



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y COMPORTAMIENTO
HUMANO**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE CULVENOR EN
TAREAS LABORALES DE EMPUJE Y ARRASTRE”**

Realizado por:

MARÍA JOSÉ LEÓN NARVÁEZ

Director del proyecto:

PhD. OSWALDO JARA

Como requisito para la obtención del título de:

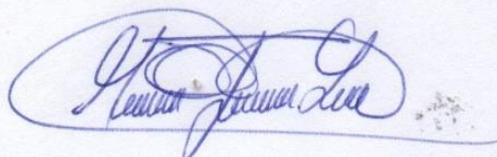
INGENIERA EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, 23 de Julio de 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MARÍA JOSÉ LEÓN NARVÁEZ, con cédula de identidad #171868875-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



MARÍA JOSÉ LEÓN NARVÁEZ

C.C.: 171868875-5

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE CULVENOR EN TAREAS
LABORALES DE EMPUJE Y ARRASTRE”**

Realizado por:

MARÍA JOSÉ LEÓN NARVÁEZ

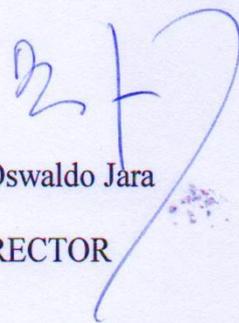
como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Ha sido dirigido por el profesor:

PhD. OSWALDO JARA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



PhD. Oswaldo Jara

DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

M.Sc. ESTEBAN CARRERA

M.Sc. MIGUEL HERNÁNDEZ

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



M.Sc. ESTEBAN CARRERA



M.Sc. MIGUEL HERNÁNDEZ

Quito, 23 de Julio de 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis queridos abuelitos José María y Rosita quienes hace poco tuvieron que partir sin la dicha de verme realizada como profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerzas para superar todos los obstáculos y dificultades que se han presentado a lo largo de este camino.

A Oswaldo Jara por su apertura y predisposición para dirigir este proyecto de investigación.

A Steve Note por la colaboración brindada durante una ardua semana de toma de mediciones.

A Pablo Dávila y Miguel Hernández por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xiv
1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	xiv
1.1.1 Planteamiento del Problema.....	xiv
1.1.2 Objetivo General	1
1.1.3 Objetivos Específicos	1
1.1.4 Justificación.....	1
1.2 MARCO TEÓRICO	2
1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema	2
1.2.2 Adaptación de una perspectiva teórica.....	6
1.2.3 Hipótesis.....	10
1.2.4 Identificación y caracterización de variables	11
.....	12
CAPITULO II	12
MÉTODO.....	12
2.1 Tipo de Estudio.....	12
2.2 Modalidad de investigación.....	12
2.3 Método.....	12
2.4 Población y muestra.....	13
2.5 Selección de Instrumentos de Investigación.....	15
2.5.1 Dinamómetro Digital.....	15
2.5.2 Ecuaciones de Empuje	19
2.5.3 Ecuaciones de Arrastre	20
CAPITULO III	21
RESULTADOS.....	21
3.1 Levantamiento de Datos	21
3.2 Condiciones Experimentales	23
3.3 Presentación y análisis de resultados.....	24
3.3.1 Presentación de los resultados.....	24
3.3.2 Análisis de los resultados	33

CAPITULO IV.....	43
DISCUSIÓN.....	43
4.1 Conclusiones.....	43
4.2 Recomendaciones	44
Referencias Bibliográficas.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones experimentales del estudio de Culvenor (2005).....	8
Tabla 2. Distribución de la muestra	13
Tabla 3. Especificaciones técnicas del medidor de fuerza digital.....	16
Tabla 4. Condiciones Experimentales Culvenor – ACHS – Trabajo de Investigación.....	23
Tabla 5. Medición de Fuerzas de Empuje con el Dinamómetro	24
Tabla 6. Estimación de Fuerzas de Empuje aplicando la ecuación de Culvenor	25
Tabla 7. Estimación de Fuerzas de Empuje aplicando la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad.....	27
Tabla 8. Resultados de las Fuerzas de Empuje con los tres métodos.....	28
Tabla 9. Medición de Fuerzas de Arrastre con el Dinamómetro	30
Tabla 10. Estimación de Fuerzas de Arrastre aplicando la ecuación de ACHS.....	31
Tabla 11. Resultados de Fuerzas de arrastre con los dos métodos.....	32
Tabla 12. Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y Culvenor	33
Tabla 13. Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y ACHS.....	36
Tabla 14. Resultados de Fuerzas de Arrastre – Dinamómetro y Ecuación ACHS	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dinamómetro Digital IMADA ZTS 1100	15
Figura 2. Punto medio de medición en mangos horizontales.....	17
Figura 3. Condición con ruedas en la dirección del movimiento.....	19
Figura 4. Trabajador realizando una tarea de empuje	22
Figura 5. Trabajador realizando una tarea de arrastre	22
Figura 6. Mediciones Dinamómetro y Ecuación de Culvenor	35
Figura 7. Diferencia (%) respecto del modelo de Culvenor.....	36
Figura 8. Mediciones Dinamómetro y Ecuación ACHS	38
Figura 9. Diferencia (%) respecto del modelo de la ACHS	39
Figura 10. Mediciones Dinamómetro / Modelo Culvenor / Modelo ACHS	39
Figura 11. Mediciones Dinamómetro y Ecuación ACHS	41
Figura 12. Diferencia (%) respecto del modelo de Chile.....	42

RESUMEN

En el ámbito laboral existen multitud de tareas en las que se realizan fuerzas de empuje y arrastre. Se emplea este tipo de fuerzas para mover objetos manualmente, empujándolos y/o arrastrándolos sobre una superficie, o utilizando elementos auxiliares de transporte, como transpaletas, carros, etc. Se necesita utilizar un dinamómetro para medir la fuerza ejecutada por el trabajador. En la práctica resulta complejo disponer de este equipo de medición, motivo por el cual se ha recurrido a la utilización de ecuaciones de aproximación matemática propuestas por algunos autores.

La presente investigación busca validar el uso de estas ecuaciones de aproximación matemática por parte de los profesionales de la seguridad y salud ocupacional en la estimación del nivel de fuerza ejecutada por el trabajador cuando no se disponga de un dinamómetro.

Se replicó la técnica experimental de Culvenor y de la Asociación Chilena de Seguridad para estimar fuerzas de empuje y arrastre en una planta industrial ecuatoriana determinando que los resultados no se relacionan con los del equipo de medición.

PALABRAS CLAVES: empuje y arrastre, fuerza inicial, coches, transpaletas, dinamómetro.

ABSTRACT

In the workplace there are many tasks in which push and pull forces are performed. This type of force is used to manually move objects, push and drag on a surface, or use auxiliary transport elements, such as pallet trucks, carts, etc. It is necessary to use a device to measure the force executed by the worker. In practice it is difficult to have this measuring equipment, which is why we have used mathematical approximation equations proposed by some authors.

The present research seeks to validate the use of these mathematical approximation equations by occupational health and safety professionals in estimating the level of force executed by the worker when a dynamometer is not available.

The experimental technique of Culvenor and the Chilean Safety Association was replicated to estimate thrust and drag forces in an Ecuadorian industrial plant determining the results are not related to the measurement equipment.

KEY WORDS: push and pull, initial force, cars, pallet trucks, dynamometer.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Planteamiento del Problema

La evaluación de riesgos laborales es una obligación empresarial y una herramienta fundamental para la prevención de daños a la salud y la seguridad de los trabajadores. La evaluación de riesgos implica cuantificar la probabilidad de que se produzcan efectos perjudiciales para la salud. En el proceso de evaluación de riesgos, es necesario realizar mediciones, empleando para ello equipos de medición que nos permitan realizar esta cuantificación.

Sin embargo la falta de disponibilidad de ciertos equipos de medición ha llevado a los técnicos a la búsqueda de alternativas que les permitan de cierta manera continuar con la gestión del riesgo, para lo cual han optado por emplear modelos matemáticos que han sido desarrollados por investigadores y propuestos como alternativa de uso.

Actualmente no existe información sobre qué tan confiable puede ser evaluar el nivel de riesgo ocupando estas aproximaciones matemáticas.

1.1.2 Objetivo General

Corroborar el uso de ecuaciones de aproximación matemática en la estimación de fuerza requerida para ejecutar tareas laborales de empuje y arrastre de cargas mediante técnicas estadísticas para su aplicación técnica en puestos laborales.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Medir la fuerza aplicada en tareas laborales de empuje y arrastre utilizando el dinamómetro.
- Estimar la fuerza aplicada en tareas laborales de empuje y arrastre aplicando ecuaciones de aproximación matemática.
- Correlacionar el resultado de estimación de fuerza con dinamómetro, con el resultado de estimación de fuerza con ecuaciones de aproximación matemática.

1.1.4 Justificación

La evaluación de tareas laborales de empuje y arrastre requiere la utilización de un dinamómetro para medir la fuerza ejecutada por el trabajador y luego contrastarla con los límites aceptables establecidos en la metodología. Pero también, algunos autores han determinado algunos lineamientos como ecuaciones de aproximación matemática para estimar el valor de la fuerza aplicada.

En la práctica y en nuestro país se torna difícil disponer de un dinamómetro que nos permita medir las fuerzas aplicadas, se ha podido evidenciar la escasez de este equipo de medición en el mercado ecuatoriano, siendo éste un gran inconveniente que podría suponer una traba para no evaluar el factor de riesgo por empuje y arrastre.

