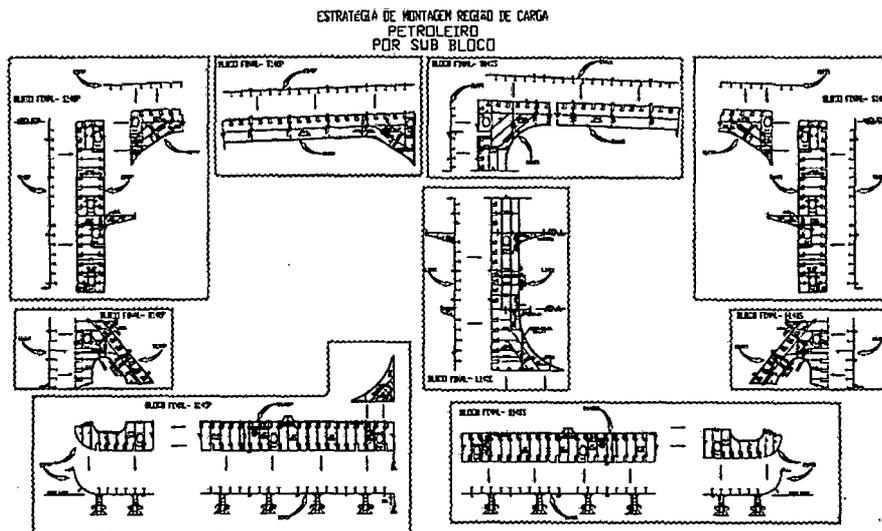


Figura 16: División de módulos que forman el anillo estructural de la sección maestra del buque

Para nuestro modelo se adopta una estrategia de construcción diferente al que fue mostrada en la figura 16. Esta estrategia, se presenta en la figura 17, fue adoptada por que es practicada actualmente en astilleros de Brasil.

En el Anexo A se presenta los componentes que integran la figura 17, la división del anillo estructural de la sección maestra en módulos, sub-módulos, paneles, piezas, etc. Al final de ese anexo también se precisa una discriminación de la información recibida, adecuándola a los propósitos de aplicabilidad en nuestro modelo matemático y computacional. Esa información cuenta con una codificación de los componentes del anillo estructural según su tipo, posición, área, cantidad, etc., cuya finalidad es facilitar el procesamiento computacional de la base de datos.

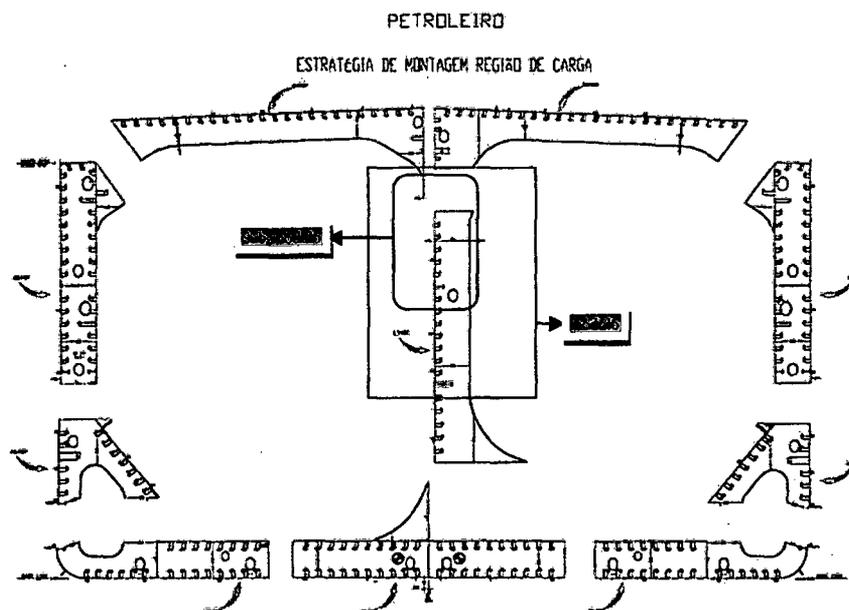


Figura 17: Estrategia de la secuencia de montaje de módulos dividido en sub-módulos

6.1.2 Nomenclatura de sub productos

Para nuestra comprensión se hace una nomenclatura para que ayude en la distinción de términos, para definir los sub productos que envuelven el montaje de módulos.

Tabla 5: Nomenclatura de sub productos

Subproducto	Cod	Definición
TRANSVERSAL	T	Transversales cortados, varengas, consola
PLANCHAJE	C	Planchas cortadas
LONGITUDINAL	L	Perfiles longitudinales pre-fabricados
ALA	F	Ala cortados
PIEZA FABRICADA	i	Índice de piezas transversales, plancha, longitudinal, etc.
SUB-MÓDULO	j	Índice de sub-módulos para conformação de módulos
BLOCO	k	Doble fondo, Hoper Tank, etc.

Para entender la nomenclatura y el porqué se decidió los índices presentados, tiene que considerarse la simplificación de la identificación de los componentes para cada módulo a través de una simbología amigable, por ejemplo, el Fondo lateral, cuyas características se encuentran en el Anexo A, es representado por el símbolo K2, y de esa misma manera son identificadas las piezas que conforman el módulo. Cada tipo de pieza también de manera análoga cuenta con un símbolo, una cantidad requerida del tipo de pieza para un módulo y así por consiguiente define indicadores como peso en toneladas por unidad de tipo de pieza. Estas características son presentadas en tablas posteriores.

Conforme la teoría de grupos, en que son agrupados por familias las piezas con características semejantes, fue determinante hacer una discriminación de las piezas y sus características a fin de que puedan ser fácilmente identificadas entre los módulos, y ayuden en el procesamiento de la base de datos al momento de ser compilados computacionalmente. En ese sentido, se presentan los módulos con sus respectivas piezas, todas codificadas, y con sus indicadores paramétricos.

FONDO CENTRAL (K1)				FONDO LATERAL (K2)				HOPER TANK (K3)			
Pieza	Cod	Cant	T/u	Pieza	Cod	Cant	T/u	Pieza	Cod	Cant	T/u
T_BB1	T1	6	1,71	T_BB3	T3	3	0,84	T_BB6	T6	3	1,13
T_BB2	T2	6	0,42	T_BB4	T4	3	0,89	T_BB7	T7	3	0,77
T_BB24	T24	3	0,60	T_BB5	T5	3	1,23	T_BB25	T25	3	0,05
C_BB1	C1	4	3,54	C_BB4	C4	1	3,81	C_BB4	C4	1	3,81
C_BB2	C2	4	3,40	C_BB5	C5	6	4,62	C_BB5	C5	4	4,62
C_BB3	C3	4	2,58	C_BB6	C6	1	1,63	C_BB7	C7	1	0,54
C_BB4	C4	4	3,81	L_BB1	L1	1	3,54	C_BB8	C8	1	0,83
L_BB1	L1	3	3,54	L_BB2	L2	22	1,09	L_BB2	L2	12	1,09
L_BB2	L2	40	1,09	F_BB2	F2	3	0,17	L_BB3	L3	1	2,45
F_BB1	F1	3	0,31					F_BB3	F3	1	0,27

COSTADO (K4)			
Pieza	Cod	Cant	T_/u_
T_BB8	T8	3	0,29
T_BB9	T9	3	1,49
T_BB10	T10	3	0,67
T_BB11	T11	3	0,52
C_BB5	C5	6	4,62
C_BB6	C6	1	1,63
C_BB9	C9	1	3,13
C_BB10	C10	1	1,86
C_BB11	C11	2	4,08
L_BB4	L4	2	1,63
L_BB5	L5	1	1,09
L_BB6	L6	30	0,95
F_BB3	F3	3	0,27

MAMPARO CENTRAL (K5)			
Pieza	Cod	Cant	T_/u_
T_BB12	T12	3	1,71
T_BB13	T13	3	1,99
T_BB14	T14	3	0,49
T_BB15	T15	3	0,42
C_BB5	C5	5	4,62
C_BB12	C12	1	1,36
L_BB4	L4	1	1,63
L_BB5	L5	1	1,09
L_BB7	L7	18	0,75
F_BB3	F3	1	0,27
F_BB4	F4	1	0,78

CUBIERTA BB (K6)			
Pieza	Cod	Cant	T_/u_
T_BB16	T16	3	1,56
T_BB17	T17	3	0,17
T_BB18	T18	3	2,11
T_BB19	T19	3	0,84
C_BB5	C5	5	4,62
C_BB15	C15	2	3,67
L_BB7	L7	24	0,75
F_BB5	F5	3	0,82

CUBIERTA BE (K7)			
Pieza	Cod	Cant	T_/u_
T_BB20	T20	3	1,20
T_BB21	T21	3	0,74
T_BB22	T22	3	2,05
T_BB23	T23	3	0,85
C_BB5	C5	6	4,62
C_BB13	C13	2	3,75
C_BB14	C14	1	1,26
L_BB7	L7	27	0,75
L_BB8	L8	1	1,56
F_BB6	F6	3	0,71

6.1.3 Parámetros de sub productos

En esta sección van a ser identificados los parámetros de los sub productos, por ejemplo, las cantidades de tipo de piezas requeridas para formar sub-módulos y de la misma forma los sub-módulos para formar los módulos, entre otros. Para tal fin, en la tabla 6, precisamos, por ejemplo, el parámetro P_{ij} que quiere significar la cantidad requerida de piezas fabricadas de tipo (i) que forman parte de la fabricación del sub-módulo de tipo (j).

Puede observarse que el parámetro P_{ij} está en la forma matricial ix_j , esto significa que la operación matemática para el proceso computacional va a tener un comportamiento matricial, respetando los fundamentos en álgebra matricial. Otra explicación que hallaremos en la tabla 6 es el código, por ejemplo en la primera fila (Cód), si buscamos el término C1 (representa a la plancha de tipo 1), observaremos que al lado está el índice identificador pieza de tipo (i) nombrada como I26, que

según el Anexo A en la parte de la discriminación, podemos hallar esa pieza como parte del módulo de doble fondo K1. Entonces, de manera general, tenemos 54 piezas de tipo (i) fabricadas que son distribuidas para formar 17 sub-módulos de tipo (j).

Tabla 6: Cantidad de piezas fabricadas i requeridas para formar sub-módulos j

Cód	Pii	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17
T1	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	13	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	14	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	15	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	16	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	17	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T8	18	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	19	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	110	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
T11	111	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
T12	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
T13	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
T14	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
T15	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
T16	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
T17	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
T18	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
T19	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
T20	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
T21	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
T22	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
T23	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
T24	124	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T25	125	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	126	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	127	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	128	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	129	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	130	0	0	4	2	1	2	1	2	4	5	0	0	0	0	5	0	6
C6	131	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	132	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	133	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	134	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	135	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	136	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	137	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C13	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
C14	139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C15	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
L1	141	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L2	142	20	20	14	8	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L3	143	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L4	144	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
L5	145	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L6	146	0	0	0	0	0	0	0	17	13	0	0	0	0	0	0	0	0
L7	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	0	3	0	24	0	27
L8	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F1	149	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	150	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3	151	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0
F4	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F5	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
F6	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0

De la misma forma sucede con los parámetros N_{jk} , ver tabla 7, lo cual significa la cantidad requerida de sub-módulos de tipo (j) necesarios para formar módulos de tipo (k). Entonces, de manera general para este caso, tenemos 17 sub-

módulos de tipo (j) distribuidos a través de instalaciones para formar 7 módulos de tipo (k) que completan un anillo estructural de la sección maestra.

Tabla 7: Cantidad de sub-módulos i requeridos para formar módulos k

Njk	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
J1	1	0	0	0	0	0	0
J2	1	0	0	0	0	0	0
J3	0	1	0	0	0	0	0
J4	0	1	0	0	0	0	0
J5	0	0	1	0	0	0	0
J6	0	0	1	0	0	0	0
J7	0	0	1	0	0	0	0
J8	0	0	0	1	0	0	0
J9	0	0	0	1	0	0	0
J10	0	0	0	0	1	0	0
J11	0	0	0	0	1	0	0
J12	0	0	0	0	1	0	0
J13	0	0	0	0	1	0	0
J14	0	0	0	0	0	1	0
J15	0	0	0	0	0	1	0
J16	0	0	0	0	0	0	1
J17	0	0	0	0	0	0	1

Según Souza (2009), la programación básica de las operaciones en el astillero se inicia a través del cronograma maestro de producción, con su nombre y siglas en inglés *Master Production Schedule* (MPS). Dicho cronograma es normalmente presentado a través de un gráfico Gantt, donde se muestran las actividades del proyecto con sus respectivos tiempos de inicio y duración, entre otros. Entre algunas actividades del proyecto (Proyecto básico, proyecto funcional, detallado estructural y detallado de outfitting), tenemos el de construcción del casco (procesamiento de acero naval, montaje de módulos y edificación), y de outfitting (fabricación, montaje de unidades, outfitting en el módulo y outfitting a bordo y testes).

El MPS también es utilizado para acomodar las principales etapas de construcción en el caso de ser una construcción simultánea de varios buques que permita un análisis de la sobrecarga crítica de recursos que puedan suceder, como ejemplos, en el muelle, dique o en áreas de montaje de módulos.

Del MPS, cuya característica es integradora, se derivan una serie de cronogramas operacionales (como de edificación, outfitting y pintura), de tal suerte que programa la producción en todos los niveles organizacionales del astillero, quiere decir, que cuenta con una participación de departamentos, secciones, grupos o estaciones de trabajo que ayuden a mejorar la eficiencia productiva.

Con todo lo dicho, en la figura 18, se presenta un cronograma maestro de lo que sería la edificación del buque petrolero típico con sus respectivas zonas, posicionamiento de los módulos en relación al casco, con la secuencia y

programación para la edificación (crea una demanda interna de módulos). Sin embargo, con la dificultad de conocer la sobrecarga del uso de recursos y las actividades críticas resulta necesario realizar el cronograma Gantt, cuidando de los detalles de superposición en el uso de recursos y la programación de actividades, como se verá más adelante.

Algunos astilleros utilizan sistemas propios que, junto con los cronogramas operacionales, desarrollan un gráfico indicador de la utilización de la capacidad de determinados recursos que permiten visualizar lo que sucede en los procesos críticos. La utilización es asociada a cada actividad, en que cada una es representada en forma de barra, típico del grafico Gantt, para luego ser asociada a la actividad correspondiente a través de una barra vertical.

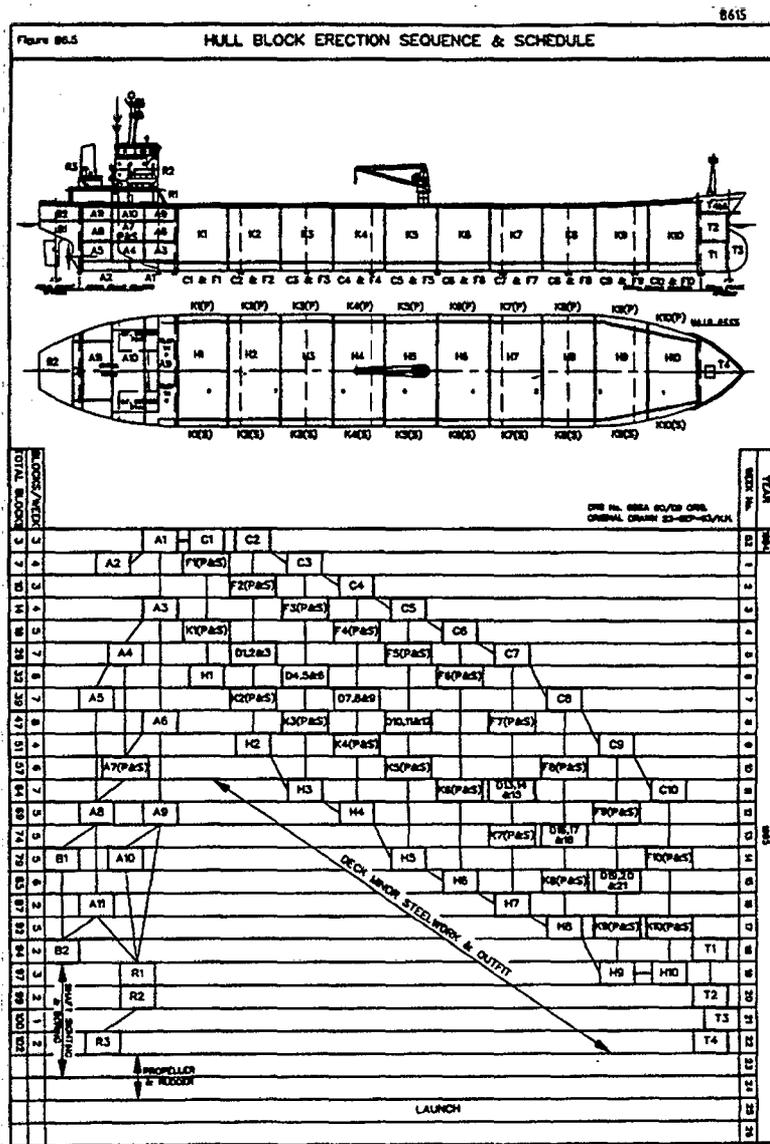


Figura 18: Secuencia y programación de edificación de un buque petrolero
 Considerando lo dicho, un cronograma de montaje de módulos, puede

verificar la capacidad de producción para cada periodo de tiempo que sería la suma de los módulos que programados para ser construidos para un periodo de tiempo. Por tanto, el MPS es una herramienta útil para programar las actividades con el enfoque en la utilización de la capacidad de producción y, de ese modo, facilitar la configuración de las actividades y capacidades para maximizar el uso de los recursos disponibles, según sea la necesidad de demanda para uno o más procesos constructivos.

La figura 18 nos presenta la secuencia y programación de las actividades de edificación del buque petrolero donde observamos, como los módulos son ordenados en actividades que permiten la edificación de anillos estructurales y siguen un cronograma de principio a fin de la conformación del casco. Vale la pena recordar, que para fines de cálculo ha sido considerado el uso de diez (10) anillos estructurales de cuerpo paralelo (paralelepípedo estructural) para representar a nuestro buque, vale decir, que no hemos tomando en cuenta las estructuras de proa y popa en cuyo lugar han tomado forma de cuerpo paralelo como la sección maestra, ya que esas estructuras de proa y popa son construcciones especiales que consideran otros tratamientos que no hemos incluido como parte de nuestro estudio y a fin de simplificar la validación del modelo matemático. Esto no significa que no puedan ser incluidos, sugiriendo un detallado cuidado; por ser módulos con curvaturas especiales y de trabajos constructivos con mayor precisión que con los de cuerpo paralelo. Cada anillo estructural es formado por un total de diez (10) módulos de los cuales siete (7) son conocidos, y tres (3) de ellos son semejantes y pueden diferenciarse por su posición (BB y BE).

En el caso de considerar los diez anillos estructurales (paralelepípedo estructural), esto determinaría que hay diecisiete (17) sub-módulos de tipo (j) que formarán parte de nuestra secuencia de montaje de los módulos escogidos. La información puede ser revisada los anexos de la tesis (Ver Anexo A).

Después de obtener las informaciones contenidas en el cronograma de edificación y ver cómo se comportan las actividades, se elabora un cronograma maestro de montaje para nuestro propósito demostrativo del modelo, como parte de la toma de decisión en las actividades visadas.

En nuestro caso, dicho cronograma, respeta la lógica de la figura 18 y adquiere una modificación considerando lo planeado en considerar que la buque es conformado por diez anillos paralelos estructurales (paralelepípedo estructural). De

tal manera, ver tabla 8, se muestra una programación de edificación de módulos de tipo (k) para cada periodo de tiempo (t) considerado en semanas (ejemplo: semana 1, semana 2, etc.). Esta programación es representada por el parámetro Z_{tk} , lo cual significa que para cada periodo de tiempo (t) se requiere construir o fabricar una cantidad de módulos de tipo (k)

Tabla 8: Programación de cada período en semanas para la construcción de módulos

#K/week	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	week
2	2							1
3	1	2						2
3	1	2						3
3	1	2						4
7	1	2	2	2				5
6	1	2				3		6
6		2			1		3	7
8	1		2	2		3		8
9		2	2	2			3	9
6	1		2	2	1			10
6		2	2	2				11
9	1		2	2	1	3		12
6		2			1		3	13
4			2	2				14
3		2			1			15
7			2	2	1	1	1	16
1					1			17
9			4	4	1			18
2					2			19

En ese sentido, lo ideal es hacer 10 anillos estructurales que por su parte requiere de cien (100) módulos de tipo (k), que a su vez requiere doscientos cuarenta (240) sub-módulos de tipo (j), que a su vez requiere cuatro mil setecientos noventa (4,790) piezas de tipo (i) para un tiempo horizonte estimado de diecinueve (19) semanas.

6.1.4 Parámetros de costos para el arreglo de oficinas

El arreglo de las oficinas (conjunto de instalaciones con capacidad instalada de producción), es importante en nuestro modelo y son representados por una ilustración de la configuración de las instalaciones de operación constructiva (layout de instalaciones) y parámetros de fabricación, operación con relación a los costos de producción, entre otros. Esta ilustración ayuda, de forma visual, a simular el comportamiento de los productos sin necesariamente representar las instalaciones de forma física, como podemos encontrar en planes de distribución (layout general). El propósito de la ilustración y de los parámetros, es conocer el número de oficinas que interactúan en una cadena de abastecimiento en tres niveles, estos tres niveles son definidos como: a) oficinas de fabricación, b) oficinas de sub-módulos y c) oficinas de módulos.

Como nuestro caso tiene como objetivo resolver los problemas de

localización de intermediarios, esto así mismo formula la alternativa de expansión del área de producción en el nivel del medio, por tanto es de consideración, para fines de cálculo y análisis, no definir más que solo una oficina de fabricación y una de montaje de módulos. Esto quiere decir que si bien en la práctica real se tiene disponible, más de una oficina de montaje de módulos, por ejemplo si dos áreas destinadas al montaje de módulos, podemos considerar las dos como si fueran una sola y tengan la capacidad de atender la demanda como la suma de ellas dos.

De forma análoga, en el nivel de fabricación, las oficinas serian representadas por una sola, la cual abastecería todas las piezas pre-fabricadas, fabricadas, paralelas, etc., hacia las oficinas intermediarias. En el nivel del medio sucedería lo que es la transformación de las piezas recibidas desde el primer nivel, las mismas serian procesadas y encaminadas para el último nivel de edificación de módulos. Es inválido considerar que el modelo no es flexible para colocar más de una oficina para cada nivel (1° y 3°); todo lo contrario, el modelo cuenta con todas las facultades de optimizar problemas considerando en el primer y último nivel más de una oficina, recordando que el modelo ha sido elaborado para un uso amplio y general, de cualquier tipo de cadena productiva que se juzgue necesario usar. Por tanto, para fines de cálculo se decidió realizar esta configuración que ayuda con la reducción de datos de entrada, procesamiento de datos, etc., por los motivos que fueron expuestos anteriormente.

En las tablas 9 y 10 se presentan las nomenclaturas de diferentes oficinas. La tabla 9 es una representación abierta contando que en el primer nivel y el último tenemos más de una oficina (F1 F2 B1 B2), caso diferente es lo que se presenta en la tabla 10, donde vemos simplificado el primer y último nivel de la configuración del layout de construcción.

