

Evaluation and ergonomic design of workstations to increase productivity in a salt processing line

Gabriela Jazmin Risco Bocanegra, Industrial Engineer¹ , Joselito Sánchez Pérez, Master's Degree²  and Maximiliano

Arroyo Ulloa, Ph.D³ 

^{1,2,3} Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, griscob26@outlook.com, jsanchez@usat.edu.pe,
marroyo@usat.edu.pe

Abstract— *The purpose of this research was to propose improvements in workstations to increase productivity on a salt processing line. The initial diagnosis revealed low labor productivity of 13 CMK bags/day-operator and an absenteeism rate of 13,8% due to MSDs, resulting in losses from unfulfilled orders. High ergonomic risks were identified, with maximum REBA scores of 11, OCRA Checklist values above 22,5, and load handling indices greater than 18 kg. In addition, noise levels reached $100,6 \pm 2,6$ dB, and 80% of workstations had insufficient lighting. Based on these results, improvement strategies were proposed following the hierarchy of controls. These included replacing manual operations with machinery, engineering controls for the design of a filling machine using SolidWorks, administrative controls, and the use of PPE. The proposed improvements are expected to reduce ergonomic risks and increase labor productivity by 23% and total productivity by 10%. Finally, the economic analysis projects the feasibility of the proposal, with an NPV of S/ 25,648.98, an IRR of 30.38%, and a B/C ratio of 1.51.*

Keywords— *Workstation design, Ergonomic assessment, Productivity, Ergonomics, Salt.*

Evaluación y diseño ergonómico de puestos de trabajo para incrementar la productividad en una línea de procesamiento de sal

Gabriela Jazmin Risco Bocanegra, Ingeniera Industrial¹, Joselito Sánchez Pérez, Magister en ingeniería² and Maximiliano Arroyo Ulloa, Doctor³

^{1,2,3} Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, griscob26@outlook.com, jsanchez@usat.edu.pe, marroyo@usat.edu.pe

Resumen— «El objetivo de este estudio fue proponer mejoras en los puestos de trabajo para aumentar la productividad en una línea de procesamiento de sal». El diagnóstico inicial reveló una baja productividad de mano de obra de 13 sacos CMK/día-operario y una tasa del 13,8 % de ausentismo por TME, lo que genera pérdidas por pedidos no atendidos. Se identificaron altos riesgos ergonómicos, con puntuaciones REBA máximas de 11, valores de Check List OCRA superiores a 22,5 e índices de manipulación de cargas mayores a 18 Kg. Además, los niveles de ruido máximos de $100,6 \pm 2,6$ dB y el 80 % de los puestos de trabajo presentaban una iluminación insuficiente. A partir de estos hallazgos, se propusieron estrategias de mejora bajo la jerarquía de control. Incluyendo la mecanización, control de ingeniería para el rediseño de los puestos mediante SolidWorks, controles administrativos y uso de EPP. Las mejoras propuestas estiman una disminución de los riesgos ergonómicos y una mejora del 23 % en la productividad de mano de obra y del 10 % de la productividad total. Finalmente, el análisis económico-financiero proyecta la viabilidad de la propuesta con un VAN de 25 648,98 soles, una TIR 30,38 %, y una relación B/C de 1,51.

Palabras clave-- Diseño de puestos de trabajo, evaluación ergonomica, productividad, ergonomía, sal

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, la industrialización de la sal, constituye una actividad de gran relevancia económica y social a nivel mundial, debido al alto número de personas que participan en su procesamiento. En 2023, India produjo 30 millones de toneladas [1], empleando a más de 150 mil trabajadores, quienes enfrentan riesgos laborales asociados a posturas inadecuadas y manipulación excesiva de cargas, afectando su salud y productividad. En este contexto, el Consejo de Información, Pronóstico y Evaluación Tecnológica (TIFAC) recomienda el diseño ergonómico del lugar de trabajo como una estrategia efectiva para mejorar la seguridad de las personas y contribuir al aumento de su productividad [2].

En América latina, el procesamiento de sal está liderada por Chile y México, quienes produjeron 9,2 y 9 millones de toneladas de sal respectivamente [1]. La industria salinera tiene un impacto social significativo, especialmente en México donde se generan más de 15 mil empleos directos al año. Esto resalta la necesidad de enfocarse en el entorno laboral y la

protección del personal. De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en 2023 se registraron 395 millones de trabajadores con lesiones laborales no mortales [3]. Entre ellas, destacan los trastornos musculoesqueléticos (TME), las cuales reducen la productividad. Asimismo, un estudio en 250 empresas latinoamericanas reveló que el 59 % reporta ausentismo por TME, en la industria alimentaria solo el 31 % realiza diagnósticos ergonómicos y apenas el 13,7 % aplica medidas de ingeniería como el rediseño ergonómico [4].

En el contexto peruano, la empresa Quimpac lidera la industria, alcanzando volúmenes de más de 1 millón de toneladas [5]. Un estudio interno reportó más de 28 incidentes y 5 accidentes leves, incumpliendo con requisitos de seguridad y salud ocupacional [6]. Los operarios se exponen a riesgos disergonómicos que ocasionan lesiones por sobrecarga, movimientos repetitivos y fatiga muscular, aún más cuando el puesto de trabajo no se adapta al operario. En el ámbito normativo, el Perú aprobó la normativa sobre ergonomía R.M N° 375-2008-TR [7] y la Ley 29783 sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, sin embargo, la implementación efectiva de dichas normas es aún limitada.

La empresa de estudio, ubicada en Lambayeque, se dedica a la producción de varios tipos de sal. La línea de producción de sal de mesa, conformada por 10 trabajadores, enfrenta un alto riesgo disergonómico. La evaluación ergonómica evidencia que el 90 % de los puestos de trabajo presentan riesgos por posturas forzadas, el 70 % por movimientos repetitivos y el 40% por manipulación de cargas. Además, se encontró que el 100 % de trabajadores presenta riesgo por elevados niveles de ruido superando los 85 dB establecidos en la normativa peruana, y que el 80 % de puestos tiene una iluminación deficiente. Estas condiciones han originado consecuentes ausentismos que resultan en una baja productividad, con una media de 13 sacos CMK/día-operario y una productividad total de 0,081 sacos CMK/soles. Cabe precisar que el código CMK es una denominación interna establecida por la empresa y corresponde a un código propio del producto.

Ante esta problemática, surge entonces la interrogante ¿Cómo mejorar los puestos de trabajo para incrementar la productividad en la línea procesadora de sal? Por ello, se tuvo como objetivo general proponer la mejora de los puestos de trabajo para incrementar la productividad en una línea procesadora de sal. Y como objetivos específicos se establecieron, diagnosticar la situación actual de los puestos de

trabajo en la línea procesadora de sal, diseñar la mejora de los puestos de trabajo para incrementar la productividad de la línea; y finalmente, evaluar la viabilidad económica financiera de la propuesta de mejora de los puestos de trabajo. Esta investigación aporta evidencia técnica sobre la relación entre ergonomía y productividad en la industria peruana, promoviendo el desarrollo sostenible. Además, contribuye con propuestas que mejoran la salud de los trabajadores y proyectan beneficios económicos al reducir pérdidas estimadas en S/78 802,33, por pedidos no atendidos, multas de la entidad nacional fiscalizadora SUNAFIL, mermas y costo de mano de obra extra.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El desarrollo del primer objetivo se realizó en base a la metodología del Cuestionario Nórdico Estandarizado (NMQ). Los resultados indicaron que al igual que en [8], los dolores más frecuentes en los trabajadores de la industria salinera se están presentes en la parte inferior de la espalda (100 %). En la evaluación ergonómica, se encontró que el operario de estiba de producto terminado presenta un REBA de 11 por la carga, transporte y empuje de cargas, este nivel es comparable con lo encontrado en [9] donde se mostró que un nivel REBA de 10 por manipulación de cargas en el llenado de sal disminuye significativamente la productividad.