Es por ello que esta investigación se realiza con el fin de corroborar el uso de ecuaciones de aproximación matemática por parte de los profesionales de la seguridad y salud para evaluar el nivel de riesgo ergonómico por empuje y arrastre en la población ecuatoriana cuando no se disponga de un dinamómetro.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema

Las tareas de empuje y arrastre son muy comunes en la industria. Se definen como aquellas donde la dirección de la fuerza resultante fundamental es horizontal. (Pinto et al., 2012)

Hoozemans et al. (1998) definen empujar y tirar como el ejercicio de la fuerza ejercida por una persona sobre un objeto u otra persona, siempre que la dirección del mayor componente de la fuerza resultante sea horizontal. Al empujar, la fuerza se aplica lejos del cuerpo mientras que al tirar la fuerza se aplica hacia el cuerpo. Aunque no se ha estudiado tan extensamente como levantar y transportar (van de Beek et al., 1999), Baril-Gangras y Lortie (1995) informaron que las actividades de empuje y tracción en algunos casos pueden representar hasta el 50% de todas las manipulaciones manuales.

Las actividades de manipulación manual de cargas incluyen levantar, bajar, cargar, sostener, empujar y tirar (Huei Chu Kao et al., 2015) citado por (Snook SH, 1978), y tales actividades son las principales causas de lesiones musculo esqueléticas, especialmente las del brazo, el cuello, el hombro y la espalda baja (Huei Chu Kao et al., 2015) citado por (Ciriello VM, 2007). Para reducir el riesgo de lesiones musculo esqueléticas, se utilizan equipos operativos como carros, carretillas elevadoras y transportadores para ayudar con las tareas de manipulación manual (Huei Chu Kao et al., 2015) citado por (Kuiper JI et al., 1999). Aunque

estos equipos auxiliares pueden facilitar la manipulación manual de cargas, aumentan el número de tareas de empuje y tracción (Huei Chu Kao et al., 2015) citado por (Gagnon M et al., 1992).

Los espacios de trabajo industriales se han rediseñado principalmente para reemplazar el transporte de objetos por tareas que requieren empujar o tirar. (Argubi-Wollesen et al., 2016) citado por (Resnick M., 1995;26:173–178)

En las dos últimas décadas, el levantamiento de objetos pesados va siendo sustituido por acciones de empuje y arrastre de tal forma que, en la actualidad, se estima que constituyen más del 50% de las acciones en las que están involucradas las cargas. Pero aun así, cerca del 20% de las lesiones debidas a sobreesfuerzos tienen su origen en el hecho de empujar o arrastrar una carga. (Hoozemans et al., 2004)

Un análisis actual en el sector de la oferta automotriz australiana ha demostrado que aproximadamente el 10% de todos los procesos de trabajo implica empujar y tirar de forma regular y repetitiva, con una gran parte (41,2%) que requiere la manipulación de objetos con masas totales entre 200 kg y 1.000 kg (Argubi-Wollesen et al., 2016) citado por (Continental A.G. , 2013)

Una investigación de NIOSH (1981) apuntó que el dolor lumbar estaba relacionado con empujar y jalar y comprendía alrededor del 20% de las lesiones por sobreesfuerzo en los EE. UU. Klein et al. (1984) indicaron que el 9% del dolor lumbar estaba relacionado con las tareas de empujar y tirar. Algunos estudios también han demostrado que el 9-18% de dolor lumbar se correlaciona con tareas de empujar y tirar (Huei Chu Kao et al., 2015).

Existe poca evidencia epidemiológica para confirmar que el empujar y tirar da como resultado quejas musculo esqueléticas (Hoozemans et al., 1998). Sin embargo, el empujar y tirar excesivamente se considera un factor de riesgo de manipulación manual (Health and

Safety Executive, HSE, 2004) y es una actividad que puede provocar incidentes de lesiones físicas.

En un estudio publicado en PubMed US National Library of Medicine (1996) se evaluó la capacidad de los trabajadores para reproducir correctamente las fuerzas de trabajo manuales realizadas y cuantificar estas fuerzas en Newtons (N) por medio de auto informes. Catorce hombres y 14 mujeres trabajadoras participaron en el estudio. Tres experimentos fueron llevados a cabo. En el primer experimento, se probó la capacidad de reproducir las magnitudes de las fuerzas manuales simuladas que ocurren en el trabajo diario y de estimar estas fuerzas en Newtons. Se utilizó un dispositivo de medición de fuerza especialmente diseñado para este propósito. En el segundo experimento, los sujetos calcularon el peso de cinco cajas que iban de 1 a 30 kg. En el tercer experimento, se les pidió a los sujetos que produjeran cinco fuerzas predeterminadas de empujar y tirar que variaban en magnitud de 10 a 300 N en el mango del dispositivo de medición de fuerza. La capacidad de reproducir las magnitudes de las fuerzas manuales al simular cuatro tareas de trabajo familiares fue buena (los coeficientes de correlación variaron de 0,75 a 0,95). La capacidad de cuantificar estas fuerzas en Newtons no fue tan buena (los coeficientes de correlación de momento del producto variaron de 0.21 a 0.69). Cuando los sujetos calcularon el peso de las cajas, subestimaron los pesos. Cuando producían fuerzas de empuje y tracción predeterminadas, ejercían fuerzas superiores a las esperadas cuando se solicitaban bajos niveles de fuerza y menores fuerzas cuando se solicitaban niveles de fuerza elevados. Sin embargo, las fuerzas fueron clasificadas correctamente.

Las tareas de empujar y tirar se han vuelto cada vez más comunes como resultado de la introducción de una variedad de carros y otros dispositivos de asistencia para el manejo de materiales. (Resnick ML & Chaffin DB., 1995).

Con el fin de predecir el rendimiento máximo de los trabajadores en estas tareas, y las tensiones biomecánicas que pueden resultar de ellos, Resnick ML & Chaffin DB en 1995 estudiaron los esfuerzos involucrados en el empuje del carro. Cuatro sujetos de distintas fuerzas empujaron carros con cargas de 45 a 450 kg a varias alturas. Las fuerzas pico de empuje alcanzaron 500 N para sujetos masculinos y 200 N para sujetos femeninos. Los sujetos fuertes movieron un carro de 45 kg a velocidades de 1.1 m s⁻¹ y un carro de 450 kg a velocidades de 0.8 m s⁻¹. Los sujetos más débiles movieron los carros a velocidades de 0.5 y 0.4 m s⁻¹ respectivamente.

En otro estudio publicado en PubMed por el US National Library of Medicine (Looze MP et al., 2000) señala que al empujar y tirar de los carros con ruedas, la dirección del esfuerzo de fuerza puede, además de la magnitud de la fuerza, afectar considerablemente la carga musculoesquelética. En este estudio ocho sujetos empujaron o tiraron de una barra estacionaria o carro móvil a varias alturas de manivela y niveles de fuerza horizontal mientras caminaban sobre una cinta rodante. Las fuerzas en las manos en la dirección vertical y horizontal se midieron con un transductor de fuerza. Las fuerzas, los movimientos corporales y los datos antropométricos se usaron para calcular los pares de torsión neta de la articulación en el plano sagital en el hombro y la articulación lumbosacra. Las magnitudes y las direcciones de las fuerzas no difieren entre el carro y la barra empujando y tirando. La dirección de la fuerza se vio afectada por el nivel de fuerza horizontal y la altura del mango. A medida que la altura del mango y el nivel de fuerza horizontal aumentaron, la dirección de la fuerza de empuje cambió de 45 grados (SD 3.3 grados) hacia abajo a casi horizontal, mientras que la dirección de la fuerza de tracción cambió de 14 grados (SD 15.3 grados) a casi horizontal. Como resultado, se encontró que a través de las condiciones, los cambios en el esfuerzo de la fuerza se reflejaban con frecuencia en los cambios en el torque del hombro y en el bajo par de retroceso, aunque de una magnitud mucho menor. Por lo tanto, una evaluación

precisa de las cargas musculoesqueléticas al empujar y tirar requiere, además del conocimiento de la magnitud de la fuerza, el conocimiento de la dirección del esfuerzo de la fuerza con respecto al cuerpo.

1.2.2 Adaptación de una perspectiva teórica

1.2.2.1 Empuje y tracción de cargas

El empuje o arrastre de una carga es una condición de trabajo que consiste en empujar o tirar de ella para trasladarla de un lugar a otro, siempre que esté soportada sobre una superficie con ruedas o rodillos, como una carretilla, un carro de aprovisionamiento de material, una transpaleta manual, etc. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo)

1.2.2.2 Fuerza de empuje y tracción de cargas

La fuerza necesaria para mover manualmente un carro puede estar influenciada por muchos factores, dentro de los cuales está el peso del carro y de la carga, la pendiente y las condiciones del terreno, ángulo de aplicación de la fuerza (α), la aceleración y desaceleración que se imprime a la carga, las fuerzas de giro, la fricción de los elementos mecánicos y del piso, el diámetro de las ruedas y así sucesivamente. (Pinto et al., 2012).

Se denomina fuerza al esfuerzo físico que demanda trabajo muscular, que puede o no sobrepasar la capacidad individual para realizar una acción determinada o una secuencia de acciones, cuyo resultado puede significar la aparición de fatiga muscular.

Existen, al menos, dos tipos de fuerza involucradas en las tareas de empuje y arrastre, a saber:

Fuerza Inicial: máxima fuerza dinámica necesaria para poner el objeto en movimiento (acelerar desde el reposo).

Fuerza de sustentación: máxima fuerza dinámica necesaria para mantener el objeto en movimiento.

1.2.2.3 Metodología de evaluación

A nivel internacional, la forma de evaluar las tareas de empuje y arrastre se centra en los criterios establecidos en la Norma ISO 11228-2, que está basada en los estudios desarrollados por Snook y Ciriello (1991).

Snook y Ciriello (1991) publicaron un conjunto de tablas para evaluar empuje y arrastre de cargas, basándose en un criterio psicofísico. En estas tablas se establecen los valores máximos aceptables de fuerzas para un determinado porcentaje de la población en determinadas condiciones de la tarea, cuando se utilizan ambas manos. Los factores considerados por esta metodología son los siguientes: ·

- Altura de aplicación de la fuerza (altura piso-manos).
- Distancia durante la cual se empuja o arrastra.
- Frecuencia de la tarea.
- Género (hombre/mujer).

