

## [191012] Modelo predictivo para la valoración de la fuerza de agarre ajustado a una población de estudio

María Camila Andrade <sup>1 a,c</sup>, Mario Andrés Cuadros <sup>2 a,c</sup>, Juan Esteban Romero <sup>3 a,c</sup>,

Christian Ricardo Zea <sup>b,c</sup>, Yenny Alexandra Paredes <sup>b,c</sup>, Magda Viviana Monroy Silva <sup>b,d</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, <sup>b</sup> Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>c</sup> Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, <sup>d</sup> Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

### ABSTRACT

The study of the physical attributes of the population has been an influential topic in recent years at the workplace, due to its direct impact on the prevention of upper limbs' MSDs (Musculoskeletal Disorders). Currently, it is necessary to calculate grip strength using a predictive model based on these attributes in the Colombian working population. The predictive model is developed through a statistical analysis of a convenience sample (60 people). Forward and Stepwise methods are performed on the training data that corresponds to a random sample (40 people) of the available data. Predictive equations scenarios for grip strength, of both the dominant and non-dominant hands, are created and the data is divided by gender. The best scenarios are then filtered according to the following criteria: *absolute percentage error and p-value of the multiple linear regressions*.

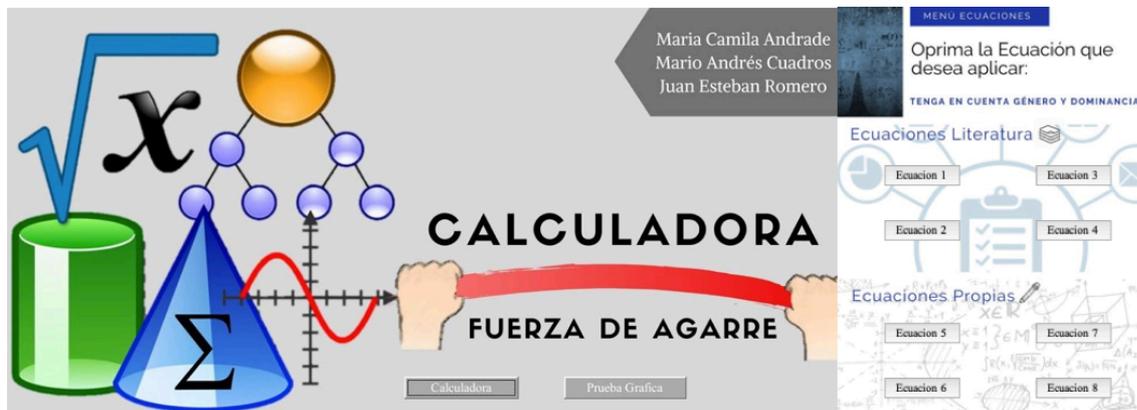
Four definitive equations are obtained and validated using the test data (20 people). These equations are introduced to an application developed in Microsoft Excel, which has an interface developed in Visual Basic with the programming code for the calculation of the grip strength according to the predictive model contained by the definitive equations, where (i) a person inputs his/her information and obtains the result of their theoretical grip strength and (ii) any subject, interested in learning the results of the study, can see a graphical representation of the prediction of forces for the test data and can compare his/her calculated grip strength with his/her real grip strength.

To verify the design, the application was executed step by step, verifying that all its components and encodings followed the established flow, and the results were shown automatically in the graphs and databases. Regarding the performance requirements, the incidence of the predictor variables in the model was evaluated using the percentage error, minimizing the differences and adjusting to the test data. Likewise, the application seeks to contribute to the prediction of grip strength in subsequent studies and the field of occupational health in Colombia.

The app can predict the grip strength of a person and provide a comparison with other predictive models. Moreover, it has an additional database illustrating the percentage errors calculated based on the real force and the obtained theoretical force. The application aims to provide a tool to create a healthy environment for the working population, allows the calculation of theoretical grip strength and it compares state of the art equations with the equation presented in this study and the real force.

Finally, the app asks the user to input the necessary information for the analysis of the strength of each individual, which is stored in a database and provides the person or entity with the behavior of the theoretical grip force compared to the real force so they can take the corresponding action.

Key Words: *Grip Strength, Predictive Model, Forward Method, Stepwise Method, Linear Regressions, Equations.*



## 1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La predicción de la fuerza de agarre en la población trabajadora es un estudio de interés que ha tenido poco abordaje en Colombia. Según las predicciones en materia de salud, se puede llegar a estimar la fuerza muscular general. Por ejemplo, una fuerza de agarre baja es indicador de disminución en la movilidad de miembros superiores y un buen predictor clínico de la reducción de masa muscular y de limitaciones en el desempeño de las actividades laborales (Barrera, 2015).

La aplicación de la fuerza de agarre funciona como predictor de procesos clínicos, cuando se relaciona con la mortalidad y morbilidad a corto y largo plazo. En estos casos, puede indicar: un aumento en las complicaciones postoperatorias, una mayor duración de la hospitalización y una disminución del estado físico (Norman, 2011). Así mismo, miembros del Adult Health Study (AHS) en Hiroshima, Japón, fueron sometidos a pruebas fisiológicas como la de fuerza de agarre para estimar la mortalidad de una población adulta. De esta forma se determinó que la fuerza de agarre es un predictor preciso y consistente de las causas de mortalidad en personas de mediana y avanzada edad (Sasaki et al, 2007).

