

Mejora de la productividad a través de la simulación de grúa portacontenedor de barco a tierra (Ship To Shore – STS) en la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A.

Productivity optimization through the simulation of ship-to-ground container crane (Ship To Shore – STS) at the Buenaventura port company.

Neila Yasmina Millan Cuero
neyamicu@gmail.com

Diego Fernando Castro Castrillon
dfernandocc12@hotmail.com

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Especialización en Gerencia Logística Integral

Resumen

Para la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A uno de los indicadores más importantes; sino el principal, es la productividad de cargue/descargue de contenedores transferidos entre el buque – tierra y viceversa, con grúas (adquiridas en 2017) Ship To Shore Super Post-panamax. Estos equipos de última tecnología son construidos con estándares mundiales para permitir a los diferentes terminales alinearse con las tendencias del comercio internacional. Para su operación es necesario que los operadores encargados de su manipulación cuenten con conocimientos técnicos, habilidades y destrezas suficientes para evitar daños a la carga, infraestructura, buque, equipos y personas. De ahí la importancia del entrenamiento de los operadores en condiciones inusuales o críticas y de seguridad de la operación, sin el incremento de costos generados por prácticas en los equipos reales. El objetivo de este estudio propone demostrar que mediante la simulación, los operadores de grúas portacontenedores tipo STS desarrollaran habilidades y destrezas que permiten mejorar la productividad para cumplir con los indicadores propuestos por la “Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A. Mediante la aplicación de programas y ejercicios construidos desde la operación real de transferencia entre el barco y tierra y fundamentados en los principios del movimiento físico de carga contenedorizada. Finalmente se explica a través de teorías físicas del movimiento el incremento de nueve (9) movimientos adicionales en una hora de operación, siendo este incremento el principal de los hallazgos del proyecto. Otros hallazgos importantes son los principios de operación de la grúa portacontenedores y su incidencia en su vida útil y los factores más comunes que generan mantenimiento.

Palabras Clave: Simulación Portuaria, Productividad Portuaria, grúa pórtico STS, Ship To Shore, simulador de grúa pórtico.

Abstract

For the Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A one of the most important indicators; but the main one is the productivity of loading / unloading of containers transferred between the ship - land and vice versa, with cranes (acquired in 2017) Ship To Shore Super Post-panamax. These state-of-the-art equipment is built to world standards to allow different terminals to align with international trade trends. For its operation it is necessary that the operators in charge of handling have sufficient technical knowledge, skills and abilities to avoid damage to cargo, infrastructure, ship, equipment and people. Hence the importance of training operators in unusual or critical conditions and safety of the operation, without increasing costs generated by practices in real equipment. The objective of this study proposes to demonstrate that by means of simulation, STS container crane operators will develop skills and abilities that allow improving productivity to comply with the indicators proposed by the “Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A. Through the application of programs and exercises built from the actual transfer operation between the ship and land and based on the principles of physical movement of containerized cargo. Finally, the increase of nine (9) additional movements in one hour of operation is explained through physical theories of movement, this increase being the main findings of the project. Other important findings are the operating principles of the container crane and its impact on its useful life and the most common factors that generate maintenance.

Keywords: Port Simulation, Port Productivity, STS gantry crane, Ship To Shore, gantry crane simulator.

1. INTRODUCCIÓN

Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A. (SPB), ofrece servicios portuarios dentro de los márgenes de competitividad y eficiencia que deben mantener los terminales portuarios de clase mundial; así, la compañía diseña servicios portuarios y soluciones logísticas que le permiten desarrollar su misión.

Con la inversión en el desarrollo del talento humano, nuevas tecnologías, infraestructura y equipamiento, la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A. espera alcanzar una visión a 2020, en la cual se garantice el crecimiento social y la sustentabilidad del negocio.

En la actualidad Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A cuenta con una planta de operadores de equipos, los cuales se encargan de la conducción segura, preservando la salud, las buenas prácticas, la vida de los peatones, la integridad de las instalaciones, la carga y los demás equipos; sin embargo, la evolución tecnológica de los equipos de manipulación de carga (Grúa Portacontenedor tipo Ship to Shore – STS) contenedorizada crece de manera sustancial y relativa a la construcción de los nuevos buques portacontenedores; situación que exige a la compañía, diseñar estrategias que le permita mantener y mejorar los rendimientos operativos de productividad que se requieren para ser competitiva a nivel mundial.

Además de la adquisición de grúas con los últimos avances tecnológicos para mantener niveles estándares de productividad en las operaciones de cargue y descargue de buques, se hace necesario tecnificar su talento humano en razón a las nuevas tecnologías adquiridas.

Esta monografía contiene el desarrollo de una investigación enfocada en el mejoramiento de la productividad de las operaciones de movilización de contenedores entre el buque y el terminal y viceversa, a través de la simulación que permitirá medir los movimientos de las grúas pórticos en las operaciones de carga y descarga de buques y conocer la productividad del terminal en consecuencia a la calidad de los servicios. Emulando las grúas reales adquiridas por la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A en el año 2018; así mismo, empleando ejercicios diseñados desde los escenarios que se presentan en la actividad de transferencia de carga cotidiana.

Su justificación coincide con la necesidad cortoplacista de capacitar al talento humano "Operadores de Equipos Portuarios" para mejorar las buenas prácticas de manipulación de la carga contenedorizada con grúas tipo STS a través de la aplicación de la simulación, conocimientos y principios técnicos para dar respuesta a las necesidades de rendimientos exigidas por la tendencia portuaria, garantizando la permanencia de la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A en el ranking de terminales portuarios eficientes de América Latina.

Este artículo se estructura de la siguiente manera. La sección dos (2) describe las generalidades e importancia de los puertos y su impacto en el desarrollo del País y región, teniendo en cuenta la movilización de carga a través de sus terminales. En la sección tres (3) se explica la productividad portuaria y rendimientos operativos. La sección cuatro (4) describe la simulación como alternativa de observación y evaluación de un sistema que permitirá aumentar los valores de productividad; adicionalmente se desarrollan las teorías físicas del movimiento que permiten sustentar los objetivos de mejoramiento. Finalmente se describe la aplicación de los programas y ejercicios para el desarrollo del entrenamiento para presentar las conclusiones del artículo.

2. GENERALIDADES

2.1 Qué es Puerto?

Según la Real Academia Española define la palabra “puerto” Del lat. *portus*.

Lugar en la costa o en las orillas de un río que por sus características, naturales o artificiales sirve para que las embarcaciones realicen operaciones de carga y descarga, embarque y desembarco, etc.

El Puerto se puede entenderse como un centro de distribución de bienes y servicios dentro de una amplia área geográfica. Hay que tener en cuenta que el puerto no solo consta de obras e instalaciones, sino de una serie de

organizaciones humanas. En definitiva, se trata de un conjunto complejo que abarca numerosos objetivos. Cendreno B., Truyols S. (2008).

Una definición de puerto podría ser la de un conjunto de obras, instalaciones y organizaciones, que permite al hombre aprovechar un lugar de la costa más o menos favorable, para realizar las operaciones de intercambio entre el tráfico marítimo y el terrestre atendiendo las necesidades de los medios de transportes y posibilitando el desarrollo de cuantas actividades con el relacionadas se instalen en su zona. Cendreno B., Truyols S. (2008).

Lugares del litoral que mediante espacios terrestres, infraestructura e instalaciones y áreas de entrada, salida, atraque y permanencia de naves, y por su ubicación geográfica, por sus condiciones físicas naturales o artificiales y de organización, prestan servicios a las naves, cargas, pasajeros o tripulantes. Castellanos, A. (2016).

Es el conjunto de elementos físicos -incluidas obras, canales de acceso e instalaciones de servicios- que permiten aprovechar en condiciones favorables un área frente a la costa o ribera de un río, para realizar operaciones de cargue y descargue de toda clase de naves e intercambio de mercancía entre tráfico terrestre, marítimo y/o fluvial. Dentro del puerto quedan los terminales portuarios, muelles y embarcaderos.

2.2 Importancia de los Puertos

Según GEORGIA TECH Panamá – Logistic Innovation & Research Center, Los puertos marítimos son importantes interfaces dentro de la cadena de suministros que conectan al transporte marítimo y terrestre con los componentes de distribución de carga como lo son la entrada de productos, mercancías y pasajeros a un país, así como también son la puerta de salida para todas las exportaciones hacia los mercados internacionales.

Los puertos son puntos de convergencia entre el interior y los sistemas de transporte costeros, lo que se define como el área de influencia interior del puerto. Esta función puede ser directa a través del acceso por carreteras, indirecta en la medida que la carga llegue a una terminal interina (por ejemplo, una estación de tren), o por medio de la consolidación del tráfico en un puerto regional y embarcados por cabotaje. Los puertos marítimos son puntos de distribución hacia el interior y el sistema de transporte costero, lo que se define como el área de influencia exterior del puerto.

Los puertos marítimos realizan diferentes tipos de operaciones:

- Embarque, desembarque y transferencia de pasajeros y tripulación.
- Embarque, desembarque y transferencia de cargo hacia y desde un buque.
- Almacenamiento y depósito de mercancías en tierra y estiba hacia y desde barcos.
- Proveer acceso interno y conectividad intermodal.
- Servicios complementarios a los transportistas marítimos.

Así mismo, es importante la existencia de una inversión constante y supervisada que permita la proyección, crecimiento e internacionalización de las zonas portuarias y que conlleve a una expansión económica fuera de las fronteras, que se traduzca en una mayor competitividad frente a países con economías similares o superiores a la colombiana.