Se necesita utilizar un dinamómetro para medir la fuerza ejecutada por el trabajador y luego compararla con los límites aceptables establecidos en las tablas.

1.2.2.4 Alternativas para la estimación de fuerzas

Un criterio descrito en la literatura (Pinto et al., 2012) citado por (Kirkaldy-Willis WH, 1988) menciona que para obtener una aproximación gruesa de la magnitud de la fuerza

necesaria para mover una carga sobre una superficie plana, utilizando un elemento auxiliar (carros o carretillas de mano), se puede expresar de la siguiente manera:

$$F \geq 0,02 M$$

Dónde:

F = Fuerza inicial de empuje en kg-f

M = Masa total de la carga en kg.

John Culvenor (2005) publicó un estudio realizado en una industria automotriz de Australia. El objetivo principal de este estudio fue determinar la fuerza inicial requerida por siete participantes masculinos para empujar carros de 150 kg a 400 kg. A continuación se detallan las condiciones experimentales ocupadas en dicho estudio:

Tabla 1. Condiciones experimentales del estudio de Culvenor (2005)

Variable	Información proporcionada
Tarea	
Dirección de la fuerza	Empuje
Distancia de viaje	4 metros
Medición de fuerza	Fuerza inicial máxima
Instrucciones del participante	Para empujar el carro unos 4 metros en la forma en que normalmente empujarían un carro de piezas
Cantidad de senderos	3 ensayos para cada peso de carga; los participantes comenzaron con el peso más ligero y progresaron hasta el peso más pesado
Carga / equipo	
Tipo de carro	Un carro de entrega de piezas utilizado en una planta de ensamblaje automotriz
Carga de pesas	Fórmula de regresión basada en pesos de troles de 160 kg, 200 kg, 300 kg, 350 kg y 400 kg
Altura del mango	Mango vertical que se extiende desde el piso cercano a una altura de 140 cm

Diámetro de la manija	3.5 cm
Manejar espaciamento	45 cm (codo macho del percentil 50 al ancho del codo)
Ruedas Castor número 4	4 ruedas
Tipo de Castor	Ruedas delanteras fijas; ruedas traseras bloqueadas en posición recta para la coherencia de los ensayos
Diámetro de la rueda	Desconocido
Composición de la rueda	Desconocido
Ambiente	
Composición del piso	Hormigón liso
Individual	
Número de participantes	7 participantes
Sexo del participante	Masculino
Edad del participante	Desconocido
Peso corporal del participante	Desconocido

Fuente: Health and Safety Laboratory

Bajo las condiciones experimentales indicadas el autor propone la siguiente expresión:

$$\text{Promedio de la fuerza Aplicada (kg-f)} = \frac{(\text{Peso del carro y la carga en kilogramos})}{20} + 6,5$$

Esta expresión puede ser aplicada, como una aproximación de la fuerza necesaria para sacar del reposo un objeto, para luego contrastarla con los datos de fuerza máxima aceptable para el empuje de carga de Snook y Ciriello (1991).

Así también en otro estudio experimental realizado por miembros de la Asociación Chilena de Seguridad (2012) se determinaron ecuaciones de aproximación matemática para estimar fuerzas iniciales de empuje y arrastre. Se midieron las características antropométricas de cada sujeto y luego se realizó la sesión de capacitación y familiarización con el procedimiento experimental. Concluido este proceso se iniciaron las pruebas en los días programados. De acuerdo al protocolo que se aplicó en esta investigación, en cada prueba

cada sujeto fue instruido a empujar la transpaleta con carga máxima (712 kg), durante una distancia de 3 metros, con el dinamómetro sujeto al punto medio del asa. El sujeto repitió el procedimiento realizando la prueba de arrastre de esta misma carga. A continuación, se disminuyó el peso de la carga sacando cajas de la transpaleta y se ejecutaron las siguientes pruebas de empuje y arrastre. Este proceso se efectuó para 5 cargas (712 kg, 512 kg, 358 kg, 295 kg y 207 kg). En todas las pruebas las ruedas de la transpaleta se dispusieron en la misma dirección del movimiento. La altura de empuje y arrastre más cómoda fue elegida por cada sujeto. Cada prueba se repitió hasta obtener mediciones consistentes con una variación máxima de 15% entre ellas. Luego se registró el valor más alto de la fuerza de empuje y arrastre. El estudio fue realizado en una empresa del sector industrial de Chile, dando como resultado la propuesta de las siguientes expresiones:

Fuerza inicial de empuje:

$$\mathbf{FEi} = 0,0252P + 7,4011$$

Dónde:

FEi = Fuerza inicial de empuje, en kg-f.

P = Carga (incluye la transpaleta y el material transportado sobre ella, en kg).

Fuerza inicial de arrastre:

$$\mathbf{FAi} = 0,0278P + 3,937$$

Dónde:

FAi = Fuerza inicial de arrastre, en kg-f

P = Carga (incluye la transpaleta y el material transportado sobre ella, en kg).

1.2.3 Hipótesis

¿Existe relación entre la medición de fuerzas con el dinamómetro y la estimación de fuerzas con ecuaciones de aproximación matemática?

1.2.4 Identificación y caracterización de variables

La variable relevante a evaluar es la fuerza aplicada por el trabajador.

Fuerza: esfuerzo físico biomecánico requerido para empujar o arrastrar el objeto.

Fuerza Inicial: máxima fuerza dinámica necesaria para poner el objeto en movimiento (acelerar desde el reposo).

CAPITULO II

MÉTODO

2.1 Tipo de Estudio

La investigación se la realizará mediante un estudio Descriptivo y Correlacional en el que se analizarán las actividades operativas en las cuales se ha identificado la presencia de riesgo ergonómico por empuje y arrastre, se realizarán las respectivas mediciones a las tareas que involucran este peligro ergonómico con el equipo de medición y las ecuaciones definidas, una vez obtenidos los datos se procederá a realizar el análisis comparativo para determinar el grado de relación existente entre las dos metodologías.

2.2 Modalidad de investigación

La investigación se realizará directamente en campo, en el área productiva de una empresa textil, midiendo la fuerza aplicada y el peso manipulado en aquellos procesos operativos en los cuales existe exposición al riesgo ergonómico por empuje y arrastre de cargas.

2.3 Método

Se utilizará el método Hipotético – Deductivo partiendo de la hipótesis de que se puede estimar el nivel de fuerza aplicada a través de ecuaciones de aproximación matemática para poder evaluar el riesgo ergonómico por empuje y arrastre.

2.4 Población y muestra

La industria textil en la cual se va a llevar a cabo este trabajo de investigación consta de 200 trabajadores, 170 de ellos son operativos. De los 170 trabajadores operativos están definidos 94 puestos laborales de los cuales alrededor del 69% involucran tareas laborales de empuje y arrastre.

En esta industria textil existen varios procesos productivos que involucran tareas laborales de empuje y arrastre de cargas. Se considerarán para este estudio aquellas tareas a las cuales la matriz de riesgos estima como las más críticas.

En la tabla 2. Podemos observar cómo se encuentra distribuida la muestra.

Tabla 2. Distribución de la muestra

Área	Puesto de Trabajo	Tarea
Corte y Mezcla	Operario de Re rompedora	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento
	Operario de Gills	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal
Preparación	Operario de Auto regulador	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina auto reguladora
	Operario de Finisor	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento
Hilatura	Pabilero	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos
	Surtidor	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.
	Pesador	Traslado de conos retorcidos hasta el área de telares planos
Telares Planos	Medidor de Tela	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.

		Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión
		Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión
Tintorería	Digitador	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento
	Operario de Tintorería	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado
	Operario de Centrifugador	Traslado de madeja mojada desde zona de apilamiento hasta maquina centrifugadora
		Traslado de madeja centrifugada hasta secador
Operario de Secador	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	
Acabados	Operario de Acabados	Traslado de telas desde turdidora a rama
Tejeduría Rashell	Operario de Tejedoras	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina
	Guillotinerero	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta el pasillo
	Revisor de Tela	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora
Estampación	Operario de Poll Rotor	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor
		Traslado de tela cruda desde poll rotor hasta el área de rama
	Guiador de Tela	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora
Acabados Rashell	Operario de Acabados	Traslado de cobijas desde acabados hasta área de ramado
Bodegas	Bodeguero de Telas	Despacho de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho
	Bodeguero de Hilos	Despacho de hilos desde bodega hasta área de despacho
	Bodeguero de Cobijas	Despacho de cobijas desde bodega hasta área de despacho
	Bodeguero Tela Cruda	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega

Fuente: El Autor

2.5 Selección de Instrumentos de Investigación

2.5.1 Dinamómetro Digital

La medición de la magnitud de la fuerza realizada, se efectuará con un dinamómetro, que como mínimo:

- Permita determinar la fuerza inicial y la de sustentación
- Permita mediciones peak, (fijación de lectura) para fuerza inicial y máxima.
- Permita medir empuje y arrastre, señalándolo en la lectura.
- Permita su uso con distintos accesorios según la tarea a evaluar.