Para el segundo objetivo, se tomó como referencia el artículo [10], que aborda el diseño estaciones de trabajo, tomando en cuentas las medidas antropométricas de la población. La investigación de [11] logró diseñar una herramienta a través del software Solidworks, que aumentó la productividad a 3 unidades/hora-operario, implementó asientos ajustables con apoyo lo que permitió reducir los niveles REBA hasta un 67 % e incrementó en un 20 % la productividad laboral. El estudio de [12] demostró que la intervención ergonómica mediante la ayuda mecánica como fajas transportadoras y elevadores al vacío disminuyen los niveles REBA un 63,6 %, OCRA en 74,7 %, y la tasa de ausentismo a un 5 %. En cuanto a la evaluación ergonómica del ambiente, se tuvo como referencia [13] donde se registró en una fábrica de alimentos un nivel de ruido de 104,8 dB, este problema se abordó con el aislamiento del espacio de trabajo y el uso de equipos de protección personal (EPP's).

El tercer objetivo se desarrolló tomando como referencia los resultados de [14] donde se demuestra que, con una inversión en equipos ergonómicos de 2 000 euros, se obtiene un beneficio costo de 1,71. Además, el estudio de [15] muestra que al evaluar los costos de las mejoras ergonómicas como el rediseño de estaciones, las mejoras en los equipos y capacitaciones al personal, estos ascienden a \$65 787 obteniendo beneficios de \$360 614, con un VAN de \$294 827 y un beneficio costo de 5,5. Estos resultados indican que la ergonomía genera beneficios económicos lo que hace más rentable a las empresas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tuvo un enfoque descriptivo porque se identificaron los problemas presentes en la línea de estudio, el

diseño fue no experimental cuantitativo [16]. Dado el número de colaboradores, la población y la muestra estuvieron conformada por los 10 trabajadores de la línea. Los datos primarios se obtuvieron de los registros históricos de la empresa, los cuales fueron procesados en Excel 2021. Los datos secundarios se obtuvieron de libros, normativas vigentes y artículos científicos.

En el primer objetivo se analizó la situación inicial del proceso productivo mediante los registros históricos de producción y ausentismos. Para el análisis de los puestos de trabajo se empleó el cuestionario de la ISO 11228 [17], y el Cuestionario Nórdico Estandarizado (NMQ) [18]. Para la evaluación de riesgos disergonómicos se empleó la versión gratuita del software Ergonautas 3.5, la cual permite aplicar métodos ergonómicos validados internacionalmente, con ello se evaluó el nivel de riesgo de las posturas seleccionadas como las más riesgosas mediante el método REBA, Check List OCRA y NIOSH. El indicador ambiental de ruido se calculó con la metodología de la NTP 9612 empleando el sonómetro AEMC-CA832 y para los valores de iluminación se siguió la metodología de la norma NOM-025-STPS-2008 empleando el luxómetro AEMC-CA813. Los valores encontrados se compararon con lo establecido en la norma peruana de ergonomía RM°375-2008. El segundo objetivo se desarrolló en base a la jerarquía de control, mediante alternativas de sustitución para puestos de trabajo con riesgo ergonómico elevado. Como parte del control de ingeniería se propuso el diseño de una máquina para el llenado de sal mediante el software SolidWorks 2025, se diseñaron puestos de trabajo con sillas ergonómicas, fajas transportadoras, cálculo de las luminarias adecuadas. Como control administrativo se propuso un plan de pausas activas junto a capacitaciones en SST. Se seleccionaron EPP's para eliminar el riesgo por ruido. Se estimó el incremento de la productividad por la reducción de tiempos a través de las propuestas. Finalmente, en el tercer objetivo se evaluó la viabilidad económica financiera mediante la estimación de los beneficios y ahorros potenciales derivados de la implementación de las mejoras. Se estimó el impacto económico de la propuesta con un financiamiento bancario total y se calcularon los indicadores VAN, TIR y B/C.

IV. RESULTADOS

La línea de estudio está conformada por 10 trabajadores quienes laboran en una jornada de 8 horas. El producto con el código "CMK" acaparó el 53,38 % de las ventas totales en 2024. Sin embargo, las condiciones encontradas reflejan una baja productividad de mano de obra promedio de 13 sacos CMK/día-operario que disminuye con el paso del tiempo y una productividad total de 0,081 sacos CMK/soles.

De acuerdo con el Informe Anual de Consumo de Sal (2020), la empresa en estudio representa el 0,6 % de la producción nacional [19]. Además, la productividad hallada está por debajo del promedio de otras empresas del sector las cuales producen alrededor de 8 t/día o 20 sacos/operario [20]. Para identificar las causas de la baja productividad, se analizaron los registros empresariales, detectándose pedidos no atendidos que generan una pérdida anual de S/48 784. El

principal factor asociado es la inadecuada condición laboral: posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación de cargas superiores a 50 kg, que provocaron una tasa de ausentismo del 13,8 % por trastornos musculoesqueléticos (TME). Asimismo, se constató exposición a niveles de ruido superiores a los límites permisibles. Según SUNAFIL, estas condiciones podrían generar una multa de S/11 930,50. En consecuencia, se recomienda implementar mejoras ergonómicas y ambientales para optimizar la productividad y rentabilidad empresarial.

TABLA I
 PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA EN LA LÍNEA

Mes	Días de ausencias	Días laborables	Horas efectivas	Producción CMK/día	Sacos CMK/día-op
Enero	6	24	1872	139	13
Febrero	0	21	1680	174	17
Marzo	5	24	1880	156	15
Abril	3	24	1896	112	11
Mayo	1	24	1904	120	12
Junio	0	22	1760	159	15
Julio	4	24	1888	128	13
Agosto	5	24	1880	100	10
Setiembre	3	21	1656	140	14
Octubre	3	25	1968	116	11
Noviembre	3	24	1896	117	11
Diciembre	6	25	1952	106	10
Productividad (sacos CMK/día-op)				131	13

Fuente: Elaboración propia

Como primer paso, se realizó un análisis ergonómico inicial mediante el cuestionario de la ISO 11228, el cual consistió en identificar el tipo de peligro por cada puesto de trabajo en 4 categorías: Manipulación Manual (MM), Empuje y Tracción (ET), Movimientos Repetitivos (MR) y Movimientos Forzados (MF).

TABLA II
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN RÁPIDA ETAPA I

Posiciones	Tarea	MM	ET	MR	MF
Operario 1	Estiba de materia prima	SI	SI	NO	SI
Operario 2	Yodación y estiba	SI	NO	NO	SI
Operario 3	Llenado de sal	NO	NO	SI	SI
Operario 4	Llenado de sal	NO	NO	SI	SI
Operario 5	Sellado de bolsas	NO	NO	SI	SI
Operario 6	Sellado de bolsas	NO	NO	SI	SI
Operario 7	Empaquetado	SI	NO	SI	SI
Operario 8	Empaquetado	SI	NO	SI	SI
Operario 9	Cosido de sacos y estiba	SI	SI	NO	SI
Operario 10	Estiba de producto terminado	SI	SI	NO	SI

Fuente: Elaboración propia

En la tabla II, se determinó que el 90 % de los trabajadores existe MC, el 60 % presenta MR, el 50 % MC y el 30 % de los trabajadores predomina ET. Luego, se evaluó la etapa II donde se discrepó mediante colores la intensidad del peligro. El color verde indica ausencia de peligro; amarillo cuando existe el peligro y rojo cuando el peligro es crítico.