En Colombia, la fuerza de agarre tiene un uso potencial como variable predictora y como indicador de avance en el sector de la salud dado el alto porcentaje de población trabajadora. En el año 2018, del total de la población colombiana, el 68,3% corresponde a hombres y mujeres entre 15 y 64 años según el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV, 2018) de los cuales el 81,8% se encuentra como población ocupada que desempeña trabajos por su cuenta o trabajos de: *obreros, jornaleros o empleados particulares* (DANE, 2018). Esta población se encuentra expuesta a sufrir de desórdenes músculo esqueléticos (DME), dado que según el *Informe de Enfermedad Profesional en Colombia 2001-2004*, los DME representan el 65% del total de los diagnósticos en trabajadores (Castillo M. Juan A, 2011).

Los DME asociados al trabajo manual, no han tenido una adecuada prevención que comience en el correcto uso de la fuerza de agarre al realizar labores manuales repetitivas. Los DME comprenden un amplio número de enfermedades específicas que pueden ser evitadas si se previenen con antelación, algunas de estas son: epicondilitis, síndrome de tensión del cuello, tendinitis del puño, tenosinovitis y síndrome del túnel del carpo (Ministerio de protección social, 2006), donde su aparición se relaciona con la fuerza de agarre, en el momento en que las extremidades superiores de un trabajador se someten a tensión biomecánica, estrés o actividades repetitivas con una fuerza superior a su límite máximo de fuerza recomendado (Eksioglu, 2004).

Los estándares antropométricos en Colombia no han sido objeto de estudio constante, la ausencia de mediciones actualizadas ocasiona que no se asegure un conjunto de herramientas de trabajo adecuadas. La maquinaria utilizada para estas labores es en gran proporción de origen extranjero, lo que se traduce constantemente en dificultades para su manejo y esfuerzos para su adecuada manipulación. De igual manera, la fabricación del mobiliario utilizado en lugares de trabajo posee dimensiones que no consultan las necesidades del usuario tanto por el desconocimiento como por la ausencia de tablas de estándares antropométricos actualizadas (Estrada, 1998). En nuestro país, se han hecho algunos intentos para efectuar mediciones antropométricas, pero no ha sido posible abarcar un porcentaje significativo de la población laboral colombiana.

Una de las herramientas para la medición de fuerza de agarre, es el uso de modelos predictivos que arrojen un estimado teórico. Su aporte en el ámbito laboral se da al establecer atributos en las dimensiones y capacidades físicas propias del individuo estudiado, con el propósito de adaptar las herramientas a su entorno laboral a partir de su fuerza máxima de agarre y de pinza.

El uso de los modelos predictivos promueve la toma de decisiones adecuadas para ejecutar tareas repetitivas y guiarlas en torno a la salud de las personas. Su uso en situaciones laborales ha impactado de manera positiva en poblaciones extranjeras por medio de la estandarización de datos antropométricos ajustados a las características de cada comunidad según sus atributos, sin embargo, en Colombia no existen estos referentes que contribuyan a aplicaciones clínicas o diseño de herramientas manuales y demás productos de accionamiento que prevengan DME. Por lo anterior, se ve la oportunidad de proponer un estudio donde se caractericen y analicen modelos predictivos de fuerza de agarre ya existentes, que aporten variables considerables para diferentes poblaciones y que puedan responder a la siguiente pregunta:

*¿Es posible construir un modelo predictivo para la valoración de la fuerza de agarre, que se ajuste a una población estudio?*

## 2. ANTECEDENTES

La importancia de la fuerza de agarre y de pinza se basa en la relación que existe entre las características fisiológicas y anatómicas de las personas, su estudio abarca la selección de atributos que influyen en los resultados de una fuerza de agarre real a partir de información medible y verídica. Lo anterior se ha estudiado a partir de una muestra de la población joven entre los 18-33 años sin enfermedades cardiovasculares (Nicolay, 2005) donde se realizaron tres experimentos para medir la fuerza de agarre, teniendo en cuenta diferentes datos de medición. Sus resultados muestran que las medidas del antebrazo y la mano resultaron ser mejores predictores de la fuerza de agarre que la altura y el peso. La fuerza de agarre absoluta, donde se hace notar que las mujeres tienen en promedio 52 % de la fuerza máxima de los hombres dada su diferencia en el tamaño corporal que asegura una mayor área de agarre para los hombres. Estos resultados dejan en consideración el desarrollo de herramientas de trabajo con medidas adecuadas para que las mujeres puedan disminuir la diferencia porcentual entre su fuerza y la de los hombres.

En el estudio de la dinamometría y antropometría de mano, se ha analizado a lo largo de los años, la importancia de la fuerza de agarre y de pinza en la población trabajadora. En el año de 1985, (Mullerpatan, Karnik, & John, 1985), se crearon tablas de fuerza para establecer normas clínicas para adultos de 20 a 75 años o más en cuatro pruebas de fuerza de mano, dando como resultado una valoración de fuerza de mano normativa para adultos que brinda utilidad a estas medidas en el campo laboral de la población abarcada.