En esta investigación se utilizará el dinamómetro digital IMADA ZTS 1100 que el Laboratorio de Higiene Industrial de la Universidad internacional SEK ha tenido a bien facilitar para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Figura 1. Dinamómetro Digital IMADA ZTS 1100



Fuente: El Autor

2.5.1.1 Especificaciones técnicas del equipo

Tabla 3. Especificaciones técnicas del medidor de fuerza digital

Modelo	ZTS 1100
Característica	Modelo estándar con el mismo beneficio en el rendimiento como la serie ZTA pero las funciones reducidas.
Precisión	+ FS / -0,2% +/-1 dígito
Unidad de medida (* 1)	N, kgf, lbf (* 2)
Mostrar	LCD de 4 dígitos
De actualización del indicador	10 veces / segundo.
Frecuencia de muestreo	2000 data / seg. (Max) (* 3)
Batería	8 horas
Nota sobrecarga segura	Approx.200% FS
Entorno de funcionamiento	Temperatura: 0 a +40 grados Celsius Humedad: 20 a 80% de HR
Función	Pantalla personalizada (encabezado y pie de página), retención de pico (tensión y compresión), Internal 1000 puntos de memoria de datos, comparador (sentencia de aceptación o rechazo), pantalla reversible, inversión de signo, temporizador claro Zero, alarma + NG, Off timer (apagado automático off), la existencia de dumping, fecha / hora.
Salida	USB, RS232, Mitutoyo DIGIMATIC (* 4), 2 VDC salida analógica (D / A), Comparador 3 pasos (-NG/OK / + NG)
De aviso de sobrecarga	Approx.110% FS (mensaje de advertencia aparece y la alarma se apaga)
Interruptor externo de conexión	ENVIAR (un punto de contacto explotación), puesta a cero de pico, ajuste ON / OFF
Peso	Approx.490g (* 5)
Dimensiones	191cm x 75cm
Accesorio (* 6)	Adaptador de CA, Certificado de inspección, conductor CD (incluye software simple para el registro de datos), Aditamentos (El juego de accesorios varía según el rango.), Cable USB, estuche de transporte.

Fuente: TECNIMETAL

2.5.1.2 Protocolo de utilización del dinamómetro

2.5.1.2.1 Seleccionar un punto de medición.

Seleccionar la zona o punto de medición en el carro o en el mango, por ejemplo medir del punto medio del mango si este es horizontal (ver fig. N° 2), o bien, seleccionar una zona estable de una parte del carro que el evaluador crea que sea más eficiente en cuanto al empuje y arrastre (nunca desde la carga), además determine cuál apoyo ofrece la forma más fácil y más precisa para medir. Lo anterior dependerá de las características del mango y la superficie contra las que el dinamómetro se contactara.

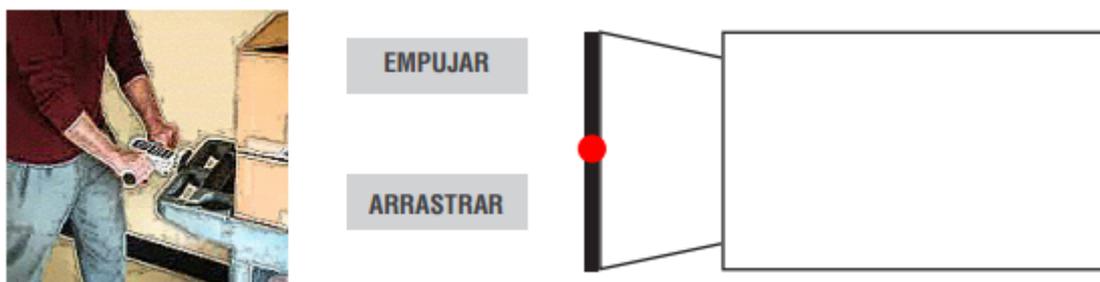
La magnitud del empuje o fuerzas de arrastre debería ser el mismo, sin embargo es necesario tener en cuenta algunos factores de factibilidad y seguridad (por ejemplo cual es la opción que tiene el trabajador de elegir en cuanto a empuje o arrastre y evaluar razones de seguridad del traslado de la carga).

Existe una diversidad de tipos de carros, y el empuje y arrastre de carga es variada. Por lo que una correcta estrategia de medición debe tener en cuenta todas las posibilidades.

Si el mango es horizontal, localizar el punto de medición en el punto medio del mango.

Ejemplo Figura. 2.

Figura 2. Punto medio de medición en mangos horizontales



Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile

Si el mango es vertical, debe localizar la zona habitual de empuje que utiliza la persona, idealmente en una zona media entre el mango o asas (si existen). Se debe evitar deformidad de las zonas de apoyo del dinamómetro, si es necesario, se debe instalar una placa rígida sobre esa zona.

- Condiciones generales

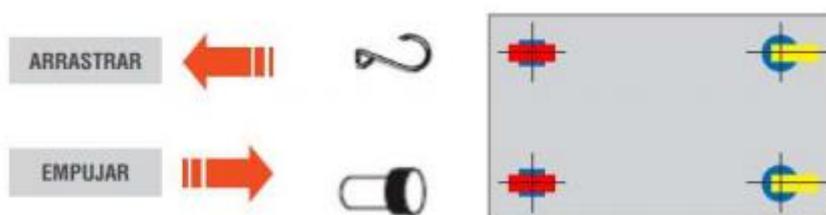
- Antes de proceder a la medición, es necesario explicar al trabajador en qué consiste la medición, además se le debe pedir que haga la tarea tal como lo hace habitualmente, esto permitirá al evaluador percatarse y considerar los aspectos más relevantes a tener en cuenta en el transcurso de la medición y determinar si el trabajador realiza la actividad empujando o arrastrando.
- Cargar la plataforma, carro o carretilla a mover, con el peso máximo que se manipula en condiciones habituales durante la jornada de trabajo, no sobrecargándolo permitiendo mantener su estabilidad, con el propósito que sea seguro para el trabajador u operador del equipo y aquellos que están alrededor de la carga, en ningún caso se realizará el procedimiento de medición, si parte de la carga se desliza o cae.
- Adoptar las medidas y acciones para empujar o bien arrastrar desde el mango del carro. Recuerde que esta acción debe ser realizada primero por el mismo trabajador u operador (idealmente puede ser filmada para ser representada claramente durante la medición).
- Se recomienda que el trabajador esté presente en el lugar de trabajo para hacerle consultas específicas y si el trabajador puede aportar algún antecedente distinto que esté ocurriendo.
- Las mediciones realizadas con el dinamómetro convencional al cual se refiere este protocolo corresponde a la fuerza horizontal ($F_N = F_H$), la cual

es aplicada en forma paralela al plano de la superficie de desplazamiento del carro.

2.5.1.2.2. Medición de fuerza inicial

- Se debe colocar las ruedas giratorias (si posee) de acuerdo con la dirección del movimiento del carro Figura N° 3. En la medición de la fuerza inicial, leer y registrar la fuerza, cuando la plataforma, carretilla o carro empieza a moverse, lo cual habitualmente está representado por el “pick” de la fuerza realizada.

Figura 3. Condición con ruedas en la dirección del movimiento



Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile

2.5.2 Ecuaciones de Empuje

Para la estimación de fuerza inicial de empuje se aplicarán las siguientes ecuaciones:

2.5.2.1 Ecuación de Culvenor

$$\text{Promedio de la fuerza Aplicada (kg-f)} = \frac{(\text{Peso del carro y la carga en kilogramos})}{20} + 6,5$$

2.5.2.2 Ecuación ACHS (Asociación Chilena de Seguridad)

$$\mathbf{FEi} = 0,0252P + 7,4011$$

2.5.3 Ecuaciones de Arrastre

2.5.3.1 Ecuación ACHS (Asociación Chilena de Seguridad)

Para la estimación de fuerza inicial de arrastre se aplicará la siguiente ecuación:

$$\mathbf{FAi} = 0,0278P + 3,937$$

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1 Levantamiento de Datos

Las mediciones fueron realizadas in situ, en las instalaciones de la empresa, en cada una de las áreas y puestos de trabajo determinados en la muestra, se evaluaron aquellas tareas en las cuales el peligro ergonómico por empuje y arrastre de cargas supone un riesgo crítico.

Se procedió a realizar la medición según el protocolo descrito en la Norma ISO 11228-2, se ocupó un dinamómetro digital (IMADA ZTS 1100) para medir la fuerza necesaria (de empuje y arrastre) para sacar del reposo distintas cargas (medidas en kg) las cuales se encontraban dispuestas en coches y transpaletas mecánicas. En total se realizaron 28 pruebas experimentales (18 de empuje y 10 de arrastre).

De acuerdo al protocolo que se aplicó en esta investigación, en cada prueba el trabajador fue instruido a empujar y/o arrastrar el coche o la transpaleta con la carga real manipulada, con el dinamómetro colocado en el punto medio de agarre.

Cada prueba se repitió hasta obtener mediciones consistentes, 5 mediciones con las ruedas alineadas en el sentido de la trayectoria. Luego de esto se registró el valor más alto de la fuerza de empuje y arrastre.

En las figuras N°4 y N°5 se puede observar a un trabajador realizando tareas de empuje y arrastre de cargas.

Figura 4. Trabajador realizando una tarea de empuje



Fuente: El Autor

Figura 5. Trabajador realizando una tarea de arrastre



Fuente: El Autor

3.2 Condiciones Experimentales

Es importante indicar las condiciones experimentales para la obtención de datos con los que se dedujeron las ecuaciones de aproximación matemática y este trabajo de investigación de tesis.

Tabla 4. Condiciones Experimentales Culvenor – ACHS – Trabajo de Investigación

Variable	Condiciones Experimentales		
	Ecuación de Culvenor	Ecuación Asociación Chilena de Seguridad	Trabajo de Investigación (Tesis de grado)
Dirección de la fuerza	Empuje	Empuje y Arrastre	Empuje y Arrastre Horizontal
Distancia de viaje	4 metros	3 metros	Varias distancias
Medición de fuerza	Fuerza inicial máxima	Fuerza inicial máxima	Fuerza inicial máxima
Instrucciones del participante	Empujar el carro unos 4 metros en la forma en que normalmente empujarían un carro de piezas	Los sujetos fueron capacitados y familiarizados con el procedimiento experimental en una sesión de 2 horas.	Empujar o arrastrar el coche de la forma en que normalmente lo harían hasta poner el objeto en movimiento
Cantidad de mediciones	3 ensayos para cada peso de carga	Desconocido	5 mediciones para cada tarea
Tipo de carro	Un carro de entrega de piezas utilizado en una planta de ensamblaje automotriz	Transpaleta mecánica estándar	Coches y transpaletas manuales utilizados en una industria textil
Dirección de las ruedas	En posición recta siguiendo la dirección del movimiento	Alineadas en la misma dirección del movimiento	Alineadas en la misma dirección del movimiento
Cargas manipuladas	Entre 160 kg y 400 kg	Entre 207 kg y 712 kg	Entre 193 kg y 963 kg
Composición del piso	Hormigón liso	Concreto suave y nivelado	Varias superficies, la mayoría de ellas con irregularidades
Número de participantes	7 participantes	9 participantes	23 participantes
Sexo del participante	Masculino	Masculino	Masculino

Fuente: El Autor

3.3 Presentación y análisis de resultados

3.3.1 Presentación de los resultados

3.3.1.1 Fuerzas de Empuje

3.3.1.1.1 Fuerzas de empuje con el dinamómetro

La tabla 5. Nos muestra el valor de la carga manipulada y las cinco mediciones de fuerza inicial de empuje arrojado por el dinamómetro para cada una de las tareas de empuje. Para el análisis de correlación se seleccionó el valor más alto.