En la tabla III, se observa que los operarios de estiba, empaquetado y cosido son los que más predominan los peligros, pues se exponen a cargas de hasta 62 Kg. Posteriormente, se aplicó el Cuestionario Nórdico Estandarizado a los trabajadores, con el fin de identificar las partes del cuerpo que más han sido perjudicadas por su trabajo. Los resultados de este cuestionario arrojaron que entre los dolores presentes en el

último año se encuentran: cuello (100 %), espalda baja (100 %), muñecas y piernas (71 %), brazos (72,73 %), hombros (43 %). Además, se analizó el índice de severidad de acuerdo con la norma internacional ANSI Z16.1 y la Resolución Ministerial 050-2013-TR, obteniendo un valor de 1 728, lo cual indica que se tendrá 1 728 días perdidos por cada millón de horas hombre que se trabaje.

TABLA III
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN RÁPIDA ETAPA II

Posiciones	Puesto de trabajo	MM	ET	MR	MF
Operario 1	Estiba de materia prima				
Operario 2	Yodación y estiba				
Operario 3	Llenado de sal				
Operario 4	Llenado de sal				
Operario 5	Sellado de bolsas				
Operario 6	Sellado de bolsas				
Operario 7	Empaquetado				
Operario 8	Empaquetado				
Operario 9	Cosido de sacos y estiba				
Operario 10	Estiba de producto terminado				

Fuente: Elaboración propia

Tras los resultados de la evaluación rápida, se realizó un análisis ergonómico más profundo con el método REBA para todos los puestos de trabajo, el método NIOSH para los puestos de trabajo de estiba de materia prima y empaquetado y el análisis de Check List OCRA para los puestos en el área de envasado. En primer lugar, se empleó el software Ergoniza 3.5 para evaluar los ángulos de las posturas. Se utilizó el procedimiento del método REBA. Para su aplicación, se seleccionó las posturas con mayor desviación respecto a la posición central del cuerpo. De esta manera, el estudio fue de tipo dinámico, pues las tareas evaluadas implican movimientos repetitivos y variaciones continuas de postura.

EVALUACIÓN DEL GRUPO A			8
BRAZO	MUÑECA	ANTEBRAZO	
EVALUACIÓN DEL GRUPO B			8
TRONCO	PIERNAS	CUELLO	
PUNTUACIÓN C			10
TIPO DE ACTIVIDAD			1
PUNTUACIÓN REBA			11

Fig. 1 Ejemplo de evaluación REBA para el estibador de producto terminado

En la figura 1, se observa la evaluación de cada grupo del cuerpo obteniendo una puntuación final de 11 para el estibador de producto terminado, este valor indica un nivel de riesgo elevado siendo necesaria la intervención ergonómica. De igual manera se evaluaron los demás puestos y se obtuvo que el 90 %

presenta riesgo ergonómico por postura forzada, solo el operario de yodación obtuvo el nivel más bajo con 3 puntos, por lo que no es necesaria la intervención.

En segundo lugar, se evaluaron los puestos con movimientos repetitivos. Para ello se empleó la metodología Chek List OCRA (ICKL), en donde se determinó la suma del Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo (TNTR), el Tiempo Neto de Ciclo (TNC), Factor de recuperación (FR) sin pausas oficiales, el Factor de frecuencia (FF) para las actividades, el Factor de fuerza (FFz) durante todos los movimientos; y el Fa Factor de riesgos adicionales (FC), para evaluar las herramientas utilizadas como la paleta medidora y la selladora. Finalmente, se establece el factor multiplicador (MD) 1 porque el TNTR de los cuatro puestos de trabajo se encuentra en el intervalo de 421-480 minutos.

TABLA IV
RESULTADOS DEL CHECK LIST OCRA

Puesto de trabajo	FR	FF	FFz	FP	FC	MD	ICKL	Nivel de riesgo
Operario 3	6	1	4	5,5	3	1	19,5	Inaceptable medio
Operario 4	6	1	4	5,5	3	1	19,5	
Operario 5	6	1	4	5,5	3	1	19,5	
Operario 6	6	1	4	5,5	3	1	19,5	
Operario 7	6	2,5	6	5,5	3	1	23	Inaceptable alto
Operario 8	6	2,5	6	5,5	3	1	23	
Operario 9	6	2,5	6	5,5	4	1	24	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados recopilados en la tabla IV, indican que los trabajadores están expuestos a un riesgo alto de desarrollar TME, especialmente en el puesto de empaquetado y cosido, porque superan el valor máximo del CL. OCRA de 22,5. En tercer lugar, se evaluaron los puestos con manipulación, empuje y de cargas. Los estibadores cargan más de 62 Kg, el operario de empaquetado también realiza el levantamiento de cargas para dejar el saco en la zona de cosido y el operario de yodación transporta cargas hacia la zona de molienda. La manipulación de cargas ha originado dolores incapacitantes en la espalda baja, que se pueden convertir en hernias o dislocaciones. Es por ello que se evaluó a mayor profundidad el riesgo en estas áreas mediante la metodología de NIOSH. Se encontró el peso máximo recomendado (RWL) mediante la siguiente fórmula:

$$RWL = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM \quad (1)$$

Carga de sacos de materia prima		
Datos iniciales		Valor Unidad
Peso	62	Kg
Distancia horizontal (H)	50	cm
Distancia vertical en el origen (V1)	170	cm
Distancia vertical destino (V2)	100	cm
Frecuencia	5	lev/min
Duración total de los levantamientos	5	h
Tipo de agarre	Malo	
Ángulo de asimetría	0	°
Factores multiplicadores		
Constante de carga	LC	23
Factor de Distancia Horizontal	HM	0,71
Factor de Distancia Vertical	VM	0,72
Factor de Desplazamiento Vertical	DM	0,88
Factor de Asimetría	AM	1
Factor de Frecuencia	FM	0,35
Factor de Agarre	CM	0,9
RWL = LC*HM*VM*DM*AM*FM*CM		3,27
LI (Índice de levantamiento)		18,95
LI ≥ 3 La tarea ocasionará problemas a la mayor parte de los trabajadores. Debe modificarse.		

Fig. 2 Evaluación NIOSH para el estibador de materia prima

En la figura 2, se observa que el peso máximo recomendado (RWL) para las condiciones actuales de levantamiento es de 3,27 Kg y que el índice de levantamiento (LI) es de 18,95, lo cual indica que el operario está levantando 18 veces más del peso considerado seguro según NIOSH. El puesto de yodación no presenta un riesgo mayor porque el LI es de 0,75 Kg es menor a 1. En el caso del empaquetado y estibador de producto terminado, el LI está en el intervalo de 1 y 3, por lo que el trabajo puede ser riesgoso y es conveniente realizar modificaciones pertinentes en el puesto de trabajo.