La fuerza de agarre de un individuo no solo depende de sus características fisiológicas y anatómicas, sino de la posición que toman las extremidades superiores conectadas a la mano, estas también son variables que se deben considerar (Hillman, 2004). En el experimento realizado en Taiwán, a 80 hombres y 80 mujeres entre los 20-69 años de edad sin ninguna enfermedad en las extremidades superiores de su cuerpo, se pudo constatar que el ángulo de flexión de las extremidades superiores que se involucran con el movimiento de la mano, que son codo y hombro, permiten establecer la fuerza de agarre en distintas posiciones. Como conclusión se observó que la posición donde se presenta la fuerza máxima de agarre es con el codo en extensión completa. La fuerza mínima se presenta con la flexión de codo a 90 grados y con el hombro en 0 grados. Adicionalmente, se observa que la fuerza máxima de agarre se daba entre los 20-39 años en los hombres y entre los 20-49 años en las mujeres (Su, 1994). Para ambos casos, población en edad laboral que involucra el uso de fuerza y que con el paso de los años puede disminuir prontamente su nivel de fuerza dado el deterioro y desgaste muscular o articular.

La antropometría de mano es el estudio por medio del cual se pueden encontrar variables determinantes que lleven a calcular una fuerza de agarre adecuada para la toma de decisiones en el desarrollo de herramientas laborales, esta sirve de insumo para modelos predictivos de una fuerza de agarre teórica. Un estudio realizado en el año 2004 investigó el periodo de agarre óptimo en relación con la antropometría de la mano de un individuo para un esfuerzo de agarre de fuerza isométrica (Eksioglu, 2004). Se utilizaron como criterios la fuerza de agarre isométrica máxima, la actividad muscular y la calificación subjetiva. El estudio se le realizó a 12 estudiantes entre los 21-33 años sin ninguna enfermedad muscular que pudiera afectar la medición. Su resultado indica que el intervalo óptimo de agarre para una máxima generación de fuerza de agarre y la máxima eficiencia corresponde a un TCLm entre -2 y -2.5 (TCLm: modified thumb crotch length). Un intervalo óptimo, ayudará entonces, a decidir las características de tensión y compresión máximas que deben ser aplicadas en las labores que desempeñe cualquier individuo perteneciente a una población que use su fuerza como herramienta en su labor diaria.

La identificación de variables o atributos predictores para la fuerza de agarre ha permitido desarrollar modelos que logran predecir con exactitud una fuerza de agarre teórica, en este proceso también se identifican los factores que pueden influir en su comportamiento como predictores y sus resultados. La revista nutrición clínica y dietética hospitalaria escribió un artículo en el año 2017 (García López, 2017), donde, a partir de la edad y el tamaño del individuo, se logra predecir la fuerza de la mano. Los datos fueron tomados a 1798 individuos entre los 6 y 15 años, es decir en etapa de crecimiento. La conclusión final de este artículo dio como resultado dos modelos que permitían predecir la fuerza de agarre para hombres y para mujeres con estas características. Las ecuaciones fueron obtenidas a partir del modelo de regresión (*varones*:  $DM=0,207*\text{peso} + 0,621*\text{talla} - 71,461$ ; *mujeres*:  $DM=0,258*\text{peso} + 0,394*\text{talla} - 43,967$ ). Su aplicación puede tener un alcance mayor al analizar el modelo que pueda predecir la fuerza de agarre en una población mayor que se encuentre relacionada con el mundo laboral y sea propensa a sufrir DME.

La predicción de la fuerza de agarre se ha estudiado desde diferentes ámbitos, a través de la antropometría de la mano también es posible realizar una predicción de la fuerza, ejemplo de esto se observa en el artículo científico “*Predicting maximal grip strength using hand circumference*” (Li et al. 2010), el cual tenía como objetivo analizar las correlaciones entre los datos antropométricos y la MGS (fuerza de agarre máxima) para establecer un modelo

simple de predicción del MGS "normal". La fuerza de agarre máxima se midió de acuerdo con un protocolo estandarizado con tres dinamómetros (Jamar, Myo Grip y Martín Vigorimeter) para extremidades dominantes y no dominantes. También se midieron varios datos antropométricos: *altura, peso, circunferencia de mano, muñeca y antebrazo*, así como *la longitud de la mano y la palma*, con el objetivo de realizar una regresión lineal de los datos. A partir de esto, se concluye que la circunferencia de la mano es el dato antropométrico que permite predecir la fuerza máxima de agarre teniendo en cuenta el área de la mano para los dos géneros, incluyendo circunstancias como que la mano del hombre es más grande que la de la mujer, y que la fuerza de la mano dominante es significativamente mayor que la de la mano contraria. El modelo hallado a través de la regresión de la variable circunferencia de la mano, usando un dinamómetro jamar fue igual a  $MGS = -65.477 * 0.524 * \text{Circunferencia de la mano}$ . Los atributos tenidos en cuenta allí pueden o no pueden, ser útiles para hallar un modelo predictivo en una población con características diferentes como lo es la población colombiana, y más específicamente la población trabajadora de Bogotá.