Tabla 5. Medición de Fuerzas de Empuje con el Dinamómetro

MEDICIÓN DE FUERZAS DE EMPUJE								
N°	Tarea	Carga (kg)	# Mediciones					Medición más alta Fuerza (N)
			F1	F2	F3	F4	F5	
1	Traslado de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	38	75	103	139	113	139
2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	189	167	198	208	205	208
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	59	56	59	60	65	65
4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	118	111	119	113	129	129
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	81	75	82	73	73	82
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos	279,40	169	201	188	183	157	201
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	171	99	208	138	159	208
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	203	221	132	184	204	221
9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	204	209	202	220	160	220
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	110	112	132	139	109	139
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	409	388	324	346	274	409

12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	176	182	187	192	209	209
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	285	250	253	296	272	296
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	248	263	328	269	290	328
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	238	236	204	224	224	238
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	228	226	231	252	244	252
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	288	281	260	307	286	307
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	428	383	497	334	413	497

Fuente: El Autor

3.3.1.1.2 Fuerzas de empuje estimadas con la ecuación de Culvenor

La tabla 6. Nos muestra el valor de la carga manipulada y el valor de la fuerza inicial de empuje estimada con la ecuación de Culvenor para cada una de las tareas. El resultado en kg-f ha sido transformado a Newtons.

Tabla 6. Estimación de Fuerzas de Empuje aplicando la ecuación de Culvenor

<p>Promedio de la fuerza Aplicada (kg-f) = $\frac{\text{(Peso del carro y la carga en kilogramos)}}{20} + 6,5$</p>
--

Ecuación de Culvenor				
N°	Tarea	Carga (kg)	Fuerza (kg-f)	Fuerza (N)
1	Traslado de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	16,19	158,61

2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	16,53	161,99
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	17,62	172,68
4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	17,86	175,03
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	19,31	189,24
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos	279,40	20,47	200,61
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	20,87	204,48
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	21,62	211,88
9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	22,20	217,56
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	25,03	245,29
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	25,71	251,96
12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	27,67	271,12
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	30,76	301,45
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	31,20	305,76
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	34,48	337,86
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	40,74	399,20
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	49,87	488,73
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	54,68	535,82

Fuente: El Autor

3.3.1.1.3 Fuerzas de empuje calculadas con la ecuación de la ACHS

La tabla 7. Nos muestra el valor de la carga manipulada y el valor de la fuerza inicial de empuje estimada con la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) para cada una de las tareas. El resultado en kg-f ha sido transformado a Newtons.

Tabla 7. Estimación de Fuerzas de Empuje aplicando la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad.

$$FEi = 0,0252P + 7,4011$$

Ecuación de Asociación Chilena de Seguridad				
N°	Tarea	Carga (kg)	Fuerza (kg-f)	Fuerza (N)
1	Despacho de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	12,28	120,37
2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	12,46	122,07
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	13,01	127,45
4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	13,13	128,64
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	13,86	135,80
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos	279,40	14,44	141,53
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	14,64	143,48
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	15,02	147,21

9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	15,31	150,08
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	16,74	164,05
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	17,08	167,41
12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	18,07	177,07
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	19,63	192,36
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	19,85	194,53
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	21,50	210,70
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	24,66	241,62
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	29,26	286,74
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	31,68	310,48

Fuente: El Autor

3.3.1.1.4 Comparación de las fuerzas de empuje calculadas con los tres métodos

La tabla 8. Nos muestra los valores de la fuerza inicial de empuje medida con el dinamómetro y los valores de la fuerza inicial de empuje estimada con las ecuaciones de aproximación matemática de Culvenor y de la Asociación Chilena de Seguridad.

Tabla 8. Resultados de las Fuerzas de Empuje con los tres métodos

Resultados de las Fuerzas de Empuje					
Nº	Tarea	Carga (kg)	Dinamómetro (N)	Ecuación de Culvenor (N)	Ecuación ACHS (N)
1	Despacho de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	139	158,61	120,37

2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	208	161,99	122,07
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	65	172,68	127,45
4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	129	175,03	128,64
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	82	189,24	135,80
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos	279,40	201	200,61	141,53
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	208	204,48	143,48
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	221	211,88	147,21
9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	220	217,56	150,08
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	139	245,29	164,05
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	409	251,96	167,41
12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	209	271,12	177,07
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	296	301,45	192,36
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	328	305,76	194,53
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	238	337,86	210,70
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	252	399,20	241,62
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	307	488,73	286,74
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	497	535,82	310,48

Fuente: El Autor

3.3.1.2 Fuerzas de Arrastre

3.3.1.2.1 Fuerzas de arrastre medidas con el dinamómetro

En la tabla 9. Nos muestra el valor de la carga manipulada y los cinco valores de fuerza inicial de arrastre arrojados por el dinamómetro para cada una de las tareas de arrastre. Para el análisis de correlación se seleccionó el valor más alto.

Tabla 9. Medición de Fuerzas de Arrastre con el Dinamómetro

MEDICIÓN DE FUERZAS DE ARRASTRE								
N°	Tarea	Carga (kg)	# Mediciones					Medición más alta Fuerza (N)
			F1	F2	F3	F4	F5	
1	Llevar cobijas desde acabados hasta área de ramado	219,20	146	134	213	209	234	234
2	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta el pasillo.	308,80	173	164	191	203	246	246
3	Despacho de cobijas desde bodega hasta área de despacho	372,40	102	141	132	226	224	226
4	Transporte de conos vaporizados desde coneras hasta el área de telares planos	415,00	114	131	118	117	175	175
5	Traslado de madeja centrifugada hasta secador	438,84	180	217	206	191	247	247
6	Traslado de tela cruda desde poll rotor hasta el área de rama	523,20	203	221	132	184	204	221
7	Despacho de hilos desde bodega hasta área de despacho	527,00	108	182	228	263	301	301
8	Traslado de conos retorcidos desde hilas hasta el área de telares planos	555,70	253	337	324	370	397	397
9	Traslado de madeja mojada desde zona de apilamiento hasta maquina centrifugadora	684,70	180	222	298	285	231	298
10	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	858,20	1063	1049	1200	1199	1293	1293

Fuente: El Autor

3.3.1.2.2 Fuerzas de arrastre estimadas con la ecuación de la ACHS

La tabla 10. Nos muestra los valores de la carga manipulada y los valores de la fuerza inicial de arrastre estimada con la ecuación propuesta por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS). El resultado de esta ecuación en kg-f ha sido transformado a Newtons.

Tabla 10. Estimación de Fuerzas de Arrastre aplicando la ecuación de ACHS

$$FA_i = 0,0278P + 3,937$$

Ecuación de Asociación Chilena de Seguridad				
N°	Tarea	Carga (kg)	Fuerza (kg-f)	Fuerza (N)
1	Llevar cobijas desde acabados hasta área de ramado	219,2	10,03	98,30
2	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta el pasillo.	308,8	12,52	122,71
3	Traslado de cobijas desde bodega hasta área de despacho	372,4	14,29	140,04
4	Transporte de conos vaporizados desde coneras hasta el área de telares planos	415	15,47	151,65
5	Traslado de madeja centrifugada hasta secador	438,84	16,14	158,14
6	Traslado de tela cruda desde poll rotor hasta el área de rama	523,2	18,48	181,12
7	Traslado de hilos desde bodega hasta área de despacho	527	18,59	182,16
8	Traslado de conos retorcidos desde hilas hasta el área de telares planos	555,7	19,39	189,98
9	Traslado de madeja mojada desde zona de apilamiento hasta maquina centrifugadora	684,7	22,97	225,12
10	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	858,2	27,79	272,39

Fuente: El Autor

3.3.1.2.3 Comparación fuerzas de arrastre medidas con el dinamómetro y estimadas con la ecuación ACHS

La tabla 11. Nos muestra los valores de la fuerza inicial de arrastre medida con el dinamómetro y los valores de la fuerza inicial de arrastre estimada con la ecuación de aproximación matemática de la Asociación Chilena de Seguridad.

Tabla 11. Resultados de Fuerzas de arrastre con los dos métodos

Resultados de Fuerzas en Tareas de Arrastre con los dos métodos				
N°	Tarea	Carga (kg)	Dinamómetro (N)	Ecuación ACHS (N)
1	Llevar cobijas desde acabados hasta área de ramado	219,2	234	98,30
2	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta el pasillo.	308,8	246	122,71
3	Traslado de cobijas desde bodega hasta área de despacho	372,4	226	140,04
4	Transporte de conos vaporizados desde coneras hasta el área de telares planos	415	175	151,65
5	Traslado de madeja centrifugada hasta secador	438,84	247	158,14
6	Traslado de tela cruda desde poll rotor hasta el área de rama	523,2	221	181,12
7	Traslado de hilos desde bodega hasta área de despacho	527	301	182,16
8	Traslado de conos retorcidos desde hilas hasta el área de telares planos	555,7	397	189,98
9	Traslado de madeja mojada desde zona de apilamiento hasta maquina centrifugadora	684,7	298	225,12
10	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	858,2	1293	272,39

Fuente: El Autor

3.3.2 Análisis de los resultados

Para realizar el análisis de correlación de los resultados obtenidos entre la medición en campo con el dinamómetro y la estimación de fuerzas con ecuaciones de aproximación matemática en tareas de empuje y arrastre se ha aplicado un intervalo de confianza del 95% para cada valor real obtenido (dinamómetro).