TABLA V
RESUMEN DE LA EVALUACIÓN ERGONOMICA

Puesto de trabajo	REBA	C.L. OCRA	NIOSH
Estibador de materia prima	11	-	18,95
O. Yodación	3	-	0,75
Operario llenado 1	10	19,5	-
Operario llenado 2	9	21,5	-
Operario sellado 1	10	19,5	-
Operario sellado 2	7	19,5	-
Operario empaquetado 1	10	23	1,53
Operario empaquetado 2	9	23	1,61
Operario cosido	11	24	-
Estibador de producto terminado	11	-	2,86
Nº Puestos totales	10	10	10
Puestos con riesgo disergonómico	9	7	4
% puestos con riesgo disergonómico	90%	70%	40%

Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis de cada puesto de trabajo con su respectivo método, se encontró que el 90 % de los puestos de trabajo presentan posturas forzadas, el 70 % por movimientos repetitivos, y que el 40% de los puestos presenta riesgo por manipulación de cargas. Estos resultados resaltan la importancia de proponer mejoras de tal forma que se reduzcan los riesgos disergonómicos, se mejoren los tiempos de producción y se incremente la productividad.

Se realizó también un análisis ambiental, primero se evaluó el nivel de ruido en base a la metodología de la ISO NTP 9612 [21], con el sonómetro AEMC-CA832 se tomaron 8 mediciones a lo largo de la jornada laboral. Se realizaron en ambos oídos de cada trabajador. Los resultados indicaron que el área de producción presenta un ruido continuo, por lo que, los cálculos se realizaron en base a la ecuación 11 de la norma, obteniendo que el mayor nivel de presión sonora (NPS) está en el estibador de materia prima

$$NPS = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^I 10^{0,1xL_{p,A,eqT,n}} \right) \quad (2)$$

Ejemplo de operario 1, oído derecho:

$$NPS = 10 \lg \left(\frac{1}{8} (10^{0,1x100,8} + 10^{0,1x101,5} + 10^{0,1x99,8} + 10^{0,1x101,1} + 10^{0,1x100,6} + 10^{0,1x101,2} + 10^{0,1x99,4} + 10^{0,1x99,7}) \right) = 100,6 \text{ dB}$$

También se calculó la incertidumbre expandida (U) en base a la incertidumbre debido la medición de los niveles de ruido (u1) tomado como incertidumbre por el instrumento (u2) el valor de 0,7 por ser un sonómetro de clase 1, incertidumbre debido a la posición de medición (u3) equivalente a 1.

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{p,A,eQT,n} - L_{p,A,eQT})^2 \right]} \quad (3)$$

Para el puesto de trabajo del estibador de materia prima, la incertidumbre debido a la medición de los niveles de ruido sería u_1 : 0,8. Luego, se calcula la incertidumbre combinada definida por el producto de los coeficientes (c) y las incertidumbres (u) anteriores.

$$u^2 = c^2 * u^2 \quad (4)$$

La contribución a la incertidumbre c_1 se toma de la tabla C.4 de [21]. Y los demás coeficientes de sensibilidad son iguales a 1. La incertidumbre expandida es igual a:

$$u^2 = (0,38)^2(0,8)^2 + (1)^2(0,7)^2 + (1)^2(1)^2 = 1,58$$

Luego, se calcula la incertidumbre expandida como el producto del factor de cobertura (k) valor estándar de 1,65 por u. Obteniéndose una incertidumbre total de 2,6 dB.

$$U = uk \quad (5)$$

$$U = (1,3)(1,65) = 2,6 \text{ dB}$$

Entonces, el nivel de presión sonora en el estibador de materia prima es de $100,6 \pm 2,6$ dB. De igual manera se realizó con los demás operarios y se encontró que el 100 % de los puestos presenta un nivel de riesgo pues al compararse con la norma 375-2008-TR, todos los puestos exceden el límite de 85 dB para la jornada de 8 horas.

Otro factor ambiental evaluado fue la iluminación mediante la metodología establecida en la NOM-025-STPS-2008 [22], se empleó el luxómetro AEMC-CA813, se tomaron la cantidad de medidas en base al área de cada puesto y se compararon con lo establecido en la normativa peruana RM-375-2008-TR para cada área. Como resultado se obtuvo que el 80 % los puestos de trabajo no presentan el nivel de iluminación requerido, solo el almacén de materia prima y el área de yodado de sal cumplen con un valor superior a 300 lux,

En base a estos resultados, se desarrolló el objetivo 2 donde las propuestas se realizaron bajo el criterio de la jerarquía de control, priorizando los controles de ingeniería y sustitución, conforme a la norma R.M. 375-2008-TR, estimando la reducción adecuada de los riesgos ergonómicos. En la jerarquía de control la medida más efectiva para la manipulación de cargas es la sustitución de la actividad manual elevador al vacío TAWI VM80, el cual cumple con las características del trabajo

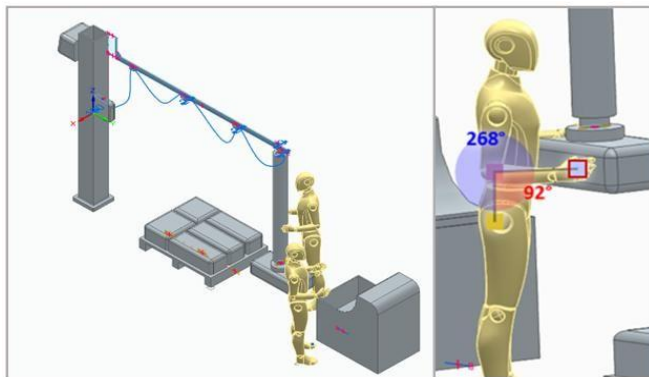


Fig 3. Diseño y evaluación del puesto de trabajo de estibador de materia prima

En la figura 3, se observa el nuevo diseño del puesto de estiba de materia prima. Al evaluar nuevamente por NIOSH, el LI tuvo un valor aceptable de 0,82 Kg, un valor REBA bajo de 2 y se estima una reducción del tiempo del 51 % en base a las características técnicas de la máquina. Para el puesto de estibador de producto terminado, se propone la sustitución de la traspaleta manual por una eléctrica. Después de una evaluación se seleccionó la marca Li-ion CLG2015L, esta presenta una velocidad de desplazamiento es de 1,28 m/s, se estima una reducción del 58,9 % del tiempo al emplear una traspaleta eléctrica. Se obtuvo un valor REBA de 1 y un valor LI de 1 Kg lo cual indica que el operario puede realizar la tarea sin ocasionarle problemas ergonómicos

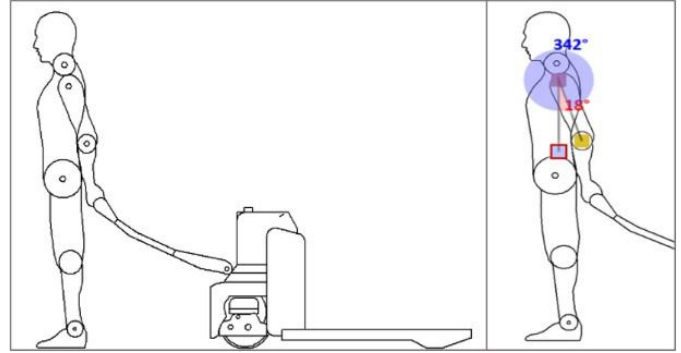


Fig 4. Diseño y evaluación del puesto de trabajo de estibador de producto terminado