Los puertos en Colombia son considerados como dinamizadores para el desarrollo del comercio internacional, estas

zonas son fortalecidas y potencializadas, ya que constituyen para la economía del país una oportunidad de crecimiento y expansión económica fuera de los límites fronterizos, que los lleva a estar a la altura de la competitividad entre otros países del mundo.

2.3 Volumen de Carga

La nueva edición del 3 abril de 2019 del informe anual que presenta la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) de la actividad portuaria de 2018, en el que muestra el detalle de los movimientos de carga en contenedores en puertos de la región, con base a información recopilada directamente con las autoridades portuarias u operadores de los terminales marítimos. En 2018 esta actividad aumento 7,7% en los 118 puertos analizados, con un volumen aproximado total de 53,2 millones de TEU.

Tabla 1. - Ranking de Zonas Portuarias Latinoamericanas

Puerto Latinoamericanos	TEU'
1. Colón Panamá	4.324.478
2. Santos Brasil	3.836.487
3. Manzanillo México	3.078.505
4. Bahía de Cartagena Colombia	2.862.787
5. Panamá Pacífico Panamá	2.520.587

Fuente: CEPAL (2018).

En la tabla 1, se presenta las cinco zonas portuarias más importantes de Latinoamérica con la cantidad de movimientos de contenedores 20 pies.

Tabla 2. - Ranking Latinoamericanos de Países

Puerto Latinoamericanos	TEU'
1. Brasil	10.041.485
2. México	6.987.820
3. Panamá	6.872.369
4. Colombia	4.582.712
5. Chile	4.276.198
6. Perú	2.667.974
7. Argentina	2.574.955
8. Ecuador	2.212.256
9. República Dominicana	1.906.487
10. Jamaica	1.833.053

Fuente: CEPAL (2018)

Los diez países con mayor contribución al total del volumen de carga operado representaron el 84,1% del movimiento

regional. Estos son (ordenados de mayor a menor según la cantidad de TEU movilizados): Brasil, México, Panamá, Colombia, Chile, Perú, Argentina, Ecuador, República Dominicana y Jamaica.

Según los datos de la muestra recopilados por la CEPAL, en 2018 la Costa Este de América del Sur (CEAS) registró un aumento de la actividad de los puertos y zonas portuarias de 12%, medida por el volumen operado. En tanto, la Costa Oeste de América del Sur (COAS) continuó con una ligera progresión al alza, creciendo 7% en 2018, comparado con el 6% anotado entre 2016 y 2017. El Caribe marcó un crecimiento de 12% en el movimiento total de contenedores, mientras que América Central (sin incluir México) tuvo un crecimiento más sutil de 7% solo en la Costa Oeste, ya que la Costa Este mantuvo básicamente el mismo movimiento que en 2017. La zona México Golfo creció 8% en comparación con 2017, y México Pacífico 11%. Panamá, en tanto, presentó un crecimiento en su costa caribeña (11%) con respecto al total de movimiento del país, mientras que su costa Pacífico registró una caída de -16%.

A modo de comparación, la CEPAL incluye además el movimiento de puertos a nivel mundial en 2018, el cual está encabezado por Shanghái (China), con 42.010.000 de TEU movilizados. Aquí se aprecia un verdadero abismo de diferencia de casi 38 millones de TEU con relación a la primera posición regional, que ostenta el puerto de Colón (MIT, Evergreen, Panamá Port), que marcó poco más de 4.324.000 de TEU el año pasado. Los diez mayores puertos a nivel mundial representan un 32,2% del *throughput* global de 2018, mientras que los de América Latina y el Caribe representan solo el 3,5%.

Tabla 3. - Movimiento portuario en TEU por puerto y zona portuaria

No.	País	Nombre del puerto y zona portuaria	Throughput	Throughput
			(TEU) 2018	(TEU) 2017
1	Panamá	Colón (MIT, Evergreen y Panamá Port)	4,324,478	3,891,209
2	Brasil	Zona portuaria de Santos	3,836,487	3,578,192
3	México	Manzanillo, COL.	3,078,505	2,830,370
4	Colombia	Bahía de Cartagena	2,862,787	2,678,005
5	Panamá	Panamá Pacífico	2,520,587	2,986,617

CEPAL registra un crecimiento el movimiento portuario en TEU por puerto y zona portuaria con relación al año 2017.

2.4 Puertos Suramericanos/Latinoamericanos

En América Latina existen cantidades de puertos, estos representan el acceso a las vías de comercialización y comunicación para cada uno de los países. Según las necesidades de cada región ha determinado el desarrollo y el avance.

Los puertos marítimos de un país son uno de los principales ejes logísticos que permiten el desarrollo del comercio tanto interno como externamente, ya que permiten la movilización constante de bienes a nivel internacional. Según la Organización Mundial de Comercio (OMC) más del 80% de las mercancías que se comercializan alrededor del mundo se mueven por vía marítima, siendo los puertos marítimos puntos clave para esta acción.

2.5 Puerto de Buenaventura.

Dentro de los puertos más reconocidos en América Latina se encuentra el puerto de Buenaventura, el cual ha sido objeto de evaluación debido a su privilegiada ubicación geográfica y su progreso. En primer lugar, se encuentra en el departamento del Valle del Cauca, cerca de las principales rutas marítimas que atraviesan el planeta en todas las

direcciones, de norte a sur y de oriente a occidente, convirtiéndose así en uno de los puertos más reconocidos del continente.

Además, está posicionado en un buen nivel de competitividad gracias a sus ofertas frente al mercado internacional y al reconocimiento nacional como zona económica de exportación. Este puerto es el más importante de la costa del Pacífico debido al volumen de carga que maneja, el cual cuenta con una infraestructura especializada para el manejo de contenedores, granos, carga a granel y multiusos.

SITCA Grupo NW (2019), expresa que el puerto de Buenaventura cuenta con grandes y positivas ventajas entre las cuales cabe destacar:

- Al estar localizada en un punto geográficamente equidistante entre el norte y el sur del continente hace que desde allí sea más económico llegar hacia un extremo u otro del mismo.
- Transportar un contenedor desde Buenaventura a Estados Unidos y Europa cuesta un 40% y 13% respectivamente menos, al igual que requiere de un 50% y 25% de tiempo menos, en comparación con el puerto de Valparaíso, Chile. Igualmente, un contenedor movilizad desde el puerto Santos en Brasil hacia Japón cuesta un 30% más y requiere de un 34% de tiempo más en comparación con el puerto de Buenaventura.
- La SPB tiene 14 atraques, de los cuales 12 son operados por la Sociedad de Buenaventura y 2 bajo otra concesión. Cuenta además con una línea de atraque de 1.050 m; un terminal con Reach Stacker de diferentes capacidades para movimiento de contenedores con una línea de atraque de 525 m; 2 terminales multipropósito, uno con una línea de atraque de 204 m equipado con 13 grúas móviles con capacidad de mover hasta 104 toneladas, y otro multipropósito, para el manejo de gráneles sólidos (carbón), gráneles líquidos y carga general con una línea de atraque de 190 m.
- A través de Buenaventura es posible conectarse con cerca de 300 puertos o lugares distintos en todo el mundo, una condición insuperable por los aeropuertos del país, debido a su estratégica posición respecto a los circuitos de tráfico internacional de carga marítima.

El canal de acceso del terminal marítimo de Buenaventura tiene una Longitud 31.5 Kilómetros equivalente a 17 millas náuticas. La profundidad es 13.5 metros con marea baja (igual cero) en la parte exterior y en la bahía interior la profundidad es de 12.5 metros en marea baja. Amplitud del canal de acceso 200 m en la parte exterior y 160 metros en la parte interior.

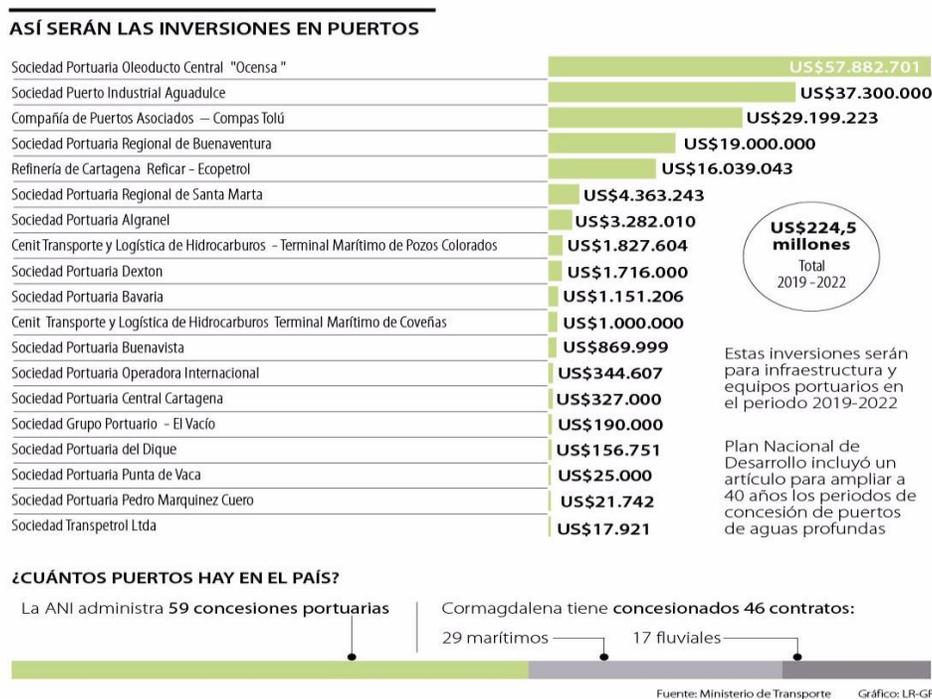
En el mes de marzo del 2017 se inauguró el puerto de Aguadulce, ubicado también en Buenaventura, con el propósito de ser un terminal marítimo a la altura de los mejores del mundo, con equipos de última tecnología, sistemas operativos de vanguardia, instalaciones de alta calidad y procesos de optimización en el manejo de carga, trayendo consigo grandes ventajas competitivas para importadores y exportadores. SITCA (2019)

Además del gran aporte en infraestructura, puerto Aguadulce también ha significado una transformación positiva de su entorno, tanto en lo social como en lo ambiental, beneficiando directamente a las comunidades vecinas por medio de 31 programas, reflejados en 80 proyectos de inversión social enfocados en la generación de desarrollo.

