



Propuesta de mejora para una empresa del sector metalúrgico: una aplicación de DMAIC considerando Ergonomía/Factores Humanos

Ana Beatriz Souto Perry, PUCPR, Curitiba, PR, Brasil, ana.perry@pucpr.edu.br
Rosimeire Sedrez Bitencourt, PUCPR, Curitiba, PR, Brasil, rosimeire.bitencourt@pucpr.br
Osiris Canciglieri Junior, PUCPR, Curitiba, PR, Brasil, osiris.canciglieri@pucpr.br

Resumen

La industria ha experimentado una evolución, pasando de la artesanía personalizada a la producción en masa con altos rendimientos, calidad y enfocándose en bajos costos. Sin embargo, a lo largo de este proceso, el ser humano dejó de ser el foco principal y se convirtió solo en un elemento de apoyo en términos de costo, calidad y plazos. Como resultado, la búsqueda de una mayor productividad terminó dejando al ser humano en un papel secundario en las empresas. En este contexto, con el objetivo de destacar al ser humano y mejorar la precisión del proceso de inventario en una empresa del sector metalúrgico en la región metropolitana de Curitiba. Para ello, se aplicó el método DMAIC junto con el método AMT. El resultado del proyecto consiste en una mejora del proceso de inventario, teniendo en cuenta la realidad de la empresa. Durante la aplicación del ciclo DMAIC, se utilizó el método AMT para recoger las posibles causas raíz de las oportunidades planteadas. Además, con el AMT, se encontró insatisfacción de los empleados en relación con el clima organizacional y el liderazgo. Además, se identificaron altos niveles de malestar y dolor debido al trabajo repetitivo. Una vez definidas las causas, se buscaron soluciones a los problemas. Estos fueron analizados, priorizados y probados. Con la implementación de las soluciones, hubo un aumento de 1,68 puntos porcentuales en la precisión del proceso de inventario, alcanzando el 94,68% (meta del 95%). Para mantener la sostenibilidad del proyecto, se elaboró un plan de control con acciones y recomendaciones, en un ciclo de mejora continua.

Palabras clave: DMAIC; Esbelto; Factores Humanos; Ergonomía; Método AMT.

1. Introducción

La valorización de los factores humanos ha cobrado cada vez más protagonismo en el sector industrial ya que cada vez se reconoce más a las personas en las diferentes etapas de los procesos de la empresa, desde el desarrollo del producto hasta la posventa, convirtiéndose en partes fundamentales dentro del sistema productivo (BITENCOURT et al., 2020).

No es nuevo que se haya estudiado el equilibrio entre organizaciones, tecnologías y recursos humanos. Desde hace más de 70 años, el Instituto Tavistock estudia el concepto de sistema sociotécnico que aborda el equilibrio de estos tres factores (THE TAVISTOCK INSTITUTE, 2022). Sin embargo, con el paso del tiempo, el reconocimiento del valor del trabajo realizado por los empleados en una empresa, que antes era indiscutible, se ha ido descuidando paulatinamente en favor de priorizar otros aspectos, como la productividad y la reducción de costes.

Cuando se habla de Lean, la primera idea que viene a la mente es la reducción de costos y la priorización de clientes. Incluso en su aplicación más famosa, la combinación de Lean y Six Sigma es idealizada por Motorola en 1986, centrándose en la calidad del producto y utilizando el ciclo para la mejora continua, DMAIC (*Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control*); conocido como *Lean & Six Sigma*, no se hace hincapié en la importancia del ser humano y su bienestar en los procesos de producción, a pesar de estar presente en todas las etapas de este proceso.

Dentro de la aplicación de *Lean & Six Sigma* se encuentra la estandarización de tareas, la eliminación de actividades innecesarias y la mejora del flujo de trabajo, que muchas veces no considera directamente las necesidades y habilidades de los trabajadores.

Sin embargo, con el tiempo, ha habido una evolución en el pensamiento de las empresas, con una creciente comprensión de que los factores humanos juegan un papel crucial en la eficiencia y la calidad de los procesos. Este contexto pone de manifiesto la importancia de combinar los dos campos de aplicación, es decir, integrar los aspectos humanos, como la formación, el compromiso y la satisfacción de los empleados (ergonomía en su conjunto), en el contexto de la mejora de procesos Lean, utilizando herramientas como DMAIC.

Con el fin de satisfacer las demandas de los clientes y reducir los residuos, muchas empresas están adaptando y transformando sus procesos, y esto también se aplica al sector logístico. Para los clientes, los gastos relacionados con el almacenamiento, movimiento y control de materiales no agregan valor. Por lo tanto, cualquier reducción de residuos en estas actividades representa una ganancia significativa para la empresa.

1.1. Gol

Por lo tanto, como objetivo, el proyecto pretende proponer e implementar mejoras

al proceso actual de inventario y registro de materiales, de una empresa del sector metalúrgico, abordando los conceptos de producción ajustada, mejora continua y ergonomía, a través de la aplicación del proceso DMAIC.

1.2. Metodología

Este trabajo se caracteriza por ser una investigación aplicada, de carácter cuantitativo y objetivo exploratorio (NASCIMENTO, 2016). Para cumplir con el objetivo propuesto, se siguió el método DMAIC, integrado con el Método AMT (Análisis Macroergonómico del Trabajo), para proponer un proceso futuro mejorado.

El ciclo DMAIC es una herramienta Six Sigma, en la que el acrónimo se refiere a los siguientes pasos: *definir, medir, analizar, mejorar* y controlar. Esta herramienta sirve para dirigir la aplicación del trabajo en la empresa, ya que sus fases están estructuradas y pueden ser supervisadas por la empresa, que es el principal interesado en el proyecto. Considerando que el foco del trabajo son los factores humanos, se optó por el método de Análisis Macroergonómico del Trabajo (AMT), propuesto por Guimarães (1998). En la Figura 1 se muestra cómo funcionará la metodología aplicada, integrando la metodología AMT con el ciclo DMAIC.