Tabla 9: Nomenclatura de oficinas en una planta de construcción

Nomenclatura	Cod	Definición
OCSM	F1	Oficina de corte para sub montajes
OCPL	F2	Oficina de corte para paneles
OSM1	D1	Oficina de sub montajes 1
OSM2	D2	Oficina de sub montajes 2
OSM3	D3	Oficina de sub montajes 3
OMT1	B1	Oficina da montaje de módulos 1
OMT2	B2	Oficina da montaje de módulos 2

Tabla 10: Nomenclatura de las oficinas para el modelo

Nomenclatura	Cod	Definición
OCSM-PPL	F1	Oficina de fabricación
OSM1	D1	Oficina de sub montajes 1
OSM2	D2	Oficina de sub montajes 2
OSM3	D3	Oficina de sub montajes 3
OMT1	B1	Oficina da montaje de módulos 1

En el nivel del medio, las oficinas de sub montajes están compuestas por tres oficinas, cada una tiene una capacidad instalada, y a su vez cada oficina de sub montajes puede representar la suma o no, de varias instalaciones internas. Esta flexibilidad de configurar las oficinas, es un considerable aporte para el análisis de la productividad. Para nuestro modelo fue suficiente emplear el uso de tres oficinas de sub montajes, con sus respectivos parámetros operacionales para validar el caso del estudio propuesto.

La capacidad instalada de cada oficina con sus respectivos recursos siguen las siguientes características y especificaciones:

1. Oficina de fabricación de piezas (F): Es configurado con el uso de dos maquinas que abastecen de partes cortadas y pre-fabricadas según su diseño y requerimiento como pieza parte del plano constructivo del buque.
2. Oficina de sub montajes (D): Es configurado por tres oficinas de las cuales dos son áreas de trabajo y una tercera es candidata para uso como posible expansión de actividades, que ayudan atender la demanda de trabajo y flujo de producción. Las dos primeras áreas cuentan cada una, con dos (2) maquinas de soldar SAW y cuatro (4) maquinas de soldar MIG/MAG; la tercera oficina candidata para expansión cuenta con dos (2) maquinas de soldar SAW y dos (2) de MIG/MAG. Cabe considerar que la soldadura por arco sumergido, es solamente para el montaje de los perfiles a lo largo de la plancha, y que es considerada la soldadura para ambos lados del perfil simultáneamente.
3. Oficina de montaje del módulo (B): Es una configuración compuesta por cinco (5) maquinas de soldar MIG/MAG.

Es pertinente conocer las responsabilidades de las oficinas que representan los tres niveles de producción. En ese sentido se da una descripción de cada oficina a continuación:

1. Oficina de fabricación de piezas (F): Es responsable del abastecimiento de las planchas y perfiles para las oficinas de sub montajes.

2. Oficina de sub montajes (D): Es responsable de la recepción y procesamientos de lo abastecido por la oficina de fabricación. Cuenta con dos áreas de 800 m², y con un área candidata como expansión de 500 m². Con dos áreas de stock, que corresponden a las dos primeras oficinas, de 400 m² para sub-módulos y piezas fabricadas en espere de su utilización. Las oficinas cuentan con el apoyo de una grúa de pórtico de 30t + 30 toneladas de capacidad de carga, de altura de 15 m y de potencia nominal de 120 KW.
3. Oficina de montaje de módulo (B): Es responsable de recibir los sub-módulos para conformar el módulo requerido según la secuencia de montaje de módulos que obedezcan al plano de edificación. Esta oficina cuenta con un área e 1,600 m² y un área de stock de 800 m². Además cuenta con una grúa de pórtico de 150t + 150 toneladas de capacidad de carga, de altura de 25 m y de potencial nominal de 235 KW.

Entre los parámetros operacionales que describirán a las oficinas en la distribución de sus productos (piezas, sub-módulos, módulos) tenemos las capacidades de stock (Cf, Cd, Cb), la capacidad máxima de cada oficina de sub montajes para producir sub-módulos para cada periodo de tiempo (Td), costos de producción de sub-módulos (Mjd), costo de instalación de la oficina de sub montajes (Fd), costo de inventario (Hf, Hd, Hb), costo unitario de transporte o de movimiento (Qf-d, Qd-b). Estos parámetros interactúan dentro de los tres niveles y es presentado como formato en la tabla 11.

Tabla 11: Parámetros operacionales de las oficinas de producción

1° Nivel		2° Nivel				3° Nivel	
Fabricación		Sub montajes				Montaje de módulo	
Cf	Hf	Cd	Hd	Fd	Td	Cb	Hb
F1		D1				B1	
		D2					
		D3					

El costo de instalación de una oficina surge de la opción que representa el invertir o no en la expansión de una área dedicada para el apoyo o asistencia en la sobrecarga en la cadena de producción y así evitar problemas de atrasos con el cumplimiento de los plazos establecidos por el cronograma de producción, además libera el congestionamiento en la producción de sub-módulos reduciendo el inventario, mejorando la productividad y conservando el flujo de trabajo.

Esta observación responde al objetivo de esta tesis, cual es optimizar la

cadena de abastecimiento para montaje de módulos. En tal sentido hemos considerado que el costo de instalación solo ocurra como opción para la oficina de sub montajes D3, asumiendo que las dos primeras están debidamente instaladas y cumplen objetivos operacionales. El costo de instalación será calculado por la capacidad instalada destinada para la tercera oficina de sub montajes. Ver tabla 12.

Tabla 12: Costo de instalación de la oficina de sub montajes D3

	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Maquina de soldar MIG/MAG	2	6,600.00	13,200.00
Maquina de soldar SAW	2	6,600.00	13,200.00
Costo total de instalación de la oficina D3			26,400.00

El costo de inventario, es determinado por el número de productos estocados en los buffers (áreas para stock) para cada nivel. Ese valor es una conversión de un factor equivalente a 8.50 USD/h de servicio de stock por aún factor que sea en USD/unid. Para tal fin fue calculado para 40 horas semanales de servicio continuo de stock cuyo costo tal resultaría de 340 USD por buffer semanal. Dividiendo el ese valor por buffer semanal por la capacidad máxima de stock nos da como resultado el costo de inventario por unidad (USD /unid).

El costo unitario de transporte o movimiento de la carga, es determinado por la energía consumida, por la grúa de pórtico por unidad de producto trasladado, lo cual quiere decir que, por ejemplo, para un consumo de energía eléctrica igual a 0.27 USD/kWh y para una grúa de pórtico con tiempo de operación semanal de 40 horas constante de trabajo y una potencia nominal de 120 kW, resulta un costo de operación equivalente a 1,296 USD, que dividido por el número de piezas producidas tenemos un costo de transporte entre el primero y segundo nivel de 0.27 USD /unid. Caso similar se aplica entre el segundo y tercer nivel en que resulta el costo de transporte de 10.57 USD/unid. En resumen el tipo de unidad dependerá del tipo de ítem transportado, quiere decir, que entre los niveles de fabricación y sub montajes, el ítem será las piezas (i), y entre el nivel de sub montajes y montaje de módulos, el ítem será los sub-módulos (j). Ver tabla 13

Tabla 13: Parámetros de los costos unitarios de transporte

Costo unitario de transporte					
1° nivel al 2° nivel			2° nivel al 3° nivel		
Qf-d	D1	D2	D3	Qd-b	B1
F1	0.27	0.27	0.27	D1	10.57
				D2	10.57
				D3	10.57

Para determinar los costos de producción de sub-módulos han sido utilizados dos factores de conversión según la capacidad de procesamiento de toneladas (Ver tabla 14). Esos factores de tipo A y B están asociados a HH/Tn y USD/HH. El tipo A será considerado para su utilización para las dos primeras oficinas de sub montajes (D1 y D2), por otra parte el de tipo B será asociada a la tercera oficina candidata para expansión D3. La última oficina puede considerar más horas-hombres empleadas pero un gasto menor en la productividad de esas horas-hombres comparada con otras áreas.

Tabla 14: Factores de conversión

	HH/Ton	USD/HH
TIPO A	2.1	1.1
TIPO B	2.8	0.9

En la tabla 15 es presentada el peso en unidades de toneladas de cada sub-módulo, que a su vez se asocia con los factores de conversión de la tabla 14. Podemos determinar el costo de producir cada sub-módulo de tipo (j), cuya simbología es Mjd, para cada oficina de sub montajes (D). Ver tabla 16.

Tabla 15: Tonelaje de cada sub-módulo

Sub-bloco	Ton	Sub-bloco	Ton
J1	43	J10	19
J2	34	J11	10
J3	29	J12	3
J4	14	J13	8
J5	8	J14	15
J6	10	J15	31
J7	12	J16	15
J8	32	J17	37
J9	27		

Tabla 16: Costo de producción para cada sub-módulo en cada sub montajes

Mjd	D1	D2	D3
J1	45	45	48
J2	36	36	38
J3	30	30	32
J4	15	15	16
J5	8	8	9
J6	11	11	11
J7	13	13	13
J8	34	34	36
J9	28	28	30
J10	20	20	21

J11	11	11	11
J12	3	3	3
J13	8	8	9
J14	16	16	17
J15	33	33	35
J16	16	16	17
J17	39	39	41

Después de haber identificado los parámetros con enfoque a los costos en las oficinas, hay otros que forman parte de la gestión de la cadena de abastecimiento, como es el caso del inventario inicial que significa, que para un proyecto nuevo de construcción de un buque puede que exista stock que pueda ser incluido en el proyecto total, de tal manera de que no se desperdicie material que pueda ser usable en algún otro proyecto, claro es con una previa evaluación de que ese material cumpla con las condiciones de utilidad para el proyecto.

El modelo matemático procura ser general en casos como este, donde puedan ser representados en el modelo. Para fines de cálculo consideramos que el inventario inicial para cada nivel es cero, como si fuera considerado un proyecto nuevo desde principio a fin, pero, como fue dicho, no significa que un usuario que manipule el modelo considere esos valores iniciales. En ese sentido los parámetros que identifican los inventarios iniciales de tipo de piezas y sub-módulos son E_i y E_j , correspondientemente, sean igual a cero.

En la figura 19 se presenta lo que sería en nuestro modelo, un arreglo ilustrativo de las oficinas de producción que conformarían los tres niveles. Este arreglo puede variar según el tipo de planta de producción y su capacidad instalada y distribución. Es oportuno considerar, en futuros trabajos, coeficientes de complejidad relativos a la localización de los módulos y a la complejidad del tipo de buque. Esta información se encuentra en las tablas 17 y 18.

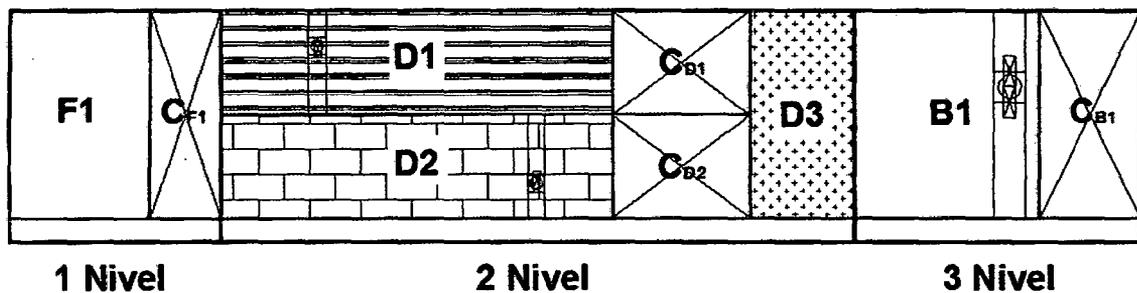


Figura 19: Modelo ilustrativo del arreglo de las oficinas de producción

Tabla 17: Coeficiente de complejidad relativos a la localización del módulo en el buque (ENNIS, 1997)

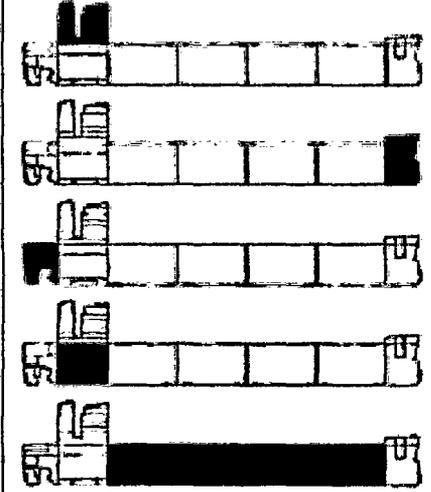
	Coeficiente de Complejidad	
	Superestructura	
Proa		1,35
Proa (con bulbo)		1,45
Popa		1,35
Popa (con skeg)		1,45
Sala de Máquinas		1,5
Medio del buque		1,1
Medio (doble fondo)		1,25
Medio (doble costado)		1,25

Tabla 18: Coeficiente de complejidad por el tipo de buque (ENNIS, 1997)

SHIP TYPE	TYPE FACTOR
Crude Oil Tanker	0.80
Product Tanker	1.13
Chemical Tanker	1.25
Double Hull Tanker	0.90
Bulk Carrier	0.86
Oil/Bulk/Ore Carrier	0.95
Containership	0.96
Roll-On/Roll-Off	0.83
Car Carrier	0.61
Ferry	1.25
Passenger Ship	3.00
Fishing Boat	2.20
Tug	0.80
Combatant - Cruiser (Nuclear)	9.00
Combatant - Destroyer	8.00
Combatant - Frigate	7.00
Amphibious - LHA/LHD	7.00
Amphibious - LSD/LPD	5.00
Auxiliary - Oiler	2.25
Auxiliary - Tender	4.50
Naval Research	1.25
Naval Tug, Oceangoing	1.00
Coast Guard Icebreaker	4.50
Coast Guard Buoytender	2.00

6.2 CASO DE APLICACIÓN

Después de la información del modelo, podemos entonces ingresar los datos para la operación computacional, tomando en cuenta algunas consideraciones. Para una caso en particular, donde la capacidad de stock es infinito, para cada buffer que corresponde a cada nivel, considerar también la cantidad máxima de producción de

sub-módulos en las oficinas de sub montajes tendría lo suficiente para garantizar la construcción de sub-módulos y satisfacer la demanda interna generada entre oficinas por niveles. Este caso particular no tendría objeto de análisis por hallarse ideal, por lo que es sugerido testar para el modelo un caso que sugiera el análisis y la verificación del modelo propuesto como una opción en la solución de la cadena de abastecimiento para el montaje de módulos.

Por tanto tenemos una oficina de fabricación donde se fabricarán las piezas y las abastece al siguiente nivel, donde hallamos las oficinas de sub montajes, el cual será representado, como dato de entrada, por el parámetro Δ ift (Capift). Ver tabla 19.

Tabla 19: Abastecimiento de piezas de la oficina de fabricación por periodo

Capift	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3												
11	F1	12	6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0
12	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	F1	12	6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0
14	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	F1	0	6	6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0
16	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	F1	0	6	6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0
18	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	F1	0	6	6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0	0
110	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
112	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
114	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
116	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
118	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
120	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	F1	0	0	0	0	6	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	0	12	0
122	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	F1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	3	3	3	3	6
124	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	F1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	3	3	3	3	6
126	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	F1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	3	3	3	3	6
128	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	F1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	3	3	3	3	6
130	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0
132	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0
134	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0
136	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0
138	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	9	0	3	0	0
140	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	9	0	3	0	0
142	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	9	0	3	0	0
144	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	F1	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	9	0	0	9	0	3	0	0
146	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	F1	6	3	3	3	3	3	0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0
148	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	F1	0	0	0	0	6	0	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	12	0
150	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	F1	8	4	4	4	4	4	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0
153	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	F1	8	4	4	4	4	4	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0

6.2.1 Caso

Para ejemplo de aplicación se consideró que las capacidades de stock sean las mismas para cada instalación según sea su nivel en la cadena de abastecimiento. De esa manera las capacidades de stock Cf, Cd y Cb pueden acondicionar los costos de inventario y asegurar una cantidad mayor de sub-módulos producidos en las oficinas de sub montajes para cada periodo de tiempo, para así cumplir con los establecido por el cronograma maestro de construcción del buque propuesto. En ese sentido, reuniendo la información descritas en sección anteriores, la tabla 20 presenta los parámetros operacionales que usaremos para el procesamiento computacional, entre otras ya mencionadas anteriormente.

Tabla 20: Parámetros operacionales de las oficinas por nivel

1° Nivel			2° Nivel				3° Nivel			
Fabricación			Sub montajes				Montaje de módulo			
	Cf	Hf		Cd	Hd	Fd	Td		Cb	Hb
F1	100	3.4	D1	100	3.4	0	6	B1	100	340
			D2	100	3.4	0	6			
			D3	100	3.4	26,400	4			

6.2.2 Código de Programación

El código de programación del modelo matemático es desarrollado en el software LINGO®, cuya lógica matemática sigue lo presentado en la sección 5.1, y es codificado como sigue a continuación:

```
! SUPPLY CHAIN SHIP BLOCK;

MODEL:

DATA:
NT=      ; !Define number of time period t;
NI=      ; !Define number of part type i;
NF=      ; !Define number of fabricación workshop f;
NJ=      ; !Define number of sub block type j;
ND=      ; !Define number of subassembly workshop d;
NK=      ; !Define number of block type k;
NB=      ; !Define number of block workshop b;
ENDDATA

SETS:
!TASK PROGRAMMING;

! Index for time period t, t=1..T;
TIMEPERIOD/1..NT/:t;

! -----FIRST LEVEL-----;

! Index for part type;
PARTTYPE/1..NI/:i,
Ei;      ! Ei- Initial total inventory of part type i at workshop d in time period
t=0;
```

```

! Index for fabricación workshop;
FÁBRICACION/1..NF/:f,
Cf,          ! Cf - Storage capacity at workshop f;
Hf;          ! Hf - Unit handling cost at workshop f;

! -----SECOND LEVEL-----;

! Index for sub block type;
SUBBLOCKTYPE/1..NJ/:j,
Ej;          ! Ej- Initial total inventory of sub block type j at workshop d in time
period t=0;

! Index for subassembly workshop (second level);
SUBASSEMBLY/1..ND/:d,
Cd,          ! Cd - Storage capacity at workshop d;
Hd,          ! Hd - Unit handling cost at workshop d;
Fd,          ! Fd - Installation cost of workshop d;
Td;          ! Td - Maximum production Capacity of sub block type j at workshop d;

! -----THIRD LEVEL-----;

! Index for block type;
BLOCKTYPE/1..NK/:k;

! Index for block workshop (third level);
BLOCK/1..NB/:b,
Cb,          ! Cb - Storage capacity at workshop b;
Hb;          ! Hb - Unit handling cost at workshop b;

! -----PARAMETERS-----;

FDLINK(FÁBRICACION,SUBASSEMBLY):
Qfd;          ! Qfd - Unit transportation cost from workshop f to workshop d;

DBLINK(SUBASSEMBLY,BLOCK):
Qdb;          ! Qdb - Unit transportation cost from workshop d to workshop b;

IJLINK(PARTTYPE,SUBBLOCKTYPE):
Pij;          ! Pij - Amount of part type i required for sub block type j;

JDLINK(SUBBLOCKTYPE,SUBASSEMBLY):
Mjd;          ! Mjd- Unit production cost of sub block type j at workshop d;

JKLINK(SUBBLOCKTYPE,BLOCKTYPE):
Njk;          ! Njk - Amount of sub block type j required for block type k;

KBLINK(BLOCKTYPE,BLOCK):
Lkb;          ! Lkb - Number of block type k at workshop b;

TKLINK(TIMEPERIOD,BLOCKTYPE):
Ztk;          ! Ztk - Number of block type k in time period t;

SUPPLYLINK(PARTTYPE,FÁBRICACION,TIMEPERIOD):
Capift,      ! Capift - Supply of part type i at workshop f in time period t;
Gift;        ! Gift - Inventory level of part type i at workshop f in time period t;

CONSUMPTIONLINK(PARTTYPE,SUBASSEMBLY,TIMEPERIOD):
Capidt,      ! Capidt- Consumption of part type i at workshop d in time period t;
Gidt;        ! Gidt - Inventory level of part type i at workshop d in time period t;

PRODUCTIONLINK(SUBBLOCKTYPE,SUBASSEMBLY,TIMEPERIOD):
Capjdt,      ! Capjdt- Production of sub block part j at workshop d in time period t;
Gjdt;        ! Gjdt - Inventory level of sub block part j at workshop d in time period
t;

DEMANDLINK(SUBBLOCKTYPE,BLOCK,TIMEPERIOD):
Capjbt,      ! Capjbt - Demand of sub block type j at workshop c in the period t;
Gjbt;        ! Gjbt - Inventory level of sub block type j at workshop b in time period
t;

FLUXOIFDTLINK(PARTTYPE,FÁBRICACION,SUBASSEMBLY,TIMEPERIOD):
Lamdaijdt;   ! (λijdt) - Flow of part type i between workshop f and d in time period
t;

FLUXOJDBTLINK(SUBBLOCKTYPE,SUBASSEMBLY,BLOCK,TIMEPERIOD):

```

Lamda_{jdbt}; ! (λ_{jdbt}) - Flow of sub block type j between workshop d and b in time period t;

ENDSETS

DATA:

! -----INPUT DATA-----;

! Cf - Storage capacity at workshop f;

Cf =
;

! Cd - Storage capacity at workshop d;

Cd =
;

! Cb - Storage capacity at workshop b;

Cb =
;

! Hf - Unit handling cost at workshop f;

Hf =
;

! Hd - Unit handling cost at workshop d;

Hd =
;

! Hc - Unit handling cost at workshop b;

Hb =
;

! Fd - Installation cost of workshop d;

Fd =
;

! Td - Maximum production capacity of sub block type j at workshop d;

Td =
;

! Mjd - Unit production cost of sub block type j at workshop d;

Mjd =
;

! Qfd - Unit transportation cost from workshop f to workshop d;

Qfd =
;

! Qdc - Unit transportation cost from workshop d to workshop b;

Qdb =
;

! Supply of part type i at workshop f in time period t;

Capift =
;

! Ei - Initial inventory of part type i at workshop d in time period t=0;

Ei =
;

! Ej - Initial inventory of sub block type j at workshop d in time period t=0;

Ej =
;

! Pij - Amount of part type i required for sub block type j;

Pij =
;

! Njk - Amount of sub block type j required for block type k;

Njk =
;

! Ztk - Number of block type k in time period t;

Ztk =
;