2.6 Inversiones

Las 59 concesiones portuarias del país que hoy están administradas por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y las cuales se agrupan en cinco zonas portuarias (La Guajira, Santa Marta, Cartagena, Golfo de Morrosquillo y Buenaventura), harán parte del paquete de inversiones 2019-2022. Según el Ministerio de Transporte.

Ilustración 1. - Inversiones Portuarias en Colombia



3. PRODUCTIVIDAD PORTUARIA

3.1. Importancia de la Productividad

La productividad no se incrementa sola, es una habilidad necesaria de los trabajadores que las organizaciones deben optimizar a través del uso de herramientas que generen impactos positivos en la percepción de las personas para lograr mejoras significativas en su productividad particular. Todas las organizaciones establecen programas de formación orientados a mejorar, incrementar u optimizar la productividad de sus empleados, y para ello es imprescindible tener en cuenta:

- Técnicas y herramientas pertinentes a la habilidad y destreza que se pretende desarrollar en el trabajador.
- Práctica constante de lo aprendido en el contexto laboral.
- Experimentación de lo aprendido en el tiempo para generar hábito, método o comportamiento organizacional.

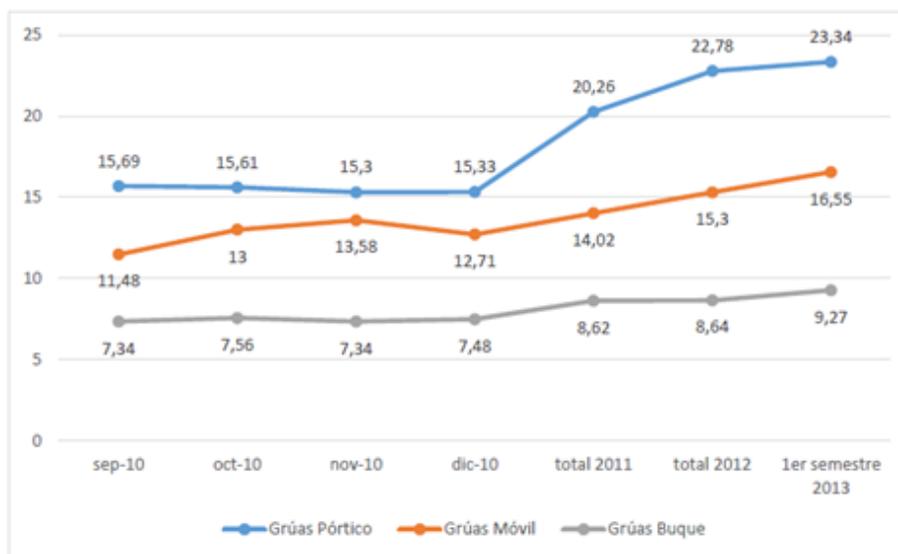
Según el Reglamento de Condiciones Técnicas de Operación de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura aprobado mediante Resolución 1107 del 10 de marzo de 2003, en su Capítulo 7º - Otras Disposiciones, Item 33. Criterios Generales de Productividad inciso 33.1 “La Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A, mediante Resolución motivada determinará los indicadores de rendimiento, de acuerdo con el comportamiento que se registre año tras año, que permita establecer

parámetros de eficiencia que todo terminal necesita para tender su competitividad y para ello se consideran:

- Tipo de Carga
- Equipos de Transferencia de la Carga
- Tipos de Operación
- Periodo de evaluación mínimo.”

Según Bejarano Morales, Fernando. (2.013) en investigación realizada para el Estudio de Mercados elaborado por la Delegatura de Protección de la Competencia de la Superintendencia de Industria y Comercio, “Sector Portuario Colombiano e incidencia de las Políticas Públicas en la SPRBUN”, la productividad/hora/grúas se puede evidenciar en Ilustración 4, el comportamiento de la productividad/hora/grúas no ha sido muy volátil desde el año 2010 hasta el primer semestre de 2013, no obstante lo anterior, ha presentado una tendencia creciente en cada uno de los tipos de grúas que operan en la terminal. Por ejemplo, la productividad en las Grúas Pórtico se incrementó en un (50%) al pasar de 15.69 a 23.34 hora/grúa, respecto a las Grúas Móvil y Buque el crecimiento fue del (47%) y (26.29%) respectivamente.

Ilustración 2. - Motonaves portacontenedores productividad/hora/grúas (Septiembre-Diciembre 2010, 2011, 2012 y 1er semestre 2013)

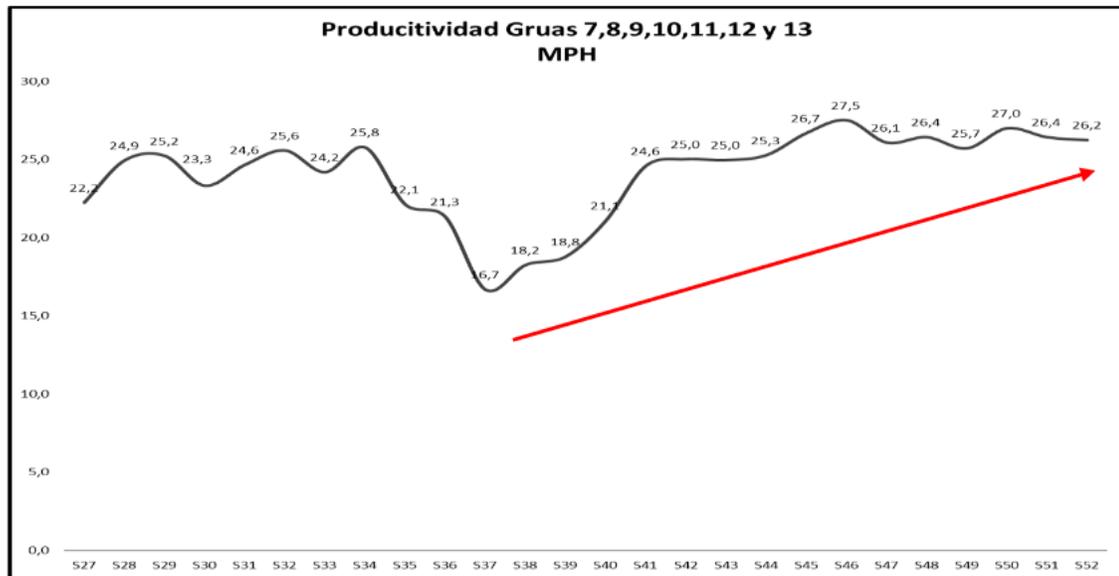


Fuente: Terminal Especializado de Contenedores de Buenaventura S.A. (TECSA, 2013).

En la ilustración 5 a continuación se evidencia el crecimiento en la productividad (Movimientos por Hora) teniendo en cuenta la inversión en nuevas grúas de tecnología de punta.

Según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre comercio y desarrollo UNCTAD, en su serie LA GESTION PORTUARIA volumen 4 - Desempeño Portuario Vinculando los indicadores de desempeño a objetivos estratégicos (2.016), la productividad de un buque es un factor competitivo esencial para los puertos, ya que para los usuarios del puerto los retrasos pueden suponer cargos por sobreestadía. Monitorizar los valores de eficiencia en esta categoría pone de relieve las diferencias en el desempeño de las limitaciones de la infraestructura portuaria.

Ilustración 3. - Productividad Grúas SPB.



Según Fernández Pérez, Diana. (2.009). La productividad del buque incluye tres medidas:

1. Accesibilidad del puerto: es la diferencia entre el ‘tiempo en el puerto’ y el ‘tiempo bruto de atraque’. Esta medida refleja:
 - La situación geográfica de un puerto, principalmente la distancia y las condiciones de acceso.
 - La disponibilidad de remolcadores y prácticos.
 - La disponibilidad de agencias gubernamentales que se hagan responsables de las tripulaciones y las cargas.
 - La disponibilidad de amarraderos.
2. Productividad bruta de atraque: son los ‘movimientos’ (contenedores) transferidos entre el buque y el muelle por el tiempo bruto de atraque, esta medida refleja la estructura de los turnos de trabajo y la situación de trabajo.
3. Productividad neta de atraque: es lo mismo que el anterior, pero usando el “tiempo neto de atraque”. Esta medida refleja el número de personal (grúas) asignadas a cada buque y la productividad neta de los grupos trabajados.

La productividad del personal (grúas) también incluye tres medidas:

1. Productividad bruta del personal (grúas): son los ‘movimientos’ divididos por el tiempo bruto del personal. Esta medida refleja el contrato laboral, especialmente recuerda los tiempos de parada por falta de personal al inicio, durante y al final de los turnos.
2. Productividad neta del personal (grúas): es lo mismo que el anterior, pero dividido entre el tiempo neto del personal. Esta medida refleja de una forma necesaria, aunque no productiva, que no están produciendo ‘movimientos’, tales como la apertura y cierres de tapas, remociones, etc.