Figura 1 - Metodología aplicada integrando AMT y DMAIC.

DEFINIR		MEDIR		ANALISIS		MEJORAR		CONTROL	
PASO	MÉTODO	PASO	MÉTODO	PASO	MÉTODO	PASO	MÉTODO	PASO	MÉTODO
Definición del problema	Conversación con el responsable de logística	Estratificación del problema	Árbol de estratificación y Pareto	Mapear el proceso	Del mapa de carlines	Proponiendo soluciones	Llave de tres y AMT Fase 3: soluciones propuestas	Comprobar el logro de objetivos específicos y global	Análisis de relevancia de los riesgos
Contextualización de la empresa.	Información del sitio web.	Fidelidad de los datos estratificados.	La recogida de datos se llevó a cabo.	Encuesta de causas fundamentales	Del método AMT a la fase 2: análisis ergonómico	Priorización de soluciones	Tabla de oportunidades de mejora	Comprobar ganancias financieras	Cuantificación de ganancias por el indicador propuesto
Definición de métrica	Indicador de problema	Definición de los cuatro más significativos	Agrupación de datos que suman un 80% de significancia en el indicador	Priorización de causas fundamentales	Matriz GUT, 5 porqués y diagrama de Ishikawa	Detallando e implementando soluciones	Pruebas de soluciones implementadas. SW2H y fase 4 de AMT: validación de soluciones.	Plan para los resultados mantener	OCAP (plan de acción fuera de control) y AMT fase 5: detalles ergonómicos
Justificación del proyecto	Análisis de datos de indicadores históricos.	Análisis del comportamiento de los brotes a lo largo del tiempo	Usando Pareto	Cuantificar la causa	Encontrar las causas				
Establecimiento de objetivos	Identificación de causas de logística.	Definición de objetivos prioritarios	Basado en el comportamiento histórico de los focos.						
Garantías del proyecto	De la mejora del indicador								
Mapa de procesos SIPOC	Definido junto con el gerente.								

Fuente: Los Autores, 2023

2. Desarrollo, Resultados y Discusión

Para demostrar mejor los resultados, los temas se separaron en la misma estructura presentada por la metodología DMAIC.

2.1. Establece

Para iniciar el proyecto, se entendió un poco sobre la empresa que es un referente en cuanto a sistemas de extracción de petróleo y gas y, actualmente, debido a la generación de nuevos tipos de energía, la empresa decidió abarcar los nuevos nichos generados a partir de nuevas tecnologías, promoviendo las energías sostenibles.

Al planificar una producción, se lleva a cabo una optimización de los recursos disponibles del sistema SAP® (*Aplicaciones del sistema y productos en el procesamiento de datos*). Si existe una discrepancia entre los materiales físicos frente a la cantidad indicada en el sistema, es necesario realizar una nueva planificación para determinar las demandas derivadas del obstáculo de falta de la parte física. Debido a esto, el indicador de precisión es de gran importancia dentro de un proceso, ya que es el factor que indica qué tan bien ajustado está el inventario físico en relación al sistema y, por esta razón, esta es la métrica utilizada en el proyecto. Este indicador se mide de acuerdo con la Ecuación 1. Este indicador está sujeto a auditoría interna y externa, lo que aporta mayor fiabilidad a los datos presentados.

$$\text{Precisión (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor Real}}{\text{Valor teórico}}\right) \times 100$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular el porcentaje de precisión.

Para el ciclo 2022, la empresa puso a disposición a tres personas en los dos turnos para realizar el recuento. El análisis de los datos históricos de la empresa (promedio del 90%) mostró que existe una gran variabilidad entre los datos de precisión, ya que cada material tiene diferentes tamaños, cantidades y disposiciones en los estantes, lo que puede facilitar o dificultar el proceso de conteo, ya que es realizado manualmente por los almacenistas. Las ganancias se medirán en horas de trabajo recuperadas debido a un mayor nivel de precisión. Para comprender mejor el proceso de la empresa, se elaboró un mapa de procesos SIPOC (*Proveedores, Insumos, Proceso, Salida y Clientes*) del flujo del proceso principal estudiado (Figura 2).

Figura 2 - Matriz SIPOC

Proveedores	Entradas	Proceso	Bienes	Consumidores
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cientela
Proveedor	Parte presentada	Recibir la pieza	Pieza recibida	Área de recepción
Área de recepción	Pieza recibida	Estado de actualización en SAP	Estado de la pieza actualizado en el sistema	Área de Inspección de Calidad
Área de Inspección de Calidad	Estado actualizado de la pieza en el sistema	Inspeccionar piezas	Pieza homologada	Inspector de Calidad
			Pieza fallida	Inspector de Calidad
Inspector de Calidad	Parte aprobada y rechazada	Estado de actualización en SAP	Estado de la pieza actualizado en el sistema	Pieza homologada - Distribuidor Pieza averiada - Proveedor
Distribuidor	Estado de la pieza actualizado en el sistema	Asignar piezas al inventario según MRP	Pieza asignada en stock según MRP	Distribuidor
Distribuidor	Pieza asignada en stock según MRP	Pedido de materiales de montaje	Material solicitado	Gerente de Proyectos
Gerente de Proyectos	Material solicitado	Buscar piezas en stock	Piezas localizadas	Distribuidor
Distribuidor	Piezas localizadas	Separación de piezas para el montaje	Conjunto separado	Distribuidor
Distribuidor	Conjunto separado	Estado de actualización en SAP	Estado de la pieza actualizado en el sistema	Jefe de Montaje
Jefe de Montaje	Estado de la pieza actualizado en el sistema	Posición en la línea de montaje	Conjunto posicionado	Línea de montaje

Fuente: Los autores, 2023.