ENDDATA

```

TOTAL_COST = @SUM(TIMEPERIOD(t):
@SUM(FABRICATION(f): Hf(f) * (@SUM(PARTTYPE(i):Capift(i, f, t))) -
@SUM(FABRICATION(f): Hf(f) * (@SUM(PARTTYPE(i):@SUM(SUBASSEMBLY(d): Lamdaifdt(i, f, d, t)))))) +
@SUM(FDLINK(f, d): Qfd(f, d) * (@SUM(PARTTYPE(i): Lamdaifdt(i, f, d, t))) +
@SUM(SUBASSEMBLY(d): Hd(d) * (@SUM(PARTTYPE(i): Gidt(i, d, t))) +
@SUM(SUBASSEMBLY(d): Hd(d) * (@SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Gjdt(j, d, t))) +
@SUM(SUBASSEMBLY(d): @SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Mjd(j, d) * Capjdt(j, d, t))) +
@SUM(DBLINK(d, b): Qdb(d, b) * (@SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Lamdajdbt(j, d, b, t))) +
@SUM(BLOCK(b): Hb(b) * (@SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Gjbt(j, b, t))) +
@SUM(FABRICATION(d): @SUM(PARTTYPE(i): Fd(d) / Capidt(i, d, t) *
@SUM(FABRICATION(f): Lamdaifdt(i, f, d, t)))));

MIN = TOTAL_COST;

!Subject to;

!Restriction 2;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(FABRICATION(f): @FOR(PARTTYPE(i): @SUM(SUBASSEMBLY(d): Lamdaifdt(i,
f, d, t)) + Gift(i, f, t) <= Capift(i, f, t)));

!Restriction 3;
@FOR(TIMEPERIOD(t) | t#EQ#1: @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(PARTTYPE(i): @SUM(FABRICATION(f): Lamda
ifdt(i, f, d, t)) + Ei(i) - Capidt(i, d, t) <= Gidt(i, d, t)));

!Restriction 4;
@FOR(TIMEPERIOD(t) | t#GT#1: @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(PARTTYPE(i): @SUM(FABRICATION(f): Lamda
ifdt(i, f, d, t)) + Gidt(i, d, t-1) - Capidt(i, d, t) <= Gidt(i, d, t)));

!Restriction 5;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Capjdt(j, d, t) <= Td(d)));

!Restriction 6;
@FOR(TIMEPERIOD(t) | t#EQ#1: @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): Capjdt(j, d, t) + Ej(j) -
@SUM(BLOCK(b): Lamdajdbt(j, d, b, t)) <= Gjdt(j, d, t)));

!Restriction 7;
@FOR(TIMEPERIOD(t) | t#GT#1: @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): Capjdt(j, d, t) + Gjdt(j,
d, t-1) - @SUM(BLOCK(b): Lamdajdbt(j, d, b, t)) <= Gjdt(j, d, t)));

!Restriction 8;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): Capjdt(j, d, t) >= @SUM(PARTTYPE
(i): Pij(i, j) * Capidt(i, d, t)) / @SUM(PARTTYPE(i): Pij(i, j))));

!Restriction 9;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(BLOCK(b): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): @SUM(SUBASSEMBLY(d): Lamdajdbt(j, d,
b, t)) + Gjbt(j, b, t) >= Capjbt(j, b, t)));

!Restriction 10;
@FOR(BLOCK(b): @FOR(BLOCKTYPE(k): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): @SUM(TIMEPERIOD(t): @SUM(BLOCK(b): Ca
pjbt(j, b, t)) >= Njk(j, k) * Lkb(k, b)));

!Restriction 11;
@FOR(BLOCKTYPE(k): @SUM(TIMEPERIOD(t): Ztk(t, k)) = @SUM(BLOCK(b): Lkb(k, b)));

!Restriction 12;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(FABRICATION(f): @SUM(PARTTYPE(i): Gift(i, f, t) <= Cf(f)));

!Restriction 13;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @SUM(PARTTYPE(i): Gidt(i, d, t)) + @SUM(SUBBLOCKTYPE(j)
): Gjdt(j, d, t) <= Cd(d));

!Restriction 14;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(BLOCK(b): @SUM(SUBBLOCKTYPE(j): Gjbt(j, b, t)) <= Cb(b));

!Domain of the decision variables;
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(FABRICATION(f): @FOR(PARTTYPE(i): Lamdaifdt(i,
f, d, t) >= 0; @GIN(Lamdaifdt(i, f, d, t))));
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(BLOCK(b): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): Lamdajdbt(j, d,
b, t) >= 0; @GIN(Lamdajdbt(j, d, b, t))));
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(PARTTYPE(i): Capidt(i, d, t) >= 0; @GIN(Capidt(i, d,
t))));
@FOR(TIMEPERIOD(t): @FOR(SUBASSEMBLY(d): @FOR(SUBBLOCKTYPE(j): Capjdt(j, d, t) >= 0; @GIN(Capjdt
(j, d, t))));

```


Tabla 23: Producción de tipo de sub-módulos en la oficina de sub montajes

CapIdt		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19
J1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J1	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J1	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J2	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J2	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J3	D1	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
J3	D2	0	1	2	0	2	1	1	1	1	1	2	0	1	0	1	1	1	0	0
J3	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J4	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J4	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
J4	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J5	D1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
J5	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
J5	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J6	D1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
J6	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J6	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	D1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
J7	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J8	D1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
J8	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
J8	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J9	D1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0
J9	D2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
J9	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J10	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J10	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
J10	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J11	D1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
J11	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
J11	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J12	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
J12	D2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
J12	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
J13	D1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
J13	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
J13	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J14	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J14	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J14	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J15	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J15	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
J15	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J16	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J16	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J16	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J17	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J17	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J17	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Observando los reportes para un tiempo horizonte de 19 semanas en las tablas arriba citadas, encontramos que las oficinas de sub montajes D1, D2 y D3 reportan un número de sub-módulos producidos respectivamente de **42, 40 y 3**. Esto quiere decir que a pesar de que las dos oficinas D1 y D2, instaladas y operativas no satisfacen la demanda de producción, por lo que es necesario abrir la oficina de sub montajes D3 como expansión de área de producción para ayudar a atender la demanda interna. Ello no obstante, por ser el número de sub-módulos producidos en D3 significativamente menor que en los dos primeros debe observarse, como parte de la gestión de la cadena de abastecimiento, si se debe ejecutar la instalación o no, lo que conllevaría a evaluar otras alternativas, como por ejemplo, aumentar la

productividad de una de las dos primeras oficinas, ya sea en algún recurso, mano de obra, etc., con el fin de atender la demanda sin la necesidad de la apertura de una oficina de apoyo a la producción (el caso de D3). Por tanto, en términos de viabilidad, interpretando los resultados del modelo, se considera inviable la utilización de una tercera oficina porque representaría un costo mayor comparado con la cantidad atendida. En ese sentido se sugiere resolver el problema modificando la productividad de las otras oficinas ya disponibles y en operación.

Nota: Si bien el número de sub-módulos descritos para la edificación de la buque es de 200 unidades, comparando con la suma del número de sub-módulos presentado por el reporte computacional para las tres oficinas de sub montajes que resulta ser igual a 85 unidades, puede observarse que es menor del 50% en comparación al número inicial deseado, y la pregunta que surge es: ¿hubo algún problema con el modelo matemático?, ¿El software no funciono como se esperaba?, por último que sucedió?. En verdad, no hay problema alguno, ya sea del modelo matemático o de la programación computacional, es simplemente que los datos que se ingresaron tienen una forma sintética, representativo, que puede modificarse para adecuarse a un sistema de producción. En ese sentido es que el sistema materia de análisis considera baja la productividad, por ejemplo, producir sub-módulos por periodo, de tal manera que no atiende la demanda. Para visualizar mejor lo dicho, la tabla 20 podemos observar que la capacidad máxima de cada oficina de sub montajes (D1, D2 y D3) para producir sub-módulos para cada periodo de tiempo (T_d) es de **6, 6 y 4**, quiere decir que si la capacidad máxima de producción de sub-módulos aumentara, tendríamos un mejor desempeño en el atendimento de la demanda interna de producción. Es por ello la importancia del modelo que juzga cómo se comporta el sistema. Resulta claro que para un aumento de la capacidad de producción se requiere algún aumento en recursos y mano de obra, entre otras. Indudablemente, el sistema planteado como caso de aplicación va a representar un atraso en la productividad, que puede ser corregido también en el mismo modelo, pero a juicio del autor se considera oportuno hacer la crítica de los resultados como parte de análisis y estudio. No obstante, los resultados sirvieron para apreciar la finalidad de la gestión de la cadena de abastecimiento en la construcción por medio de un modelo de optimización matemática.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 PRINCIPALES CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto en este trabajo, espero haber sido claro en precisar la importancia de un modelo matemático que optimice la cadena de abastecimiento en el montaje de módulos con enfoque en los costos.

Este modelo representa la tendencia y el comportamiento de la cadena de abastecimiento, optimizando la designación de los sub productos en función de los costos de producción y con la inversión más baja posible, de tal manera que se pueda obtener una flexibilidad a la planta de producción para ejecutar proyectos a mayor escala, cuya complejidad en el abastecimiento se vea asistida y complementada con la designación de instalaciones intermediarias de trabajo.

Es menester resaltar la importancia de aplicar la heurística, a fin de evitar el uso de variables binarias, cuyo tiempo de análisis computacional es mayor que el de heurística. La complejidad de análisis resulta más por el uso de multi-productos (o multi-commodity). En el caso de uso de multi-productos se debe considerar un análisis interno de la distribución y transformación de los sub productos, por lo cual, su interacción en los tres niveles de decisión, deben presentar una solución razonable para los fines en la gestión de producción.

En este orden de ideas, consideramos este trabajo como una contribución y aporte al conocimiento de la gestión de la cadena de abastecimiento como para el montaje de módulos; que permita un mejor desarrollo de la industria naval.

7.2 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

El modelo matemático tiene un detalle importante digno de ser tomado en cuenta y se refiere a que el modelo propuesto es orientado al proceso, y no al producto, en comparación con modelos similares en la cadena de abastecimiento o de producción. También es un modelo optimizado con un enfoque en los costos y, por lo que tengo investigado, en el sector de construcción naval. Este tema no ha sido abordado como nuestra propuesta, pues en su mayoría está más enfocado al tiempo que a los costos. En ese sentido, el presente trabajo puede tomarse en cuenta

para una adecuación a otros tipos de cadenas productivas, y no solo ello, sino además nos desafía a futuros estudios que integren en un modelo de optimización, los costos y los tiempos.

Como observación del trabajo presentado, si bien su aplicación ha sido para un análisis de tres niveles de oficinas y de decisión, es posible realizar una extensión para otras oficinas aumentando el número de niveles y así también su complejidad. Por ejemplo, se puede adicionar y configurar el modelo con cuatro niveles contando una oficina de edificación de módulos o anillos modulares con sus consideraciones de lugar (grada, dique) y recursos, etc.

Otra sugerencia necesaria es precisar que el modelo matemático sugerido, por su flexibilidad y componentes, puede ser adaptado y/o adecuado para otros tipos de cadenas productivas, por ejemplo, agro negocio, producción y exploración de petróleo, civil, transporte, etc.

BIBLIOGRAFIA

- ABDI. (2008), “Construção Naval: breve análise do cenário brasileiro em 2007”. Série Cadernos da Indústria ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), vol. 2, pp.135-139.
- AOYAMA, K. e NOMOTO, T. (1997), “Information models and functions for CIM in shipbuilding. *Journal of Marine Science and Technology*”. vol. 2, pp. 148-162.
- AWUDU, I. e ZHANG, J. (2012), “Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply management: A review”. *Renewable and Sustainable Reviews*, vol. 16, pp.1359-1368.
- BACHKO, N. e HOFFMANN L. (1980), “Shipbuilding Costing and Contract Arrangements”. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Ship Design and Construction, Capítulo XV, New York.
- BERTRAM, V.; MAISONNEUVE, J.; CAPRACE, J. e PHILIPPE, R. (2004), “Cost Assessment in Ship Production”, InterSHIP.
- BRITO, G. e GORDO, J. (2006), “Tecnologia de Estaleiro, Engenharia e Arquitetura Naval”. Universidade Tecnológica de Lisboa, Portugal.
- BOLE, M. (2007), “Cost Assessment at Concept Stage Design Using Parametrically Generated Production Product Models”, ICCAS, Portsmouth.
- BUTLER, D. (2000), “Guide to Ship Repair Estimates (In Man Hours)”, Butterworth-Heinemann.
- CARVALHO, I.; GORDO, J. M.; LIMA, J. L. e GUEDES SOARES, C. (2006), “Modelação de custos de corte e soldagem de aço em reparação naval”. *Inovação e Desenvolvimento nas Atividades Marítimas*, edição C, pp. 905-917.
- CHOPRA, S.; MINDL, W. e MILLER, L. (2003), “Gerenciamento da cadeia de suprimentos”. Rio de Janeiro, Brasil, LTC.
- CIPRIANO W. M., et al. (2011), “Problemas de Programación de Proyectos con Restricción de Recursos (RCPSP) para el Montaje de Bloques en la Construcción Naval”. XXII COPINAVAL, Paper, Buenos Aires.

- ENNIS, K. J.; DOUGHERTY, J. J.; LAMB, T.; GREENWELL, C. R. e ZIMMERMANN, R. (1997), "Product Oriented Design and Construction Cost Model". Ship Production Symposium.
- FARIAS, A. A. (2009), "Projeto de rede de suprimentos: um modelo colaborativo para construção da rede de navipeças na Indústria de Construção Naval do Brasil". Tese de Doutorado, USP.
- FAVARIN, J. V. R. (2011), "Metodologia de formulação de estratégia de produção para estaleiros brasileiros". Dissertação de Mestrado, USP.
- JOLAYEMI, J. K. (2010), "Optimum Production-Distribution and Transportation Planning in Three-Stage Supply Chains". *International Journal of Business and Management*, vol. 5, no. 12, pp. 29-40.
- KALUZNY, B. (2011), "An Application of Data Mining Algorithms of Shipbuilding Cost Estimation". Defence Reserch & Development Canada Centre for Operational Research & Analysis.
- KIM, H.; LEE, J. K.; PARK, J. H.; PARK, B. J. e JANG, D. S. (2002), "Applying digital manufacturing technology to ship production and the maritime environment". *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 13, no. 5, pp. 295-305.
- KOLISH, R. (2000), "Integrated scheduling, assembly area- and part-assignment for large-scale, make-to-order assemblies". *International Journal of Production Economics*, vol. 64, pp. 127-141.
- LAMB, T.; CHUNG, H.; SPICKNALL, M.; SHIN, J. G.; WOO, J. H. e KOENIG, P. (2003), "Simulation-based Performance Improvement for Shipbuilding Processes". SNAME World Maritime Technology Conference, San Francisco 2003.
- LAMB, T. (2001), "World-class Shipbuilders: Their Productivity and Use of Lean Manufacturing". SNAME Transactions.
- MAX SHEN, Z. J. (2005), "A multi-commodity supply chain design problem". *IIE Transaction*, vol. 37, pp. 753-762.
- MELO, M.; NICKEL, S. e SALDANHA-DA-GAMA, F. (2009), "Facility location and supply chain management – a review". *European Journal of Operational Research* 196, 401–412.
- MELO, S. (2010), "Planejamento de processos de fabricação e montagem integrada à programação da produção em estaleiros de construção naval". Tese de Doutorado, UFRJ.

- MELO, S. Notas de Aula Arte Naval. Disponible en: <http://www.ufpe.br/engnaval/index.php?option=com_content&view=article&id=408%3Anotasaulaartenaval&catid=2&Itemid=236>. Acceso en: 24 fev. 2013.
- MIROYANNIS, A. (2006), "Estimation of Ship Construction Costs". Massachusetts Institute of Technology.
- MOREIRA, C. (2009), "Simulação Aplicada na Análise da Produção de Balsas Fluviais". Dissertação de grau, COPPE/UFRJ.
- NSRP (2000), "Survey of technology employed in selected Japanese and south Korean ship yards". Office of Naval Research Manufacturing Technology Program.
- OLIVEIRA, V. A. (2011), "Programação da Produção de um Estaleiro Náutico". Dissertação de Mestrado, UTFPR.
- PAIVA, D. (2009), "Edificação de Grandes/Mega-Anéis em Dique Seco para Petroleiro tipo Suezmax". Dissertação de grau, COPPE/UFRJ.
- PINTO, M. M.; COLIN, E. C.; GOLDBERG, D. J. K.; STUPELLO, B et al. (2007), "Contribuições à Eficiência Produtiva de Navios no Brasil Através do Planejamento, programação e Controle", Informe do Centro de Estudos de Gestão Naval, USP, Brasil.
- PINTO M. M. et al. (2007), "Implantação e consolidação de laboratório de gestão de operações e da cadeia de suprimentos da indústria de construção naval". PROTRAN – Programa Tecnológico da Transpetro, Convenio FINEP, Relatório Técnico.
- PINTO M. M. et al. (2007), "Desenvolvimento e aplicação de método para definição da estrutura de produto de um navio tanque (SUEZMAX) com aplicação de Planejamento, Programação e Controle da Produção num estaleiro". CEGN – Centro de Estudos em Gestão Naval, Relatório Final, USP.
- ROSS, J.M. (2004), "A Practical Approach for Ship Construction Cost Estimating". 3rd COMPIT, Siguenza.
- SÁ DA CUNHA, M. (2006), "A indústria da construção naval: uma abordagem estratégica". Dissertação de mestrado, USP.
- SILVA, C. T. (2010), "Simulação de processos industriais como ferramenta de apoio à gestão de estaleiros". Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ.
- SHIPMATES. (2007), "Guidelines on cutting and joining techniques for steel work". SHIPrepair to MAintain Transport which is Environmentally Sustainable (SHIPMATES), Proyecto n.º 506606, IST.
- SOUZA, C. M. (2009), "Técnicas avançadas em planejamento e controle da construção naval". Tesis de Doctorado, COPPE/UFRJ.

TANCREZ, J. S.; LANGE, J. C. e SEMAL, P. (2012), "A location-inventory model for large three-level supply chains". *Transportation Research Part E*, vol. 48, pp. 485-502.

TRUMBULE, J. C.; DOUGHERTY, J. J.; DESCHAMPS, L.; EWING, R.; GREENWELL, C. R. e LAMB, T. (1999), "Product Oriented Design and Construction (PODAC) Cost Model – An Update". *Ship Production Symposium*.

VAN DOKKUM, K. (2008), "Ship Knowledge – Ship Design, Construction and Operation". 5.^a Edición, Dokmar - Maritime Publishers B.V.

ANEXOS

ANEXO A – INFORMACIÓN DE PIEZAS Y ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE UN BUQUE PETROLERO PROPORCIONADO POR EL CURSO DE ARTE NAVAL DA UFPE (BRASÍL)

La información de este anexo fue proporcionado gracias a la gentileza del DS.c Silvio Melo, profesor del curso de Arte Naval en la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE), al noreste de Brasil.

El anexo contiene la información de siete tipos de módulos que componen un anillo estructural de la sección maestra de un petrolero “SUEZMAX”. Vale precisar que la información del material proporcionada está en el idioma portugués, y que por motivos de lectura, es colocado un pie de página con la traducción de algunas palabras de portugués al español para facilitar la comprensión.

FUNDO CENTRAL⁵

ALUNO: JOSÉ LUIZ DE MOURA NETO

Código

Cada peça deve ser identificada por um código que especifica o quê ela é, e é usado para rastreá-la no estaleiro.

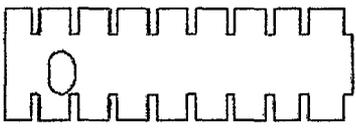
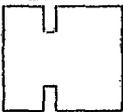
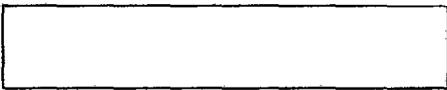
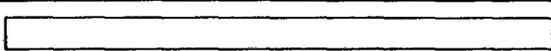
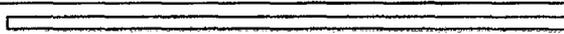
Código: bloco-lado-tipo-número-letra

- Bloco: No caso do anel em estudo os blocos são S,H,K,B,L ou D. O fundo duplo é o bloco K
- Lado: Bombordo (BB) ou Boreste (BE)
- Tipo: Hastilha, Chapeamentos, flange perfil, alma perfil, longarina e etc.
- Número: localização da peça a partir do centro do fundo (1,2,3...)
- Letra: Quando há peças semelhantes, cada uma recebe uma letra do alfabeto, com exceção dos elementos dos perfis em "T".
- Se uma peça for dividida em partes para caber na chapa de 3400x16000mm cada parte recebera uma letra grega

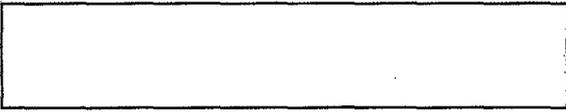
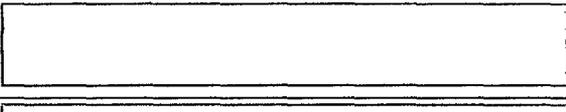
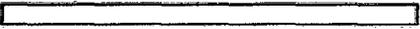
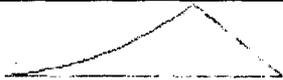
Ex: K-BB-B α -a e K-BB-B β -a

Representação das peças

Tabela: Peças fora de escala

Peça	Representação	Quantidade	Código
Hastilha1		6	H1
Hastilha2		6	H2
longarina		3	L
Alma perfil		20	AP
Flange perfil		20	FP

⁵ Fundo Central (Fondo Central), Peça (Pieza), Bloco (Módulo), Bombordo (Babor), Boreste (Estribor), Hastilha (Varenga), Chapeamentos (planchaje o plancha), Flange perfil (Ala de perfil), Longarina (Carlinga), Borboleta (Consola)

Chapeamento 1		4	C1
Chapeamento 2		4	C2
Chapeamento 3		4	C3
Chapeamento 4		4	C4
Flange da borboleta		3	FB
Parte α da Borboleta		3	B α
Parte β da borboleta		3	B β

Peças e suas áreas

Tabela: Número de peças e área total

Peça	Quantidade	Area total
Hastilha1	6	108.7038m ²
Hastilha2	6	26.64m ²
Chapeamento1	4	149.76m ²
Chapeamento2	4	144m ²
Chapeamento3	4	109.49m ²
Chapeamento4	4	161,28m ²
Longarina	3	112.32m ²
Flange perfil t	20	57.6m ²
Alma perfil t	20	172.8m ²
Borboleta parte α	3	9.4839m ²
Flanges das borboletas	3	9.672m ²
Borboleta parte β	3	9.6462m ²