3.3.2.1 Fuerzas de Empuje

3.3.2.1.1 Resultados obtenidos con el Dinamómetro y la Ecuación de Culvenor

La tabla N° 12 nos muestra la proximidad y la no proximidad entre los valores de la fuerza inicial de empuje medidos con el dinamómetro y los valores de fuerza inicial de empuje estimados con la ecuación de Culvenor en base al intervalo de confianza.

Tabla 12. Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y Culvenor

Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y Culvenor						
N°	Tarea	Carga (kg)	Intervalo de Confianza 95%			Ecuación de Culvenor (N)
			-	Dinamómetro (N)	+	
1	Despacho de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	108,73	139	169,27	158,61
2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	195,09	208	220,91	161,99
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	62,44	65	67,56	172,68
4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	123,51	129	134,49	175,03
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	78,56	82	85,44	189,24
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares	279,40	187,63	201	214,37	200,61

	planos					
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	176,38	208	239,62	204,48
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	194,07	221	247,93	211,88
9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	202,05	220	237,95	217,56
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	127,99	139	150,01	245,29
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	367,19	409	450,81	251,96
12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	199,15	209	218,85	271,12
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	280,38	296	311,62	301,45
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	303,72	328	352,28	305,76
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	227,39	238	248,61	337,86
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	243,16	252	260,84	399,20
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	293,80	307	320,20	488,73
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	449,96	497	544,04	535,82

Fuente: El Autor

De las 18 tareas que podemos observar en la tabla, las once primeras se encuentran dentro del rango experimental en el cual Culvenor desarrolló su ecuación (160kg – 400kg), por lo que la sustentación de este estudio se fundamentará en los resultados de estas tareas.

De las once tareas, las que corresponden a los números N°1, N°6, N°7, N°8, N°9, sus resultados son aproximados a las mediciones realizadas con del dinamómetro. Cabe indicar

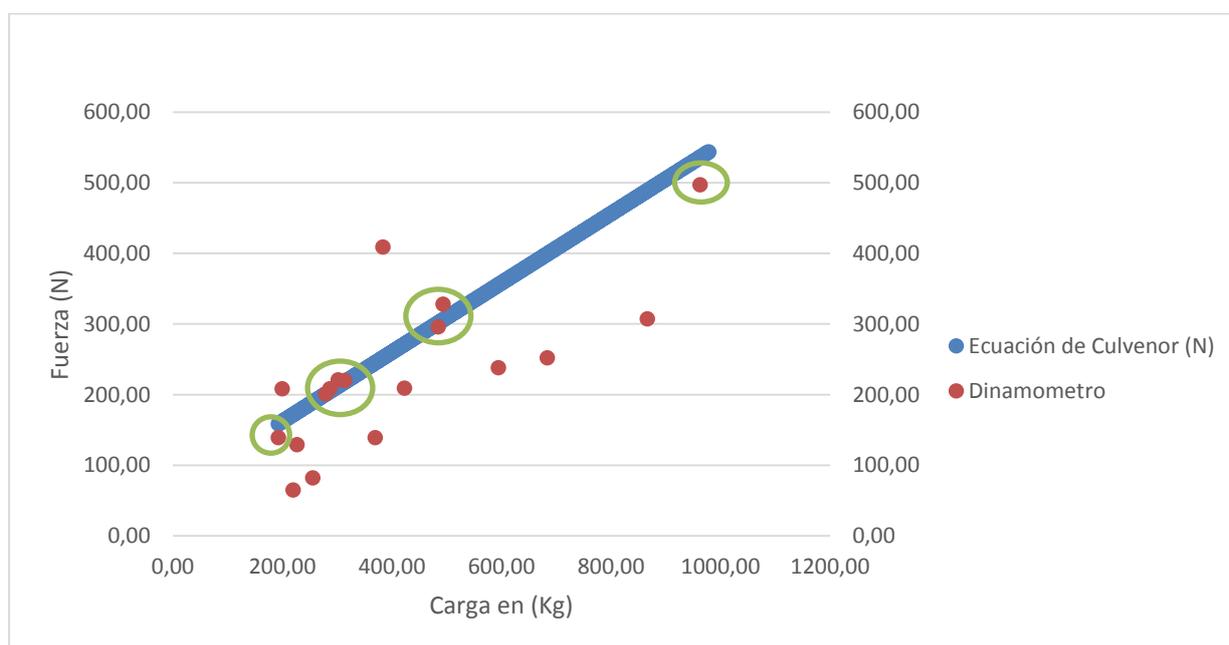
que las condiciones reales de estas tareas se asimilan mucho a las empleadas en el procedimiento experimental de Culvenor.

Los resultados de la fuerza inicial de empuje estimados en las tareas N°13, N°14 y N°18 también presentan proximidad con las mediciones del dinamómetro a pesar de encontrarse fuera del rango experimental de Culvenor y, a pesar de que las condiciones de la superficie sean distintas de las de Culvenor.

3.3.2.1.2 Análisis gráfico de los resultados obtenidos con el dinamómetro y la ecuación de Culvenor

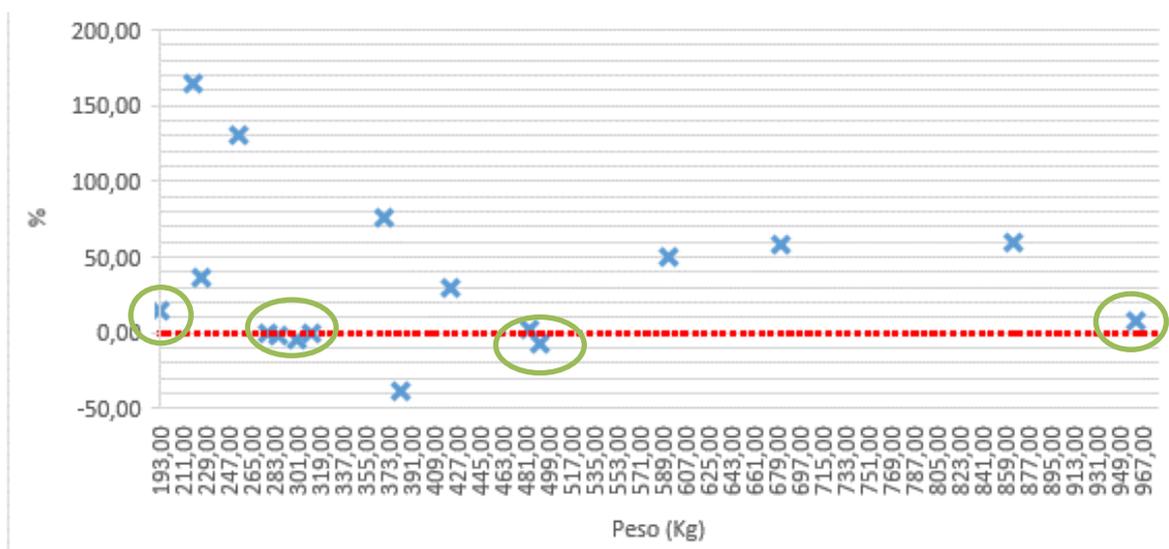
La figura 6. Nos muestra de los resultados de la fuerza de empuje medidos con el Dinamómetro y los valores de fuerza de empuje estimados con la ecuación de Culvenor.

Figura 6. Mediciones Dinamómetro y Ecuación de Culvenor



Fuente: El Autor

En la figura N° 7 se observa el % de diferencia entre la medición con el dinamómetro y la estimación de fuerza con la ecuación de aproximación matemática de Culvenor.

Figura 7. Diferencia (%) respecto del modelo de Culvenor

Fuente: El Autor

3.3.2.1.3 Resultados obtenidos con el Dinamómetro y la Ecuación ACHS

La tabla N° 13 nos muestra la proximidad y la no proximidad entre los valores de la fuerza inicial de empuje medida con el dinamómetro y los valores de fuerza inicial de empuje estimada con la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad en base al intervalo de confianza.

Tabla 13. Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y ACHS

Resultados de Fuerzas de Empuje - Dinamómetro y ACHS						
N°	Tarea	Carga (kg)	Intervalo de Confianza 95%			Ecuación ACHS (N)
			-	Dinamómetro (N)	+	
1	Despacho de bultos de telas desde bodega hasta área de despacho	193,70	108,73	139	169,27	120,37
2	Traslado de rollos de tela cruda desde revisora hasta bodega	200,60	195,09	208	220,91	122,07
3	Traslado de rollos de tela desde telares hasta medidora de tela pesada.	222,40	62,44	65	67,56	127,45

4	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta máquina revisora	227,20	123,51	129	134,49	128,64
5	Transporte de bobinas de hilos desde máquinas hilas hasta área de coneras.	256,20	78,56	82	85,44	135,80
6	Transporte de conos vaporizados al área de telares planos	279,40	187,63	201	214,37	141,53
7	Traslado de rollos de tela cruda rashell desde bodega al área de poll rotor	287,30	176,38	208	239,62	143,48
8	Traslado de tela cruda desde rama hasta maquina estampadora	302,40	194,07	221	247,93	147,21
9	Trasladar pabilos de finisor 2 hasta el área de apilamiento	314,00	202,05	220	237,95	150,08
10	Traslado de madejas desde secado hasta devanado	370,60	127,99	139	150,01	164,05
11	Traslado de rollos de tela cruda desde tejedoras hasta guillotina	384,20	367,19	409	450,81	167,41
12	Traslado de coches de madejas desde área de madejado hasta zona de apilamiento	423,30	199,15	209	218,85	177,07
13	Traslado de tops desde máquina gills hasta bodega de almacenamiento temporal	485,20	280,38	296	311,62	192,36
14	Trasladar materia prima desde máquina re rompedora hasta área de apilamiento	494,00	303,72	328	352,28	194,53
15	Traslado de tops desde bodega de almacenamiento temporal hasta máquina autoreguladora	559,50	227,39	238	248,61	210,70
16	Traslado de madeja mojada desde maquina tinturadora hasta zona de centrifugado	684,70	243,16	252	260,84	241,62
17	Traslado de telas desde turdidora a rama	867,40	293,80	307	320,20	286,74
18	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	963,50	449,96	497	544,04	310,48