En Latinoamérica, existen algunos estudios de dimensiones antropométricas que se ajustan más a la población en la que vivimos. Un estudio de interés que puede acercarse más a la población colombiana fue realizado en el año 2015 en la universidad de Guadalajara México (González, 2007), se llevó a cabo la medición de datos antropométricos a 8228 hombres y mujeres, a partir de procedimientos técnicos de ergonomía. Se tomaron los percentiles 5, 50 y 95 de las poblaciones laborales de México, Cuba, Colombia y Chile, dónde se tenían presentes 50 dimensiones antropométricas (peso, estatura, en posición de pie, etc..) con el fin de tener una base de datos de medidas antropométricas para realizar futuras herramientas, diseños y espacios que sean ergonómicos y elaborados de manera adecuada para las características de los individuos. Sin embargo, en Latinoamérica, existe una evidente escasez de este tipo de datos en la población trabajadora colombiana para su efectiva aplicación y uso. Si bien es cierto que en varios países se han realizado algunos estudios antropométricos, estos han sido muy localizados y con un enfoque más bien de evaluación de crecimiento y desarrollo o de comparaciones étnicas y no su aplicación en modelos predictivos que contribuyan a la estandarización de los datos en tablas de uso ergonómico-industrial para prevención de enfermedades o DME (Nariño, 2016).

En Colombia, se han realizado pocos estudios de estandarización y análisis de la fuerza de agarre, uno de los más recientes realizado por la revista colombiana de rehabilitación (Hincapié, 2007), que tomó en cuenta la población de 385 personas de la localidad de Usaqué entre los 20 y 70 años para realizar estándares de fuerza de agarre en estos individuos. Los resultados arrojaron que la fuerza de agarre es mayor en hombres que en mujeres y que en esta población de Usaqué, el género masculino posee su máximo de fuerza de agarre entre los 30 y 34 años y el género femenino entre los 35 a los 39 años. Como aspecto importante se comprueba también, que la fuerza del agarre disminuye progresivamente con el aumento de la edad, lo cual es un aspecto lógico con alcance leve, sin embargo, existe la posibilidad de preservar las mejores condiciones de la fuerza a través del tiempo, si se caracteriza la población de manera que se encuentren esos atributos que pueden predecir la fuerza de agarre y se usa para la toma de decisiones a lo largo del desempeño laboral de las personas (Giraldo, 2003).

### 3. OBJETIVOS

#### **Objetivo general:**

*Diseñar un modelo predictivo para la valoración de la fuerza de agarre, que se ajuste a una población estudio.*

#### **Objetivos Específicos:**

1. Identificar las variables de los diferentes modelos predictivos abordados en la literatura para la predicción de la fuerza de agarre, para caracterizar los atributos y aspectos demográficos de la población de estudio.
2. Diseñar un experimento que permita determinar el efecto sobre la fuerza de agarre a partir de las variables seleccionadas.
3. Construir y Validar el modelo predictivo que se ajuste a los atributos de la población de estudio.

## 4. CUERPO DEL DOCUMENTO

### Capítulo 1

#### Identificación de Variables en la Literatura

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de las ecuaciones existentes en la literatura, encontrándose cuatro artículos científicos relevantes. Estos, abarcan diferentes métodos y ecuaciones descriptoras de la fuerza de agarre real para un individuo, a partir de su edad, género y distintas medidas antropométricas. Para cada artículo científico era necesario conocer las variables utilizadas, sus características y consideraciones al momento de realizar la medición. Así mismo, fueron revisados los tipos de metodologías aplicadas, métodos estadísticos usados, población de estudio y tamaño de muestra (*Anexo 1*). A partir de dichas metodologías se encaminó la selección de las variables a tener en cuenta en la medición, así como los métodos estadísticos aplicados a dichos resultados. A continuación, se muestran las ecuaciones encontradas, junto con las variables presentes en cada una de ellas:

Ecuaciones encontradas en la literatura		
Número	Artículo Científico	Modelo Predictivo
1	Different reference values for hand dynamometry: a conflicting issue Nutr. clín. diet. Hosp (Gonzalez,2017)	Fuerza Agarre Media (Género Masculino) = $0.207 * \text{peso} + 0.621 * \text{talla} - 71.461$
		Fuerza Agarre Media (Género Femenino) = $0.258 * \text{peso} + 0.394 * \text{talla} - 43.967$
2	Reference equations for handgrip strength: Normative values in young adult and middle-aged subject (Lopes, J, 2018)	Handgrip Strength Dominant Hand= $15.490 + (10.787 \text{ Género Masculino} + 1; \text{ Género Femenino} + 0) + (0.558 * \text{circunferencia del antebrazo}) + (1.763 * \text{longitud de la mano})$
		Handgrip Strength Non Dominant Hand= $9.887 + (12.832 \text{ Género Masculino} + 1; \text{ Género Femenino} + 0) + (2.028 * \text{longitud de la mano})$
3	Validade preditiva de equações de referência para força de preensão manual em homens brasileiros de meia idade e idosos. (Bohannon RW, 2006)	Fuerza Agarre Media Mano Dominante= $39.996 - (0.388 * \text{edad}) + (0.174 * \text{peso}) + (13.628 * \text{Género Hombres}=1; \text{ mujeres}=0)$
		Fuerza Agarre Media Mano No Dominante= $44.968 - (0.420 * \text{edad}) + (0.110 * \text{peso}) + (9.274 * \text{Género Hombres}= 1; \text{ mujeres} = 0)$
4	Predicting maximal grip strength using hand circumference (Li, et al. 2010)	Fuerza Agarre Media= $- 65.477 + 0.524 * \text{Circunferencia de la Mano}$