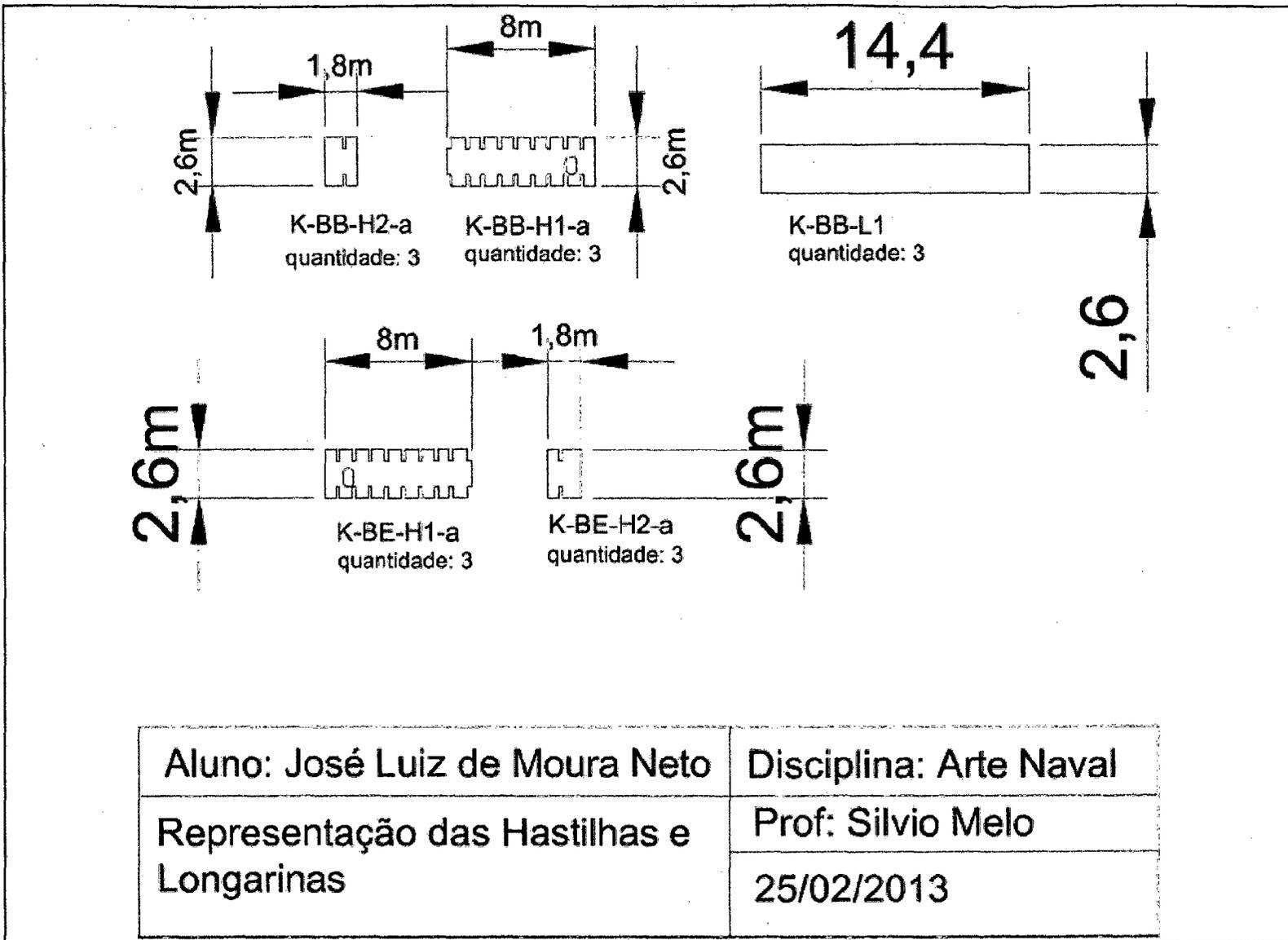
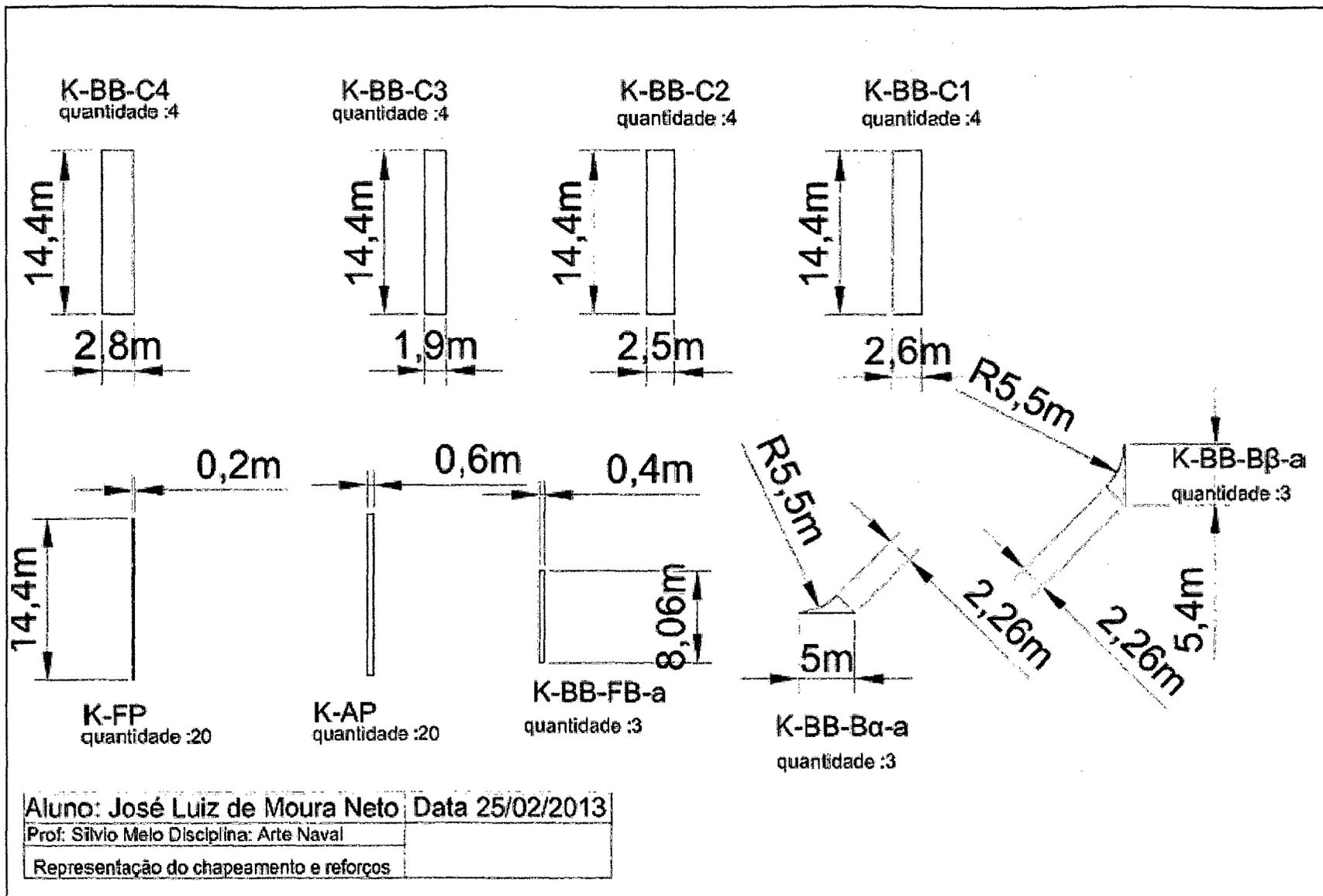


Figura: Representação das hastilhas e longarinas

Figura: Representação do chapeamento e reforços



24 chapas de 16000mmx3400mm

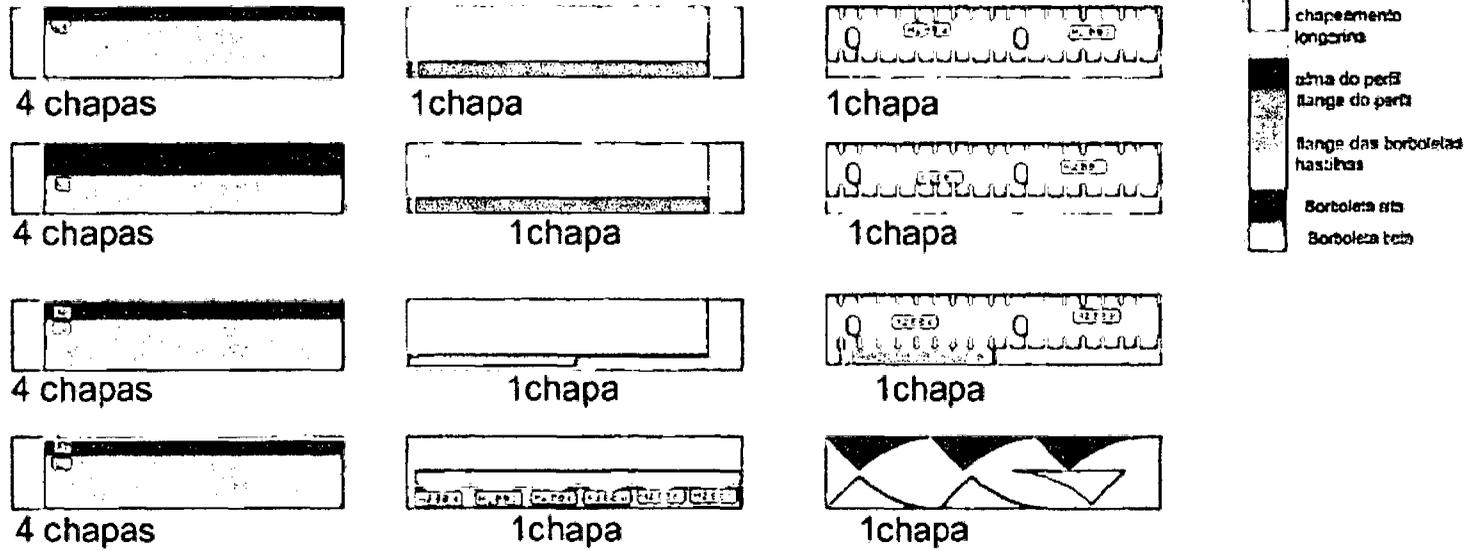


Figura: Nesting das Chapas e Número solicitado

Aluno: José Luiz de Moura Neto | Data 25/02/2013

Prof: Silvio Melo | Disciplina: Arte Naval

Nesting das chapas e número solicitado

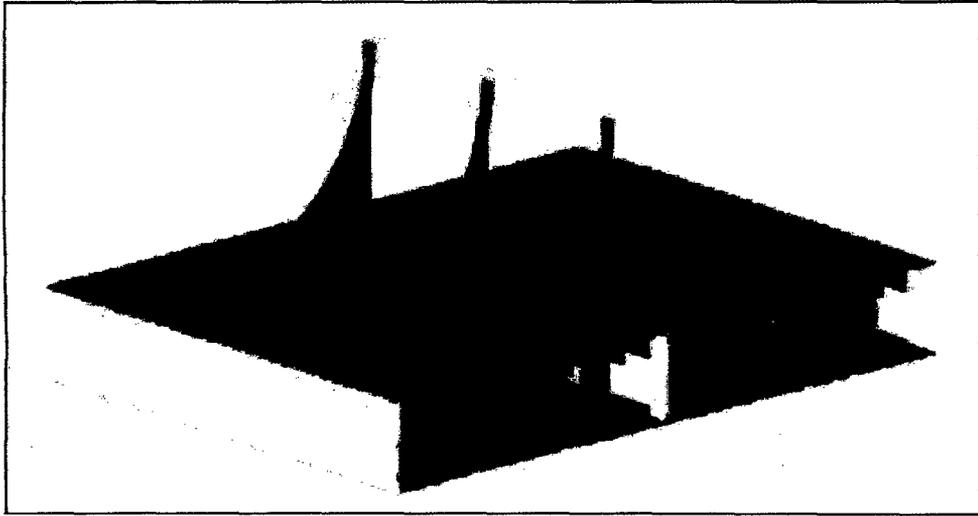


Figura: Fundo central concluído em 3D

FUNDO LATERAL⁶

ALUNO: LUIZ BERNARDO DE SOUZA NETO

Sumário

Para os sub-blocos foi dada como ordem referencial aquela que parte da linha central e vai até a extremidade do fundo duplo. Então os sub-blocos cuja nomenclatura é indicada como G.BE.N.X, onde N corresponde a ordem sub-bloco após a linha central e o X indica a ordem dos espaçamentos dos gigantes. Logo mais abaixo apresenta uma imagem ilustrativa.

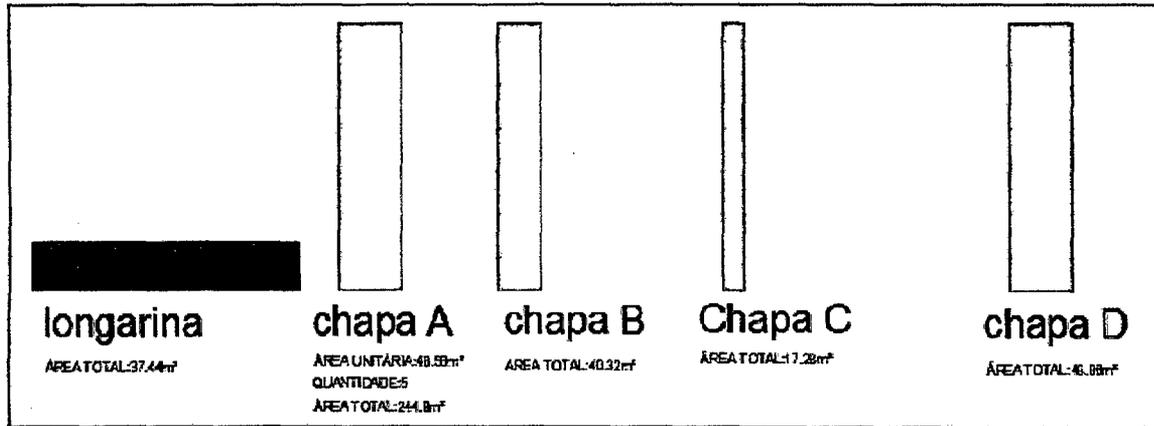
G.BE.1	G.BE.2	G.BE.3
ÁREA UNITÁRIA: 8.9173 m ²	ÁREA UNITÁRIA: 9.44 m ²	ÁREA UNITÁRIA: 13.0217 m ²
QUANTIDADE: 3	QUANTIDADE: 3	QUANTIDADE: 3
ÁREA TOTAL: 26.7519 m ²	ÁREA TOTAL: 28,32 m ²	ÁREA TOTAL: 39.0651 m ²

Esta analogia será utilizada de maneira comum ao longo do relatório quando se tratar de sub-blocos. Já quando for mencionado os reforço longitudinal a nomenclatura será R.BE.AA.T ou R.BE.AA.F, cujo AA indicara a ordem do elemento a partir da linha central. Neste mesmo modelo o T representa a localização do elemento verticalmente, neste caso no teto do fundo duplo, já o F o elemento estaria no fundo do fundo duplo. O reforço é composto pela alma e pelo flange onde estão representados abaixo, com exceção do flange2 que é um reforço que será composto apenas pelo flange.

flange 2	alma	flange
ÁREA UNITÁRIA: 1.76m ²	ÁREA UNITÁRIA: 8.64m ²	ÁREA UNITÁRIA: 2.88m ²
QUANTIDADE: 3	QUANTIDADE: 22	QUANTIDADE: 22
ÁREA TOTAL: 5.28m ²	ÁREA TOTAL: 190.08m ²	ÁREA TOTAL: 63.36m ²

⁶ Fundo lateral (Fondo lateral), Sumário (Resumen), Fundo duplo (Doble fondo), Sub-blocos (Sub-módulos), Gigantes (Bulárcama), Reforço longitudinal (Refuerzo longitudinal), Flange (ala), chapeamento (planchaje), Longarina (Carlinga)

Já quando de se tratar de chapeamento serão dadas a seguintes nomenclaturas, chapa A, chapa B, chapa C e chapa D que corresponde a chapa que ira ser calandrada. E a nomenclatura usada para a longarina irá ser seu próprio nome. A imagem a seguir ilustra o que foi dito anteriormente.



Metodologia e dados do projeto

Sabendo que espaçamento entre gigantes é de 4,8 metros, têm-se que serão necessárias 3 peças idênticas do G.BE.1, 3 peças idênticas do G.BE.1, 3 peças idênticas do G.BE.3.

Portanto sabendo as dimensões de cada sub-bloco e do fundo duplo boreste é possível calcular a demanda de aço de cada parte e total, que serão necessárias para construção da região.

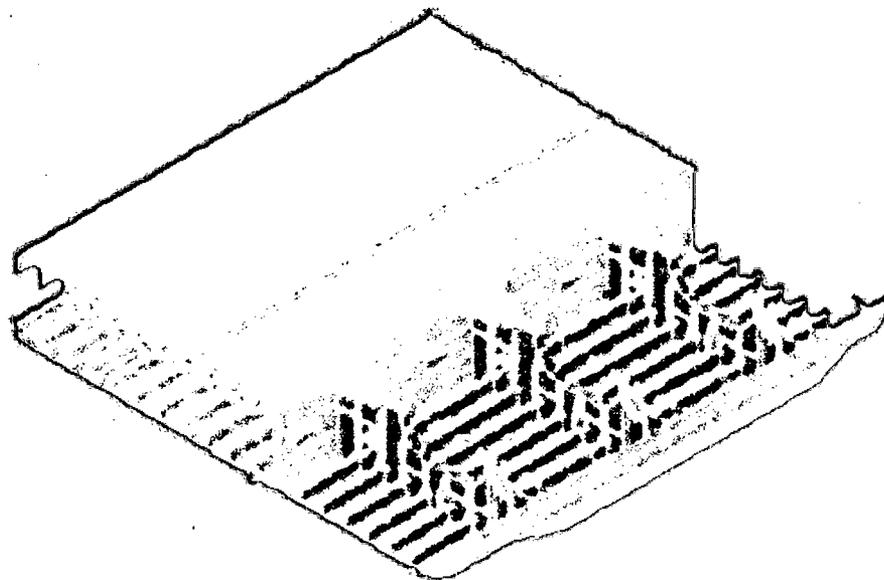
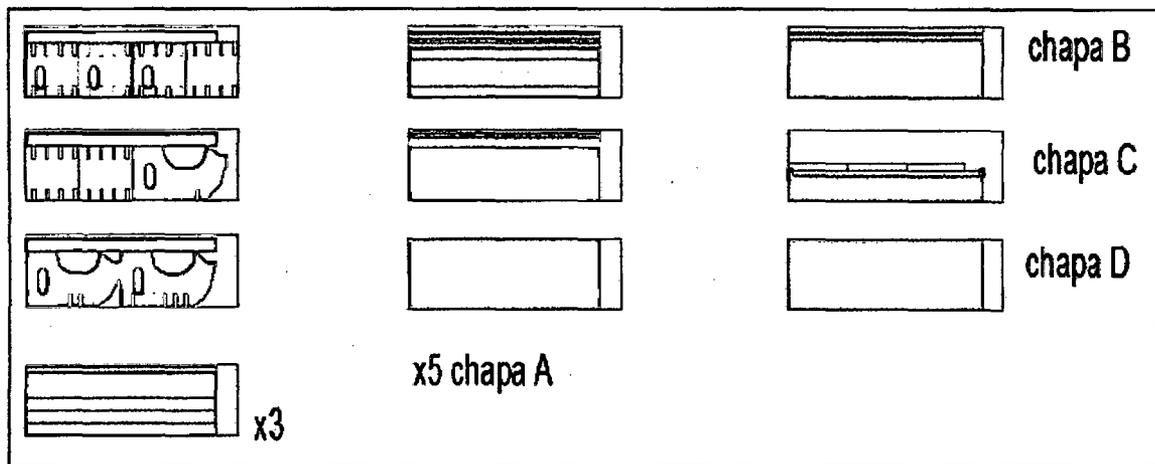
Demanda de aço

- Sub-bloco G.BE.1
Área unitária: 8.9173m²
Área total: 26.7519m²
- Sub-bloco G.BE.2
Área unitária: 9.44m²
Área total: 28.32m²
- Sub-bloco G.BE.3
Área unitária: 13,0217m²
Área total: 39.0651m²
- Chapeamento do fundo duplo
Área total: 351.36m²
- Reforços
Área total: 258.72m²

- Longarina

Área total: 37.44m²

Sabendo que a chapa naval tem dimensões de 3.4 por 16 metros que corresponde a uma área de 54.4m² seria possível estipular os números de chapas sem levar em consideração o formato de cada peça cuja área total seria de 741.657m² que resultaria numa quantidade de 14 chapas navais. Mas como se tem que levar em conta o formato peça essa informação não é adequada, então com o uso do software auto-cad foi possível conformar todas as peças nas chapas navais que resultou numa quantidade de 16 chapas,mas neste trabalho será requisitadas 17 chapas como fator de segurança. A imagem a seguir ilustra o nesting realizado.



HOPPER HANK⁷

ALUNO: BRUNO RAFAEL LIMA FERNANDES

Materiais e Metodologia

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados desenhos disponibilizados pelo professor para que se fossem feitas medições do bloco designado ao estudante. Então deste ponto, às figuras medidas na sua escala (1:200) foram passadas para o computador pelo software Auto-CAD, para melhor visualização, para desenvolver o Nesting, onde foi feita uma otimização das chapas de aço para o menor desperdício possível de material e para futuramente, outra etapa do projeto, impressão desse elemento em uma determinada escala para confecção do sub-bloco, que terá por fim um anel inteiro de um Petroleiro Suezmax.

Serão mostradas a seguir imagens de dos gigantes, reforços, escoas e chapeamento, meramente ilustrativas para um melhor entendimento, onde elas já irão conter as demandas de aço necessárias, com área unitária, Unidades da peça ilustrada e área total. Onde a nomenclatura designada para cada peça será melhor explicada logo abaixo.

As nomenclaturas de todas as peças começam com HTBB, devido ao fato da peças representarem componentes do Hopper Tank (HT) Bombordo (BB). Onde foi se adotada uma ordem que parte da linha central para a extremidade do bloco; frente a ré (gigantes e borboletas) e de baixo para cima; como será detalhado abaixo:

Gigante	
	
HTBBGBx	HTBBGAX
Área= 11,9689m ²	Área= 8,16m ²
03 Unidades	03 Unidades
Área Total= 35,9667m ²	Área Total= 24,48m ²
*Sendo "X" Um numero que varia entre 01 e 03.	

⁷ Gigante (Bulárcama), Bombordo (Babor), Borboleta (Consola), Ré (para atras), Reforço (Refuerzo), Flange (ala), Escoa (Vagra)

Quando se estiver mencionando os gigantes (G) o padrão será HTBBGx e HTBBGBx, será A o elemento que esta mais próximo a linha central e B o elemento mais distante da linha central, e x ira variar de um a três, exemplo: se for o primeiro gigante recebera a nomenclatura HTBBGA01 e HTBBGB01, os que se encontram atrás serão HTBBGA02 e HTBBGB02 e por ultimo, HTBBGA03 e HTBBGB03.

Ao topo onde se encontra a antepara transversal, que se estende alem do comprimento do costado, foram postas borboletas (b) como reforço, onde elas seguem a nomenclatura HTBBbx, onde o "x" segue o mesmo padrão adotado para os gigantes. Devido a existência de somente um flange (F) a borboletas, essa única peça recebe a nomenclatura HTBBbF.

Borboleta	Flange da Borboleta
	
HTBBbx	HTBBFb
Area= 0,5355m ²	Area= 2,88m ²
03 Unidades	01 Unidade
Area Total= 1,6065m ²	Area Total= 2,88m ²

Como a somente um escoa, foi adotada a nomenclatura de HTBBAE, para a alma da escoa (AE), e HTBBFE, para o flange da escoa (FE).