Productividad neta/neta del personal: Esta medida también llamada “pick rate”, refleja la capacidad técnica en cuanto a las facilidades y equipamiento, junto con la habilidad de llevarlas a cabo en el desarrollo de la actividad laboral, y dando

una idea de la competitividad de la terminal en cuento a la dirección de planificación y control de estas.

En la última reunión ordinaria de asamblea general de accionistas el Gerente de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. – SPB S.A. en su Informe del Gerente General y de la Junta Directiva a la Asamblea General de Accionistas, segundo semestre 2018, a 31 de diciembre de 2018 explican entre otros temas, los rendimientos actuales de movimientos/hora que mantienen sus operadores de grúas pórtico super post-panamax (En razón de 28movimientos/hora); sin embargo, es de preocupación para la compañía mejorar estos rendimientos para continuar siendo nodo portuario atractivo para la comunidad y el comercio internacional. el fabricante SHANGHAI ZHENHUA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD (ZPMC) de las nuevas grúas adquiridas en el año 2016 garantiza hasta 35 movimientos/hora, por lo cual SPB S.A ha invertido en el año 2019, en la compra de un equipo de simulación de grúa pórtico Super Post-Panamax con el ánimo de implementar la capacitación y desarrollar habilidades a sus operadores actuales de la planta y así maximizar los rendimientos y continuar siendo competitivos a nivel mundial.

El departamento de operaciones marítimas tiene como meta un mínimo de 30 movimientos/hora, un estándar de 32 movimientos/hora y un máximo de 35 movimientos/hora; los 51 operadores que la compañía tiene actualmente contratados para la operación de dichas grúas mantienen un promedio de 28,6 movimientos/hora, según datos acumulados a marzo de 2.019.

Ante la compra del equipo de simulación, se genera la idea de diseñar programas de capacitación puntuales para los operadores contratados actualmente en la planta de la SPB S.A, que les permita un afinamiento y adiestramiento de sus habilidades y destrezas con la aplicación de ejercicios preestablecidos en el simulador, que les permita elevar SU NIVEL DE RENDIMIENTOS y de los equipos.

4. SIMULACIÓN PORTUARIA

La Simulación es una de las herramientas más adecuada como alternativa de observación y evaluación de un sistema. Permite la recopilación de información en el tiempo para su análisis y toma de decisiones. Para el caso particular de esta monografía, la Simulación permitirá aumentar los valores de productividad de los operadores de grúa portacontenedor tipo STS de la Sociedad Portuaria de Buenaventura, sin incurrir al flujo de recursos adicionales por el uso del equipo real, evitando además los riesgos de accidentes e incidentes.

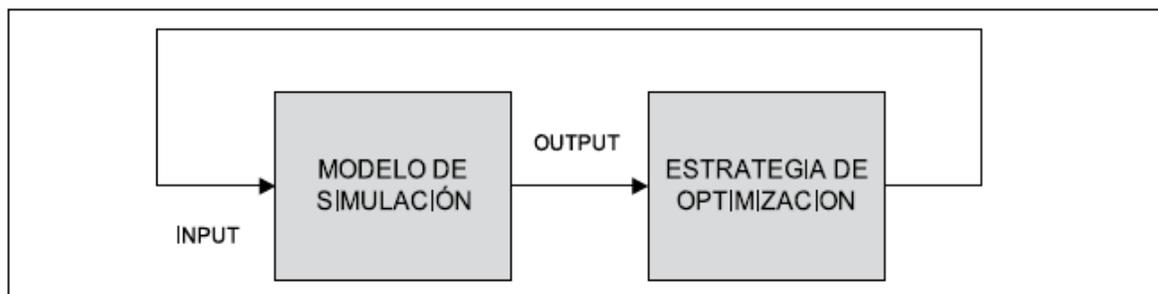
4.1. Gemelo Digital.

Un Gemelo Digital es concepto de modelo software que permite conocer las funcionalidades de un producto. Con los gemelos digitales es posible conocer la funcionalidad del producto antes de producción y uso en masa.

Utilizando este concepto de gemelo digital la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A contrato la construcción de un simulador portuario (HARBOUR SIMULATOR), el cual emula dos tipos de grúas, entre las cuales se destaca la grúa portacontenedor tipo Ship To Shore – STS o de intercambio Barco a Muelle o viceversa, modelo Super Post Panamax. Esta grúa con especificaciones técnicas solicitadas al fabricante (ZPMC) fue emulada por el constructor del simulador teniendo en cuenta los mínimos detalles, velocidades, capacidades, rendimientos, multimedia (Imágenes y sonidos), dimensiones y todas aquellas características únicas del equipo real que se pueden apreciar en el software modelado para el simulador.

Según los modelos de Optimización a través de la simulación, los inputs en la simulación generan unos outputs, estos últimos se convierten en estrategias de optimización para los procesos de un sistema.

Ilustración 4. - Proceso Interactivo de Optimización en Simulación.



Tomado de: <http://web.a.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=a59e284e-8828-462b-a68b-210860c4a318%40sdc-v-sessmgr02>

Para Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A. el proceso de simulación debe garantizar una estrategia que permita en el corto plazo evidenciar los incrementos en la productividad individual y general del talento humano (Operadores de Grúa), a niveles competitivos; inicialmente con la competencia local (Sociedad Puerto Industrial Agua Dulce), seguidamente con los terminales de la región caribe de Colombia.

4.2. Proceso de Simulación

Para la Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A el proceso de capacitación a través de la simulación busca los siguientes objetivos:

- Capacitar al talento humano (Operador de Grúa) en las tecnologías y técnicas adecuadas que le permitan desarrollar nuevas destrezas y habilidades para optimizar sus rendimientos operativos.
- Ejecutar los ejercicios de simulación dispuestos en el plan de capacitación.
- Evaluar los aprendizajes simulados en el campo real.
- Garantizar los aprendizajes al talento humano.

Partiendo de estos objetivos, se diseñan y disponen programas que se deben ejecutar en un tiempo determinado por cada sujeto, teniendo en cuenta algunos criterios como:

- Uso adecuado de técnicas y movimientos de ambas manos.
- Desarrollo de movimientos parabólicos. (Permiten disminuir el tiempo de desplazamiento de un punto A-Tierra a un punto B-Buque).
- Uso de la rampa de aceleración.

Estos tres criterios serán esenciales para el diseño de los ejercicios que se desarrollaran desde la simulación y adicionalmente, permitirá reducir los tiempos por cada movimiento de cargue o descargue ejecutado en una operación real.

El proceso de capacitación se realiza en la estación de simulación por un Operador desarrollado en cinco (5) días

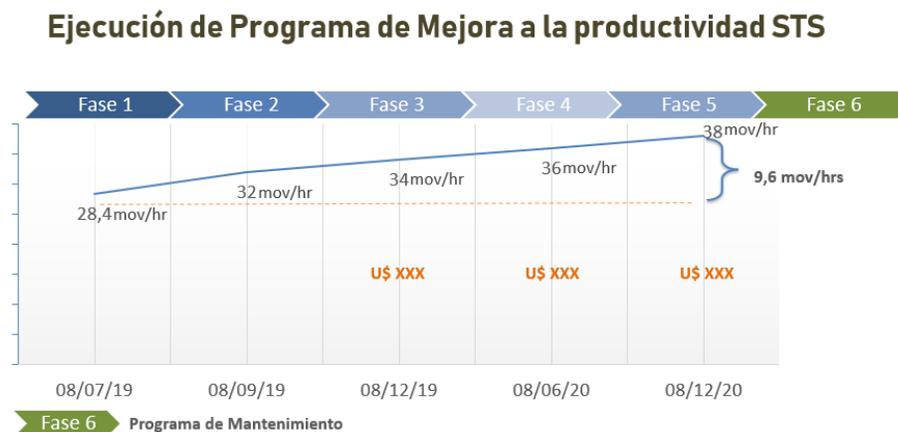
consecutivos, para finalizar con una intensidad de 10 horas totales de simulación. Durante este proceso se tomarán datos como son:

- Calificación promedio del simulador, esta calificación será arrojada en escala de 0 a 100 puntos y evalúa los criterios antes mencionados. Adicionalmente se tendrá en cuenta la postura ergonómica del Operador, control de oscilaciones del SPREADER y colisiones.
- Productividad promedio del Operador, esta se considera la información más importante durante el proceso, ya que mide la productividad (movimientos de contenedores por hora) de cada operador y es finalmente quien determinará el cumplimiento de la meta establecida en este proyecto.
- Tiempo de Ejecución del Ejercicio, aquí se detalle el tiempo que utilizó el operador en llevar a cabo el ejercicio asignado y para el cumplimiento del programa.
- Tiempo total disponible, este es el tiempo que dispone el operador para la ejecución del ejercicio asignado.
- Rendimiento porcentual promedio, esta es la información generada por el cociente entre el tiempo de ejecución y el tiempo disponible.

4.3. Indicadores de Éxito

Para Sociedad Portuaria de Buenaventura S.A este proceso debe garantizar la productividad recomendada por el fabricante (ZPMC); una grúa está en capacidad de entregar en condiciones ideales un mínimo de 35 movilizaciones de contenedores por hora (35mov/h); sin embargo para efectos comerciales y de competitividad la META fue establecida en 38 movilizaciones de contenedores por hora (38mov/h), como se observa en la ilustración a continuación.