2.2 Medir

El proceso se estratificó a partir del resultado del último recuento cíclico. La estratificación mostró que el 20% de los materiales solicitados no son localizados, lo que provoca un aumento en las horas de trabajo "perdidas". De esta manera, se analizó cuáles son los principales puntos que se ven afectados por esta no ubicación del material, sin que, por lo tanto, existan: conteo incorrecto (53%), dirección incorrecta (20%), no definición (13%), divergencia de consumibles (6%), error de envío (5%) y material incorrecto (3%). Como resultado, dado que los dos primeros (recuento incorrecto y dirección incorrecta) forman el 73% de la causa, estos se definieron como el foco del proyecto. Los objetivos prioritarios se definieron por el comportamiento de estos focos a lo largo del tiempo, validando el logro del objetivo global propuesto por la empresa (Figura 3).

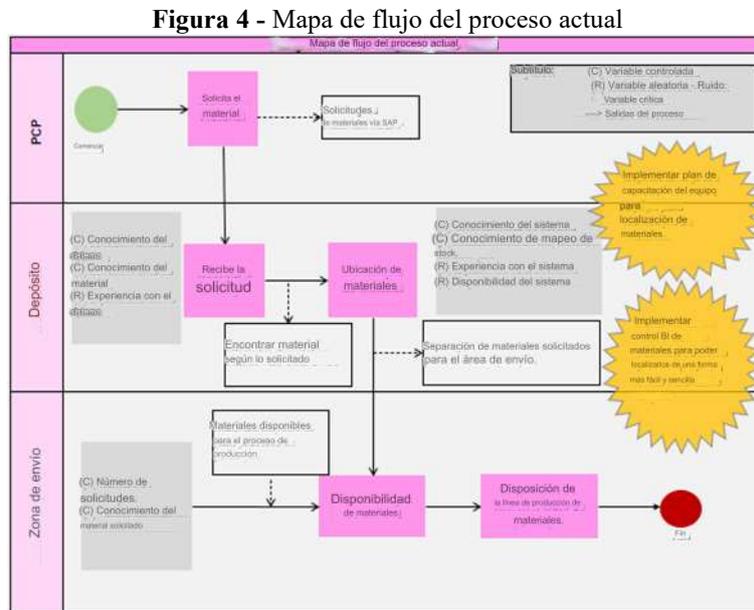
Figura 3 - Objetivos específicos para cada enfoque

	Estrato	Actual	Meta
Objetivo 1	Conteo incorrecto	53%	30%
Objetivo 2	Error de direccionamiento	20%	15%
	Sin definición	13%	13%
	Divergencia de consumibles	6%	6%
	Error de envío	5%	5%
	Material incorrecto	3%	3%
Total		100%	72%
% de no encontrado		20%	14,50%
% de falta de precisión		7%	5%
% exactitud		93%	95%

Fuente: Los Autores, 2023.

2.3 Analizar

Para identificar cuáles son los puntos de mejora en cada paso del proceso, se preparó un mapa de carriles, como se muestra en la Figura 4.



Para comprender mejor las causas de los problemas, considerando los factores humanos, la encuesta se realizó utilizando el método de ergonomía AMT propuesto por Guimarães (1998), ver Figura 5.

Figura 5 - Aplicación de la herramienta AMT.

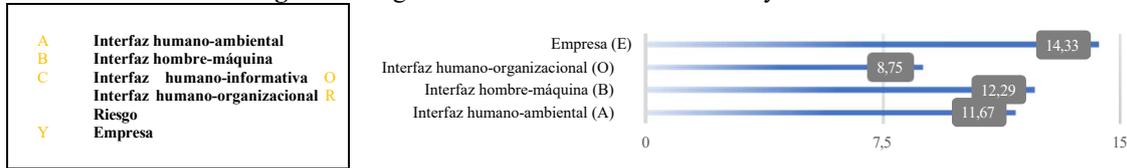
Fase	Descripción
Fase 0 Lanzamiento del proyecto y planificación de la encuesta de campo	Dado que la empresa no cuenta con un comité de ergonomía, la encuesta se llevó a cabo en forma de entrevista con los operadores del galpón de ganado a analizar. Se realizaron 6 entrevistas el 17/05/2022, entre los entrevistados había 5 almacenistas y 1 gerente de logística.
Fase 1 Elevación inicial o apreciación ergonómica	Para el desarrollo de la encuesta inicial se utilizaron las observaciones directas de los usuarios. Las preguntas fueron planteadas de forma abierta para que los entrevistados pudieran colocar sus observaciones, de acuerdo con la sugerencia de Guimarães (1998), en el orden que consideraran más relevante. A partir del registro de las respuestas dadas por cada uno de los entrevistados, fue posible tabular las respuestas y ordenarlas De acuerdo con el grado de priorización (orden en que se mencionó el problema), se definieron los pesos de importancia para cada ítem mencionado.
Fase 2 Análisis de la situación o diagnóstico ergonómico	Se aplicó un cuestionario en el que los empleados respondieron en una escala de acuerdo y desacuerdo, en líneas de 15 cm, en las que la distancia representa el nivel de acuerdo del empleado. A partir de estos resultados, es posible analizar cuáles son las principales oportunidades dentro de las IED, cuáles tienen la posibilidad de afectar el indicador estudiado y cuáles son las áreas en las que los empleados están satisfechos.

Fuente: Los Autores, 2023.

Dentro del proceso de inventario de materiales, hay 6 empleados y se entrevistó a los 6. Se les preguntó a través de entrevistas abiertas: "Hábleme de su trabajo: cuáles son los puntos positivos y negativos y presente sugerencias de mejora". Posteriormente, se aplicó un cuestionario que presenta puntos generales sobre el puesto de trabajo con el fin de evaluar la satisfacción de los empleados en relación a los ítems relacionados con

la clasificación ABCORE (Figura 6), desarrollados de acuerdo con los constructos propuestos de Guimarães (1998). El cuestionario se aplicó a 5 personas, ya que participan en la actividad de manera directa.