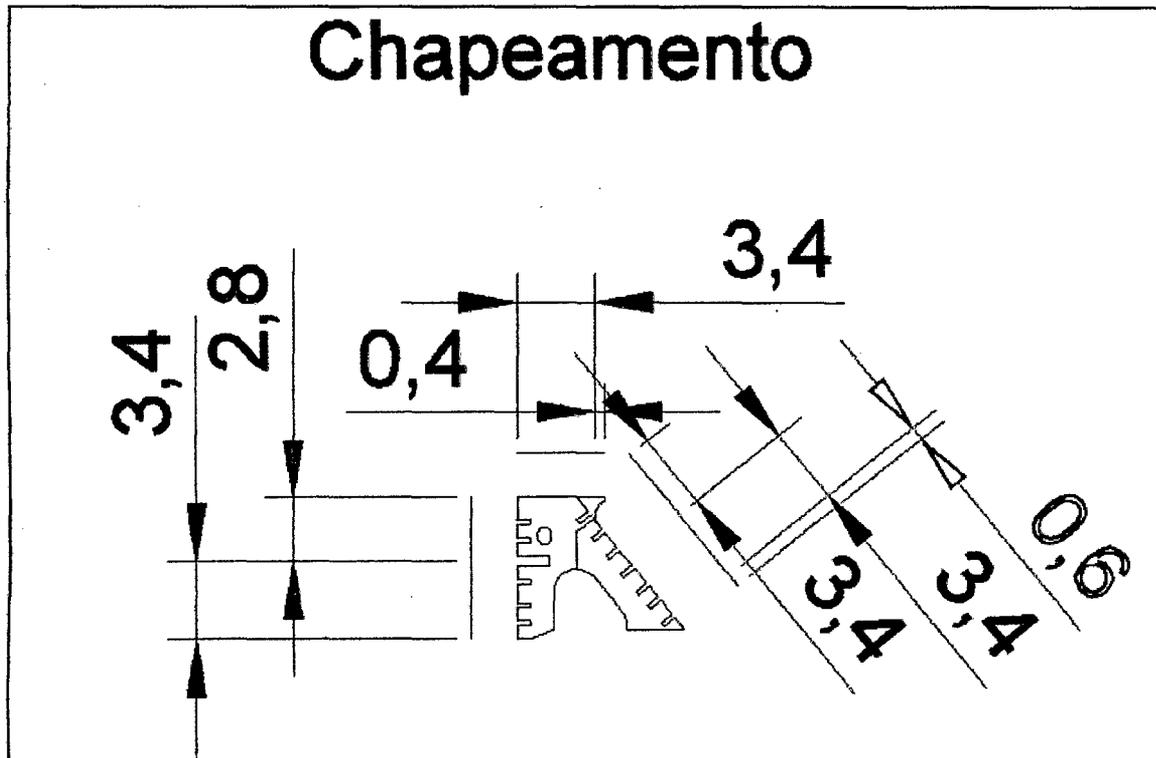
Flange da Escoa	Alma da Escoa
	
HTBBFE	HTBBAE
Area= 5,76m ²	Area= 20,16m ²
01 Unidade	01 Unidades
Area Total= 5,76m ²	Area Total= 20,16m ²

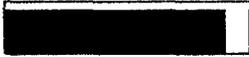
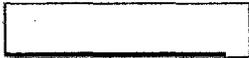
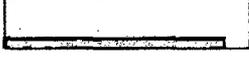
Os elementos de reforço o padrão serão HTBBAPy, para a alma do reforço(AR), e HTBBFPy, para o flange do reforço (FR), onde o "y" do reforço ira variar de forma

crescente de baixo para cima e da linha central para a lateral, onde cada par HTBBAR01 e HTBBFR01 for um reforço em for de "T", como mostrado abaixo:

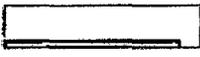
Flange do Perfil	Alma do Perfil
HTBBFPy Area= 8,64m ² 12 Unidades Area Total= 103,68m ²	HTBBAPy Area= 2,88m ² 12 Unidades Area Total= 34,56m ²
*Sendo "y" Um numero que varia entre 1 e 12.	

Os chapeamentos(C) receberão uma nomenclatura de acordo com a parte que se encontra como Lateral Interno, Escoa Gigante e Lateral Externa. Sendo também de acordo com o seu tipo, como aqui a abaixo Mostrado:

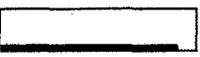


Tipos de Chapas:			
	HTBBC**az	Area: 48,96m ²	04 Unidades Area Total: 195,84m ²
<small>*Sendo "z" um número que depende da região do chapeamento.</small>			
	HTBBC**b	Area: 40,32m ²	01 Unidade Area Total: 40,32m ²
	HTBBC**c	Area: 5,76m ²	01 Unidade Area Total: 5,76m ²
	HTBBC**d	Area: 8,74m ²	01 Unidade Area Total: 8,74m ²
** Será posto a localização do chapeamento.			

O chapeamento Lateral Interno (LI) será representado por HTBBCLiaz, sendo "z" de 01 a 02, e HTBBCLId;

Chapeamento, Lateral Interno.			
	HTBBCLiaz	Area: 48,96m ²	02 Unidades Area Total: 97,92m ²
	HTBBCLId	Area: 8,74m ²	01 Unidade Area Total: 8,74m ²

O chapeamento da Escoa Gigante(EG) será representado por HTBBCEGa e HTBBCEGc;

Chapeamento, Escoa Gigante.			
	HTBBCEGa	Area: 48,96m ²	01 Unidade Area Total: 48,96m ²
	HTBBCEGc	Area: 5,76m ²	01 Unidade Area Total: 40,32m ²

O chapeamento Lateral Exterior (LE) será representado por HTBBCLEa e HTBBCLEb;

Chapeamento, Lateral Exterior.

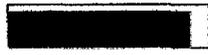


HTBBCLEa

Area: 48,96m²

01 Unidade

Area Total: 48,96m²



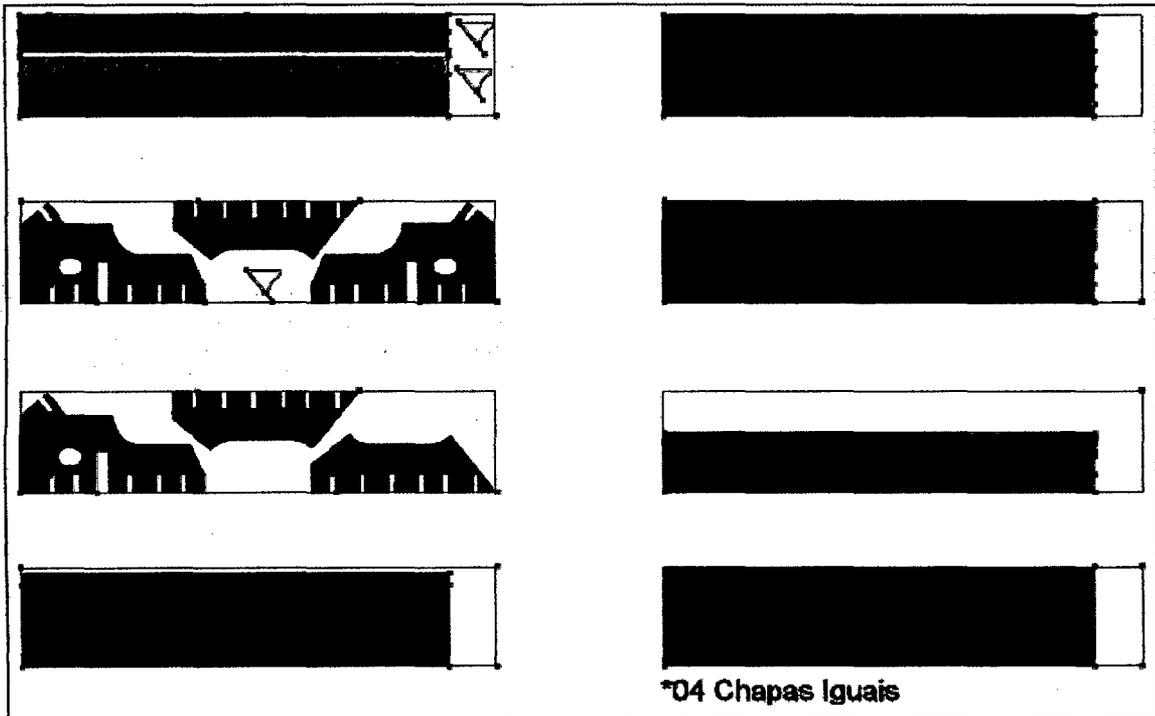
HTBBCLEb

Area: 40,32m²

01 Unidade

Area Total: 40,32m²

O Nesting foi feito manualmente com a ajuda com do Software Auto-CAD, por não ter sido confeccionado por um software dedicado a esta questão, esta sujeito a erros. Contudo se teve um bom rendimento, onde se conseguiu uma utilização de 11 chapas para confecção do Hopper Tank Bombordo Completo e segue abaixo as imagens:



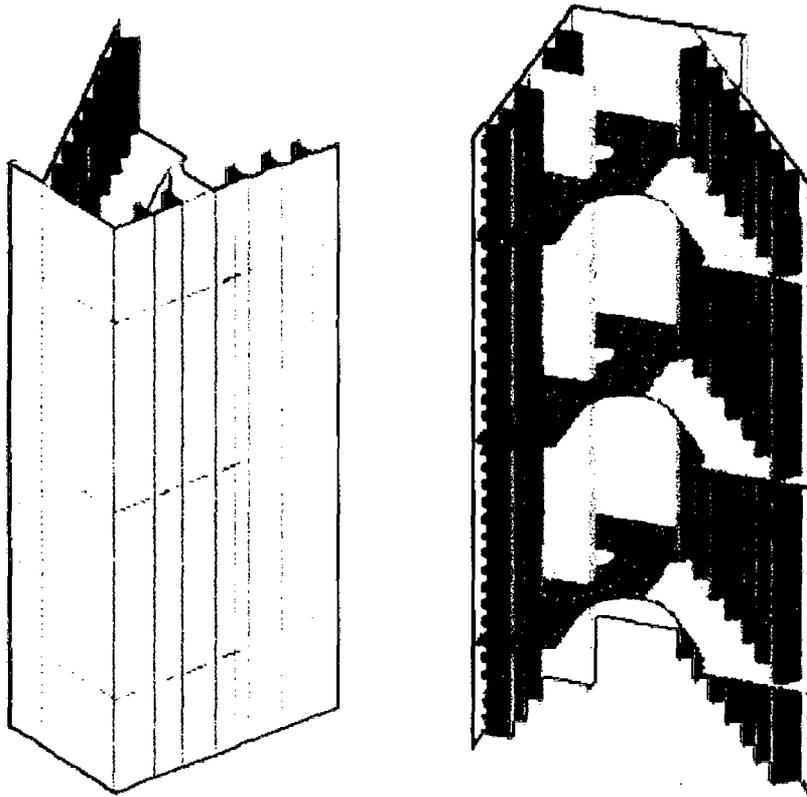


Figura: Representações do Sub-Bloco, a partir de diferentes vistas.

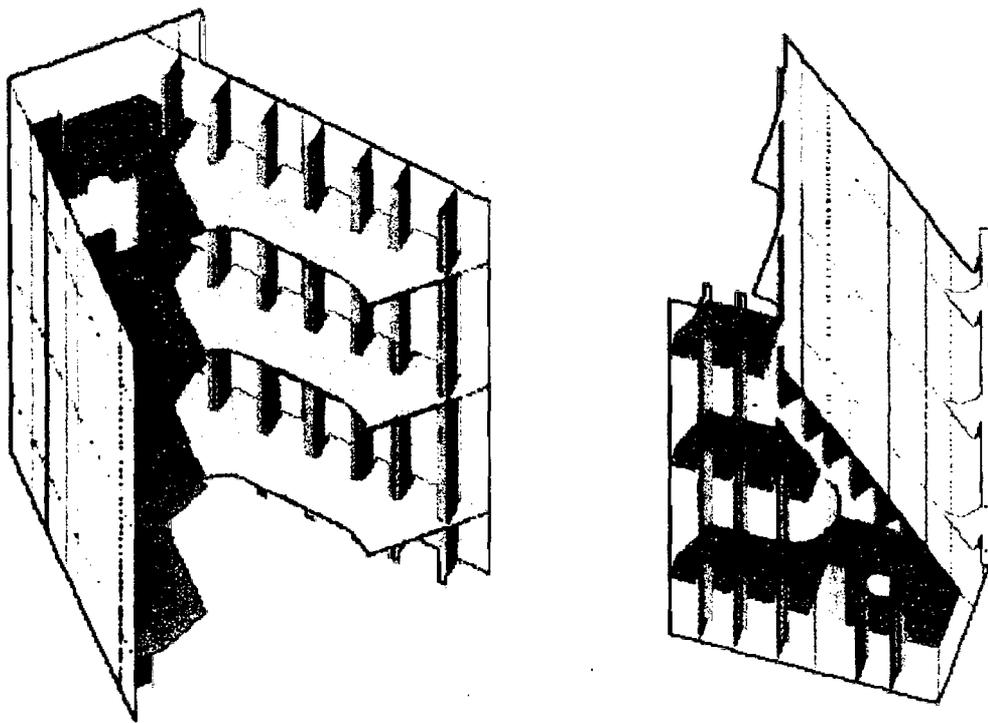


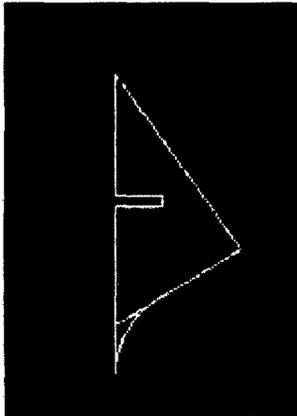
Figura: Representações do Sub-Bloco, a partir de diferentes vistas.

COSTADO⁸

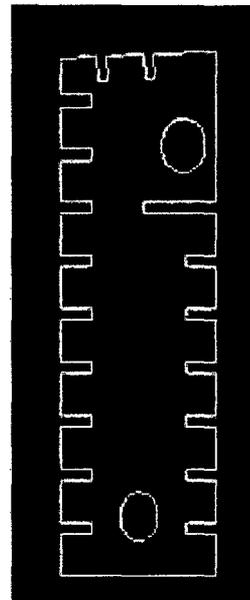
ALUNO: ULYSSES CAYNNÃ AMORIM DE AZEVEDO FERRAZ

Sumário

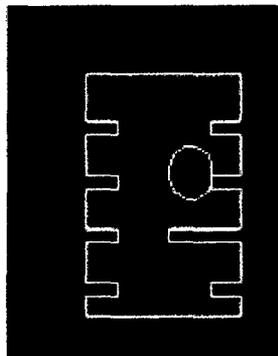
Abaixo estão todas as peças que irão compor O Bloco costado bombordo. Sua Nomenclatura foi feita com base nas iniciais BCBB (Bloco Costado Bombordo) e enumeradas da que está mais acima e a direita pra esquerda descendo. Será feito um único anel e serão utilizados 3 gigantes para a confecção do mesmo. As placas de aço retangulares foram nomeadas da seguinte forma: PTA ou PTF para perfil T, alma (PTA) ou flange (PTF) seguido de sua largura, e as placas que serão utilizadas no chapeamento externo CR seguido de sua largura.



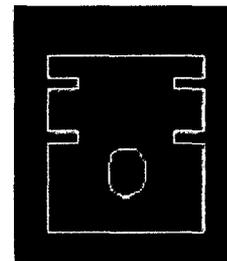
Sub-bloco BCBB-1



Sub-bloco BCBB-2



Sub-bloco BCBB-3



Sub-bloco BCBB-4

⁸ Bloco (Módulo), Sub-bloco (Sub-módulo), Gigantes (Bulárcamas), Chapeamento (planchaje)

Perfis em T

PTF20

PTA50

Necessidade: 29 PTF20 e 26 PTA50

PTF15

PTA40

Necessidade: 2 peças de cada

PTA120

PTA80

Necessidade: 2 PTA120 e 1 PTA80

Placas de aço para perfis T.

CR340

Necessidade: 8 chapas

CR216

Necessidade: 1 chapa

CR223

Necessidade: 1 chapa

CR200

Necessidade: 1 chapa

CR250

Necessidade: 1 chapa

Chapas para revestimento externo

Metodologia e Dados do Projeto

Tendo em mão as dimensões de cada parte do bloco, podemos calcular a área de cada um e fazer uma análise da demanda de aço necessária para construir o bloco costado bombordo.

Área dos perfis T :	332,64 metros ²
Área do chapeamento externo:	527,16 metros ²
Área dos gigantes:	136,2 metros ²

Área total de aço:	996 metros ²
--------------------	-------------------------

Considerando que cada chapa naval possui dimensões de 3,4 x 16 metros e, portanto uma área de 54.4 metros², a quantidade seria de aproximadamente 18,3 chapas navais. Na construção naval nunca é possível utilizar o cem por cento das chapas de aço, portanto, o número de chapas necessárias deve ser dado pelo processo de nesting que considera as peças dentro das placas de aço já visualizando os desperdícios. O processo de nesting resultou em 21 chapas.

No nesting as chapas A e B deram origem aos gigantes, todas as placas com larguras de 15, 20, 40, 50, 80, 120 serão utilizadas nos perfis T as demais placas são para chapeamento lateral. Foram também adicionadas algumas placas extras uma vez que essa adição não alteraria o número de chapas navais a serem utilizadas, essas placas ficarão de reserva.

ANTEPARA CENTRAL⁹

ALUNA: CÁSSIA DE OLIVEIRA

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO BLOCO DESIGNADO

O bloco designado para a construção da maquete foi a Antepara central, que possui reforços longitudinais em perfil T de 400x150mm, duas escoas de 14400x800mm e 14400x1200mm, largura maior de 7,2m e altura de 18m, além de um furo de elipse com eixo maior de 1m e eixo menor de 0,6m. Utilizando o software AutoCAD, desenhou-se a representação desse bloco completo, já com as caixas que envolvem os reforços longitudinais e o furo de elipse, para que houvesse a posterior separação das peças.

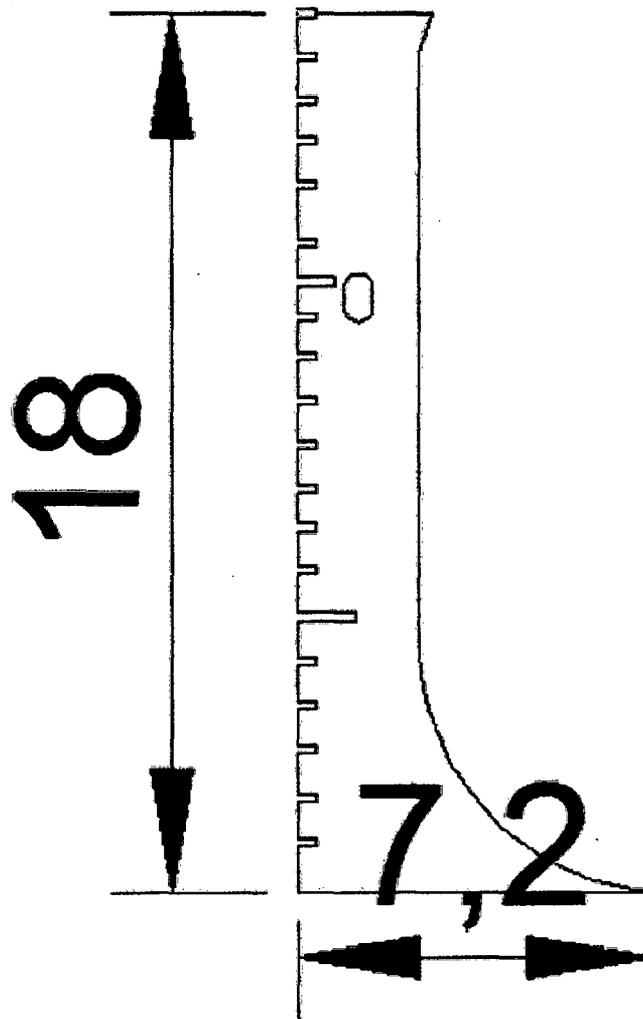


Figura 1: Bloco designado Antepara Central

⁹ Antepara central (Mamparo central), Reforço longitudinais (Refuerzo longitudinal), Escoa (Vagra), Sub-blocos (Sub-módulos), Peças (Piezas), Flange (ala), Eixo (Eje)

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS SUB-BLOCOS E DAS PEÇAS

Devido aos finais de chapa marcados na seção mestra estrutural, e para a facilitação na etapa de construção da maquete, dividiu-se o bloco em três sub-blocos, conforme mostra as delimitações em linha verde na figura 2.

Cada sub-bloco foi representado separadamente, de acordo com as medidas obtidas do desenho, como mostra a figura 3. Além disso, o software foi utilizado para mostrar as respectivas medidas de cada peça, assim mostrado na figura 4.

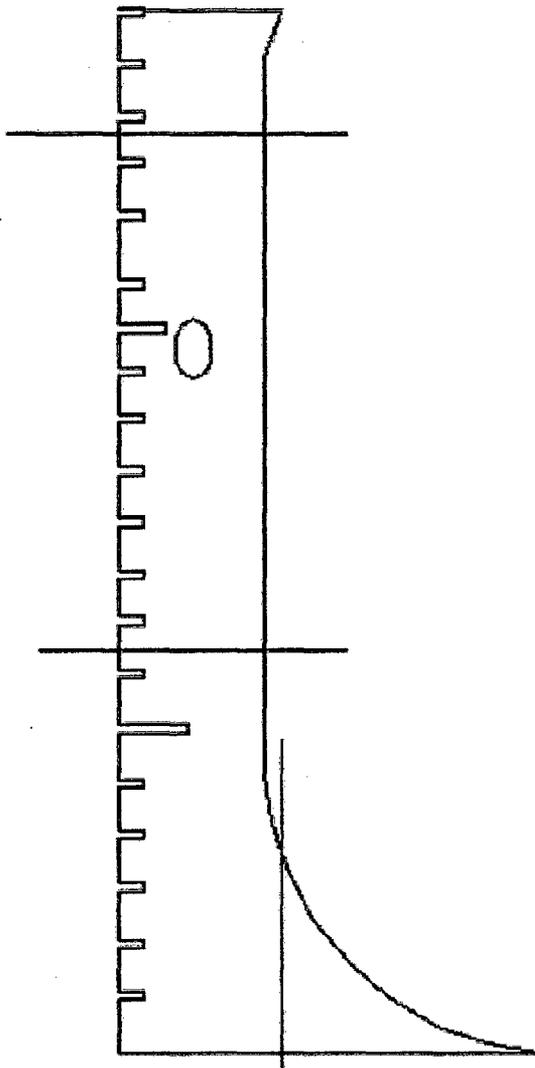


Figura 2: Divisão do bloco designado

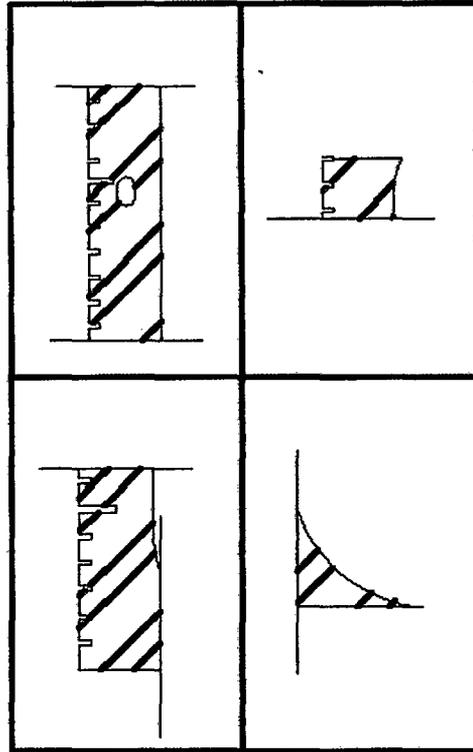


Figura 3: Representação gráfica dos sub-blocos ou peças

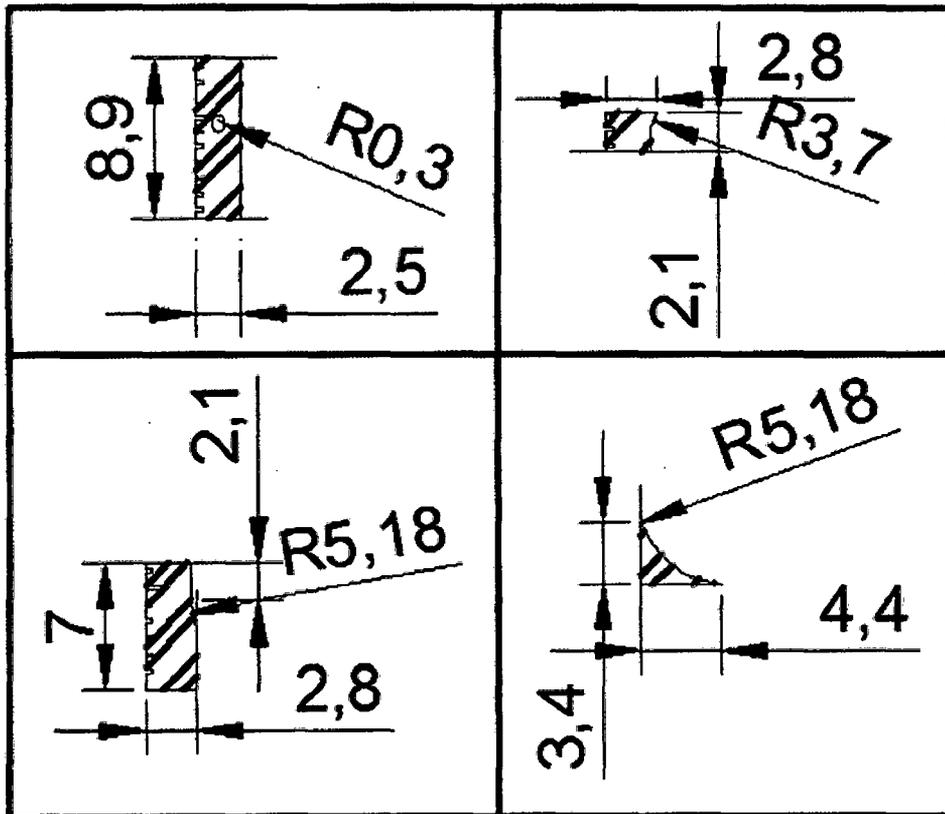


Figura 4: Medidas de cada sub-bloco

Sabendo que, além dos sub-blocos representados, existem os reforços longitudinais em perfil T 400x150mm, as duas escoas, e o chapeamento lateral, foram criadas as representações gráficas, também, dessas peças.