Para el puesto de llenado de sal se propuso el diseño de una máquina semiautomática que ayude a reducir este nivel de riesgo. Esta máquina está compuesta por una tolva con dos salidas para que los dos operarios de llenado puedan operarla por ambos lados a través de un mecanismo on-off que accione cilindros neumáticos, los cuales permitirán el paso de la sal. Para los cálculos se tuvo en cuenta criterios de diseño en tolvas para asegurar el flujo continuo de sólidos evitando la formación de arcos. Se calculó el volumen (V) que debe ocupar la tolva superior para contener toda la sal que proviene de la molienda, masa requerida 660 Kg entre la densidad aparente promedio de la sal se eligió la válvula proporcional con el coeficiente del caudal del agua obtenido.

$$V = \frac{\text{masa}}{\rho_{\text{sal}}} \quad (6)$$

$$V = \frac{660 \times 10^3 \text{ g}}{1,25 \text{ g/cm}^3} = 0,528 \text{ m}^3$$

Para calcular la velocidad de caída de la sal, primero se calculó el flujo másico para conocer la cantidad de masa requerida que se mueve en un tiempo determinado. De acuerdo con [24] quien investigó a profundidad el flujo de materiales granulares como la sal, la ecuación para encontrar el flujo depende de las propiedades del material granular. Para materiales cohesivos como la sal, el coeficiente (C) disminuye significativamente pues la cohesividad aumenta la resistencia al flujo, lo cual provoca una reducción en la descarga del material, por ello que se seleccionó el valor de 0,2 [21].

$$\dot{m} = C\rho_b \sqrt{g(D - kd_p)^{5/2}} \quad (7)$$

Donde:

C : Coeficiente de descarga

ρ_b : Densidad del material

g : Aceleración de la gravedad

D : Diámetro efectivo de salida

k : Coeficiente de forma

d_p : Diámetro de la partícula del material

$$\dot{m} = (0,2)(1,25)\sqrt{9,81}((0,08 - 2,9 \times 0,0006))^{5/2} = 1,34 \text{ Kg/s}$$

Este valor es equivalente a que 1 Kg de sal cae en 0,75 s dentro de una bolsa y para un saco completo se necesitan 18 s. Dentro de los cálculos, también fue importante hallar la velocidad de cada uno de los cilindros neumáticos los cuales permiten el paso de la sal por gravedad, para ello se usarán dos por cada salida de tolva. Para hallar el caudal (Q) se considera el caudal en el avance más el caudal de retroceso, empleando la presión manométrica (P_{man}), atmosférica (P_{atm}) y los diámetros de cada cilindro (D) [25].

$$Q_{ciclo} = \pi \cdot \frac{D_{cil}^2}{4} \cdot \text{carrera} \cdot \frac{(P_{man} + P_{atm})}{10^6} + \pi \cdot \frac{D_{cil}^2 - D_{vas}^2}{4} \cdot \text{carrera} \cdot \frac{(P_{man} + P_{atm})}{10^6} \quad (8)$$

Ejemplo para el primer cilindro XCPC 63x100mm:

$$Q_{ciclo} = \pi \cdot \frac{320^2}{4} \cdot (100) \cdot \frac{(6+1,013) \text{ bar}}{10^6} + \pi \cdot \frac{320^2 - 63^2}{4} \cdot (100) \cdot \frac{(6+1,013) \text{ bar}}{10^6}$$

$$Q_{ciclo} = 110,618 \text{ L/ciclo}$$

A este valor se le añadió el 10 % de holgura, por lo que el caudal es igual a:

$$Q_{total} = 2,2028 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Con el valor del caudal, se calculó la velocidad total del cilindro, a través de la suma entre la velocidad de avance y retroceso:

$$v_{total} = \frac{Q_{total}}{\pi \cdot R^2} + \frac{Q_{total}}{\pi \cdot (R-r)^2} \quad (8)$$

$$v_{total} = 0,0507 \text{ m/s} = 1,97 \text{ s}$$

El funcionamiento de la máquina es el siguiente, el primer cilindro (XCPC 63x100mm) está retraído para permitir el paso de la sal, mientras que el segundo cilindro (XCPC 20x100mm) está en posición extendida deteniendo la caída, la velocidad calculada del segundo cilindro fue de 0,048 m/s equivalente a un tiempo de 2 segundos. Al accionar un pulsador verde, ambos cilindros cambian de posición para dejar caer la sal hacia las bolsas. Luego, se revisa el peso de las bolsas en las balanzas que están sobre la mesa y se pasan a la etapa de sellado. A través de todas las actividades analizadas en un diagrama hombre-máquina se estima que se necesita 1,717 min para llenar un saco reduciendo en un 41,7% el tiempo de llenado respecto al tiempo inicial de 2,844 min/saco CMK.

Un estudio antropométrico de trabajadores en Perú [26], determinó que las medidas de la población son menores a las

internacionales ($p < 0,05$) por lo que se emplearon estos datos para diseñar las dimensiones de la estructura. Además, se reduce el nivel de REBA a un valor 3, indicando fuera de riesgo.

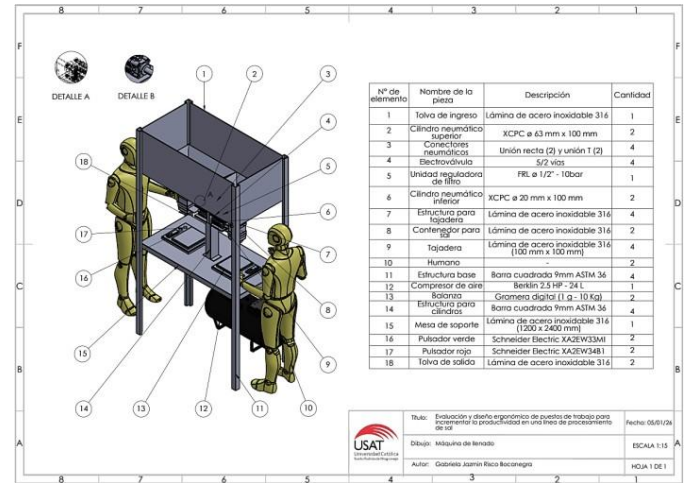


Fig 5. Plano de la máquina de llenado

Para el puesto de sellado, se propuso implementar asientos ergonómicos, pues de acuerdo con la norma básica de ergonomía [11] los trabajos que se realizan de pie deben tener asientos para descansar. Los operarios de sellado y llenado deben rotar funciones cada hora para que puedan descansar y el trabajo no sea monótono. La mejor alternativa es la silla semisitting de Mount-IT.

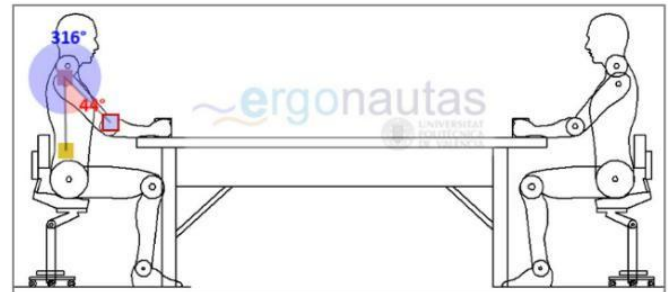


Fig 6. Diseño y evaluación del puesto de trabajo de sellado

En este puesto de trabajo solo se observa una mejora totalmente ergonómica, puesto que el resultado REBA es 3, indicando un bajo nivel de riesgo. En el puesto de empaquetado se propone que el trabajo sea sobre una mesa a la altura de los trabajadores para que no tengan que inclinarse. Además, se tuvo en cuenta que los trabajadores se trasladan para dejar los sacos en diferentes zonas. Por ello, se propone eliminar la actividad improductiva añadiendo una faja transportadora, que permita llevar los sacos hacia la etapa de cosido sin necesidad de traslados. Se estima un nuevo riesgo ergonómico con valores de REBA bajo de 3 y LI aceptable de 0,87 Kg.