Figura 6 - Significado del acrónimo ABCORE y resultados.



Fuente: Los Autores, 2023.

Para los Ítems de Demanda Ergonómica (IDEs) A, B, O y E estudiados, ninguno de ellos presentó un resultado por debajo del promedio, lo que se considera un resultado muy positivo. Para los ítems de incomodidad (R) y contenido del trabajo (C), el resultado se presenta de forma inversa, ya que presenta criterios, como la presión en el trabajo, de que cuanto menor sea el valor asignado, mejor. Para el constructo de contenido laboral, el resultado promedio de satisfacción fue de 7,60, lo que muestra un nicho de oportunidad, ya que resalta la necesidad de los empleados de sentirse satisfechos con su trabajo. Para la categoría Riesgo, se utilizaron preguntas sobre la incomodidad de realizar las tareas. Como el resultado de este pilar tiene un promedio de 5.82, se insta a buscar soluciones a estas molestias con el fin de prevenir futuras lesiones a los empleados.

Luego del análisis de los resultados recogidos por la AMT, se presenta la Figura 7, en la que se resumen las causas planteadas.

Figura 7 - Resumen de las causas planteadas.

ABCORE Factor	Artículo de Demandas Ergonómicas (IDE)
Interfaz humano-ambiental (A)	Temperatura de su entorno de trabajo
Contenido de la obra (C)	Cantidad de trabajo que realiza (carga de trabajo)
	¿Tu trabajo es limitado?
	¿Tu trabajo es estresante?
	¿Sientes presión psicológica por parte de tus superiores?
	¿Tu trabajo es creativo?
	¿Tu trabajo es dinámico?
	¿Tu trabajo es estimulante?
	¿Tu trabajo implica responsabilidad?
¿Tu trabajo te hace sentir valorado?	
Interfaz humano-organizacional (O)	Relaciones con los clientes
	Horario de trabajo flexible
	tiempo disponible para realizar sus actividades laborales diarias
	claridad en la distribución de las actividades profesionales diarias (por ejemplo, quién separó las notas, etc.)
	Cómo se planifica el trabajo (objetivos y actividades)
	Cómo se recibe la gestión de los pedidos de los clientes (por ejemplo, separación de actividades)
Malestar (D)	Forma de actuar del liderazgo
	Esfuerzo mental requerido
	Malestar o dolor en los brazos
Causas planteadas por las entrevistas	molestias o dolor en las manos
	Alta demanda
	Adiestramiento
	Interrupción durante el conteo
	Largos tiempos de conteo

Fuente: Los Autores, 2023.

Las causas planteadas en rojo no serán abordadas en el trabajo, ya que son parte de una cultura organizacional que necesita ser reestructurada y, de esta manera, traer un cambio más complejo para ser implementado.

Para priorizar las causas planteadas, se utilizó la matriz de Severidad, Urgencia y Tendencia (GUT) (Figura 8), considerando como prioritarios los ítems puntuados por los empleados en las entrevistas, ya que son las causas que más incomodan a los empleados. Además, se consideró como criterio de priorización las causas que estaban por encima de 75 puntos (en negrita).

Figura 8 - Matriz GUT.

Classificação	GUT	Causas	Gravidade	Urgência	Tendência
8º	75	Falta de dispositivos ergonómicos	5	5	3
11º	45	Trabalho repetitivo	3	3	5
6º	80	Clareza na distribuição das atividades diárias	4	5	4
1º	125	Planejamento das atividades (metas e objetivos)	5	5	5
1º	125	Gestão no recebimento de pedido do clientes (exemplo: separação das atividades)	5	5	5
1º	125	Forma de agir da liderança	5	5	5
12º	36	Temperatura do meio ambiente	3	3	4
6º	80	Dificuldades no uso dos softwares e sistemas - falta de treinamento	5	4	4
10º	48	Longos tempos de contagem	4	3	4
12º	36	Falta de fomas de medições automáticas da acuracidade	3	3	4
5º	100	Esforço físico	5	5	4
15º	24	Trabalho monótono	4	3	2
16º	18	Trabalho pouco criativo	3	3	2
17º	12	Trabalho pouco dinâmico	3	2	2
12º	36	Trabalho pouco estimulante	3	4	3
9º	60	Trabalho cansativo	5	4	3
1º	125	Desconforto e dores no corpo	5	5	5

Fuente: Los Autores, 2023.

Para la planificación del trabajo (metas y actividades), la gestión en la recepción de las solicitudes de los clientes (por ejemplo, separación de actividades) y la forma en que actúa el liderazgo, son causas más complicadas y estaban fuera del alcance, ya que implican un cambio cultural dentro de la empresa y debe ser un trabajo desarrollado de manera más detallada, lenta y gradual. Estas oportunidades señaladas por los empleados fueron comunicadas al gerente para comprender los puntos de insatisfacción de los empleados. Cabe mencionar que esta insatisfacción presentada por los empleados puede influir en el estrato de los errores de conteo, ya que este error puede ocurrir debido a que los empleados se sienten presionados por el liderazgo.

Para hacerles frente, se sugiere la implementación de horarios de trabajo flexibles y una planificación de las actividades realizadas por los empleados, incluyendo: actividad, descripción, responsabilidad, tiempo promedio de desempeño (para equilibrar la carga de trabajo entre los empleados) y metas (expectativa del

resultado de esa actividad).