Ilustración 5. - Proyecto Formación de Operadores basados en Competencias orientados a Productividad.



La población total de Operadores de Grúa portacontenedores tipo STS en la actualidad es de 51 operadores, los cuales deben estar capacitados en su totalidad para dar cumplimiento a la META. Este resultado es importante porque permite desarrollar el indicador de Nivel de Cumplimiento tanto de Operadores y sus resultados dentro de la META como la cantidad de población capacitada y apta para enfrentarse a los nuevos retos de la compañía. Por otra parte el horizonte de tiempo (Hasta diciembre de 2020) también determinara el nivel de cumplimiento del proyecto.

4.4. Método de Ejecución de la Simulación

El proceso de simulación tuvo sus inicios a partir del mes de Julio de 2.019 así:

La población atendida por semana es de seis (6) operadores en diferentes horarios, con una permanencia por operador de dos (2) hrs por día como se observa en la tabla 5.

Tabla 4. - Planeación Asistencia a Simulador - Julio2019

Planeador de sesiones de Simulación - APLICACION PROGRAMA MEJORA DE PRODUCTIVIDAD				
		Semana 1	Semana 2	Semana 3
		Preparacion Inicial de Sesión		
6 a 14hrs	7:30 - 8:00			
	8 a 10hrs	Nombre de Participante Jhon Jair Grueso Riascos	Nombre de Participante Jackson Alberto Renteria	Nombre de Participante Enrique Ezeriguer Torres
	10 a 12hrs	Nombre de Participante Jair Montaña	Nombre de Participante Albert Ivan Arboleda	Nombre de Participante Roberto Carlo Tenorio
14 a 22hrs	12 a 14hrs	Nombre de Participante Pedro Harvey Ramirez	Nombre de Participante Luis Eduardo Riascos	Nombre de Participante Javier Joao Rodriguez
	15 a 17hrs	Nombre de Participante Eucario Quintero Benitez	Nombre de Participante Julio Cesar Mosquera	Nombre de Participante Howards William Vivas
	17 a 19hrs	Nombre de Participante Hamilton Yair Ramos	Nombre de Participante Heder Marcial Rivas	Nombre de Participante Edinson Giraldo Perez
	19 a 21hrs	Nombre de Participante Agustin Campaz Diaz	Nombre de Participante Ismael Solis Alvarez	Nombre de Participante Heder Marcial Rivas
		Final de Sesión		
		21 a 22hrs		

Tomado de: Base de datos Sociedad Portuaria buenaventura S.A.

En la tabla 6 se detallan los ejercicios programados para las diferentes sesiones de los operadores en programa de simulación; en esta tabla se evidencia, el nombre del ejercicio específico a aplicar (En algunos casos se encuentran los criterios inmersos en el nombre del ejercicio), el tiempo que dispone para su ejecución, la cantidad de repeticiones que debe aplicar al ejercicio, el tiempo total en horas y la productividad esperada con la aplicación de todo el catálogo de los ejercicios.

Hasta este punto se evidencian los participantes y el compendio de recursos necesarios para el logro de los objetivos propuestos.

En aparte próximo comentaremos sobre los resultados después de la ejecución de los ejercicios del catálogo para s operadores que ya cumplieron con el total de las horas de capacitación a través de la simulación.

Antes de continuar es necesario conocer el proceso; cada operador debe pasar por la estación de simulación a realizar los ejercicios programados, por espacio de dos horas realiza la tarea y con apoyo de instructores facilitadores capacitados para el aprendizaje por competencias, acompañan a los operadores en la aplicación de la técnicas adecuadas de operación de las grúas buscando el óptimo rendimiento y desempeño del operador, además de cumplir con los criterios establecidos.

Tabla 5. - Catálogo de Ejercicio para Operadores EXPERTOS-SPB.

EJERCICIOS APLICABLES PARA EL PROGRAMA DE AFINAMIENTO PARA OPERADOR DE GRUA DE BARCO A MUELLE - STS				
No. del Ejercicio	Nombre del Ejercicio	Tiempo REAL	Repeticiones por ejercicio	Tiempo Total(min/repeticiones)
10	Circuitos con ubicaciones con trayectorias diagonales (A1)	6	2	12
11	Circuitos con ubicaciones con trayectorias diagonales (A3)	6	2	12
16	Circuitos con ubicaciones con trayectorias diagonales (A3)	10	2	20
3	Enganches y desenganches de camiones (I)	8	2	16
6	Estiba con ajuste de altura	7	2	14
14	Circuitos de enganches y desenganches con trayectorias parabólicas con ajuste de altura	7	2	14
2	Desestibar un plano siguiendo el orden	10	2	20
3	Estibar con dos contenedores de altura	9	2	18
4	Desestibar con dos contenedores de altura	12	2	24
5	Estiba de tierra a mar	19	2	38
6	Estiba de mar a tierra	17	2	34
8	Estiba en plano vertical	17	2	34
9	Desestiba en plano vertical	19	1	19
10	Estiba con Remociones	45	1	45
12	Ejercicio general de estiba y desestiba	70	1	70
14	Cargue y descargue Mn MSC OSCAR	15	1	15
15	Cargue descargue Guerda Maersk (Doble Ciclo)	60	1	60
1	Estiba en bodegas	12	1	12
6	Desestiba en bodega vertical	20	1	20
7	Estiba Heterogenea	28	1	28
8	Desestiba heterogenea	18	1	18
11	Ejercicio final	50	1	50
1	Enganche y desenganche con spreader overheight	10	1	10
Tiempos aplicados a la capacitacion		10,05	Horas	
Productividad Promedio de Ejercicio		38,29	Mov/hr	

Tomado de: Base de datos Sociedad Portuaria Buenaventura S.A.

Los operadores están en el derecho de realizar nuevamente los ejercicios que así lo permita el simulador y mejorar sus calificaciones iniciales y a su vez otros datos que finalmente condensados en base de datos arrojaran la información resumida del desempeño. Para dar por concluida la meta se deben tener en cuenta los siguientes momentos:

- Primer momento, el operador realiza los ejercicios del catálogo para optimizar sus conocimientos y por ende sus productividades personales. Aquí se estableció que la puntuación mínima de un operador debe ser de 90 punto en una escala de 0 a 100 puntos
- Segundo momento, el instructor facilitador una vez culminado el tiempo de capacitación (10hrs), programa el seguimiento de cada operador en una operación real de transferencia de carga para evaluar los aprendizajes a igual que: productividad, aplicación de criterios y tiempos de ejecución de movimientos.
- Tercer momento, se realiza un informe comparativo en donde se determinan las diferencias entre la productividad antes de iniciar el programa de simulación, la productividad durante el programa de simulación y la productividad después del programa de simulación en campo real

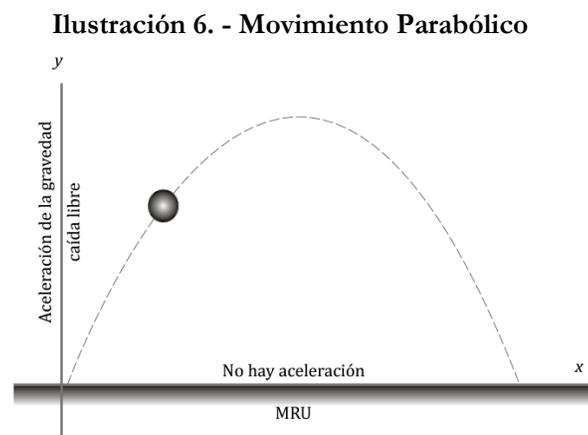
- Cuarto momento, si el operador no cumple con la meta de productividad mínima (38mov/h) promedio en los tres primeros momentos, se determinará un plan de mejoramiento adicional de 16hrs para lograr el objetivo planteado.

4.5. Practica Experimental.

Durante la ejecución de la simulación se realiza la verificación de resultados de ejecución de los ejercicios de cada operador y se realizan las repeticiones necesarias (Afinamiento) de tal manera que se perfeccione el método de ejecución del movimiento.

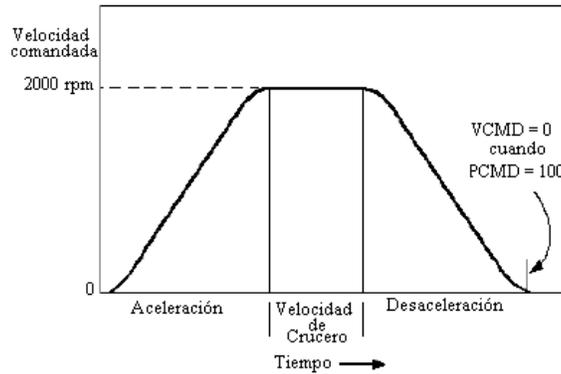
Antes de continuar es imprescindible explicar los tres (3) criterios fundamentales de los movimientos de contenedores con grúas portacontenedores:

- 4.5.1. Movimiento Parabólico, es el movimiento en el plano realizado por un objeto cuya trayectoria describe una parábola. En la ilustración 9 se describe el movimiento parabólico y se observan los vectores participantes y la curva resultante.



4.5.2. Rampa de Aceleración, generalmente la rampa de aceleración es controlable a través de variadores de velocidad, para el caso específico de este estudio, las grúa vienen provistas de dispositivos los cuales funcionan a través de la actuación de dispositivos (JOYSTICK) manipulados por el operador de la grúa. La rampa de aceleración le da capacidad a la grúa de iniciar sus movimientos de desplazamiento desde una velocidad mínima, pasando por una velocidad de cruceo hasta una velocidad máxima como se observa en la figura XXX. (En cualquier posición del recorrido del joystick siempre hay un valor que genera velocidad al movimiento).