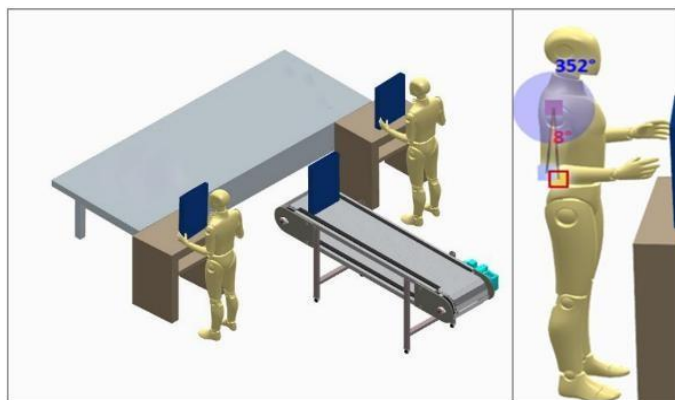


Fig 7. Diseño y evaluación del puesto de trabajo de empaquetador

Los cálculos para seleccionar el motor de la faja transportadora se tomaron del manual de Intralox [27], empresa líder en la industria de transporte de productos en el sector alimentario mediante fajas transportadoras. En base a las dimensiones del saco y la velocidad necesaria se calcula la tracción de la banda y la fuerza de tracción ajustada de la banda. La faja seleccionada presenta una potencia de 1,5 HP y velocidad regulable entre 10-30 m/s. Esta mejora propuesta se alinea con el puesto de trabajo de cosido, pues la misma faja del operario de empaquetado traslada el saco hacia el operario que cose, sin necesidad de cargar los sacos hacia otra zona.

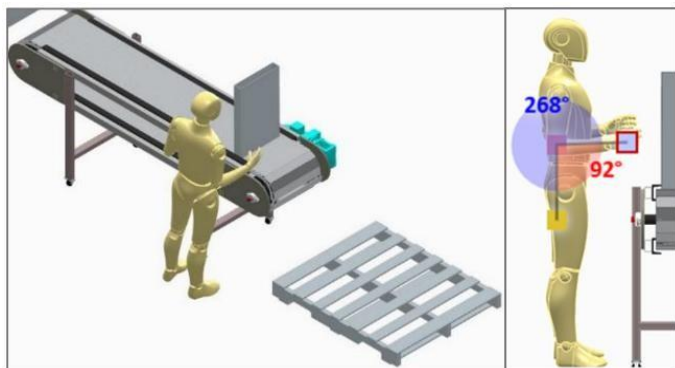


Fig 8. Diseño y evaluación del puesto de trabajo de operario de cosido

Con la mejora se estima la eliminación del tiempo que le tomaba al operario trasladarse, con esto se estima una reducción de 72,9 % del tiempo de cosido. La nueva evaluación REBA es de 2 y la evaluación NIOSH con LI de 0,80 Kg nivel aceptable menor a 1.

Por otro lado, como cálculo de ingeniería se halló la cantidad de luminarias necesarias en cada área. Se empleó la metodología de lúmenes. Se seleccionó la luminaria rejilla de aluminio LED 4 000 K que contiene 2 focos de 5 200 lúmenes cada uno, para el almacén de producto terminado y el envasado, porque presentan una temperatura de color fría ideal para espacios industriales con techo bajo. Para el almacén de producto terminado se seleccionaron luminarias circulares

HIGHBAY LED, que presentan 14 000 lúmenes, luz blanca ideal para iluminar techos altos. El flujo luminoso (Φ_T) se calculó en base a las medidas y color de cada área.

Por ejemplo, para el área de envasado, se determinó un flujo de 28 892,46 lm, al reemplazar en la fórmula el flujo luminoso teórico (Φ_L) es de 5 200 lm y el número de focos (n) es 2 por lo que se halló un total de 3 luminarias necesarios en el área con un valor total de 432 lux, valor óptimo según lo establecido por la norma de ergonomía peruana. De igual manera, se calculó en el almacén de materia prima obteniendo 6 luminarias, equivalente a 339 lux valor superior a los 200 lux necesarios en almacenes. Con ello estas mejoras se logra eliminar la iluminación deficiente en todos los puestos trabajo.

El factor ambiental del ruido se abordó mediante la implementación de EPP's en cada puesto de trabajo. Se realizó una comparativa entre los tapones auditivos y las orejeras. Se seleccionó el tipo de tapón auditivo 3M E-A-R Ultrafit 27 porque presenta un nivel de reducción (NRR) de 27 dB, nivel mayor que otros productos similares.

TABLA VI
NIVEL DE RUIDO ATENUADO POR PUESTO DE TRABAJO

Puesto de trabajo	Nivel de presión sonora (NPS)	NRR	NRA (NPS-NRR)	Cumple R.M.375:2008
Operario 1	100,6	27	73,6	SÍ
Operario 2	89,5	27	62,5	SÍ
Operario 3	95,2	27	68,2	SÍ
Operario 4	94,4	27	67,4	SÍ
Operario 5	95,3	27	68,3	SÍ
Operario 6	93,5	27	66,5	SÍ
Operario 7	95	27	68	SÍ
Operario 8	91,8	27	64,8	SÍ
Operario 9	93,5	27	66,5	SÍ
Operario 10	98,4	27	71,4	SÍ

Fuente: Elaboración propia

En la tabla VI, se observa que el Nivel de Ruido Atenuado (NRA) es menor al valor límite de 85 dB en todos los puestos de trabajo, por lo que se reduce el riesgo por ruido en el 100 % de los puestos de trabajo.

Por otro lado, los controles administrativos propuestos abarcan un plan de pausas activas que deben ser instruidas en todos los trabajadores de la empresa. Añadido a ello, se propone dar capacitaciones en base a los requerimientos de la Ley 29783 y su reglamento D.S. 005-2012-TR. Finalmente, como último paso en la jerarquía de control, se propone la adquisición y uso de equipos de protección personal (EPP), los cuales según el artículo 60 de la Ley N°29783 es de uso obligatorio. La selección de los EPP's se realizó en base a las características de normativa internacional según requiera el equipo. Entre los EPP's necesarios se encuentran el casco industrial ANSI/ISEA Z89.1-2014, guantes industriales EN 388:2016/A1:2018, protectores auditivos ANSI S3.19, guantes antivibración EN ISO 10819 y calzado antideslizante ANSI Z89.1.

Tras la propuesta del diseño de los puestos de trabajo, se estimó la reducción de las distancias y los tiempos con el fin de hacer más eficiente el trabajo, obteniendo un tiempo promedio de 6,75 min/saco CMK. A este tiempo se le agregaron los suplementos conforme al sistema Westinghouse, obteniendo un

valor de 7,36 min/saco CMK lo cual representa una reducción del 23,67 % del tiempo inicial. Con esta mejora, la línea puede producir hasta 6 696 sacos CMK/mes, se propone solo una producción diaria de 165 sacos CMK/día lo que permite cumplir con la demanda diaria. Con ello, se estimó un incremento del 23 % en la productividad de mano de obra y un 10 % de la productividad total inicial.