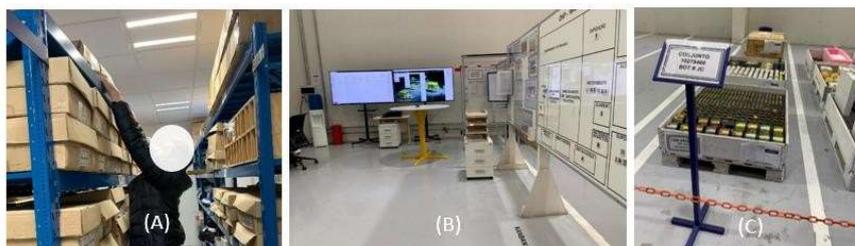
Así, se priorizan y definen cuatro causas principales: Falta de dispositivos ergonómicos, Dificultades en el uso de software y sistemas, Esfuerzo físico, y Malestar y dolor corporal. Para cuantificar estas causas, se estableció una correlación entre los focos y las causas priorizadas, y se describió cada una de ellas (Figura 9), evidenciándolas (Figura 10).

Figura 9 - Cuantificación de las causas priorizadas

Contar Incorrecto	Error direccionamiento	Causa priorizada	Descripción de la causa	Evidencia
X		Falta de dispositivos ergonómicos	Dificultad para realizar tareas debido a la falta de dispositivos ergonómicos.	Figura 10 (a)
	X	Dificultades en el uso del software y sistemas	Al no saber cómo manejar el sistema, se produce el direccionamiento incorrecto de los materiales en su interior Software SAP®.	Figura 10 (b)
X		Esfuerzo físico	Materiales colocados en lugares de difícil acceso con pocas herramientas o dispositivos para ayudar en el almacenamiento y separación de materiales	Figura 10 (a)
X		Malestar y dolores corporales	Debido a la realización de trabajos repetitivos a largos intervalos de tiempo, existe un malestar y dolor generados por esta causa.	Figura 10 (c)

Fuente: Los Autores, 2023.

Figura 10 - Evidencia detallada.



Fuente: Los Autores, 2023.

Al observar la postura en la que debe posicionarse el empleado para recoger el material (Figura 10 A), existen varias oportunidades de mejora. En un período de 1 hora, los empleados buscaron un promedio de doce veces materiales con un peso promedio de 6 kilogramos, en un estante con su estante a 2.00 metros de altura, el cual será colocado en un carro a 0.50 metros del suelo. Para llegar a la estantería de 2,00 metros de altura, se utiliza una escalera de tres niveles que reduce esta altura a 1,50 metros de altura. El empleado debe estirar los brazos para recoger el material, manteniéndose a 0,55 metros de distancia del cuerpo. Al ser cajas, el mango es pobre, ya que no tiene un buen soporte para las manos. Se realizó un análisis utilizando el método NIOSH que resultó en un índice de encuesta de 2,53, lo que encaja en un

aumento moderado de este riesgo (el índice está entre 1 y 3). Se sugiere utilizar dispositivos ergonómicos y coloque artículos de menor cantidad, más ligeros y de menor necesidad en los estantes más altos.

Al analizar la Figura 10 B, es posible notar que el lugar de acceso al sistema no cuenta con ningún tipo de instrucción de trabajo (ya sea visual o escrita), cerca de las computadoras, por lo tanto, no existe una forma estandarizada de guiar el uso del *software*, lo que genera dificultad a la hora de ejecutar el programa. Para registrar la dirección, los solicitantes imprimen un informe con los materiales solicitados y lo entregan a su supervisor para que lo firme, aprobando la solicitud. A continuación, el solicitante lleva el documento al almacén. El almacenista separa y entrega el material, con lo cual recoge los papeles y carga la retirada al sistema SAP®.

Al analizar la Figura 10 C, se verifica que los empleados no cuentan con un lugar específico, como una banca, para contar y separar los materiales. Los materiales se disponen en cubos y palets en el suelo, lo que hace que el empleado se agache y se levante constantemente durante la jornada laboral, generando esfuerzo físico.

3.4 Medida

En esta etapa, las soluciones se identificaron después de una lluvia de ideas del grupo junto con la dirección logística de la empresa. Posteriormente, se priorizaron las ideas que mejor abordaron las causas con el fin de mitigar las oportunidades encontradas en el proyecto (esta etapa engloba la Fase 3: propuesta de soluciones), para lo cual se obtuvo la Figura 11.

Las soluciones se basaron en herramientas disponibles dentro de la empresa, como Microsoft 365®, y en herramientas que no se aplican, pero son soluciones probadas - como es el caso de la aplicación de RULA y OWAS o NIOSH en ciclos, lo cual es recomendable ya que actúa no solo de forma reactiva, sino también preventiva-. Dentro de este análisis, se consideró una escala Likert del 1 al 5, siendo 1 bajo o malo y 5 alto o excelente.

Figura 11 - Matriz de oportunidades de mejora, soluciones propuestas y riesgos.