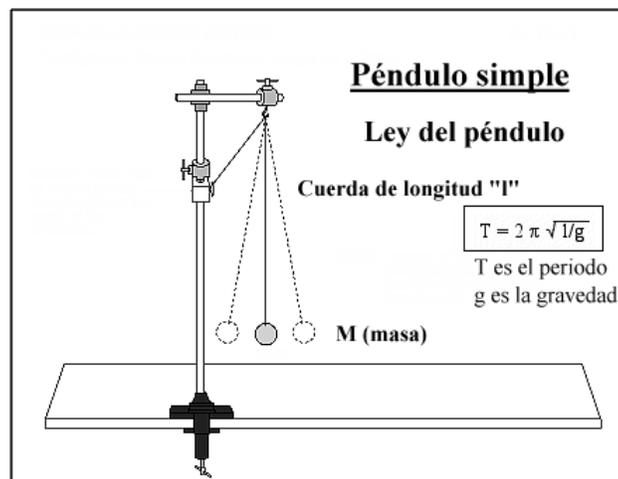
Ilustración 7. - Rampa de Aceleración



Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Perfil-de-velocidad-empleando-Move_fig4_264697894

4.5.3. Movimiento Pendular, durante el recorrido de a carga entre tierra y el buque y viceversa se genera un movimiento pendular simple como se observa en la ilustración 11; este movimiento y sus oscilaciones resultantes son el principal factor de demoras en las operaciones de transferencia que realizan las gras de izaje de carga, para el caso particular de las grúas portacontenedor tipo STS, este movimiento es mucho más constante y pronunciado si se tiene en cuenta que a la masa (Carga que transporta) se le aplica una velocidad de desplazamiento. El control de este movimiento permite reducir las oscilaciones y garantiza precisión a la hora del enganche o desenganche de la carga (Contenedor) en cualquiera de los dos escenarios de la operación.

Ilustración 8. - Movimiento Pendular



Tomado de: <http://anacasasbuenas.blogspot.com/2010/11/pendulo-simple.html>

La ejecución del movimiento parabólico en la práctica y la ejecución de los ejercicios de la simulación, resulta importante y determinante a la hora de reducir los tiempos de ejecución de una operación; encuentra esta importancia justificación en que, “para desplazarse desde el punto A hasta B con una barrera de obstáculo a una velocidad constante,

hace falta realizar un movimiento de tipo parabólico y no de tipo marco o de línea recta en tres direcciones”.

4.6. Análisis Experimental.

Para analizar nuestra hipótesis sobre la reducción de tiempo con el movimiento parabólico se realizaron los siguientes puntos:

- Tomar distancia de referencia entre el muelle y un punto en el buque, como longitud de recorrido.
- Tomar distancia de altura máxima para la elevación de la carga.
- Tomar medida de masa de la carga estandarizada.
- Definir punto A y punto B.
- Tomar velocidad de referencia para la ejecución del movimiento.

Con las variables definidas planteamos el cuestionamiento que se desea conocer. ¿A través de cual movimiento (Rectilíneo o Parabólico) se emplea menos tiempo para el traslado de una masa desde el punto A al punto B?

Para ello conocemos:

Según Lily Larrueca Córdova en su texto Física Mecánica, pág. 160; La metodología para resolver problemas de movimiento parabólico es sencilla:

- Hacer un dibujo que ilustre el problema.
- Elegir un sistema de referencia y analizar por separado las proyecciones del movimiento sobre los ejes x e y.
- La ecuación utilizada en el análisis del movimiento sobre el eje x es $\vec{x} = (x_i + v t) m \hat{i}$
- Las ecuaciones utilizadas en el análisis del movimiento sobre el eje y son las siguientes:

$$\vec{v} = (v_{iy} - 9,81 t) \frac{m}{s} \hat{j}$$

$$\vec{y} = \left[y_i + v_{iy} t - \frac{1}{2} (9,81) t^2 \right] m \hat{j}$$

$$v^2 = v_{iy}^2 - 2 \times 9,81 \times (y - y_i)$$

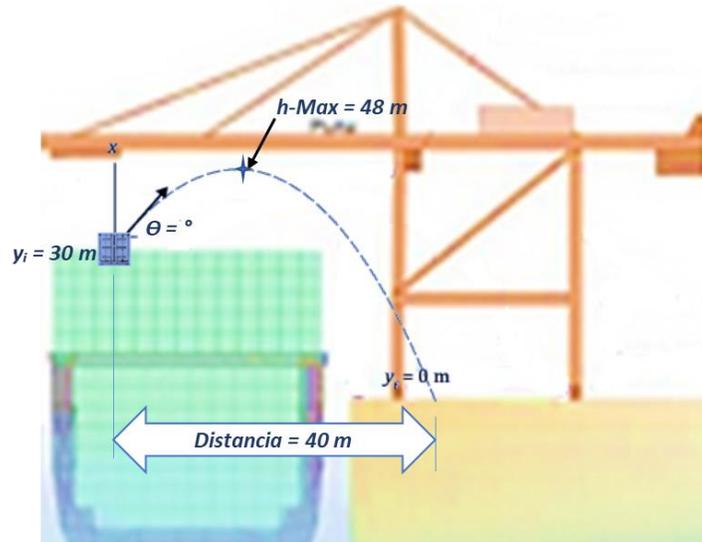
Tomar en cuenta que y se mide en metros, t en segundos, v en metros por segundo.

- Se determina las velocidades iniciales sobre los ejes x e y, descomponiendo el vector velocidad inicial.
- Se calcula los datos solicitados y los resultados se componen finalmente como vectores en el plano con ayuda de los vectores unitarios \hat{i} y \hat{j} .
- Después de haber terminado los cálculos, verificar si la respuesta es coherente y lógica.
- Redondear la respuesta final con el número de cifras significativas adecuado para los datos del problema.

4.7. Escenario de movimiento parabólico.

Partiendo de la ilustración 12, se conoce la siguiente información:

Ilustración 9. - Descargue en Movimiento Parabólico



Fuente: Elaboración Propia

- Distancia entre el punto A y B = 40 metros
- Altura máxima de Izaje de la Carga = 48 metros
- De acuerdo con el manual del fabricante Velocidad estimada de la Grúa con Carga en el eje X, $V_x = 240$ metros por minuto; equivalente a 4 m / seg
- La velocidad estimada de la grúa con Carga en el eje Y, $V_y = 90$ metros por minuto; equivalente a 1,5 m / seg.
- Altura Inicial del punto A = 30 metros.

Partiendo de la información preliminar iniciaremos el cálculo del tiempo de la movilización de la carga desde el punto A hasta B, utilizando el movimiento parabólico.

La velocidad puede expresarse como la suma de los componentes V_x y V_y , tomando en cuenta lo anterior se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Entonces;

$$\vec{v} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{240^2 + 90^2} = \sqrt{57.600 + 8100} = \sqrt{65.700} = 256,32 \text{ m/min}$$

Expresada en segundos, quedara: **$\vec{v} = 4,272 \text{ m/seg}$**

La dirección de la velocidad \vec{v} se calcula aplicando la función tangente inversa al cociente de las componentes de la velocidad. Si el ángulo θ está representando desde el origen de arcos, la dirección será:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)$$

Entonces tenemos;

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{90}{240} \right) = \tan^{-1}(0,375) = 20,56^\circ.$$

Para determinar el tiempo que permanece la carga suspendida en el aire para ir de un punto inicial a un punto final, se tendrá que recurrir a las ecuaciones de la caída libre para determinarlo. Ahora bien, como se conocen las posiciones inicial y final verticales, la ecuación a utilizar sería:

$$\vec{y} = \left[y_i + v_{iy}t - \frac{1}{2}(9,81)t^2 \right]$$

Así, resolviendo se tiene:

$$\vec{v}_{i,y} = V_y \text{Sen}\theta$$

$$\vec{v}_{i,y} = 4,272 * \text{Sen } 20,56 = 1,5 \frac{m}{seg}$$

Reemplazando en la Ecuación de \vec{y}

$$0 = 40 + 1,5t - \frac{1}{2}(9,81)t^2$$

$$0 = 40 + 1,5t - 4,905t^2$$

La expresión resultante es una ecuación de segundo grado y su solución puede tener hasta dos (2) resultados; para hallarlos se debe utilizar el siguiente TEOREMA.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Usando el Teorema de solución para la ecuación de segundo grado, tenemos:

$$x = t$$

La Ecuación organizada sería:

$$-4,905t^2 + 1,5t + 40 = 0$$

En donde:

$$a = -4,905$$

$$b = 1,5$$

$$c = 40$$

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$t = \frac{-1,5 \pm \sqrt{(1,5)^2 - 4 \times (-4,905) \times 40}}{2 \times (-4,905)}$$

$$t = \frac{-1,5 \pm \sqrt{2,25 + 784,8}}{-9,81}$$

$$t = \frac{-1,5 \pm 787,05}{-9,81}$$

Las dos soluciones de t son:

$$t1 = \frac{-1,5 + 787,05}{-9,81}$$

$$t1 = -80,076 \text{ seg}$$

y,

$$t2 = \frac{-1,5 - 787,05}{-9,81}$$

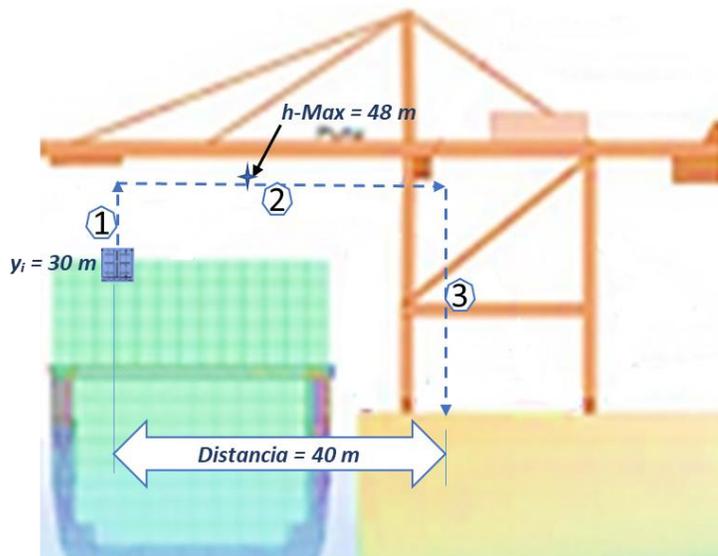
$$t2 = 80,38 \text{ seg}$$

La respuesta correcta es que el movimiento de manera parabólico se realiza en una tiempo de 80,38 segundos para el escenario planteado.