Tabla 1. Listado de ecuaciones encontradas en la literatura.

Para la ecuación 1, se encontró que el método estadístico utilizado fue una regresión lineal simple a partir de la correlación de distintas variables antropométricas, dando como resultado que la circunferencia de la mano explica la fuerza de agarre media de las personas pertenecientes al estudio. Para este caso, se utilizó una muestra de 100 individuos que no tuvieran lesiones de muñeca, antebrazo u hombro. En el caso de la ecuación 2, se usó una muestra mayor, de 143 hombres y 151 mujeres, donde se escogieron los métodos estadísticos: ANOVA y regresión lineal múltiple, dando como resultado que las variables peso y talla explican la dinamometría media y se hace necesaria una ecuación para cada género, garantizando mayor precisión en la predicción del resultado.

Así mismo, las ecuaciones 3 y 4 realizan correlaciones de Pearson y pruebas de Kolmogorov-Smirnov para ejecutar una regresión lineal múltiple. En ambos casos se logran modelos predictivos de fuerza de agarre tanto para la mano dominante, como no dominante. De igual forma, estas ecuaciones consideran un valor distinto según el género y cuentan con un mayor número de variables, tales como: *circunferencia del antebrazo*, *longitud de la mano* y *edad*. Es importante mencionar que, para ambas ecuaciones, se tomaron muestras de conveniencia para realizar la investigación y los participantes estaban en edad laboral y en condiciones óptimas de salud, desempeñando actividades con un alto nivel de manualidad, propensos a sufrir DME.

Cabe mencionar que las ecuaciones de la literatura se desarrollaron en Brasil, Colombia y Francia, con muestras de conveniencia desde 60 hasta 294 participantes. Ninguno de los estudios fue aplicado a población trabajadora que realiza actividades manuales repetitivas. Las investigaciones se realizaron a estudiantes voluntarios y adultos mayores. La población de estudio que más se acerca a la presente investigación es la ecuación número 1, aplicada a la población colombiana, con la particularidad que su muestra no está ajustada a la población trabajadora (*ver tabla 2*).

Caracterización ecuaciones de la literatura				
Número	Artículo Científico	País donde se realizó la investigación	Población de Estudio	Características
1	Different reference values for hand dynamometry: a conflicting issue Nutr. clín. diet. Hosp (Gonzalez,2017)	Colombia	- 294 estudiantes voluntarios de la Universidad de Caldas. Muestra compuesta por 143 hombres y 151 mujeres.	- Individuos entre los 20 y 40 años de edad. - Ninguno de los participantes debía tener lesiones en la muñeca y/o mano.
2	Reference equations for handgrip strength: Normative values in young adult and middle-aged subject (Lopes, J, 2018)	Brasil	- 80 sujetos sanos pertenecientes a la población brasileña. Muestra compuesta por 40 hombres y 40 mujeres.	- Individuos entre los 20 y 60 años de edad. - Ninguno de los participantes debía tener: enfermedades cardíacas, pulmonares, metabólicas o neurológicas. - Los participantes no deben presentar Desórdenes Músculo Esqueléticos y/o antecedentes de fracturas o traumatismos.
3	Validade preditiva de equações de referência para força de preensão manual em homens brasileiros de meia idade e idosos. (Bohannon RW, 2006)	Brasil	- 60 hombres voluntarios de la Asociación de Servidores Administrativos de la Universidad Federal de Viçosa.	- Individuos entre los 50 y 62 años de edad. - Ninguno de los participantes debe estar en un programa de ejercicio físico regular. - Los participantes no debían presentar: movimientos restringidos de las extremidades superiores, enfermedad inflamatoria de las articulaciones o trastorno neurológico.
4	Predicting maximal grip strength using hand circumference (Li, et al. 2010)	Francia	- 94 alumnos de pregrado de la Universidad de Tecnologías de Troyes. Muestra compuesta por 67 hombres y 27 mujeres.	- Individuos sin lesiones previas en la muñeca, el antebrazo o el hombro. - Ninguno de los participantes debía hacer parte de actividades deportivas o de acondicionamiento físico más de cuatro veces por semana.

Tabla 2. Caracterización de las ecuaciones presentes en la literatura.

La literatura muestra que es importante fijarse en las variables que influyen en la fuerza de agarre a partir del género y de la dominancia de la mano, por lo cual se encamina el estudio a la observación de estos factores como prioridad.