CONTEO INCORRECTO	DIRECCIONAMIENTO DE ERRORES	ENFOQUE PRIORITARIO	CLASIFICACIÓN	SOLUCIÓN PROPUESTA	BENEFICIO	ALCANCE	SATISFACCIÓN INTERNA	OPERACIONALIZACIÓN	PRODUCTIVIDAD	INVERSIÓN	TOTAL	PROBABILIDAD	IMPACTO	RIESGO	PLAN DE CONTINGENCIA
X		Falta de dispositivos ergonómicos	7	Desarrollar dispositivos ergonómicos (como carros, escaleras y herramientas de apoyo) para el proceso de inventario.	4,7	4,3	4,7	3,0	4,7	5,0	16,4	75%	8	Alto	Solicitar el ajuste presupuestario y presentar la declaración financiera
	X	Dificultades en el uso de software y sistemas	8	Realizar capacitaciones con los empleados en la herramienta SAP®.	4,3	4,7	4,3	3,6	3,0	4,3	15,6	-	-	-	-
5			Implemente un sistema de solicitud de flujo automático integrado desde la integración de powerautomate y SAP.®	5,0	4,3	4,7	3,6	4,7	4,3	4,3	18,0	5%	9	Bajo	Utilice un almacén para colocar datos de forma intermedia con los sistemas
2			Desarrollo de un procedimiento estándar para el uso del software, de forma que el empleado pueda verificar fácil y rápidamente cómo se realiza la dirección.	4,7	5,0	3,6	5,0	4,7	3,0	3,0	20,0	30%	7	Medio	Busca capacitar y animar a los empleados a seguir siempre el proceso planificado
3			Desarrollar un cuadro de mando en powerbi con la ubicación de los artículos en el layout de la nave logística.	4,7	4,5	4,3	4,7	4,5	3,0	3,0	19,7	40%	8	Bajo	Publicitar el cambio y concienciar constantemente a los empleados de la importancia de su adherencia al nuevo método
X		Esfuerzo físico	1	Proporcione un banco o mesa para que el empleado pueda separar y contar los materiales.	4,5	3,6	5,0	5,0	5,0	2,1	21,0	75%	9	Alto	Revisa el diseño para reducir los espacios "muertos"
X		Malestar y dolores corporales	6	Aplicación de herramientas de apreciación ergonómica, como RULA y OWAS o NIOSH, con ciclos de aplicación cada 3 meses.	4,7	5,0	4,7	3,0	4,5	4,3	17,6	45%	9	Medio	Mostrar casos de éxito con la aplicación de la herramienta para concienciar y obtener el apoyo de la alta dirección
			4	Implementación de descansos, rotación de actividades para reducir la repetición de la misma actividad y posición en intervalos largos de Hora.	4,3	5,0	4,3	4,7	4,3	3,0	3,0	19,6	60%	8	Medio

Fuente: Los Autores, 2023.

Para la inversión se consideró tanto el valor de la aplicación de la solución como el tiempo empleado en el desarrollo de la solución propuesta. Solo se descartó la solución de capacitación, ya que requeriría varias rondas de capacitación con los empleados, la contratación de un especialista para llevar a cabo la capacitación. Para la definición de las pruebas y la validación de las propuestas (siendo esta la fase 4 del método AMT), se desarrolló una matriz 5W2H para el plan de pruebas, como se muestra en la Figura 12 y los costos involucrados se describen a tiempo.

Figura 12 - 5W2H de las pruebas de las soluciones y pruebas propuestas

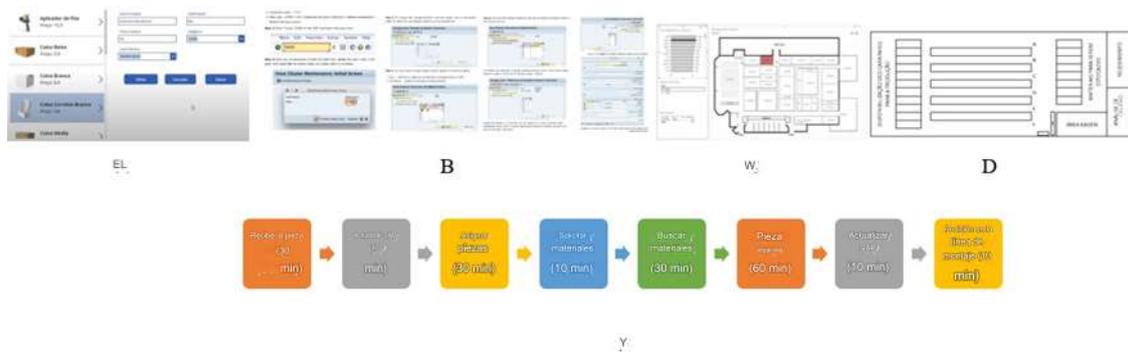
Recuento incorrecto	Direccionamiento de errores	Causa fundamental	Solución a implementar para las pruebas	5W2H						Estado	Evidencia de las pruebas
				Qué (Actividad)	Quién	Cuando	Por qué (Por Qué)	Dónde	Cómo		

X	Falta de dispositivos ergonómicos	Desarrollar dispositivos ergonómicos (como carros, escaleras y herramientas de apoyo) para el proceso de inventario.	Analizar la actividad realizada, desarrollar prototipos de dispositivos ergonómicos	(Analista de EHS)	02/09/2022	Para ajustar los dispositivos a las necesidades de los empleados	Galpón logístico	Creación de prototipos para la validación de soluciones	400 horas	En curso	En curso
X	Dificultades en el uso de software y sistemas	Implemente un sistema de solicitud integrado y de flujo automático a partir de la integración de power automate y SAP. ®	Llevar a cabo un proyecto piloto con los empleados para adaptar el sistema para que esté más cerca de las necesidades	(Asistente de Logística)	10/09/2022	Ajustar el nuevo proceso de acuerdo a las necesidades y con la debida accesibilidad A los empleados	PowerApps	Creación de una aplicación en powerapps	100 horas	Hecho	Figura 13 A
		Desarrollo de un procedimiento estándar para el uso del software, de forma que el empleado pueda verificar fácil y rápidamente cómo se realiza la dirección.	Reuniones con los empleados	(Pasante de Logística)	02/09/2022	Para cubrir las dificultades de los empleados dentro del procedimiento estándar	Galpón logístico	Realizar un borrador del procedimiento estándar con los empleados, verificando las mayores dificultades que se encuentra en la vida cotidiana	150 horas	Hecho	Figura 13 B ¡Error! Fuente de referencia no encontrada.
		Desarrollar un cuadro de mando en Power BI con la ubicación de los items en el layout de la nave logística.	Llevar a cabo un proyecto piloto con los empleados para adaptar el sistema para que esté más cerca de las necesidades	(Asistente de Logística)	15/09/2022	Ajustar el nuevo proceso de acuerdo a las necesidades y con la debida accesibilidad A los empleados	Power BI	Creación de un cuadro de mando para localizar las piezas en el mapa en Power BI	100 horas	Hecho	Figura 13 C
X	Esfuerzo físico	Proporcione un banco o mesa para que el empleado pueda separar y contar los materiales.	Revisión del diseño	(Analista de proyectos de fábrica)	10/09/2022	Comprobar la disponibilidad de espacio físico en el cobertizo	Galpón logístico	Revisión de la distribución con el fin de verificar la posibilidad de incluir bancos para los empleados	50 horas	Hecho	Figura 13 D
X	Malestar y dolores corporales	Aplicación de herramientas de apreciación ergonómica, como RULA y OWAS o NIOSH, con ciclos cada 3 meses.	Investigación y benchmarking	(Analista de EHS)	12/09/2022	Para ver las ventajas de aplicar las herramientas	Galpón logístico	Análisis de casos de éxito con la aplicación de las herramientas y definición de la Herramienta utilizada	400 horas	En curso	En curso
		Implementación de descansos, rotación de actividades para reducir la repetición de la misma actividad y posición en largos intervalos de tiempo.	Cronoanálisis de las actividades	(Analista PCP)	08/09/2022	Verificar la posibilidad de insertar interrupciones sin impacto en las actividades del proceso productivo	Galpón logístico	Análisis del impacto de las pausas a lo largo del día en el proceso de inventario	150 horas	Hecho	Figura 13 E