4.8. Escenario de movimiento Rectilíneo.

Ahora desarrollaremos el mismo análisis para el movimiento rectilíneo de la ilustración 13.

Ilustración 10. - Descargue en Movimiento Rectilíneo



Fuente: Elaboración Propia

La lógica de funcionamiento de la grúa portacontenedor tipo STS está acompañada de permisos que asumiendo la condición ideal de operación se ajustan y dan vía libre a las operaciones convencionales de carga y descarga; siempre que esta lógica no reconozca operaciones convencionales, los permisos limitan su capacidad total de

operación reduciéndola hasta en un 50%, lo anterior a modo de protección del equipo y como filtro de seguridad.

La lógica principal del equipo es la utilización constante de las dos manos del operador, esto debido a que esta acción garantiza la operatividad total del equipo; en este sentido, al realizar movimiento rectilíneo solo es necesario trabajar una sola mano, por lo que su velocidad final se ve afectada.

Dicho lo anterior y conociendo las velocidades de la grúa, se deben realizar los cálculos con afectación del 50%.

Según las fórmulas del movimiento Rectilíneo Uniforme, para hallar la Velocidad de un objeto que se desplaza desde un punto inicial a un punto final en un tiempo determinado es la siguiente:

$$\vec{v} = \frac{\vec{x} - \vec{x}_i}{t}$$

De dicha ecuación podemos concluir que:

$$v = \frac{d}{t}$$

En donde d, es la distancia que recorre un objeto y t es el tiempo utilizado para dicho desplazamiento.

Expresada en términos de tiempo, la formula quedara así:

$$t = \frac{d}{v}$$

Es importante tener en cuenta que para la ejecución del movimiento objeto de nuestro análisis se deben realizar 3 movimientos seguidos los cuales se identifican en la ilustración 13; por lo cual el análisis a realizar es el siguiente:

Movimiento 1.

Velocidad = 90 metros / minuto – 45 (50% de reducción) = 45 m / min

Distancia = 48 metros de altura máxima – 30 metros de altura inicial = 18 metros de recorrido.

Aplicando la Ecuación:

$$t = \frac{18}{45} = \mathbf{0,4 \text{ min.}}$$

Movimiento 2.

Velocidad = 240 metros / minuto – 120 (50% de reducción) = 120 m / min

Distancia lineal entre punto A y B = 40 metros de recorrido.

Aplicando la Ecuación:

$$t = \frac{40}{120} = \mathbf{0,33 \text{ min.}}$$

Movimiento 3.

Velocidad = 90 metros / minuto – 45 (50% de reducción) = 45 m / min

Distancia = 48 metros de altura máxima.

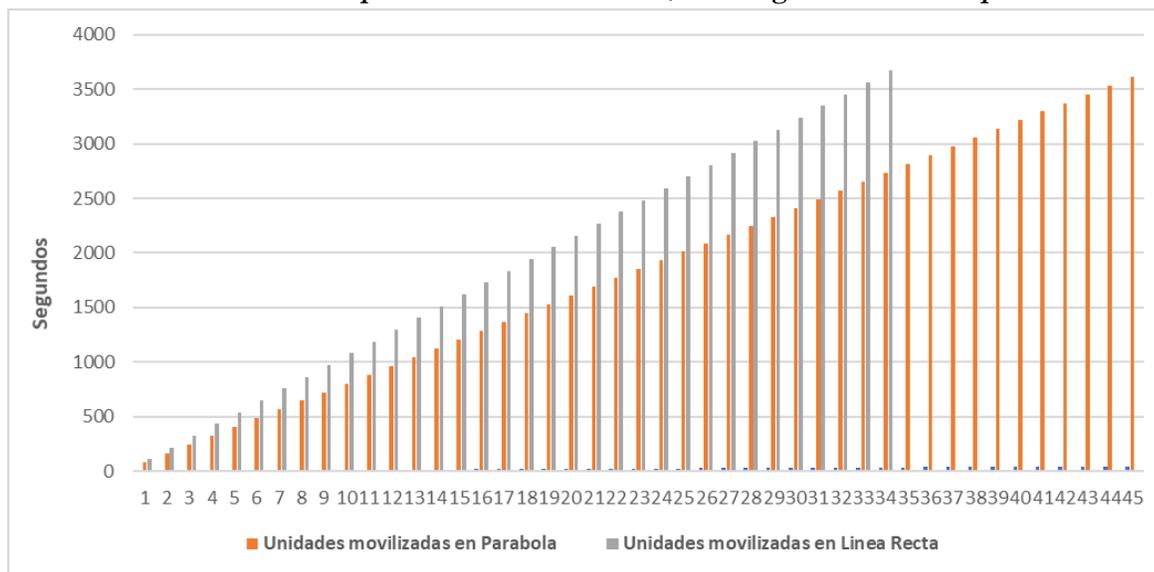
Aplicando la Ecuación:

$$t = \frac{48}{45} = \mathbf{1,07 \text{ min.}}$$

La sumatoria Σ de todos los tiempos = 1,8 min; equivalentes a **108 seg**

La ilustración 14 muestra la cantidad de movimientos que se pueden realizar en una hora teniendo en cuenta los dos escenarios de tipos de movimientos.

Ilustración 11. - Comparativo de Movimientos/hora según método de operación utilizado.



Fuente: Elaboración Propia

Por una parte, utilizando el método de línea recta se obtiene un rendimiento de producción de 34 movimientos en 3.600 segundos (1 Hora); por otra lado, el método del movimiento parabólico muestra una productividad de 45 movimientos empleando el mismo tiempo. La diferencia en productividad es de 11 movimientos por cada hora; lo que sugiere un impacto del 15% en la productividad.

Tomando los resultados teóricos obtenidos se sustenta la aplicación de los diferentes ejercicios del catálogo de la simulación con sus criterios y la META establecidos para la sexta fase 5 del programa de productividad de la ilustración 8.

4.9. Resultados.

En cuanto a resultados es importante precisar que el cumplimiento del programa de simulación en sus doce (12) primeros operadores cumplen con la meta de la Ilustración 5 (Proyecto de Formación de Operadores basados en competencias orientados a Productividad), ya que de arranque la simulación demostró que el promedio general de productividad estaba en 28,4 movimientos/hora y en su primer informe, la simulación nos arroja resultados de 32,96 movimientos/hora y una calificación promedio de 91.27 puntos de 100 puntos posibles.

En la tabla 7 se evidencia el consolidado de las productividades de los cuatro (4) momentos de la simulación.

Tabla 6. - Consolidado de Productividad después de Simulación

	Operador	Simulación Considerando promedio de las Notas			Calificación Promedio en Simulación	Variación Porcentual de Productividad (Simulación Vs. Real)
		Productividad				
		jun-19	SIMULACION (Inicio 8 Julio a 23 Julio)	Productividad tomada de Operación MN TIAN CHANG HE - 26 Julio		
1	Howards William Vivas Vivero	36,52	41,68		90%	14%
2	Jhon Jair Grueso Riascos	33,48	37,41		92%	12%
3	Julio Cesar Mosquera Montaña	33,25	37,00		87%	11%
4	Albert Ivan Arboleda Caicedo	35,49	36,27		91%	2%
5	Jair Montaña	35,35	33,58	37,5	91%	-5%
6	Javier Joao Rodriguez	34,42	33,24		91%	-3%
7	Jackson Alberto Rentería Castro	31,24	32,54		87%	4%
8	Heder Marcial Rivas Barco	36,86	32,48		92%	-12%
9	Luis Eduardo Riascos	30,10	32,24		89%	7%
10	Edison Giraldo Perez	31,29	32,23		90%	3%
11	Ruben Dario Alegría Medina	28,50	31,64	19,88	89%	11%
12	Eucario Quintero	36,68	31,55	39,42	90%	-14%
13	Hamilton Yair Ramos	33,13	30,11	37,33	86%	-9%
14	Agustin Campas Diaz	30,54	29,99	33,47	82%	-2%
15	Roberto Carlos Tenorio	32,61	29,15		88%	-11%
16	Pedro Harvy Ramirez Valois	35,42	28,97		84%	-18%
17	Enrique Ezeriguer Torres	36,78	28,75		82%	-22%
18	Ismael Solís Álvarez	31,33	26,14		75%	-17%
		33,50	32,50	33,52		

Fuente: Elaboración Propia

5. CONCLUSIONES

El proyecto de aplicación de programas de simulación para mejoramiento de la productividad de operadores de grúa portacontenedores tipo STS, es un proceso simple con fundamentación teórica que pretende optimizar los indicadores de productividad de la Sociedad Portuaria Buenaventura; y a su vez, impactar de manera positiva los costos operativos del terminal portuario. Con la demostración teórica de los diferentes escenarios de movilización de contenedores entre el buque y tierra y viceversa, se demuestra que es posible ejecutar los criterios planteados para la ejecución de los ejercicios de simulación. Los resultados obtenidos en la población objetivo confirman en varios casos que ha sido exitoso el programa hasta dicho momento y además ha permitido que los participantes que no han logrado cumplir el programa, se dispongan para planes alternativos de mejoramiento que redundan en mejores prácticas empresariales del talento humano; aportando con su misión en cuanto al desarrollo profesional y social de sus trabajadores.