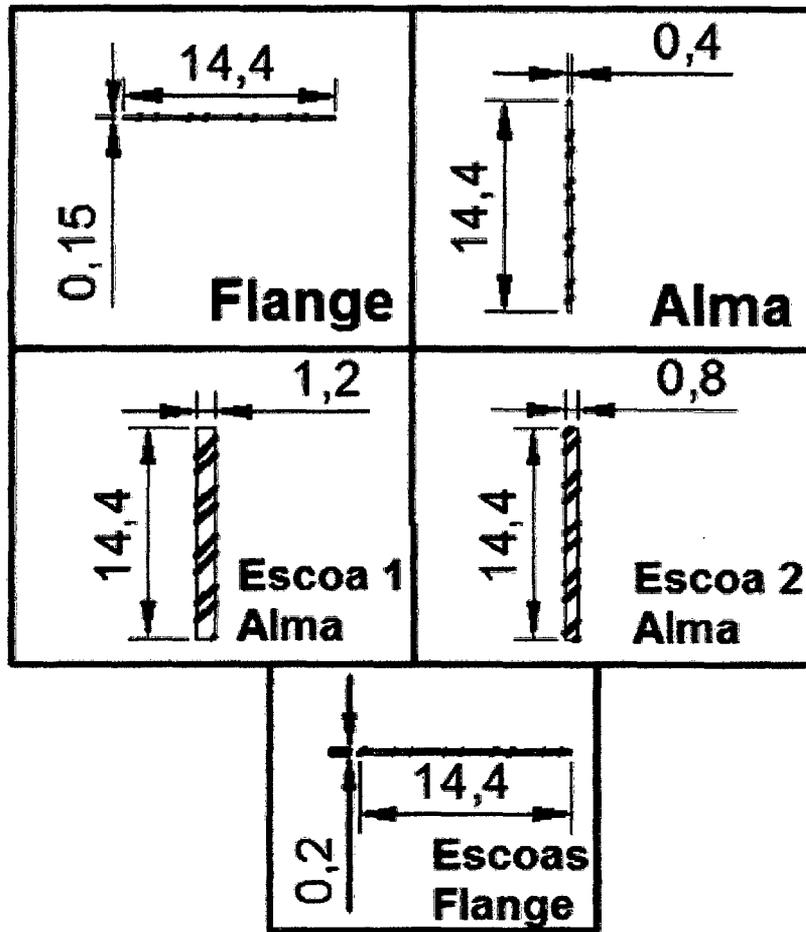


Figura 5: Representação gráfica dos componentes dos reforços longitudinais

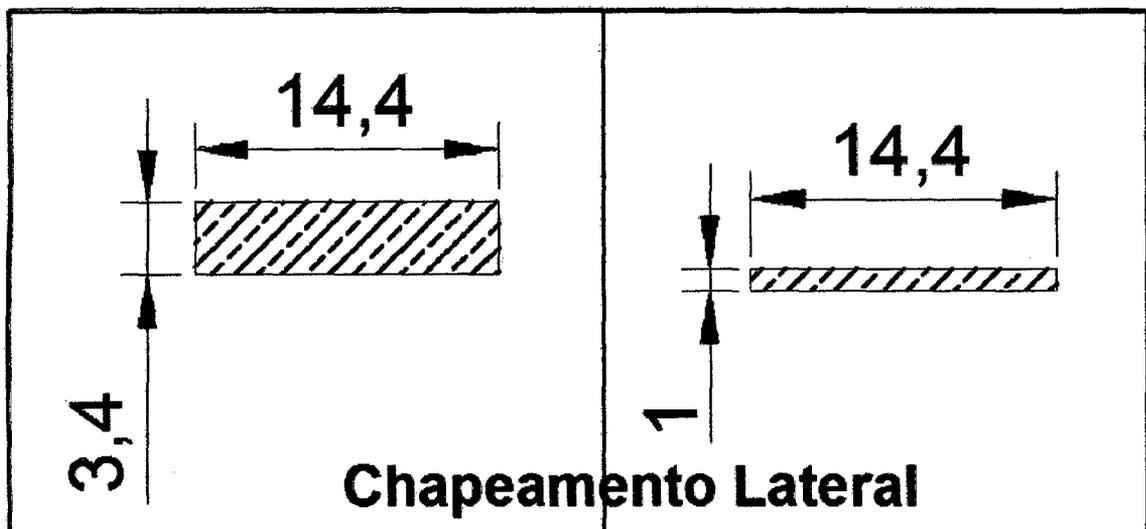


Figura 6: Representação gráfica do chapeamento lateral

Além dos flanges dos reforços longitudinais, existe um flange lateral, que será dividido conforme a divisão do bloco. A largura desses flanges é igual a 400mm.

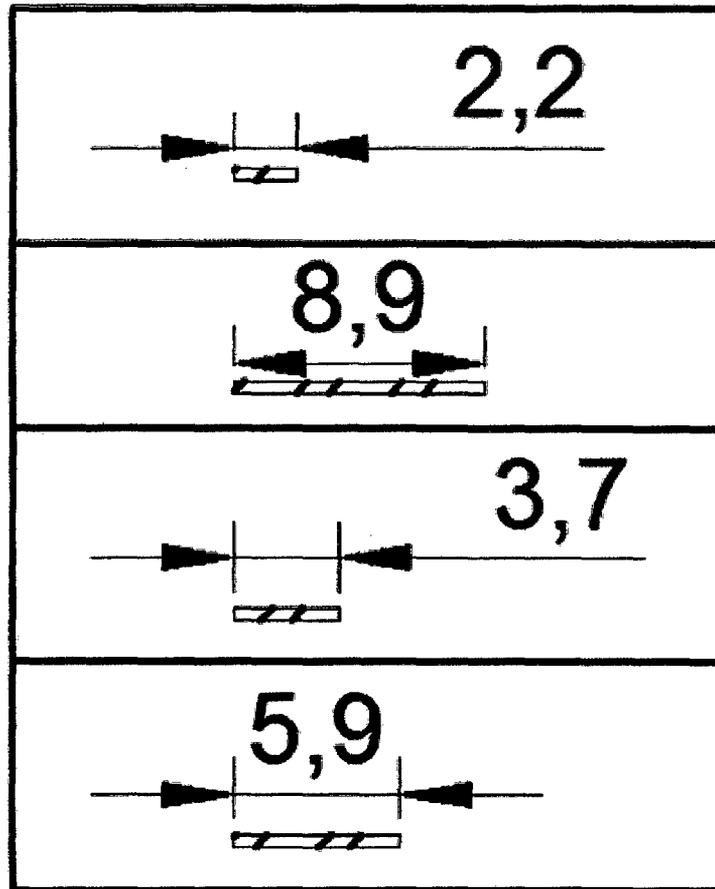


Figura 7: Representação gráfica dos flanges laterais

IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS

Para organizar as peças depois de cortadas, e realizar uma sequência de montagem mais eficiente, as peças são marcadas com uma nomenclatura.

Na antepara central, os sub-blocos são nomeados seguindo o seguinte padrão: AC-PxyD-SC1, em que AC significa antepara central, Px é a posição do sub-bloco em relação ao corte realizado no eixo horizontal, da lateral esquerda para direita, y é a posição do sub-bloco em relação ao corte realizado no eixo vertical, do fundo para a extremidade superior, D é a posição do gigante e Sc1 significa que é a seção 1.

Os perfis T seguem a seguinte nomenclatura: AC-FLn-SC1, para o flange, em que n é o número do flange do fundo para a extremidade superior; e AC-ALn-SC1, para a alma, em que n é o número da alma do fundo para a extremidade superior. As escoas são constituídas de flange e alma, assim como os reforços longitudinais perfil T, então para o flange da escoa a identificação será: AC-EFLn-SC1, e para a alma da escoa

temos AC-EALn-SC1, em que n é o número da escoa do fundo para a extremidade superior.

O chapeamento, por sua vez, é nomeado da seguinte maneira: AC-CHLn-SC1, em que n é o número da chapa de baixo para cima e CHL designa chapeamento lateral.

Para os flanges laterais, a identificação será: AC-FLLnD-SC1, em que FLL significa flange lateral, n é o número do flange conforme o bloco, de baixo para cima, D é a posição do gigante e SC1 designa seção 1.

QUANTIDADES NECESSÁRIAS DAS PEÇAS EM NÚMERO

Como o anel é composto por três gigantes, precisa-se de três peças de cada sub-bloco AC-PxyD-SC1. O bloco tem dezoito reforços longitudinais, sendo 12 cortando a peça AC-P12-SC1 (um está entre a antepara central e o convés boreste) e 6 cortando a peça AC-P11-SC1, então precisa-se de 18 flanges e 18 almas. Como os flanges laterais seguem os sub-blocos, são necessárias 3 unidades de cada tipo de flange lateral. Há duas escoas: uma de 14,4x,8m e outra de 14,4x1,2m. No chapeamento, são usadas 5 chapas de dimensões 14,4x3,4m e uma com dimensão 14,4x1m.

As quantidades necessárias em número estão resumidas nas tabelas abaixo:

Tabela 1: Quantidade necessária de cada peça em número

PEÇA	QUANTIDADE
AC-P11D-SC1	3
AC-P12D-SC1	3
AC-P13D-SC1	3
AC-P21D-SC1	3
AC-ALn-SC1	18
AC-FLn-SC1	18
AC-FLL4D-SC1	3
AC-FLL3D-SC1	3
AC-FLL2D-SC1	3
AC-FLL1D-SC1	3
AC-EFLn-SC1	2
AC-EAL1-SC1	1
AC-EAL2-SC1	1
AC-CHL1-SC1	1
AC-CHLn-SC1 (n de 2 a 6)	5

QUANTIDADES DAS PEÇAS EM ÁREA

Para cada peça, criou-se um ortoedro envolvente, calculando a área total dele, e depois foram subtraídas da área total as áreas das caixas que envolvem os reforços longitudinais, da elipse e das curvas. Os dados obtidos estão nas tabelas abaixo.

Tabela 2: Áreas úteis dos sub-blocos

PEÇA	ÁREA DE 1 SUB-BLOCO (m ²)	ÁREA DE 3 SUB-BLOCOS (m ²)
AC-P11D-SC1	18,09	54,27
AC-P12D-SC1	21,03	63,09
AC-P13D-SC1	5,21	15,63
AC-P21D-SC1	4,43	13,3

Tabela 3: Áreas dos componentes dos reforços longitudinais

PEÇA	ÁREA DE 1 PEÇA (m ²)	ÁREA DE 18 PEÇAS (m ²)
AC-FLn-SC1	2,16	38,88
AC-ALn-SC1	5,76	103,68
AC-EFLn-SC1	2,88	-
AC-EAL1-SC1	17,28	-
AC-EAL2-SC1	11,52	-

Tabela 4: Área do chapeamento

PEÇA	ÁREA DE 1 PEÇA (m ²)	ÁREA DE 5 PEÇAS (m ²)
AC-CHLn-SC1	48,96	244,8
AC-CHL1-SC1	14,4	-

Tabela 5: Área dos flanges laterais

PEÇA	ÁREA DE 1 PEÇA (m ²)	ÁREA DE 3 PEÇAS (m ²)
AC-FLL1D-SC1	2,36	7,08
AC-FLL2D-SC1	1,48	4,44
AC-FLL3D-SC1	3,56	10,7
AC-FLL4D-SC1	0,88	2,64

OTIMIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS PEÇAS NAS CHAPAS NAVAIS

Para realizar o pedido do número de chapas ao fornecedor, faz-se necessário uma otimização da disposição das peças nas chapas navais, que possuem dimensões 3,4x16m, para que evite desperdício de material. Essa técnica de aproveitamento máximo do aço fornecido é denominada Nesting.

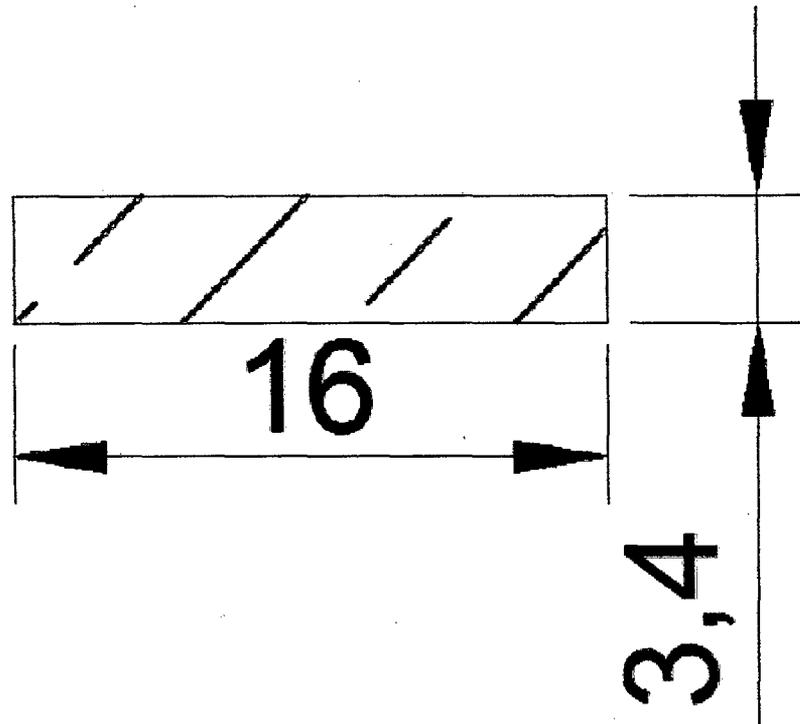
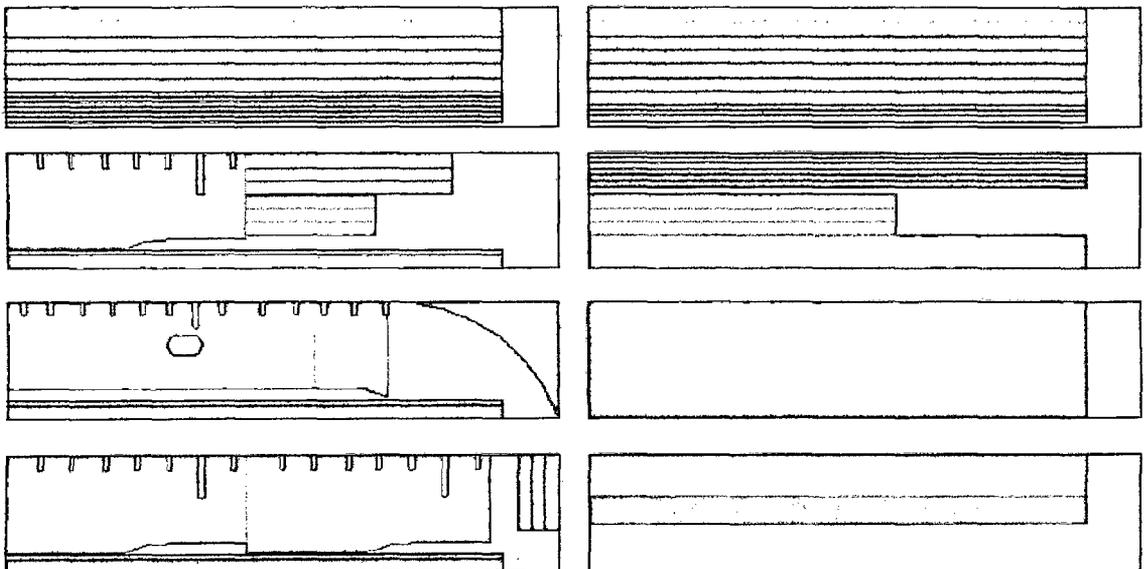


Figura 8: Representação gráfica da chapa naval fornecida

No nesting produzido no software AutoCAD, temos as disposições mostradas na figura 9 e as quantidades necessárias de cada configuração na tabela 6, sendo contabilizada a numeração da chapa de cima para baixo, da esquerda para direita.



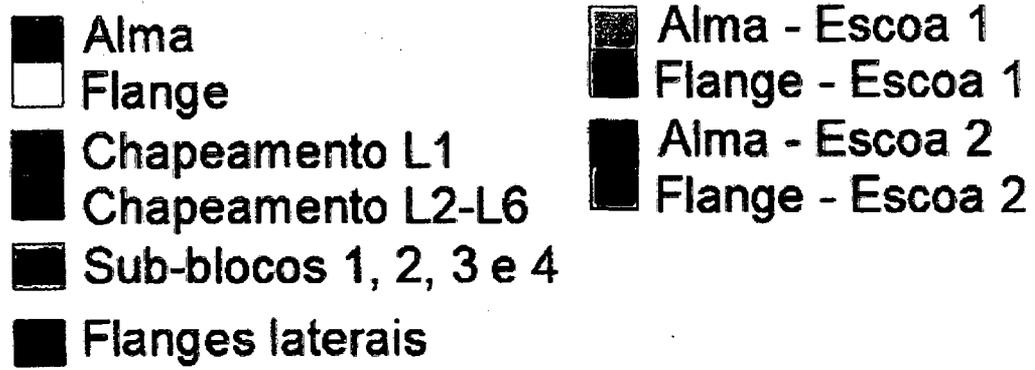


Figura 9: Otimização das peças nas chapas navais

Tabela 6: Quantidades de cada chapa do nesting

CHAPA	QUANTIDADE
1	1
2	1
3	3
4	1
5	1
6	1
7	5
8	1

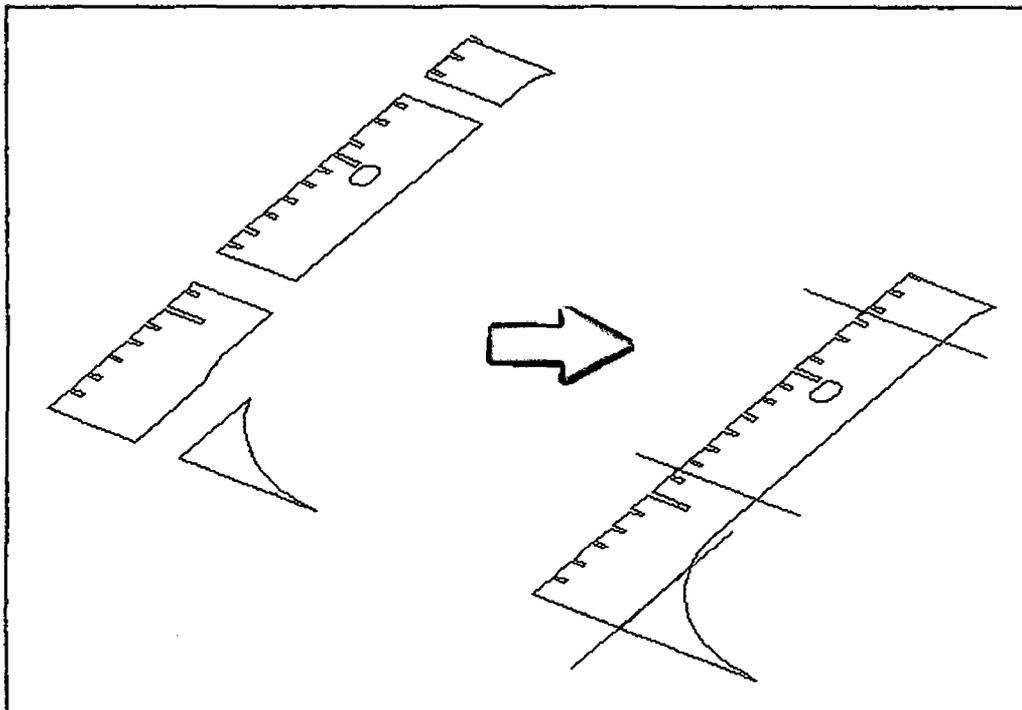


Figura 10: Representação gráfica da formação dos gigantes

CONVÉS BB¹⁰

ALUNO: RAFAEL DE CASTRO SILVA SIVINI

IDENTIFICAÇÃO E NOMECLATURA

Inicialmente, nos foi fornecido uma representação, em escala de 1:200, da Seção Mestra Estrutural de um Petroleiro, no qual tivemos que identificar e extrair as respectivas medidas e geometrias, em escala real, de cada elemento estrutural.