Fuente: Los Autores, 2023.

Para el detalle de las pruebas, se presentó la matriz 5W2H. Así, hay dos acciones en las que las pruebas son más elaboradas y aún están en curso y, por lo tanto, no se evaluarán los efectos de estas acciones.

Figura 13 - Figura ilustrativa de la aplicación de registro de materiales y control de inventarios desarrollada.



Fuente: Los Autores, 2023.

Con el fin de respetar el tema de privacidad de la empresa, se colocaron imágenes meramente figurativas. El flujo funcionó satisfactoriamente y fue bien aceptado por los empleados, por lo que se implementará la solución. La figura 13 C

representa el mapa de stock con el fin de facilitar la localización de los materiales. El empleado busca el *número de pieza*, comprueba dónde se encuentra y la cantidad disponible del material. Con la disposición presentada en la Figura 13 D, es factible poner a disposición mesas y mostradores para que los empleados puedan separar y contar las piezas. Finalmente, a partir del cronoanálisis realizado (Figura 13 E), que totalizó 240 minutos para el proceso completo, se pudo verificar que existe la posibilidad de insertar 2 rondas de 15 minutos de estiramiento y cambio de actividad dentro del proceso, sin impactar el proceso operativo.

Una vez finalizada la ronda de pruebas, se elaboró un plan de implementación de las soluciones con el fin de llevar a cabo esta implementación de forma gradual e incisiva. La solución para implementar los descansos se cumplió, ya que la empresa ya ha reducido la demanda con el fin de disponer de más tiempo para que el empleado realice cambios de actividad y descansos. En cuanto al resto de actividades, estas presentan un escenario muy positivo, con los riesgos bien mapeados y mitigados. Para verificar los resultados de las acciones, se elaboró la Figura 14.

Figura 14 - Verificación de los resultados de las soluciones implementadas.

Recuento incorrecto	Error	Causa fundamental	Solución implementada	Resultado de la implementación	Estado
X		Falta de dispositivos Ergonómico	Desarrollar dispositivos ergonómicos (como carros, escaleras y herramientas de apoyo) para el proceso de inventario.	-	No se ha iniciado
	X	Dificultades en el uso de software y sistemas	Implementar un sistema de solicitud de flujo integrado y automático para desde la integración de powerautomate y SAP. ®	Figura 13 A	Implementado
			Desarrollo de un procedimiento estándar para el uso del software, de modo que el empleado pueda verificar fácil y rápidamente cómo Realización de la dirección.	Figura 13 B	Implementado
			Desarrollar un cuadro de mando en Power BI con la ubicación de los ítems en el layout de la nave logística.	¡Error! Fuente de referencia no encontrada. 13 C	Implementado
X		Esfuerzo físico	Proporcionar un banco o mesa para que el empleado pueda hacer el Separación y conteo de materiales.	Está en proceso de compra de las encimeras.	En curso
X		Malestar y dolores corporales	Aplicación de herramientas de apreciación ergonómica, como RULA y OWAS o NIOSH, con ciclos de aplicación cada 3 meses.	-	No iniciado
			Implementación de descansos, rotación de actividades para reducir la repetición de la misma actividad y posición en largos intervalos de tiempo.	Se llevó a cabo una reducción de la demanda diaria, con el fin de disponer de más tiempo para que el empleado tomara descansos. Los resultados serán los siguientes: demostrado cualitativamente a largo plazo.	En curso

Fuente: Los Autores, 2023.

Dado que las acciones con las aplicaciones y el procedimiento estándar implementado fueron la validación del piloto propuesto y el refinamiento del sistema de acuerdo con la retroalimentación de los empleados, los resultados de las acciones siguen siendo los mismos que se presentaron en la fase de prueba.

3.5 Control

Para la etapa final de la postulación, se verificó si se lograron las metas definidas (Figura 15).

Figura 15 - Descripción del logro de los objetivos.

	Estrato	Inicial	Actual	Gol
Objetivo 1	Recuento incorrecto	53%	33%	30%
Objetivo 2	Direccionamiento de errores	20%	16%	15%
	Sin definición	13%	13%	13%
	Divergencia de consumibles	6%	6%	6%
	Error de envío	5%	5%	5%
	Material incorrecto	3%	3%	3%
Total		100%	76%	72%
% de no localizados		20%	15,20%	14,50%
% de inexactitud		7%	5,32%	5%
% de precisión (objetivo global)		93%	94,68%	95%

Fuente: Los Autores, 2023.