TABLA VII
 INDICADORES DE PRODUCCIÓN PROPUESTOS EN LA LÍNEA

Indicador	Situación inicial	Escenario propuesto	% Mejora
Producción	131 sacos CMK/día	165 sacos CMK/día	25,95 %
P. MO	13 sacos CMK/día-op	16 sacos CMK/día-op	23,08 %
P.Total	0,084 $\frac{\text{sacos CMK}}{\text{S/. /año}}$	0,093 $\frac{\text{sacos CMK}}{\text{S/. /año}}$	10,07 %

Fuente: Elaboración propia

La estimación de los indicadores de ergonomía, mostrados en la tabla VIII, se realizó en base a la literatura revisada para el caso de la tasa de ausentismo, de acuerdo con [12], con propuestas similares en base a la jerarquía de control se reduce esta tasa a un 5 %, esperando a futuro una reducción a 0 % por ser una causa ligada a los TME. En el caso de los movimientos repetitivos, se estima una reducción a un valor de 14 % esto representa al puesto de trabajo de cosido de sacos que aún está en un nivel de riesgo incierto resultado de la nueva evaluación con Check List OCRA. Se espera también una reducción del riesgo mediante una continua evaluación de alternativas como la rotación de tareas entre el personal.

TABLA VIII
 INDICADORES DE ERGONOMÍA PROPUESTOS EN LA LÍNEA

Indicador	Situación inicial	Escenario propuesto
Tasa de ausentismo por TME	13,8%	5%
% PT con riesgo por posturas forzadas	90 %	0 %
% PT con riesgo por movimientos repetitivos	70 %	14 %
% PT con riesgo por manipulación de cargas	40 %	0 %
% Puestos de trabajo con riesgo sonoro	100 %	0 %
% PT con iluminación deficiente	80 %	0 %

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los indicadores de ergonomía que alcanzan un valor de 0% en el escenario propuesto reflejan la cantidad de puestos de trabajo en los que el riesgo se encuentra en niveles controlados donde no se requiere intervención, por ejemplo, el 0% de puestos presenta riesgo por posturas forzadas porque la nueva evaluación tras la posible implementación de las mejoras, sugiere que los 10 operarios realizan actividades de bajo riesgo según los criterios de los métodos REBA. De igual manera con los demás los porcentajes de los demás indicadores.

Finalmente, para el tercer objetivo se considera todos los ingresos generados a partir de la propuesta, es decir, la cantidad de sacos CMK que la línea no pudo atender. Además, se agregaron ahorros por mermas, por mano de obra extra, ahorros por ausentismos y costos no percibidos por multas SUNAFIL, obteniendo un total de S/ 78 802,33

Para todos los costos de la implementación de la propuesta se plantea una inversión total de S/ 68 893,85 tal como se muestra en la tabla IX. Se propone que esta inversión sea financiada 100 % por una entidad bancaria que presenta una

TEA de 15,99 %.

TABLA IX
 RESUMEN LOS COSTOS ESTIMADOS DE LA PROPUESTA

Inversión Total	
Inversión Tangible	
Máquina llenado	S/ 9 529,46
Sillas ergonómicas	S/ 1 941,02
Faja transportadora	S/ 4 269,83
Transpaleta eléctrica	S/ 4 180,00
Elevador al vacío	S/ 43 365,00
EPP's	S/ 1 619,50
Luminarias	S/ 2 809,04
Inversión Intangible	
Capacitaciones	S/ 1 180,00
Total de inversión	S/ 68 893,85

Fuente: Elaboración propia

En base a ello, se proyectó un flujo de caja a 5 años, considerando como ingresos los beneficios económicos estimados derivados de la implementación de las mejoras. Estos corresponden a un escenario proyectado y se asocian principalmente a la eficiencia interna generada por el rediseño ergonómico.

Ítems	0 año	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Total Inversión	S/ 68 894					
Ingresos						
Demandas no atendida		S/ 48 784,00				
Pérdidas por merma		S/ 9 983,50				
Ahorro mano de obra directa extra		S/ 6 560,00				
Costos por ausentismos / SUNAFIL		S/ 13 474,83				
Total ingresos		S/ 78 802,33	S/ 81 551,29	S/ 84 519,56	S/ 87 723,76	S/ 91 182,18
Egresos						
Costos de materiales	S/ 13 720,50	S/ 14 199,13	S/ 14 715,94	S/ 15 251,57	S/ 15 829,77	
Mano de obra	S/ 10 545,08	S/ 10 912,94	S/ 11 310,14	S/ 11 721,80	S/ 12 166,18	
CIF	S/ 4 815,18	S/ 4 983,16	S/ 5 164,53	S/ 5 352,51	S/ 5 555,42	
Mantenimiento	S/ 2 527,46	S/ 2 615,63	S/ 2 710,84	S/ 2 809,50	S/ 2 916,01	
Capacitaciones	S/ 1 180,00	S/ 1 221,16	S/ 1 265,61	S/ 1 311,68	S/ 1 361,40	
Gasto financiero	S/ 11 016,13	S/ 10 499,20	S/ 9 899,63	S/ 9 204,18	S/ 8 397,53	
Compra de EPP's	S/ 1 619,50	S/ 1 676,00	S/ 1 734,46	S/ 1 794,97	S/ 1 857,58	
Depreciación	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	
Total egresos	S/ 54 201,54	S/ 54 884,90	S/ 55 578,83	S/ 56 223,88	S/ 56 861,58	
Saldo bruto (antes de impuestos)	S/ 24 600,79	S/ 26 666,39	S/ 28 940,72	S/ 31 499,88	S/ 34 320,60	
Impuesto a la Renta 29,5%	S/ 7 257,23	S/ 7 866,38	S/ 8 537,51	S/ 9 292,46	S/ 10 124,58	
Saldo (después de impuestos)	S/ 17 343,56	S/ 18 799,80	S/ 20 403,21	S/ 22 207,41	S/ 24 196,02	
Depreciación	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	S/ 8 777,68	
Saldo final (FNE)	-S/ 68 894	S/ 26 121,24	S/ 27 577,49	S/ 29 180,89	S/ 30 985,10	S/ 32 973,71
Utilidad Acumulada	-S/ 68 894	-S/ 42 772,60	-S/ 15 195,11	S/ 13 985,78	S/ 44 970,88	S/ 77 944,58

Fig 9. Flujo de caja proyectado

Como resultado del análisis financiero proyectado, se estimó un VAN de S/25 648,98, evidenciando la rentabilidad en el escenario propuesto. La TIR alcanzó 30,38 %, superior al TMAR de 15,99 %, y la relación beneficio-costos de 1,51 indica que por cada sol invertido se obtendría un beneficio estimado de S/ 0,51.

V. DISCUSIONES

El diagnóstico ergonómico evidenció una baja productividad asociada a problemas ergonómicos. Según el Cuestionario Nórdico Estandarizado, el 100 % de los trabajadores presentó molestias en cuello y espalda, y el 71% en piernas y codo derecho. Estos resultados coinciden con [11], quien reportó resultados similares en la industria salinera de Mindomo. Los resultados del método NIOSH indicaron que se carga 18,95 Kg superando considerablemente el peso de 3,27 Kg considerado seguro, este resultado es comparable con [28], donde los trabajadores exceden su límite de peso recomendado de 10,138 Kg. Los indicadores REBA mostraron que el 90 % de los puestos presenta riesgo alto, especialmente en el área de estiba, resultado consistente con los niveles REBA de 10

identificados por [11] en tareas de carga de sacos. Además, se detectó exposición a niveles de ruido superiores a 85 dB, alcanzando picos de 100,6 dB en el molino de martillos, lo que podría causar hipoacusia. Este hallazgo concuerda con [13], quien registró niveles de 104,8 dB en una industria azucarera.