### Consolidado de Variables en la Literatura

Con el fin de identificar el total de variables que pueden influir en la descripción de la fuerza de agarre, se realiza un consolidado con información de las variables presentes en las ecuaciones mencionadas anteriormente, allí se observa que existen variables en común. Adicionalmente, se halla la frecuencia de cada variable en el total de ecuaciones de la literatura, con el fin de enlistar las medidas antropométricas y demográficas de interés a tomar en cuenta en el levantamiento de información (*Ver Anexo 1*). Dentro de las variables con mayor frecuencia se identificó que el peso, el género y la estatura están presentes en todas las investigaciones, por lo que son variables que van de la mano con aspectos demográficos de la población muestreada. La precisión de los resultados varía según las medidas antropométricas incluidas en cada estudio.

## Capítulo 2

### Método TOPSIS

Para el levantamiento de información, es necesario aplicar el concepto de toma de decisiones multicriterio (MCDM), que abarca el conjunto de métodos usados como herramienta para el proceso de toma de decisiones (Cinelli et al., 2014). Existen distintos métodos en función del tipo de información con la que se cuenta inicialmente, lo que conlleva a utilizar un *método basado en la distancia euclidiana*, para calcular la diferencia entre cada alternativa, en este caso las variables y la fuerza de agarre. El método TOPSIS es una técnica que ordena las variables según ciertos criterios que son asignados por el investigador para finalmente escoger las

variables con mayor desempeño, y por ende de interés para realizar la medición en la población. En este orden de ideas, se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- a. **Frecuencia en la literatura:** Cantidad de veces que la variable fue encontrada en las ecuaciones de la literatura.
- b. **Afinidad:** Se percibe una relación física directa entre la fuerza de agarre y la variable de estudio presente en los modelos predictivos de la literatura.
- c. **Uso en labores del trabajador:** Relaciona sí la variable afecta o no la realización de la labor manual de los trabajadores según los artículos científicos consultados.
- d. **Influencia en DME:** La variable influye en el desarrollo de desórdenes músculo esqueléticos según los artículos científicos consultados.

Cada uno de los criterios cuenta con una valoración numérica que describe sí existe poca, moderada o fuerte relación entre las variables y los criterios previamente establecidos (*Ver Anexo 1*). Para la realización del método, se realizan varios pasos, el primero de ellos es la construcción de una matriz donde se concede la valoración numérica a cada variable según los criterios ya mencionados. A partir de esta valoración, se procede al segundo paso que corresponde a la elaboración de una la matriz normalizada, que debe ser multiplicada por el peso porcentual de la siguiente manera:

- Frecuencia en la literatura (20%)
- Afinidad (30%)
- Uso en labores del trabajador (35%)
- Influencia en DME (15%)

Posteriormente, se obtienen los valores máximos ( $V_j^+$ ) y mínimos ( $V_j^-$ ) de cada uno de los criterios con el fin de calcular las distancias euclidianas presentes entre las variables. Finalmente, se calcula el desempeño ( $P_i$ ) de cada una de las variables teniendo en cuenta las distancias con valores máximos y mínimos. Por último, se organizan de manera descendente y se escogen las variables que tienen un desempeño mayor a cero, ya que son de interés al momento de realizar el levantamiento de información. En este proceso se eliminan las variables: *Circunferencia pantorrilla* y *Circunferencia cadera*, las cuales no tienen ningún desempeño. A continuación, se muestra el ranking de variables de interés obtenido después de ejecutar el método TOPSIS:

Variabes	Pi	Ranking
Mano Dominante	0,66	1
Edad	0,59	2
Género	0,49	3
Peso	0,47	4
Circunferencia de la Mano	0,45	5
Estatura	0,45	6
Perímetro de la mano	0,43	7
Longitud de la Mano	0,43	8
Circunferencia del Antebrazo	0,41	9
Circunferencia de la Muñeca	0,39	10
Longitud Antebrazo	0,28	11
Índice de masa Corporal	0,26	12
Ancho de la Mano	0,24	13
Longitud Palma	0,24	14
Espesor de la mano	0,16	15
Ancho Palma	0,15	16
Longitud de los dedos	0,13	17
Perímetro del Antebrazo	0,13	18

Tabla 3. Ranking de variables según su desempeño.

Acto seguido, se toman las variables sugeridas por el método TOPSIS y se ejecuta un proceso de caracterización para cada una dadas varias características como: sus atributos *cuantitativos o cualitativos*, su clasificación de tipo de variable *discreta, nominal, continua o dicotómica*, cuyo objetivo es conocer cómo debe ser medida cada una de ellas. Adicionalmente, se enlistan los instrumentos a utilizar en el levantamiento de información para recopilar de forma correcta los datos de cada variable. En este caso, se utilizó: *pie de rey, cinta métrica, balanza digital, cono antropométrico y dinamómetro de mano*, previamente calibrados y teniendo presente las unidades de medida usadas en cada ecuación (*Ver Anexo 1*).