Las metas específicas se lograron y el resultado es satisfactorio, ya que están solo un 0,32% por debajo de la meta global. Con la reducción de los porcentajes de materiales no localizados y el aumento de la confiabilidad de los inventarios, es posible estimar que hubo una ganancia de 2.400 horas productivas por año, considerando la ganancia de 2 horas de productividad por día, durante 20 días de trabajo, para los 5 almacenistas. A pesar del valor relativamente bajo del rendimiento financiero, vale la pena mencionar que hubo una mejora en la calidad de vida laboral de los empleados, que no se puede medir de manera monetaria. Para concluir la aplicación del ciclo DMAIC, se establece una definición de formas de mantener el proceso sostenible, por lo que se definieron acciones clave para que este resultado obtenido se mantenga (Figura 16).

Figura 16 - Lista de variables y formas de monitoreo.

VARIABLE	FORMA DE SEGUIMIENTO
Exactitud	Informes anuales de seguimiento
Si no se localiza el materiales	Informes semanales del tiempo dedicado a la Ubicación de los materiales y motivo
Normas de trabajo	El pasante de logística debe verificar si hay un Uso de las instrucciones de trabajo y actualización de estas instrucciones
Herramientas desarrolladas	El pasante de logística debe verificar si existen oportunidades en el uso de las herramientas, así como la actualización de estos.
Ergonomía	El analista de EHS debe actuar de forma cíclica Apreciación ergonómica

Fuente: Los Autores, 2023.

Para las recomendaciones del equipo, está la fase final de la aplicación del método AMT, Fase 5: detalles ergonómicos. A partir del estudio realizado, se lograron identificar oportunidades de mejora dentro del proceso analizado.

Al analizar el proceso de inventario de la empresa para el desarrollo de esta actividad, se identificó que se trata de un proceso altamente repetitivo que requiere de muchos movimientos en posiciones incómodas. Se sugiere establecer descansos más

relajados, fomentando la iteración y la relajación de los empleados para evacuar el estrés, la tensión y la monotonía del trabajo.

Además, un punto importante que los empleados dejaron claro tanto en las entrevistas como en el cuestionario es la insatisfacción con el liderazgo. Por lo tanto, se sugiere realizar una encuesta general de satisfacción y apreciación de la cultura organizacional con los empleados, con el fin de identificar los principales puntos de oportunidad para la empresa. Por último, para promover la motivación y el estímulo a los empleados, se recomienda implementar programas de bonificaciones y reconocimientos basados en las mejoras propuestas y el trabajo realizado. Además, se sugiere promover reuniones de liderazgo más cercanas con los empleados, tanto para retroalimentarse como para comprender las expectativas de crecimiento del trabajador. Se sugiere ampliar este estudio a otras áreas de la empresa con el fin de hacer una evaluación completa del escenario de la empresa.

3. Consideraciones finales

Con el fin de mejorar el proceso de inventario y registro de materiales en una empresa del sector metalúrgico, a partir de la implicación de los empleados, se realizó la aplicación del ciclo DMAIC junto con el método AMT. El producto final de este proyecto consiste en un proceso mejorado, que tiene en cuenta la realidad de la empresa, los factores humanos y la producción ajustada.

A través de entrevistas con los empleados, se encontró insatisfacción con la gestión y el clima organizacional. Como este problema es más complejo, se informó a la empresa y el tema no se abordó en el ciclo de mejora propuesto. Las principales oportunidades identificadas fueron: temperatura del ambiente de trabajo, problemas relacionados con el contenido del trabajo (como limitaciones, carga de trabajo, estrés y falta de dinamismo y estimulación), poco tiempo disponible para realizar actividades, poca claridad de estas actividades, mala distribución de responsabilidades, alto esfuerzo mental y físico requerido, molestias en las extremidades superiores, falta de capacitación y dispositivos ergonómicos y largos tiempos de conteo (tarea continuo durante largos períodos de tiempo).

Entre estas principales oportunidades, se priorizaron las causas que recibirían acciones en este ciclo de mejora continua. Esta priorización se produjo a través de la

Matriz GUT y matriz de oportunidades de mejora. A partir de las causas prioritarias (dolor en miembros superiores, entrenamiento, esfuerzo físico y falta de dispositivos ergonómicos), se desarrolló un detallado plan de pruebas, acción y control con el fin de estructurar soluciones sostenibles a largo plazo y mitigar estos puntos de insatisfacción.

Con el fin de mantener los resultados, se llevó a cabo el desarrollo e implementación de nuevos procesos (registro por powerApps y verificación en Power BI) y se desarrolló un procedimiento operativo estándar para el registro del direccionamiento de los materiales. Como el proceso de desarrollo e implementación involucró a todos los empleados que tienen una interfaz con los procesos, el proceso de capacitación se llevó a cabo en una breve reunión expositiva que mostró la versión final y resumió de manera resumida el funcionamiento de los procesos.

Como recomendación principal, se sugiere la adopción de herramientas de evaluación ergonómica y la realización periódica de estas evaluaciones. En relación a la meta establecida por la empresa, que era alcanzar una precisión del 95%, esta meta se logró prácticamente (quedando solo 0,34 puntos porcentuales por debajo).

Finalmente, se concluye que considerar el aspecto humano durante el ciclo de mejora puede llevar a resultados positivos para la empresa. Por lo tanto, proyectos de esta naturaleza contribuyen a recuperar la importancia de considerar los factores humanos en los proyectos de mejora y deben ser impulsados en el campo de la ingeniería.

4. Referencias

BITENCOURT, Rosimeire Sedrez; OKUMURA, Maria Lucia Miyake. **Um panorama da Indústria 5.0: o resgate do fator humano**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Ergonomia, 2020.

GUIMARÃES, Lia Buarque M. (ed.). **Ergonomia de Produto 2**. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 1998.

GLOBAL NETWORK FOR SMART ORGANIZATION DESIGN. **Global socio-technical system perspectives: na interactive conversation**. The Tavistock Institute. Disponível em: <<https://www.tavistock.org/projects/global-socio-technical-systems-perspectives-an-interactive-conversation/>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

NASCIMENTO, Francisco Paulo. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.