En respuesta a estos hallazgos, se propusieron mejoras basadas en la jerarquía de control, priorizando el rediseño de puestos y la incorporación de una máquina de llenado desarrollada en SolidWorks, para disminuir la carga física en el área de envasado. Este enfoque coincide con lo planteado por [10], quienes demostraron que la mecanización parcial mediante controles de ingeniería reduce la exposición a TME e incrementa la productividad. Como resultado, se estimó una reducción del tiempo de ciclo en 23,67 % y aumento posible del 23 % de la productividad de mano de obra cifras ligeramente inferiores a las de [10], debido a que sus procesos iniciales presentaban mayores ineficiencias. Asimismo, el uso propuesto de tapones auditivos reutilizables permitiría reducir los niveles de ruido al igual que la investigación de [13], confirmando que el uso adecuado de EPP's es efectivo en contextos de alta exposición sonora.

El análisis económico financiero proyecta la viabilidad de la propuesta, con un VAN positivo, TIR mayor al TMAR y una relación beneficio-coste de 1,51. Estos valores son comparables con los obtenidos por [12] que obtuvo un B/C de 1,56. En conjunto, los resultados son consistentes con la literatura, demostrando que la reducción de sobrecarga física y exposición ambiental, disminuye el ausentismo y genera rentabilidad.

VI. CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación permitió proponer un rediseño ergonómico de los puestos de trabajo orientado a mejorar la productividad en una línea procesadora de sal. Las mejoras planteadas, basadas en la jerarquía de control, sugieren una reducción de los riesgos disergonómicos y un incremento estimado del 23 % en la productividad de la mano de obra. Asimismo, el análisis económico-financiero proyecta la viabilidad de las propuestas, con un VAN de S/ 25 648, una TIR de 30,38 % y una relación beneficio-coste de 1,51. Estos resultados corresponden a estimaciones, por lo que su validación queda sujeta a una implementación futura.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por el apoyo otorgado durante el desarrollo de esta investigación, contribuyendo así al fortalecimiento de la investigación científica en nuestra comunidad universitaria.

REFERENCIAS

- [1] R. Fernández, "Ranking de los principales países productores de sal a nivel mundial en 2023", Statista, 2024. Accedido: 08 de septiembre del 2024. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/r9UT>
- [2] TIFAC, «Industrial safety and hazard management in salt industry». Accedido: 7 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/IBB4IKn>
- [3] «Casi 3 millones de personas mueren por accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo», International Labour Organization. Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/mJzyuR>
- [4] P. Mesias, «Estudio de Ergonomía - Marzo 2023». Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/omuJM>
- [5] Perú Compendio Estadístico 2022 Tomo II, INEI, 2022. Accedido: 22 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/3HYM54z>
- [6] E. Ochoa, «Propuesta de implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en base a la Norma ISO 45001:2018 en la Empresa Quimpac S.A. – Callao 2022», Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2023. Accedido: 3 de octubre de 2024.
- [7] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (28, nov. 2008). Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR, *Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico*.
- [8] N. Muyot, «Risk assessment of salt workers: An ergonomic approach», CJMS, vol. 2, n.º 5, pp. 62-74, may 2022, doi: 10.47760/cognizance.2022.v02i05.005.
- [9] A. Arendra, S. Akhmad, Mu'alim, y I. Lumintu, «Working tool redesign to reduce ergonomic risk of salt evaporation field workers based on RULA and REBA assessments using esMOCA Instrument», J. Phys.: Conf. Ser., vol. 1477, n.º 2, mar. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/2/022034.
- [10] D. Trisusanto, C. Bariyah, y A. Kristanto, «Design of ergonomic work facilities on assembly station of mosaic stone for increasing work productivity», *Asia Pac J Sci Technol*, vol 25, n.º 1, mar. 2020.
- [11] C. S. García, A. C. Marroquin, I. A. Macassi, y J. C. Alvarez, «Proposal of work study and anthropometric workstation redesign to increase the productivity on asparagus industries», IEEM, pp. 760-764. 2021.
- [12] J. Quiroz, B. Abásolo, D. Suárez, y S. Nallusamy, «Minimization of Personnel Absenteeism with the Application of Proposed Ergonomic Model in a Plastics Manufacturing Industry», *Applied Sciences*, vol. 13, n.º 13, p. 7858, jul. 2023, doi: 10.3390/app13137858.
- [13] M. Nanda, A. Thoriq, y M. Arum, «Ergonomic Analysis of Small-Scale Palm Sugar Starch Processing Industry in Rancakalong Village, Sumedang Regency», *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, vol. 12, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2024. [10.19028/jtep.012.2.153-171](https://doi.org/10.19028/jtep.012.2.153-171).
- [14] T. Bajičová, I. Kačerová y M. Šimon «Estimating Costs and Benefits of Preventive Ergonomic Measures», *Tehnički glasnik*, vol. 18, n.º 1, pp. 134-141, ene. 2024, doi: 10.31803/tg-20230523134700.
- [15] E. Tompa, R. Dolinschi, y J. Natale, «Economic evaluation of a participatory ergonomics intervention in a textile plant», *Applied Ergonomics*, vol. 44, n.º 3, pp. 480-487, may 2013.
- [16] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, «Concepción o elección del diseño de investigación» en Metodología Investigación Científica, 6ta ed., México D.F., México: McGraw-Hill, 2014, pp. 126-141.
- [17] Ergonomics - Application document for ISO standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and working postures (ISO 11226). [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/wZEz8>
- [18] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233–237. 1987.
- [19] C. Legua, G. Ramírez y A. Zavala, «Informe anual sal de consumo humano. Año 2020». Centro Nacional de Alimentación.
- [20] P. Casasola, M. Díaz, E. Julón, C. Pereira, y J. Ubillus, «Planeamiento Estratégico para la Empresa de Sal Daira S.A.C.», Maestría, PUCP. 2021.
- [21] Acústica. Determinación de la exposición al ruido laboral. Método de Ingeniería, NTP-ISO 9612:2010, Indecopi, 2010.
- [22] NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. 2008.
- [23] «NTP 1189: Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT»
- [24] C. Mankoc et al., «The flow rate of granular materials through an orifice», *Granular Matter*, vol. 9, pp. 407-414, sep. 2007, doi: [10.1007/s10035-007-0062-2](https://doi.org/10.1007/s10035-007-0062-2).
- [25] «ISO 4414:2011 Transmisiones neumáticas», UNE Normalización española. Accedido: 14 de octubre de 2025.
- [26] C. Escobar, «Perfil antropométrico de trabajadores del Perú utilizando el método de escala proporcional», *Ergon Invest Desar*, vol. 2, n.º 2, pp. 96-111.
- [27] «Manual técnico 2025. Bandas modulares». Intralox. Accedido: 7 de junio del 2025. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/Up56pc>
- [28] V. Echevarria, J. Sánchez, y M. Arroyo, «Ergonomics in food production: Improving workstations to reduce disergonomic risks», Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.642