Fuente: El Autor

De las 18 tareas que podemos observar en la tabla, desde la tarea N° 2 hasta la tarea N° 16 (quince tareas) se encuentran dentro del rango experimental de la ACHS (207kg -

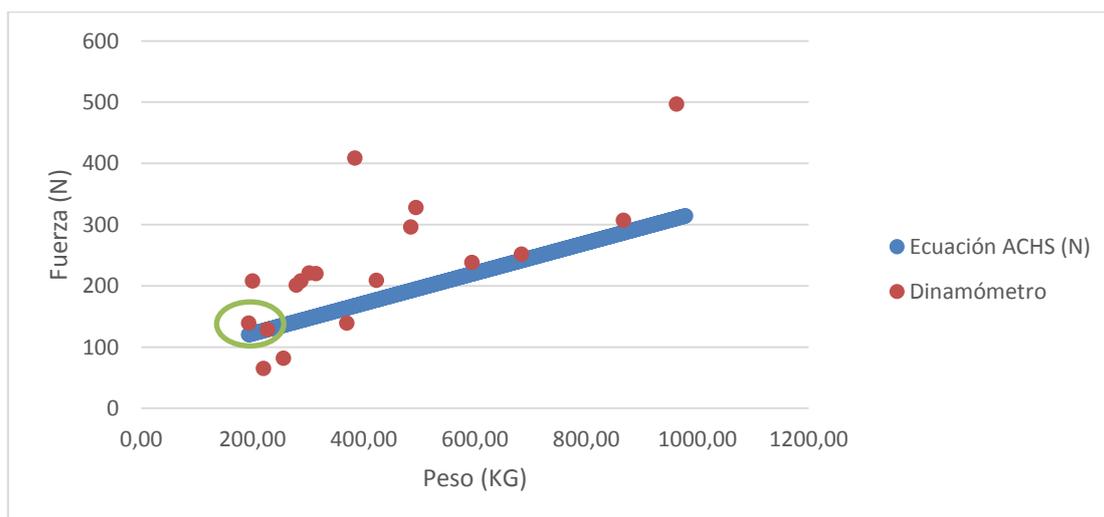
712kg), de la cuales únicamente la tarea N° 4 presenta un valor muy próximo a la medición del dinamómetro. La tarea N°1 también presenta cierta proximidad a pesar de encontrarse fuera del rango experimental.

Los resultados de las 14 tareas restantes no están dentro del intervalo de confianza.

3.3.2.1.4 Análisis gráfico de los resultados obtenidos con el Dinamómetro y la Ecuación de la ACHS

La figura N° 8 nos muestra de los resultados de la fuerza de empuje medidos con el Dinamómetro y los valores de fuerza de empuje estimados con la ecuación de la ACHS.

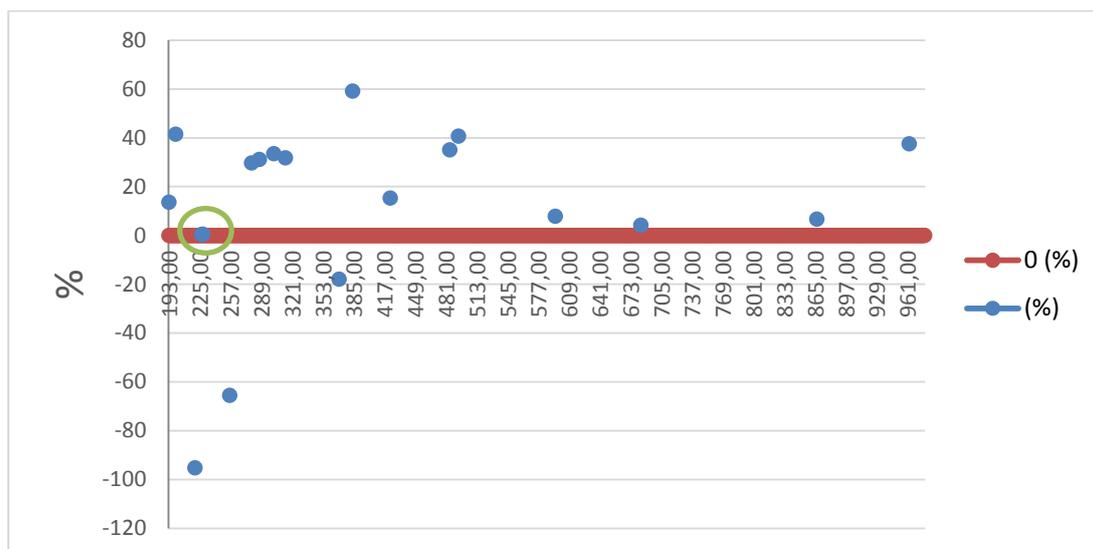
Figura 8. Mediciones Dinamómetro y Ecuación ACHS



Fuente: El Autor

La figura N° 9 se observa el % de diferencia entre la medición con el dinamómetro y la estimación de fuerza con la ecuación de aproximación matemática de la Asociación Chilena de Seguridad.

figura 9. Diferencia (%) respecto del modelo de la ACHS

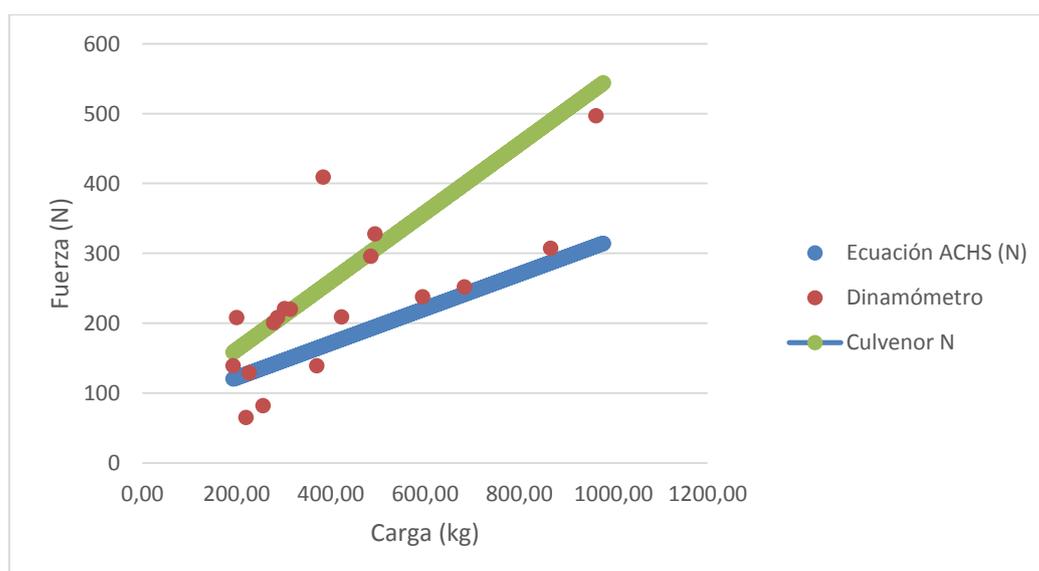


Fuente: El Autor

3.3.2.1.5 Análisis gráfico de los resultados Dinamómetro - Ecuación de Culvenor - Ecuación ACHS

La figura N° 10 nos muestra los resultados de las mediciones con el dinamómetro, ecuación de Culvenor y ecuación de la ACHS.

Figura 10. Mediciones Dinamómetro / Modelo Culvenor / Modelo ACHS



Fuente: El Autor

3.3.2.2 Fuerzas de Arrastre

3.3.2.2.1 Resultados obtenidos con el Dinamómetro y la ecuación de la ACHS

La tabla N° 13 nos muestra la no proximidad entre los valores de la fuerza inicial de arrastre medidos con el dinamómetro y la fuerza inicial de arrastre estimada con la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad en base al intervalo de confianza

Tabla 14. Resultados de Fuerzas de Arrastre – Dinamómetro y Ecuación ACHS

Resultados de Fuerzas de Arrastre – Dinamómetro y Ecuación ACHS						
N°	Tarea	Carga (kg)	Intervalo de Confianza 95% Dinamómetro (N)			Ecuación ACHS (N)
			-		+	
1	Llevar cobijas desde acabados hasta área de ramado	219,2	199,25	234	268,75	98,30
2	Traslado de rollos de tela desde guillotina hasta el pasillo.	308,8	220,82	246	271,18	122,71
3	Traslado de cobijas desde bodega hasta área de despacho	372,4	181,59	226	270,41	140,04
4	Transporte de conos vaporizados desde coneras hasta el área de telares planos	415	155,05	175	194,95	151,65
5	Traslado de madeja centrifugada hasta secador	438,84	226,71	247	267,29	158,14
6	Traslado de tela cruda desde poll rotor hasta el área de rama	523,2	194,07	221	247,93	181,12
7	Traslado de hilos desde bodega hasta área de despacho	527	242,33	301	359,67	182,16
8	Traslado de conos retorcidos desde hilas hasta el área de telares planos	555,7	354,22	397	439,78	189,98
9	Traslado de madeja mojada desde zona de apilamiento hasta maquina centrifugadora	684,7	260,11	298	335,89	225,12
10	Traslado de tela pesada desde medidora hasta revisión	858,2	1212,15	1293	1373,85	272,39