IDENTIFICAÇÃO SUBDIVISÃO DAS PARTES

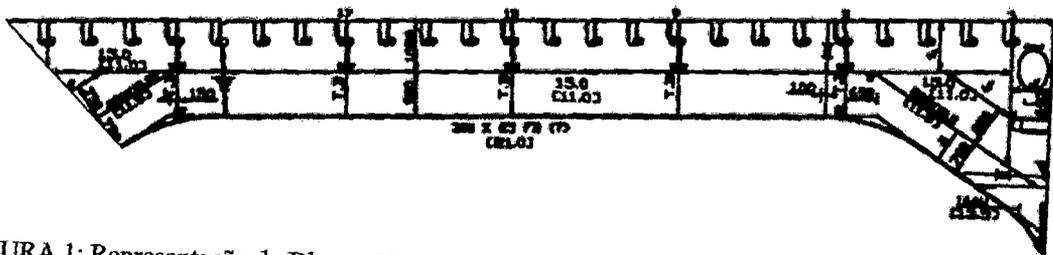


FIGURA 1: Representação do Bloco - Vau Gigante Convés Bombordo. Fonte: Requerimento do Projeto

Ao identificar cada elemento, subdividimos o Bloco em quatro partes, de acordo com o diagrama a seguir:

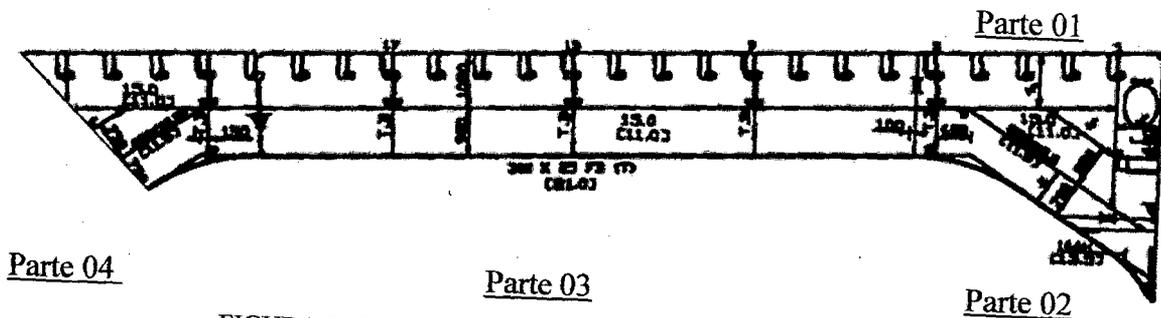


FIGURA 2: Subdivisão do Bloco. Fonte: Requerimento do Projeto

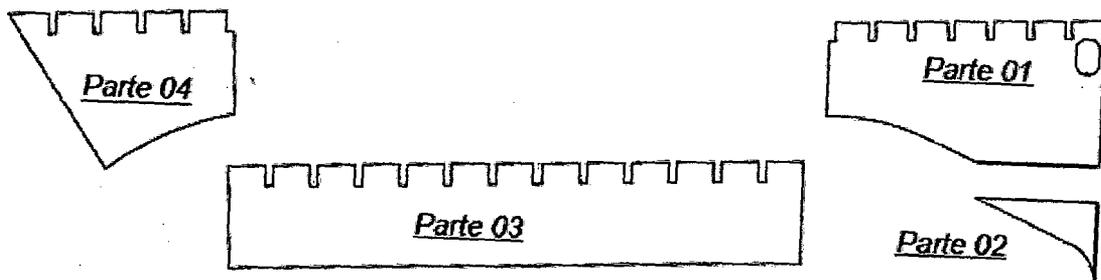


FIGURA 3: Representação esquemática das peças após subdivisão do Bloco. Fonte: Requerimento do Projeto

¹⁰ Convés (Cubierta), Bombordo (Babor), Seção mestra (Sección maestra), Vau gigante convés (Bao de cubierta), Flange (Ala), Reforço longitudinal (Refuerzo longitudinal), Montagem (Montaje)

Além disso, também foi verificada a existência dos demais elementos estruturais:

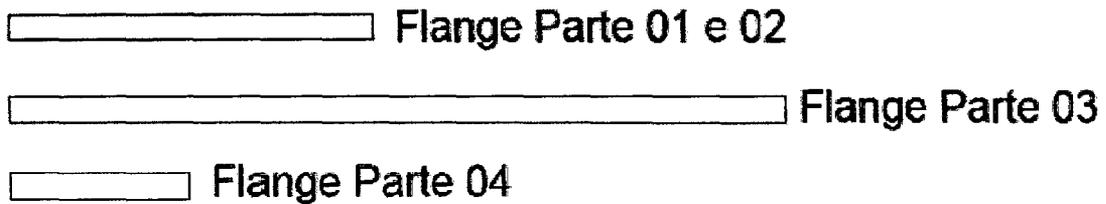


FIGURA 4: Identificação e Representação dos Flanges. Fonte: Requerimento do Projeto

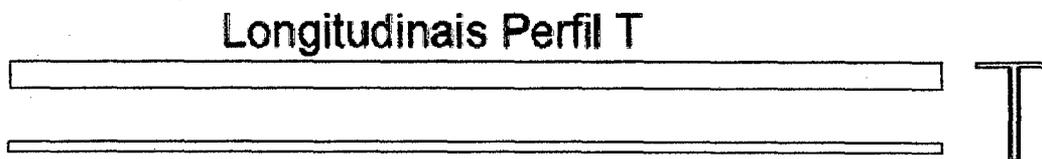


FIGURA 5: Identificação dos Reforços Longitudinais de Perfil T. Fonte: Requerimento do Projeto

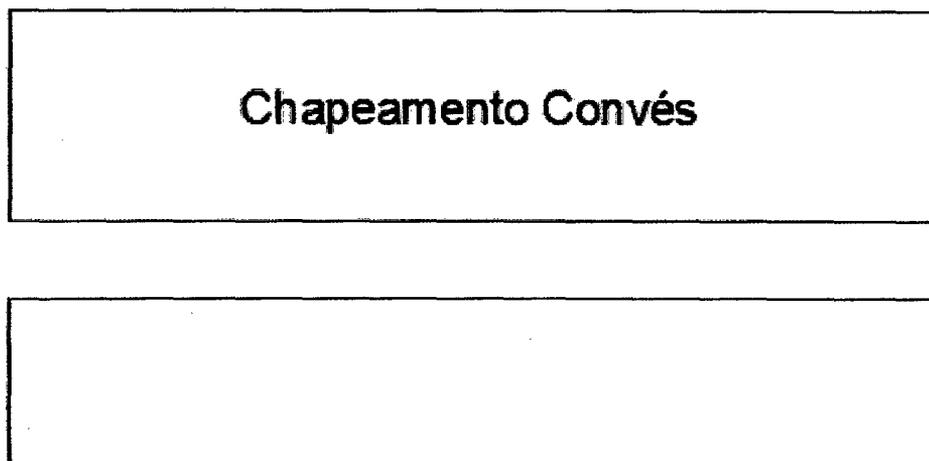


FIGURA 6: Identificação e divisão do Chapeamento Convés Bombordo. Fonte: Requerimento do Projeto

NOMECLATURA DAS PARTES

Foi criado um código de nomenclatura e identificação para cada peça do *Bloco*, onde foi levado em consideração a sua posição em relação à linha central da *Seção Mestra* e sua localização no referido *Bloco*, de acordo com a tabela a seguir:

NOMECLATURA	SIGNIFICADO
VGBB	Vau Gigante Bombordo
01	Parte 01
02	Parte 02
03	Parte 03
04	Parte 04
A	Primeiro Gigante

B	Segundo Gigante
C	Terceiro Gigante
ALC	Alma Longitudinal Convés Perfil T
FLC	Flange Longitudinal Convés Perfil T
FCBB	Flange Convés Bombordo
CCBB	Chapeamento Convés Bombordo
1,2,3,4,5,...,24	Posicionamento de cada Reforço ou Chapeamento a partir da Linha Central da Seção Mestra

DIMENSIONAMENTO DAS PARTES

Após extrairmos as medidas e formas geométricas de cada componente e representarmos no software *AutoCAD*, na escala 1:1, obtivemos os valores de suas respectivas áreas.

$$\left. \begin{array}{l} VGBB01A \\ VGBB01B \\ VGBB01C \end{array} \right\} A = 16,50 \text{ m}^2 \text{ (Valor unitário)} \times 3 = 49,50 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} VGBB02A \\ VGBB02B \\ VGBB02C \end{array} \right\} A = 1,80 \text{ m}^2 \text{ (Valor unitário)} \times 3 = 5,40 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} VGBB03A \\ VGBB03B \\ VGBB03C \end{array} \right\} A = 22,30 \text{ m}^2 \text{ (Valor unitário)} \times 3 = 66,90 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} VGBB04A \\ VGBB04B \\ VGBB04C \end{array} \right\} A = 8,90 \text{ m}^2 \text{ (Valor unitário)} \times 3 = 26,70 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} FCBB0102A \\ FCBB0102B \\ FCBB0102C \end{array} \right\} A = 2,40 \text{ m}^2 \text{ (Valor unitário)} \times 3 = 7,20 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} FCBB03A \\ FCBB03B \\ FCBB03C \end{array} \right\} A = 5,12 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 3 = 15,36 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} FCBB04A \\ FCBB04B \\ FCBB04C \end{array} \right\} A = 1,20 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 3 = 3,60 \text{ m}^2$$

$$ALC1, \dots, ALC24 \quad A = 5,76 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 24 = 138,24 \text{ m}^2$$

$$FLC1, \dots, FLC24 \quad A = 2,16 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 24 = 51,84 \text{ m}^2$$

$$CCBB1, CCBB7 \quad A = 38,88 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 2 = 77,76 \text{ m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} CCBB2 \\ CCBB3 \\ CCBB4 \\ CCBB5 \\ CCBB6 \end{array} \right\} A = 48,96 \text{ m}^2 (\text{Valor unitário}) \times 5 = 244,8 \text{ m}^2$$

De acordo com os dados obtidos, temos:

$$A_{\text{total}} = 687,46 \text{ m}^2 (\text{Área total de Chapas})$$

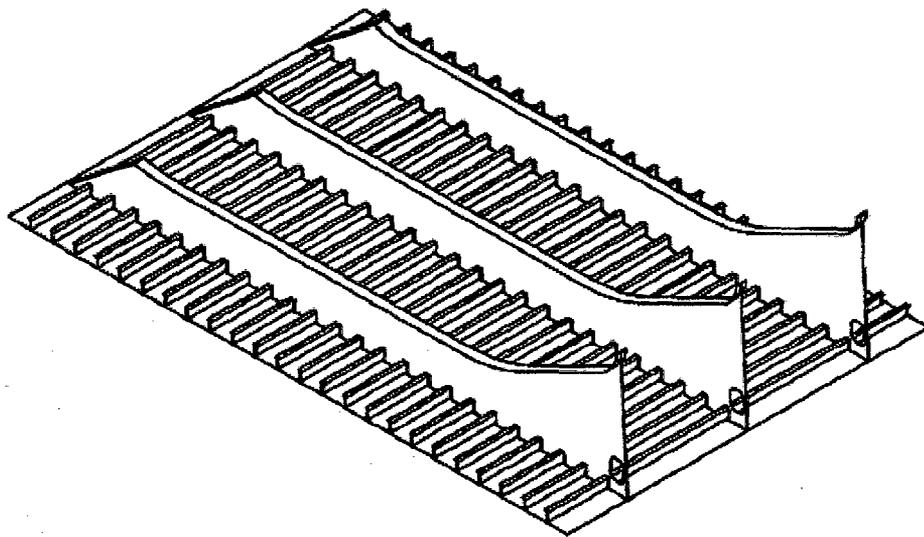


FIGURA 7: Montagem do Bloco

CONVÉS BE¹¹

ALUNO: ALEXANDRE MARQUES KOURY MONTEIRO

1. REPRESENTAÇÃO DAS PEÇAS DO BLOCO D BORESTE

A seguir estão expostos os desenhos de cada uma das peças do bloco D boreste. Um sistema de nomenclatura das peças foi criado, de maneira a auxiliar referências a elas e, conseqüentemente, facilitar o posterior processo de planejamento e construção do bloco.

1.1. SISTEMA DE NOMENCLATURA

O sistema foi idealizado como uma maneira que torne rápida a localização da peça dentro do bloco. Assim, a nomenclatura de cada peça inicia com a letra D, representando o bloco, conta um indicativo de seu tipo, utilizando letras, seguido de um indicativo de sua posição através de números e de uma indicação sua caverna, por uma só letra, de A a C. As letras BE, indicativas de “boreste” também aparecem em todas as peças.

A forma básica da nomenclatura utilizada é DTTBEn-X, em que as letras T, n e X representam tipo, posição e caverna, respectivamente e a letra D indica o bloco D. Os tipos de peça e a forma com que aparecem na nomenclatura são os que seguem:

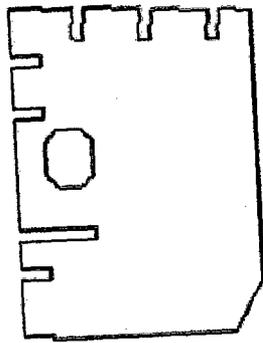
- VG – Vau Gigante;
- AP e FP – Alma e Flange de Perfil, respectivamente;
- FVG – Flange de Vau Gigante;
- AE e FE – Alma e Flange de escoa, respectivamente;

A posição é determinada a partir de uma contagem cuja ordem crescente é primeiramente o sentido que vai da linha central até a extremidade boreste do navio e em seguida o sentido vertical do topo do porão ao bloco de fundo, sendo esta última necessária apenas no caso dos perfis T.

1.2. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

As peças que compõem as cavernas gigantes são as que seguem:

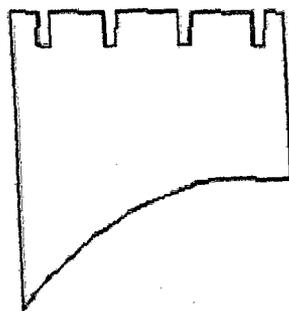
¹¹ Convés (Cubierta), Boreste (Estribor), Peça (Pieza), Bloco (Módulo), Caverna (Cuaderna), Vau Gigante (Bao de cubierta), Flange (Ala), Escoa (Vagra), Montagem (Montaje)



DVGBE1-X

Área: 12,7456 m²

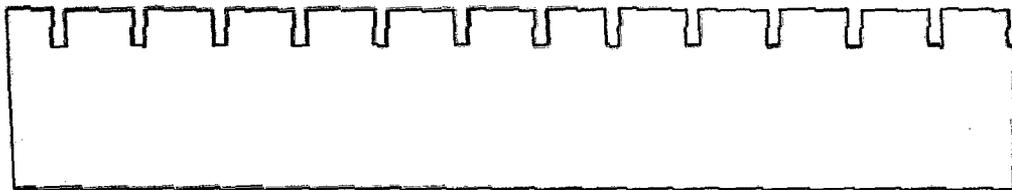
Figura 1: Primeira peça do vau gigante



DVGBE2-X

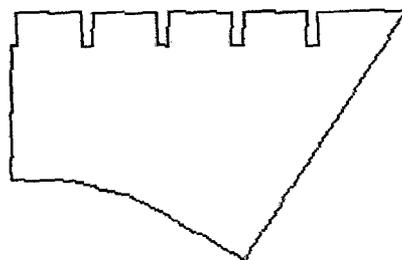
Área: 7,7948 m²

Figura 2: Segunda peça do vau gigante



DVGBE3-X **Área: 21,7131 m²**

Figura 3: Terceira peça do vau gigante



DVGBE4-X

Área: 9,0436 m²

Figura 4: Quarta peça do vau gigante

As peças que formarão os reforços são:

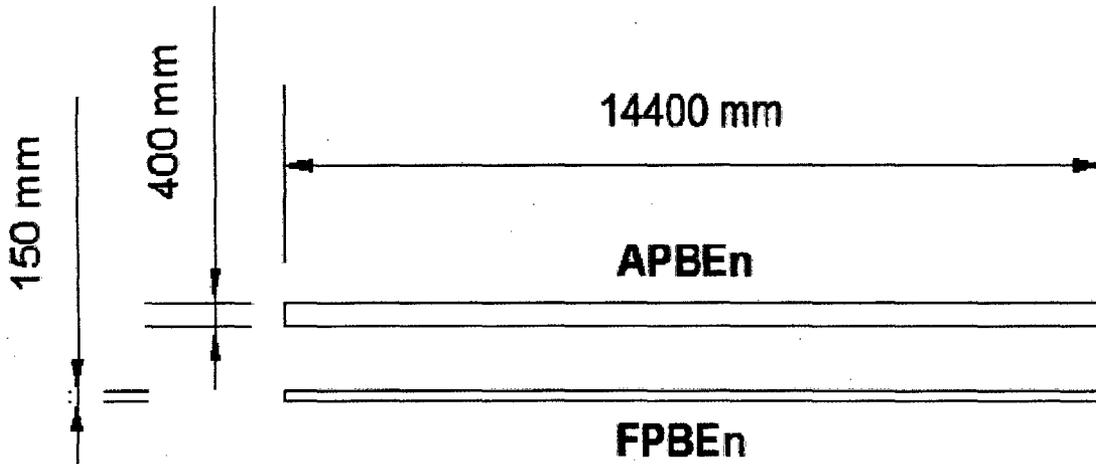


Figura 5: Alma e Flange dos perfis T

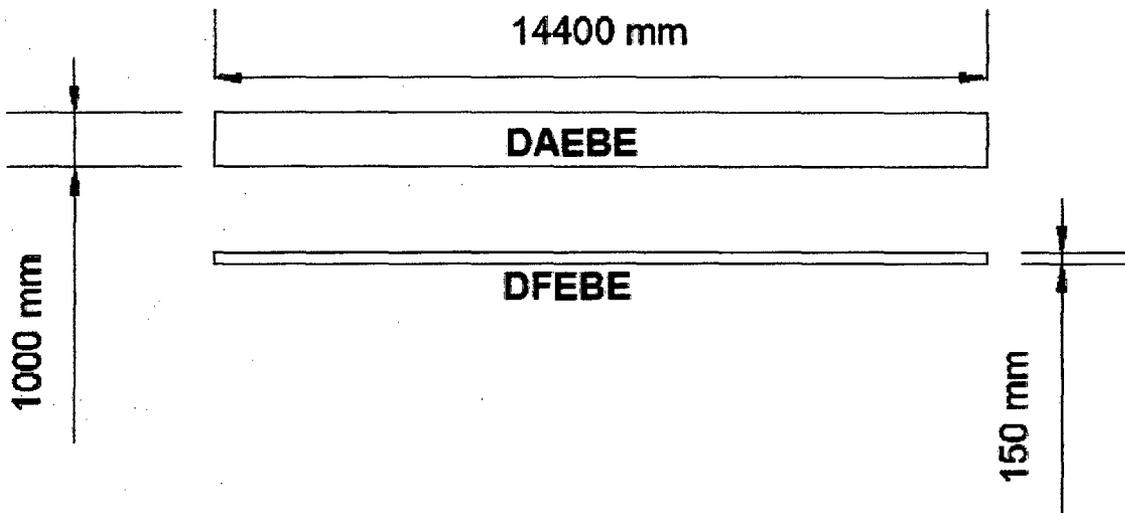


Figura 6: Alma e Flange da escoa

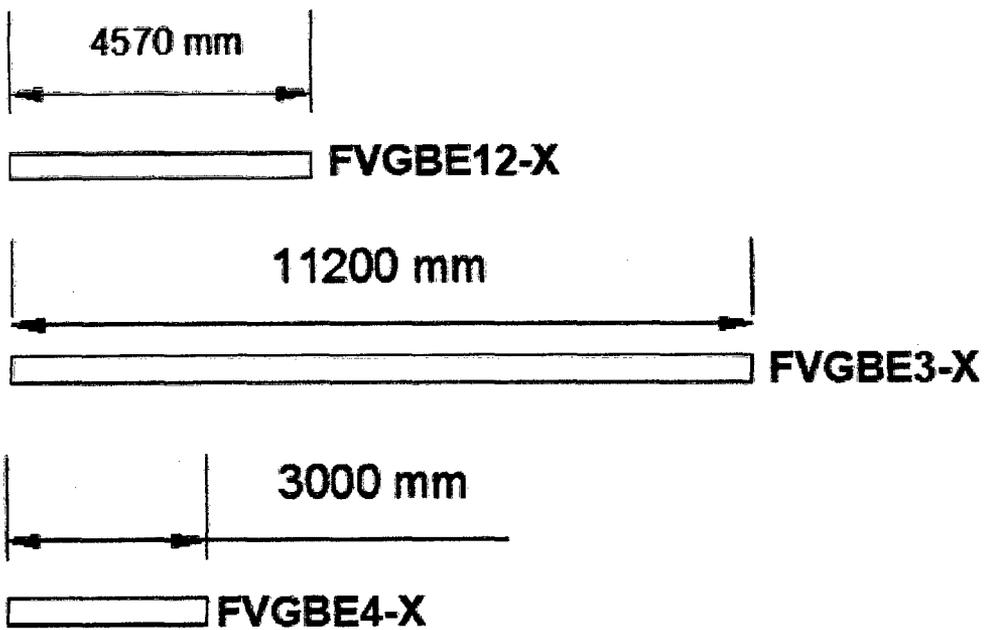


Figura 7: Flanges de Vau Gigante. Todos possuem 400 mm de largura.

Por fim, o chapeamento será composto das chapas que seguem:

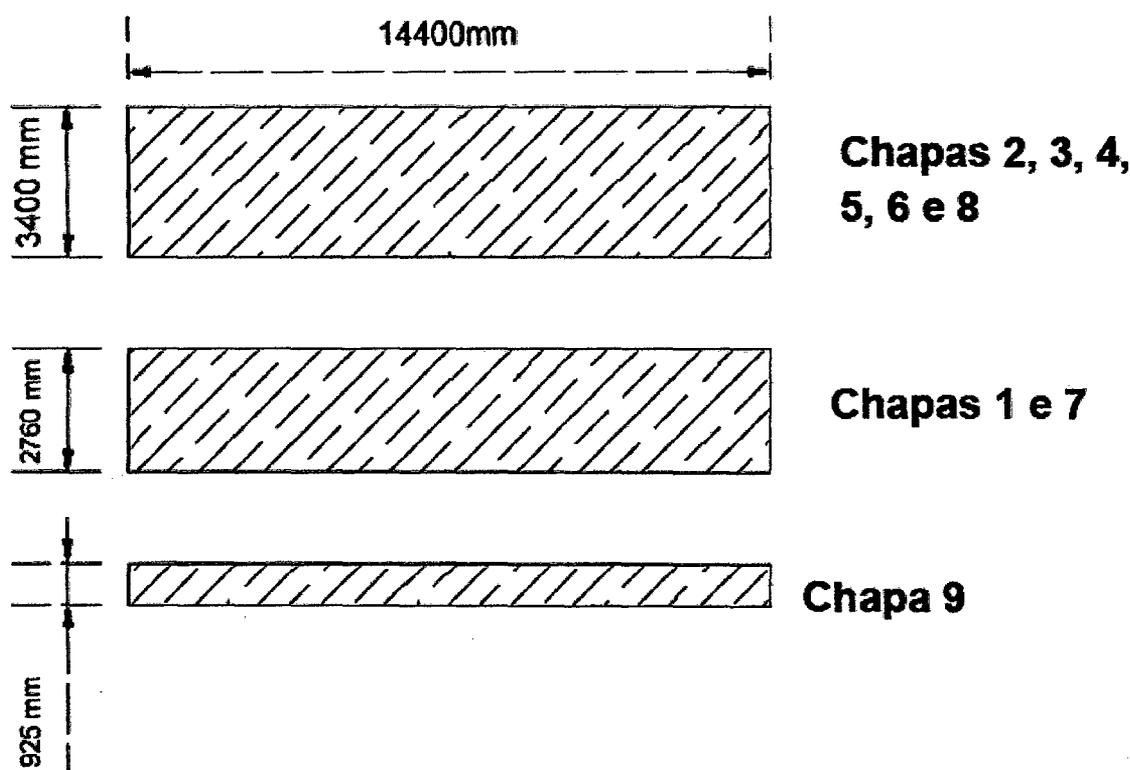


Figura 8: Chapeamento.