Se ha demostrado a las directivas de la compañía que adicional a los estudios de factibilidad anteriores a la compra del simulador se debieron haber realizado para la adquisición del mismo, esta herramienta de capacitación es adecuada para el mejoramiento de sus procesos de capacitación técnica y desarrollo de habilidades y destrezas de los operadores de grúa portacontenedores tipo STS, que finalmente a través del tiempo redundaran en mejoras de la productividad personal y general de la compañía, en cuanto a cargue y descargue de contenedores se refiere.

Los ejercicios establecidos en los diferentes programas de capacitación (A y B) resultaron adecuados en cuanto a tiempo y pertinencia, toda vez que cumplen con los principales criterios establecidos para mejorar la productividad de la compañía. Para cada criterio (movimiento parabólico, uso de la rampa de aceleración y control de movimiento pendular) se crearon ejercicios que brindan al operador mejorar sus prácticas de operación garantizando lograr los estándares de

tiempos y movimientos del equipo y la compañía.

Desde el inicio de aplicación del programa (8 de julio de 2.019) hasta la construcción de este proyecto (23 de agosto de 2.019) se han capacitado treinta (30) operadores con un nivel de cumplimiento de 98% del total de horas. Los resultados de productividad se incrementaron de 28,4 movimientos por hora a 31,78 movimientos por hora según informe de avance presentado a la gerencia de operaciones de la compañía en la última fecha. Se evidencia un incremento de 3,38 movimientos adicionales correspondientes a un 11,9% con respecto a la productividad inicial.

En cuanto a la actitud e incentivo de los operadores se evidencia un notorio incremento en el interés general de utilizar de manera permanente la herramienta (simulador) para mejorar sus productividades, lo que ha generado oportunidad de estrategia a la compañía para fortalecer las habilidades y destrezas de los operadores. Se establece como estrategia, modelar nuevos ejercicios tomados de escenarios reales e incorporándolos a las practicas previas a la operaciones de transferencia de contenedores entre el buque y tierra, para disminuir tiempos de espera y mejorar los procesos.

Este trabajo permitió además entregar datos necesarios al departamento de mantenimiento de equipos para mejorar los parámetros de seguridad de cada una de las grúas de la compañía, lo que redundo en mejoras en las prácticas de mantenimiento y reducción de costos por este rubro. Los datos relevantes que se generaron con los programas aplicados de simulación son entre otros: promedio de colisiones del spreader que generan daños de flippers (Paletas), tensiones excesivas en los cables acerados de hoist por sobre-oscilaciones del spreader y numero de enganches/desenganches de los twislock para programas de mantenimiento preventivo.

6. BIBLIOGRAFÍA

LEY No. 01 DE 1991. Por la cual se expide el Estatuto de Puertos Marítimos y se dictan otras disposiciones. Enero 10 de 1991. D.O N° 39626.

Martinez, Rafael J. (2.005) Sistema de Simulación Integrado UVSIM para la simulación de grúas Pórtico. Valencia – España: Laboratorio de Simulación y Modelado.

Fernández Pérez, Diana. (2.009) Estudio técnico y mantenimiento de una grúa porta-contenedores. Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona.

Conferencia de las naciones unidas sobre comercio y desarrollo UNCTAD. (2.016). Serie La Gestion Portuaria. Vol. 4. pág. 29. Recuperado de: https://tft.unctad.org/wp-content/uploads/2014/03/1615317_S_UNCTAD_DTL_KDB_2016_1_WEB.pdf

Younis, W. (2.013) Inventor y su Simulación con ejercicios prácticos. Ed. Alfaomega. México, p. 2. Recuperado de: https://www.alfaomegacloud-com.bdigital.sena.edu.co/reader/inventor-y-su-simulacion-con-ejercicios-practicos?last_location=eyJwYWdlIjo2fQ==

Sociedad Portuaria Buenaventura. (2.016 Agosto 8). Nuevas Grúas Pórtico SPB. Archivo video recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=dBreAZMsnZw>

Resolución 1107 de 2.003. Ministerio de Transporte. Por medio de la cual se aprueba el nuevo Reglamento de Condiciones Técnicas de Operaciones de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Marzo 10 de 2.003. Recuperado de: <http://www.sprbun.com/documents/20181/26784/Reglamento+consolidado/cb7413a3-4950-458b-ad69-639b39700377>

Superintendencia de Industria y Comercio. (2.013) Estudios de Mercado Sector Portuario Colombiano e incidencia de

las Políticas Públicas en la SPRBUN. Recuperado de: [http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios Economicos/Estudios Economicos/Estudios Mercado Puertos.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudios_Mercado_Puertos.pdf)

Rodrigo de Larrucea, Jaime. (2.018). Terminales Automatizadas Y Semiautomatizadas. Operativa Y Equipamientos. Universidad Politécnica de Cataluña. p. 23. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/118227>

Contreras, M. J. Baesler, F. Maldonado, L. (2.010) Optimización De Las Operaciones Portuarias Mediante Simulación Y Metodología De Superficie De Respuesta. Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/detail/detail?vid=3&sid=255e9400-7e80-45e1-9b09-7aca2d9be38b%40sessionmgr102&bdata=Jmxbhmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=59289740&db=fap>

Joyanes, L. (2017). Industria 4.0. (1ª Ed.). Alfaomega. <https://www.alfaomegacloud.com/reader/industria-40-42?location=291>

Taha. Hamdy A. (2.004). Investigación de Operaciones. (7ª Ed.). Pearson Educación. P. 639.

Georgia Tech Panamá. (2019). Conceptos básicos. Recuperado de: <https://logistics.gatech.pa/es/assets/seaports/concepts>

Georgia Tech Panamá. (2019). Colon Container Terminal.

Recuperado de: <https://logistics.gatech.pa/es/assets/seaports/colon-container-terminal>

CEPAL. (2019). Actividad portuaria 2018. Los puertos Top 20 en América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/infografias/actividad-portuaria-2018-puertos-top-20-america-latina-caribe>

CEPAL (2019). Movimiento de carga en los puertos de América Latina y el Caribe aumentó 7,7% en 2018. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/comunicados/movimiento-carga-puertos-america-latina-caribe-aumento-77-2018>

Comercio Exterior. Puerto de Brasil. Recuperado de: <https://comercioexterior.la/puertos-maritimos/america/brasil/#Puerto de Santos>

SITCA. (2018) Puerto marítimo de Buenaventura de gran importancia para el país. Recuperado de: <https://www.sitca.co/blog/nwarticle/35/1/puerto-maritimo-buenaventura-gran-importancia-para-el-pais>

García, J. C. Ramírez J. M. (2.017) Concepción de un simulador para el entrenamiento de operadores de centrales hidroeléctricas desarrollo del arranque de un generador. Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=27c520e2-4bff-42b0-bfe5-029c38b10d5e%40pdc-v-sessmgr03>

JABARY, Ibrahim. (2.012) Simuladores para incrementar la productividad personal. Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=127d0825-3585-4324-9498-40488cc92072%40pdc-v-sessmgr06>

Jokin Aginaga-Gorcía, Xabier Iriarte-Goñi, Jesús María Pinlor-Borobia, Javier ttos-Ganuzo, Jorge San Migue Unáura. (2.012). Implantación de un simulador para la formación de conductores de carretillas elevadoras. Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=7f9b5c6e-86a3-4aba-89d7-ae468905791b%40pdc-v-sessmgr02>

Castro, Y. Hernandez, V. Valenzo, M. (2.015) Índice Malmquist como Propuesta Metodológica para la Medición de Eficiencia: Caso Terminales Contenedoras Mexicanas 2004-2009. Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com.bdigital.sena.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=b8cd4f3d-6204-4340-af94-9fbf78a4344e%40pdc-v-sessmgr03>

Bohórquez, K. (2019). Movilización de carga en puertos crecerá 15% tras invertir US\$224 millones a

2022.Recuperado de: <https://www.larepublica.co/economia/movilizacion-de-carga-en-puertos-crecera-15-tras-invertir-us224-millones-a-2022-2844102>, julio 2019

Arrascue Córdova, Lily. (2.015) Física Mecánica: nivelación para estudiantes universitarios. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), P. 158-159. Tomado de: <http://www.digitalipublishing.com.bdigital.sena.edu.co/a/45592/fisica-mecanica---nivelacion-para-estudiantes-universitarios>

Gutierrez Garcia, I., Evilla, J.R. (2.011). Matemáticas básicas con trigonometría. 2da Edición. Ed. Universidad del Norte. Pág. 116. Tomado de: <http://www.digitalipublishing.com.bdigital.sena.edu.co/visor/13673>