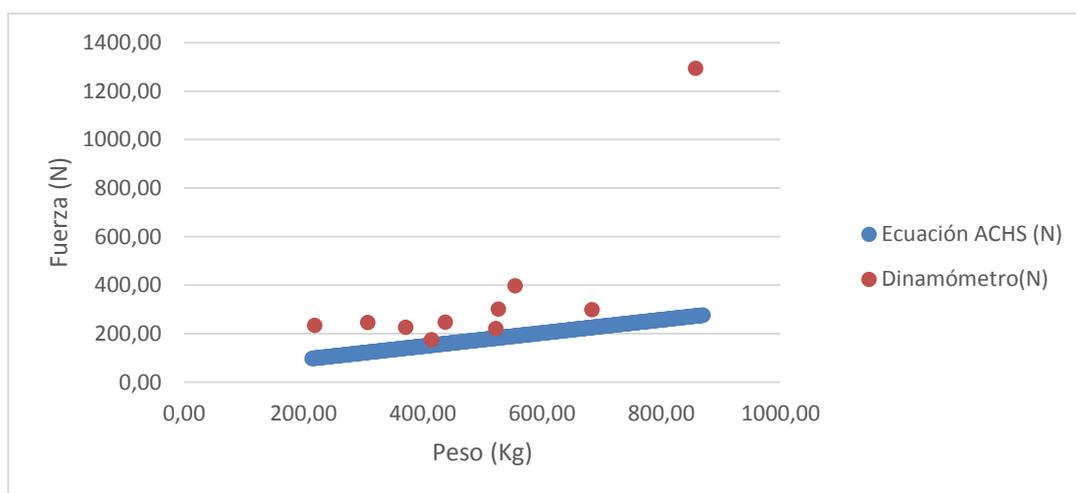
Fuente: El Autor

Todos los resultados de la fuerza estimada con la ecuación de la ACHS están fuera del intervalo de confianza

3.3.2.2 Análisis gráfico de los resultados obtenidos con el Dinamómetro y la Ecuación de la ACHS

La figura N° 11 nos muestra los resultados de la fuerza inicial de arrastre medidos con el dinamómetro y la fuerza inicial de arrastre estimada con la ecuación de la Asociación Chilena de Seguridad.

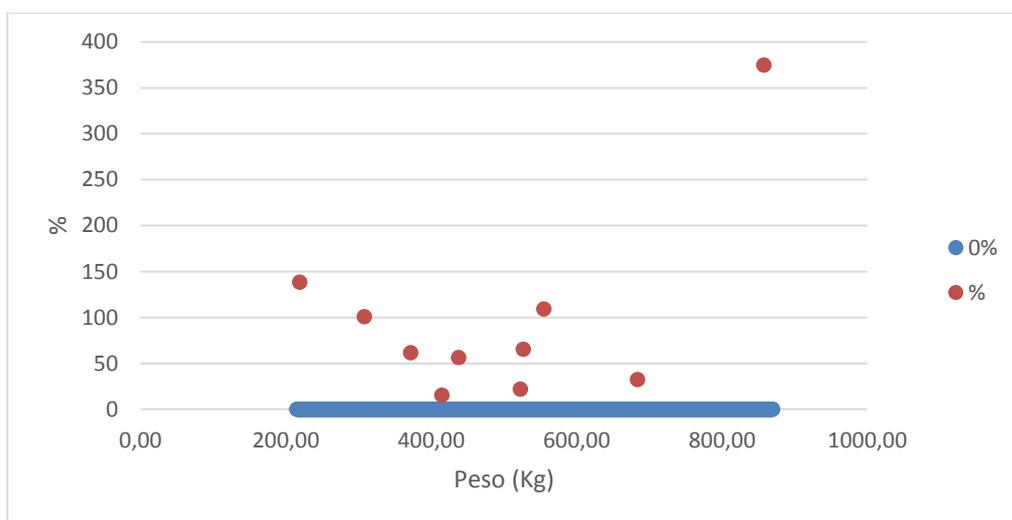
Figura 11. Mediciones Dinamómetro y Ecuación ACHS



Fuente: El Autor

En la figura N° 12 se observa el % de diferencia entre la medición con dinamómetro y estimación de fuerza con la ecuación de aproximación matemática de la Asociación Chilena de Seguridad.

Figura 12. Diferencia (%) respecto del modelo de Chile



Fuente: El Autor

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones

- Se replicó la técnica experimental de Culvenor y de la Asociación Chilena de Seguridad para estimar fuerzas de empuje y arrastre en una planta industrial ecuatoriana y vemos que los resultados no se corresponden con los del equipo de medición.
- Existe relación entre los valores de fuerza medidos con el dinamómetro y la ecuación de Culvenor únicamente en aquellas tareas en donde las condiciones reales en las cuales se desarrolló esta investigación como: la superficie, los rodamientos de los coches, y la carga manipulada e instrucciones dictadas al participante, son similares a las condiciones experimentales de Culvenor.
- En la aplicación de la ecuación chilena de empuje inicial, no se verifican datos dentro del intervalo de confianza, por lo tanto no se puede afirmar que dicha ecuación sea válida para poder aplicarla en el país ya que de las 18 tareas evaluadas únicamente en 2 tareas los valores de fuerza se relacionan, es decir, están dentro del intervalo de confianza.
- No existe ninguna relación de proximidad entre los valores de la fuerza de arrastre medidos con el dinamómetro y la ecuación chilena de arrastre inicial, ya que de las 10

tareas de arrastre evaluadas ninguna de ellas se encuentra dentro del intervalo de confianza establecido.

- Las ecuaciones de aproximación matemática desarrolladas por la Asociación Chilena de Seguridad tanto para empuje como para arrastre no presentan ninguna relación con respecto de las mediciones realizadas con el dinamómetro.
- La población involucrada en el estudio fue de alta, mediana y baja estatura, de forma que cuando se aplica la fuerza, ésta forma un ángulo con la horizontal siendo la razón de la variación.

4.2 Recomendaciones

- Lo más recomendable es utilizar un dinamómetro para determinar el valor de la fuerza aplicada por el trabajador para mover un objeto, ya que es una medición y no es un dato construido a través de ecuaciones o tablas.
- Se puede usar la ecuación de aproximación matemática de Culvenor solo en caso extremo debido a que se determinó que no es tan fiable.
- La excepción para aplicar la ecuación de Culvenor para estimar el valor de fuerza de empuje siempre y cuando las condiciones de evaluación de la tarea se asemejen a las condiciones experimentales en las cuales fue desarrollada esta ecuación y dentro del mismo rango de cargas manipuladas.
- No se recomienda el uso de ninguna de las ecuaciones chilenas para estimar fuerzas de empuje y arrastre.
- Ser requieren realizar más estudios para afinar el resultado de esta investigación y en un futuro poder aseverar o desechar esta hipótesis con una validez estadística mucho más amplia.

- Para futuros estudios se debería tomar en consideración la altura, el ángulo de aplicación de la fuerza y las características antropométricas de la población, esto con el fin de tener una base de datos y analizar la posibilidad de desarrollo de una ecuación que se adapte a nuestra realidad y pueda ser utilizada en la estimación de fuerzas

Referencias Bibliográficas

1. Argubi-Wollesen et al., A. (1 de Agosto de 2016). *Human Body Mechanics of Pushing and Pulling: Analyzing the Factors of Task-related Strain on the Musculoskeletal System*. Obtenido de PubMed.
2. Ciriello VM. (2007). *The effects of container size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers*. *Appl Ergon* 38(1): 1–5. Obtenido de PubMed.
3. Continental A.G. . (2013). *Stress Documentation System for workplace analysis. Hannover, Germany*. Obtenido de PubMed.
4. Gagnon M et al., B. S. (1992). *The dynamics of pushing load onto shelves of different heights*. Obtenido de PubMed.
5. Health, N. I. (1981). *Work Practice Guide for Manual Lifting, Department of Health and Human Service Publication, 81–122, NIOSH, Cincinnati*.
6. Hoozemans et al., K. P. (2004). Mechanical loading of the low back and shoulders during pushing and pulling activities. *ERGONOMICS*, 1-18.
7. Hoozemans et al., K. P. (2004). Mechanical loading of the low back and shoulders during pushing and pulling activities. *ERGONOMICS*, 1-18.

8. Huei Chu Kao et al. (20 de Octubre de 2015). *The Effects of Direction of Exertion, Path, and Load Placement in Nursing Cart Pushing and Pulling Tasks: An Electromyographical Study*. Obtenido de PubMed.
9. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. (s.f.). Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:
<http://www.insht.es/portal/site/MusculoEsqueleticos/menuitem.8423af8d8a1f873a610d8f20e00311a0/?vgnextoid=c540ac0abb6ac210VgnVCM1000008130110aRCRD&vgnnextchannel=f401802f1bfcb210VgnVCM1000008130110aRCRD>
10. Kuiper JI et al. (1999). *Epidemiological evidence on manual materials handling as a risk factor for back disorders: a systematic review*. Obtenido de PubMed.
11. Laboral, I. d. (s.f.). *Fuerzas de Empuje y Tracción Manual de Cargas*. Murcia, España.
12. Looze MP et al. (Marzo de 2000). *Force direction and physical load in dynamic pushing and pulling*. Obtenido de PubMed.
13. Pinto et al., C. V. (2012). Ecuaciones de Empuje y Arrastre Achs: Relación entre el Peso. *Ciencia & Trabajo*, 228-232.
14. Resnick M., C. D. (1995;26:173–178). *An ergonomic evaluation of handle height and load in maximal and submaximal cart pushing*. *Appl Ergon*. Obtenido de PubMed.
15. Resnick ML, & Chaffin DB. (Junio 26 de 1995). *An ergonomic evaluation of handle height and load in maximal and submaximal cart pushing*. Obtenido de PubMed.
16. Snook SH. (1978). *The design of manual handling tasks*. *Ergonomics* 21(12): 963–985. Obtenido de PubMed.
17. WH, K.-W. (1988). *Managing low back pain*. New York : Churchill Livingstone. .

18. Wiktorin C., e. (27 de Agosto de 1996). *Evaluation of perceived and self-reported manual forces exerted in occupational materials handling*. Obtenido de PubMed US National Library of Medicine.