2. QUANTIDADE DE AÇO NECESSÁRIA

De posse da geometria e do número de vezes que cada peça aparece no bloco, é possível calcular a área total necessária para a sua construção. Tem-se o seguinte:

Tabela 1 – Valores das áreas para as várias peças que formam os blocos.

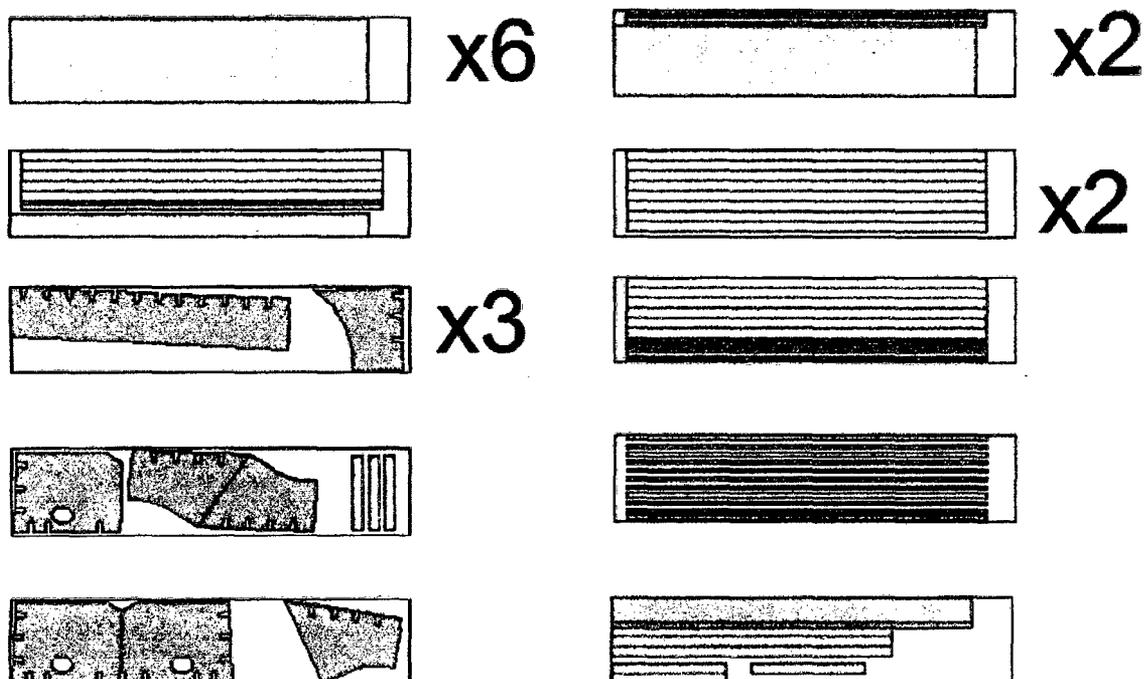
Peça	Área da peça (m ²)	Número de peças	Área total (m ²)
DVGBE1-X	12,7456	3	38,2368
DVGBE2-X	7,7948	3	23,3844
DVGBE3-X	21,7131	3	65,1393
DVGBE4-X	9,0436	3	27,1308
Perfis T	7,92	27	213,84
Escoa	16,56	1	16,56
Flanges do Vau Gigante	7,508	3	22,524
Chapeamento 2, 3, 4, 5, 6 e 8	48,96	6	293,73
Chapeamento 1 e 7	39,744	2	79,488
Chapeamento 9	13,32	1	13,32

Somando os valores da última coluna da tabela, obtém-se a área total de aço necessária: 793,3533 m². Uma vez que se utilizarão chapas de aço de dimensões 16000 mm x 3400 mm, resultando em uma área de 54,4 m², o número de chapas de aço necessário seria 15. No entanto, este cálculo simples desconsidera a geometria de cada peça, um fator que impede o aproveitamento perfeito das chapas de aço utilizadas. Para

um número mais próximo da realidade, um processo de *nesting* foi feito, utilizando o AutoCAD.

2.1. NESTING

A figura abaixo mostra o processo de *nesting* que foi realizado. As chapas retangulares são da dimensão a ser utilizada: 16000 mm x 400 mm e todas as outras peças foram representadas em escala. A representação de cores utilizada está explicada na legenda abaixo da figura. Pode-se ver que a quantidade de chapas a ser utilizada é 19.



LEGENDA

Chapeamento

Flange dos sub-blocos

Perfis T (alma e flange)

Peças do vau gigante

Escoa

Figura 9: Nesting

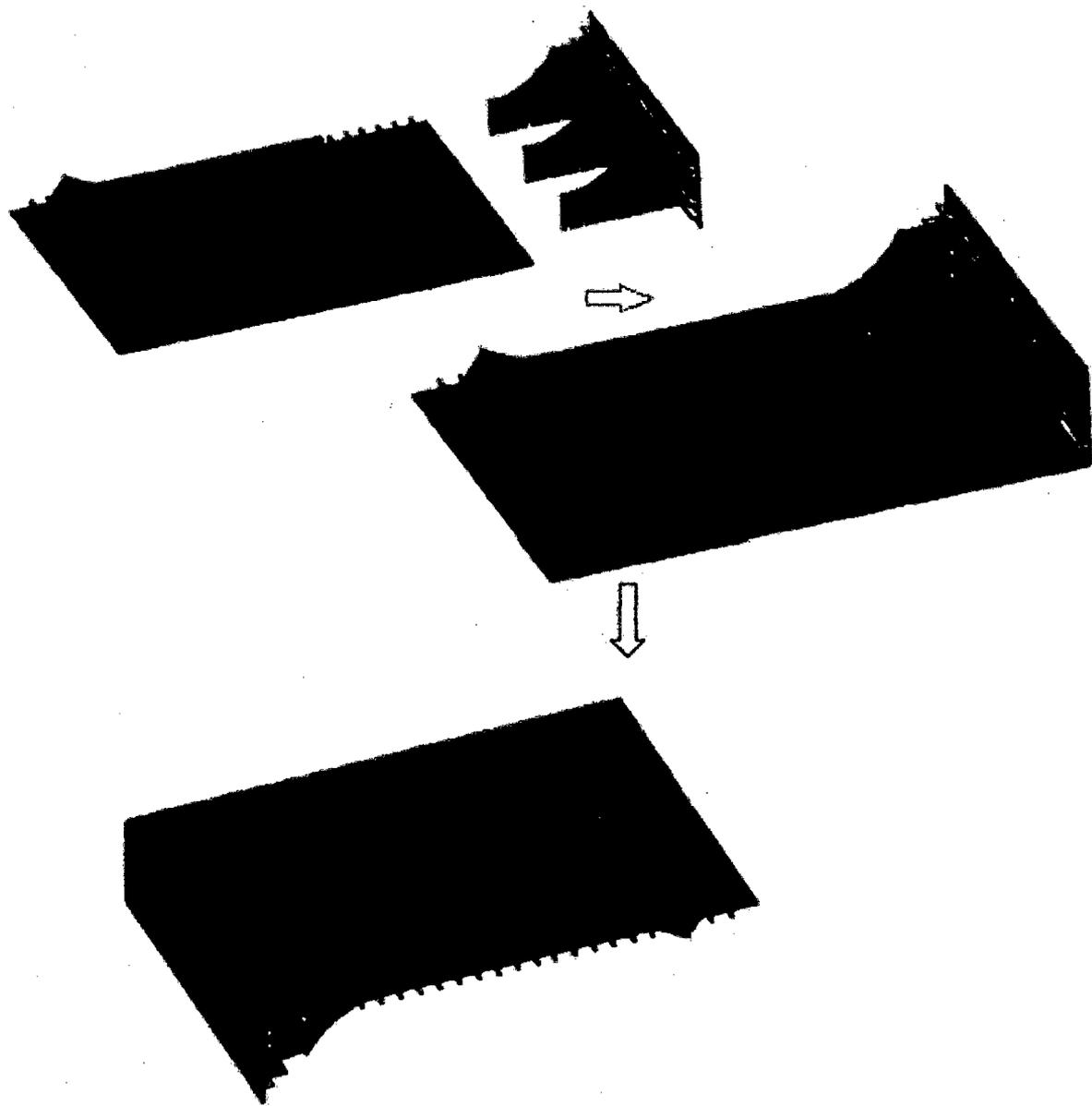


Figura 10: Procedimento para montagem final do bloco.

DISCRIMINACIÓN DE LOS MÓDULOS

Para facilitar el ingreso de la información, se hace una nomenclatura que describa: a) los tipos de módulos que conforman el anillo o sección maestra del buque petrolero "Suezmax", b) la codificación del módulo y sus piezas, y c) los parámetros cuantificados de los componentes del módulo.

FONDO CENTRAL	(K1)
FONDO LATERAL	(K2)
HOPER TANK	(K3)
COSTADO	(K4)
MAMPARO CENTRAL	(K5)
CUBIERTA BB	(K6)
CUBIERTA BE	(K7)

Además es hecha una codificación de las piezas descritas anteriormente que, asociados al modelo, faciliten los datos de entrada.

FONDO CENTRAL (K1)								
Pieza		Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u
T_BB1	T1	I1	8.0	2.6		6	18.12	1.71
T_BB2	T2	I2	1.8	2.6		6	4.44	0.42
T_BB3	T3	I3		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	I4		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	I5		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	I6				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	I7				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	I8				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	I9				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	I10				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	I11				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	I12				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	I13				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	I14				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	I15				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	I16				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	I17				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	I18				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	I19				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	I20				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	I21				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	I22				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	I23				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	I24				3	6.39	0.60
T_BB25	T25	I25				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	I26	14.4	2.6		4	37.44	3.54
C_BB2	C2	I27	14.4	2.5		4	36.00	3.40
C_BB3	C3	I28	14.4	1.9		4	27.37	2.58
C_BB4	C4	I29	14.4	2.8		4	40.32	3.81
C_BB5	C5	I30	14.4	3.4		0	48.96	4.62
C_BB6	C6	I31	14.4	1.2		0	17.28	1.63
C_BB7	C7	I32	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	I33	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	I34	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	I35	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	I36	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	I37	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	I38	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	I39	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	I40	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	I41	14.4	2.6		3	37.44	3.54
L_BB2	L2	I42	14.4	0.6	0.2	40	11.52	1.09
L_BB3	L3	I43	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	I44	14.4	1.20		0	17.28	1.63
L_BB5	L5	I45	14.4	0.80		0	11.52	1.09
L_BB6	L6	I46	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	I47	14.4	0.40	0.15	0	7.92	0.75
L_BB8	L8	I48	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	I49	8.1	0.4		3	3.23	0.31
F_BB2	F2	I50				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	I51	14.4	0.2		0	2.88	0.27
F_BB4	F4	I52	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	I53	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	I54	18.8	0.4		0	7.51	0.71

FONDO LATERAL (K2)								
Pieza		Cod	L	A	F	Cant	A /u	T /u
T_BB1	T1	11	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	12	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	13		2.6		3	8.92	0.84
T_BB4	T4	14		2.6		3	9.44	0.89
T_BB5	T5	15		2.6		3	13.02	1.23
T_BB6	T6	16				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	17				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	18				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	19				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	110				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	111				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	112				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	113				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	114				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	115				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	116				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	117				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	118				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	119				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	120				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	121				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	122				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	123				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	124				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	125				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	126	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	127	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	128	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	129	14.4	2.8		1	40.32	3.81
C_BB5	C5	130	14.4	3.4		6	48.96	4.62
C_BB6	C6	131	14.4	1.2		1	17.28	1.63
C_BB7	C7	132	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	133	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	134	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	135	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	136	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	137	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	138	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	139	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	140	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	141	14.4	2.6		1	37.44	3.54
L_BB2	L2	142	14.4	0.6	0.2	22	11.52	1.09
L_BB3	L3	143	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	144	14.4	1.20		0	17.28	1.63
L_BB5	L5	145	14.4	0.80		0	11.52	1.09
L_BB6	L6	146	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	147	14.4	0.40	0.15	0	7.92	0.75
L_BB8	L8	148	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	149	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	150				3	1.76	0.17
F_BB3	F3	151	14.4	0.2		0	2.88	0.27
F_BB4	F4	152	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	153	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	154	18.8	0.4		0	7.51	0.71

HOPERTANK (K3)								
Pieza	Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u	
T_BB1	T1	11	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	12	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	13		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	14		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	15		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	16				3	11.99	1.13
T_BB7	T7	17				3	8.16	0.77
T_BB8	T8	18				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	19				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	110				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	111				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	112				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	113				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	114				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	115				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	116				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	117				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	118				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	119				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	120				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	121				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	122				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	123				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	124				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	125				3	0.54	0.05
C_BB1	C1	126	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	127	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	128	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	129	14.4	2.8		1	40.32	3.81
C_BB5	C5	130	14.4	3.4		4	48.96	4.62
C_BB6	C6	131	14.4	1.2		0	17.28	1.63
C_BB7	C7	132	14.4	0.4		1	5.76	0.54
C_BB8	C8	133	14.4	0.6		1	8.74	0.83
C_BB9	C9	134	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	135	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	136	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	137	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	138	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	139	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	140	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	141	14.4	2.6		0	37.44	3.54
L_BB2	L2	142	14.4	0.6	0.2	12	11.52	1.09
L_BB3	L3	143	14.4	1.4	0.4	1	25.92	2.45
L_BB4	L4	144	14.4	1.20		0	17.28	1.63
L_BB5	L5	145	14.4	0.80		0	11.52	1.09
L_BB6	L6	146	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	147	14.4	0.40	0.15	0	7.92	0.75
L_BB8	L8	148	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	149	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	150				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	151	14.4	0.2		1	2.88	0.27
F_BB4	F4	152	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	153	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	154	18.8	0.4		0	7.51	0.71

COSTADO (K4)								
Pieza	Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u	
T_BB1	T1	I1	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	I2	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	I3		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	I4		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	I5		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	I6				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	I7				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	I8				3	3.10	0.29
T_BB9	T9	I9				3	15.75	1.49
T_BB10	T10	I10				3	7.12	0.67
T_BB11	T11	I11				3	5.50	0.52
T_BB12	T12	I12				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	I13				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	I14				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	I15				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	I16				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	I17				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	I18				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	I19				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	I20				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	I21				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	I22				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	I23				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	I24				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	I25				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	I26	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	I27	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	I28	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	I29	14.4	2.8		0	40.32	3.81
C_BB5	C5	I30	14.4	3.4		6	48.96	4.62
C_BB6	C6	I31	14.4	1.2		1	17.28	1.63
C_BB7	C7	I32	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	I33	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	I34	14.4	2.30		1	33.12	3.13
C_BB10	C10	I35	14.4	1.37		1	19.73	1.86
C_BB11	C11	I36	14.4	3.00		2	43.20	4.08
C_BB12	C12	I37	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	I38	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	I39	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	I40	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	I41	14.4	2.6		0	37.44	3.54
L_BB2	L2	I42	14.4	0.6	0.2	0	11.52	1.09
L_BB3	L3	I43	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	I44	14.4	1.20		2	17.28	1.63
L_BB5	L5	I45	14.4	0.80		1	11.52	1.09
L_BB6	L6	I46	14.4	0.50	0.2	30	10.08	0.95
L_BB7	L7	I47	14.4	0.40	0.15	0	7.92	0.75
L_BB8	L8	I48	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	I49	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	I50				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	I51	14.4	0.2		3	2.88	0.27
F_BB4	F4	I52	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	I53	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	I54	18.8	0.4		0	7.51	0.71

MAMPARO CENTRAL (K5)								
Pieza		Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u
T_BB1	T1	I1	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	I2	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	I3		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	I4		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	I5		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	I6				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	I7				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	I8				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	I9				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	I10				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	I11				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	I12				3	18.09	1.71
T_BB13	T13	I13				3	21.03	1.99
T_BB14	T14	I14				3	5.21	0.49
T_BB15	T15	I15				3	4.43	0.42
T_BB16	T16	I16				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	I17				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	I18				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	I19				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	I20				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	I21				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	I22				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	I23				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	I24				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	I25				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	I26	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	I27	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	I28	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	I29	14.4	2.8		0	40.32	3.81
C_BB5	C5	I30	14.4	3.4		5	48.96	4.62
C_BB6	C6	I31	14.4	1.2		0	17.28	1.63
C_BB7	C7	I32	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	I33	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	I34	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	I35	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	I36	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	I37	14.4	1.00		1	14.40	1.36
C_BB13	C13	I38	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	I39	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	I40	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	I41	14.4	2.6		0	37.44	3.54
L_BB2	L2	I42	14.4	0.6	0.2	0	11.52	1.09
L_BB3	L3	I43	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	I44	14.4	1.20		1	17.28	1.63
L_BB5	L5	I45	14.4	0.80		1	11.52	1.09
L_BB6	L6	I46	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	I47	14.4	0.40	0.15	18	7.92	0.75
L_BB8	L8	I48	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	I49	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	I50				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	I51	14.4	0.2		1	2.88	0.27
F_BB4	F4	I52	20.7	0.4		1	8.28	0.78
F_BB5	F5	I53	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	I54	18.8	0.4		0	7.51	0.71

CUBIERTA BB (K6)								
Pieza	Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u	
T_BB1	T1	I1	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	I2	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	I3		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	I4		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	I5		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	I6				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	I7				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	I8				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	I9				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	I10				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	I11				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	I12				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	I13				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	I14				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	I15				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	I16				3	16.50	1.56
T_BB17	T17	I17				3	1.80	0.17
T_BB18	T18	I18				3	22.30	2.11
T_BB19	T19	I19				3	8.90	0.84
T_BB20	T20	I20				0	12.75	1.20
T_BB21	T21	I21				0	7.79	0.74
T_BB22	T22	I22				0	21.71	2.05
T_BB23	T23	I23				0	9.04	0.85
T_BB24	T24	I24				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	I25				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	I26	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	I27	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	I28	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	I29	14.4	2.8		0	40.32	3.81
C_BB5	C5	I30	14.4	3.4		5	48.96	4.62
C_BB6	C6	I31	14.4	1.2		0	17.28	1.63
C_BB7	C7	I32	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	I33	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	I34	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	I35	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	I36	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	I37	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	I38	14.4	2.76		0	39.74	3.75
C_BB14	C14	I39	14.4	0.93		0	13.32	1.26
C_BB15	C15	I40	14.4	2.70		2	38.88	3.67
L_BB1	L1	I41	14.4	2.6		0	37.44	3.54
L_BB2	L2	I42	14.4	0.6	0.2	0	11.52	1.09
L_BB3	L3	I43	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	I44	14.4	1.20		0	17.28	1.63
L_BB5	L5	I45	14.4	0.80		0	11.52	1.09
L_BB6	L6	I46	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	I47	14.4	0.40	0.15	24	7.92	0.75
L_BB8	L8	I48	14.4	1.00	0.15	0	16.56	1.56
F_BB1	F1	I49	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	I50				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	I51	14.4	0.2		0	2.88	0.27
F_BB4	F4	I52	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	I53	21.8	0.4		3	8.72	0.82
F_BB6	F6	I54	18.8	0.4		0	7.51	0.71

CUBIERTA BE (K7)								
Pieza	Cod	L	A	F	Cant	A/u	T/u	
T_BB1	T1	11	8.0	2.6		0	18.12	1.71
T_BB2	T2	12	1.8	2.6		0	4.44	0.42
T_BB3	T3	13		2.6		0	8.92	0.84
T_BB4	T4	14		2.6		0	9.44	0.89
T_BB5	T5	15		2.6		0	13.02	1.23
T_BB6	T6	16				0	11.99	1.13
T_BB7	T7	17				0	8.16	0.77
T_BB8	T8	18				0	3.10	0.29
T_BB9	T9	19				0	15.75	1.49
T_BB10	T10	110				0	7.12	0.67
T_BB11	T11	111				0	5.50	0.52
T_BB12	T12	112				0	18.09	1.71
T_BB13	T13	113				0	21.03	1.99
T_BB14	T14	114				0	5.21	0.49
T_BB15	T15	115				0	4.43	0.42
T_BB16	T16	116				0	16.50	1.56
T_BB17	T17	117				0	1.80	0.17
T_BB18	T18	118				0	22.30	2.11
T_BB19	T19	119				0	8.90	0.84
T_BB20	T20	120				3	12.75	1.20
T_BB21	T21	121				3	7.79	0.74
T_BB22	T22	122				3	21.71	2.05
T_BB23	T23	123				3	9.04	0.85
T_BB24	T24	124				0	6.39	0.60
T_BB25	T25	125				0	0.54	0.05
C_BB1	C1	126	14.4	2.6		0	37.44	3.54
C_BB2	C2	127	14.4	2.5		0	36.00	3.40
C_BB3	C3	128	14.4	1.9		0	27.37	2.58
C_BB4	C4	129	14.4	2.8		0	40.32	3.81
C_BB5	C5	130	14.4	3.4		6	48.96	4.62
C_BB6	C6	131	14.4	1.2		0	17.28	1.63
C_BB7	C7	132	14.4	0.4		0	5.76	0.54
C_BB8	C8	133	14.4	0.6		0	8.74	0.83
C_BB9	C9	134	14.4	2.30		0	33.12	3.13
C_BB10	C10	135	14.4	1.37		0	19.73	1.86
C_BB11	C11	136	14.4	3.00		0	43.20	4.08
C_BB12	C12	137	14.4	1.00		0	14.40	1.36
C_BB13	C13	138	14.4	2.76		2	39.74	3.75
C_BB14	C14	139	14.4	0.93		1	13.32	1.26
C_BB15	C15	140	14.4	2.70		0	38.88	3.67
L_BB1	L1	141	14.4	2.6		0	37.44	3.54
L_BB2	L2	142	14.4	0.6	0.2	0	11.52	1.09
L_BB3	L3	143	14.4	1.4	0.4	0	25.92	2.45
L_BB4	L4	144	14.4	1.20		0	17.28	1.63
L_BB5	L5	145	14.4	0.80		0	11.52	1.09
L_BB6	L6	146	14.4	0.50	0.2	0	10.08	0.95
L_BB7	L7	147	14.4	0.40	0.15	27	7.92	0.75
L_BB8	L8	148	14.4	1.00	0.15	1	16.56	1.56
F_BB1	F1	149	8.1	0.4		0	3.23	0.31
F_BB2	F2	150				0	1.76	0.17
F_BB3	F3	151	14.4	0.2		0	2.88	0.27
F_BB4	F4	152	20.7	0.4		0	8.28	0.78
F_BB5	F5	153	21.8	0.4		0	8.72	0.82
F_BB6	F6	154	18.8	0.4		3	7.51	0.71