Para garantizar la aleatoriedad de la variable *fuerza de agarre*, se realiza una matriz guía con órdenes únicos de medida por individuo (*Ver Anexo 1*), que contiene tres intentos por cada mano con el fin de hallar la fuerza de agarre real a partir del promedio de las tres medias, según las recomendaciones de la Asociación Terapéutica Americana de la Mano, descartando posibles errores al momento de realizar las mediciones. Con un total de 18 variables a medir, se realiza una prueba piloto a siete personas ajenas al estudio, donde se busca contabilizar el tiempo de medición por persona y garantizar que, al reemplazar los datos en las ecuaciones de la literatura, se obtenga un valor acorde con la fuerza teórica. Gracias a la prueba piloto, se corrige la forma de medir la *circunferencia de la mano* y se establece el protocolo de medición a seguir con la muestra de conveniencia (*Ver Anexo 2*).

### Levantamiento de información

Una vez establecida la metodología y el protocolo de medición, se contactan entidades dedicadas a la fabricación de empaques plásticos y a la coordinación de logística y servicios operacionales, las cuales sirvieron como canal de contacto con individuos que ejercen un alto nivel de manualidad en sus labores diarias. A cada uno de los participantes se les facilitó un consentimiento informado para su lectura y aprobación (*Ver Anexo 3*). Se obtiene una muestra de conveniencia de 60 personas conformada por 34 mujeres y 26 hombres entre los 18 y 58 años de edad, sin ninguna prescripción médica ni lesiones comprobadas en las extremidades del tren superior.

Durante la toma de datos se solicita a cada persona sentarse en una silla con respaldo y apoyabrazos, la planta de los pies apoyada plenamente en el suelo, las piernas y los brazos con un ángulo de 90°, espalda recta, mirada al frente. En esta posición se le indicó a cada individuo que hiciera su máxima fuerza de agarre en el dinamómetro, dando un espacio de descanso entre cada medición de 5 a 10 segundos (Mullerpatan et al, 1985).

### Tratamiento de Datos

Con el objetivo de observar el comportamiento de los datos de entrenamiento vs. la fuerza teórica que brinda cada ecuación, se hace un análisis inicial de forma descriptiva, el cual se compone de los siguientes datos:

Datos descriptivos	Fuerza real Dom (kgf)	Mano Dominante				Fuerza real No dom (kgf)	Mano No Dominante			
		Ecuaciones					Ecuaciones			
		1	2	3	4		1	2	3	4
Media	36,0	40,2	58,8	43,3	42,2	31,9	40,2	43,4	41,5	41,0
Desviación Estándar	10,6	9,5	2,8	9,4	7,1	9,7	9,5	1,8	7,3	7,3
Valor Mínimo	19,0	27,0	53,0	29,0	26,0	16,0	27,0	41,0	28,0	26,0
Valor Máximo	64,0	60,0	64,0	58,0	56,0	63,0	60,0	47,0	53,0	57,0

Tabla 4. Análisis descriptivo Fuerza Real vs. Ecuaciones literatura.

En la *Tabla 4* se observa que el valor promedio de fuerza de la ecuación 1, es el más cercano a la fuerza real independientemente de la dominancia de la mano, sin tener la menor desviación estándar. Aún cuando la desviación de la segunda ecuación es baja y los datos se agrupan, permanecen alejados a la fuerza real. Así mismo, se observa que, para la fuerza real de la mano dominante, los datos son asimétricos dado que más del 50% de los datos se encuentran entre 28 y 43 kgf, algunos sujetos tienen una fuerza de agarre dominante tan baja como 19 kgf y tan altos como 64 kgf.

Para la fuerza de agarre no dominante los datos también son asimétricos, tienen una fuerza promedio menor a la fuerza de agarre dominante, lo que permite establecer que la fuerza varía según la dominancia de la mano, teniendo menores valores para la no dominante. En este caso, los datos son menos dispersos, ya que se agrupan entre 26 y 38 kgf, pero dejan al descubierto un dato atípico, correspondiente a un hombre con 65 kgf en su mano no dominante.

Una vez se realizó el análisis descriptivo, se procedió a dividir la muestra recogida en un conjunto de datos de entrenamiento y de pruebas, siguiendo los pasos del artículo: "*Predicting maximal grip strength using hand circumference*", donde aplicando la técnica estadística Bootstrapping toman 29 personas aparte de la muestra de 94 sujetos para validar la ecuación de la fuerza máxima de agarre teórica (Li, et al. 2010). La división de datos se realiza de manera aleatoria (Tello et.al, 2013) como se observa a continuación:

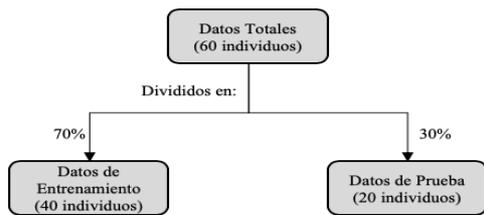
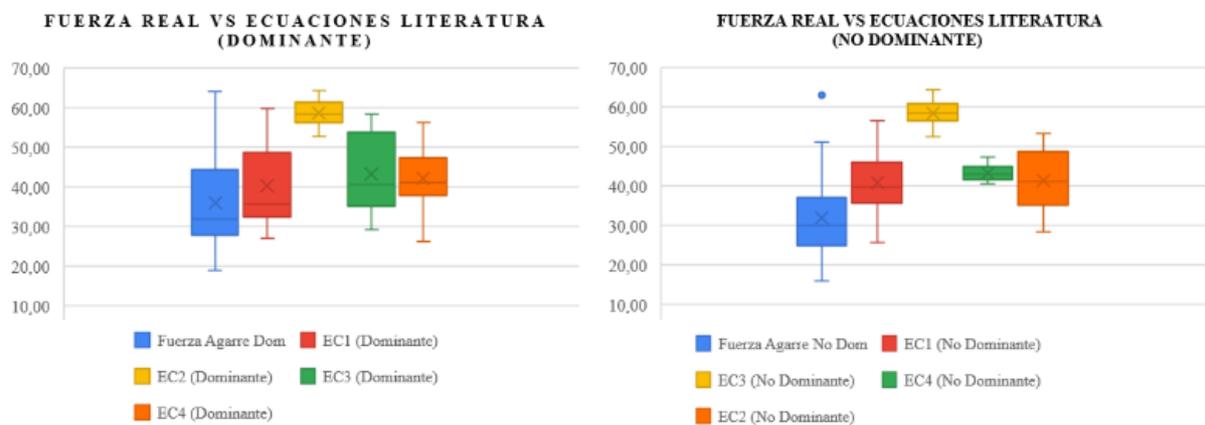


Ilustración 1. División aleatoria de la muestra de conveniencia.

Con los datos de entrenamiento, se inicia el análisis estadístico de aprendizaje que busca llegar a una ecuación que permita acercarse a la fuerza real a partir del cálculo de la fuerza teórica, ajustando los datos de prueba y buscando la forma en que el vector de atributos se comporta para estimar la fuerza teórica en individuos ajenos al estudio (Ballesteros, 2015).

A partir de los datos de entrenamiento, se halla la fuerza de agarre teórica reemplazando las variables correspondientes en cada una de las ecuaciones de la literatura, teniendo en cuenta el género y la dominancia de la mano. Con este valor, se compara la fuerza teórica y la fuerza real por persona y se encuentra la diferencia porcentual entre las mismas. Dado este resultado individual, se obtiene un resultado general por ecuación, descrito en el siguiente diagrama comparativo:



Gráfica 1. Diagrama de Cajas y Bigotes comparativo entre los resultados de fuerza de agarre real y las ecuaciones encontradas en la literatura.

## Diseño Experimental

En el diseño experimental se plantea un conjunto de pruebas de manera que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas a partir de condiciones específicas de causa y efecto, con el fin de demostrar la relación existente entre las variables. En ese orden de ideas, se realiza un diseño experimental con una prueba de bloques, donde las personas se comportan como bloques gracias a sus dimensiones antropométricas únicas e independientes y las ecuaciones como tratamientos para evaluar la fuerza de agarre hallada.

El análisis de la relación entre las fuerzas teóricas de cada ecuación de la literatura y la fuerza de agarre real se hace a partir de un diseño de bloques para determinar si la media de la fuerza teórica es similar a la media de la fuerza real. En este caso, la variable *Dominancia* influye de manera independiente para cada mano, por lo cual se realizan dos diseños de bloques, uno por cada mano. Cada diseño de bloques se distribuye de la siguiente manera:

Factor de Variabilidad				
Tratamientos	1	2	3	4
Factores	Ecuación 1	Ecuación 2	Ecuación 3	Ecuación 4
Bloques	Datos de Entrenamiento (40 personas)			

Tabla 5. Factores de Variabilidad - Prueba de Bloques.

Ahora bien, para conocer si el análisis de bloques funciona correctamente, es necesario analizar los residuos y la varianza de los datos. Primero, se realiza la prueba de Levene, buscando garantizar la homogeneidad de las varianzas del error y realizar la comparación de las medias. Para todos los casos se corrobora que las varianzas son iguales, dado que en todas las ecuaciones el p-valor para la varianza de las medias fue mayor a 0,05 (*Ver Anexo 4*).

Dentro del diseño de bloques, la fuerza hallada con cada ecuación es un tratamiento, y cada persona es un bloque dadas sus dimensiones antropométricas únicas e independientes. El análisis de bloques se realiza tomando como hipótesis nula, que la media del tratamiento es igual a la media de la fuerza real, con un nivel de confianza del 95%. El resultado para ambas manos, indica que para la ecuación 2,3 y 4, el p-valor fue menor al 0,05, por lo que se tiene suficiente evidencia estadística para concluir que las medias son distintas a la fuerza real y la media de la fuerza teórica de estas ecuaciones no se acerca a la fuerza real de nuestra población de estudio. Sin embargo, en el caso de la ecuación 1, el p-valor fue mayor al 0,05 (*ver Tabla 6*) por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se confirma que las medias son iguales, un resultado comparable con el numeral anterior, donde en el primer acercamiento a las ecuaciones, el menor porcentaje de error lo tiene la ecuación 1 (*Ver Anexo 4*).

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Ecuacion 1

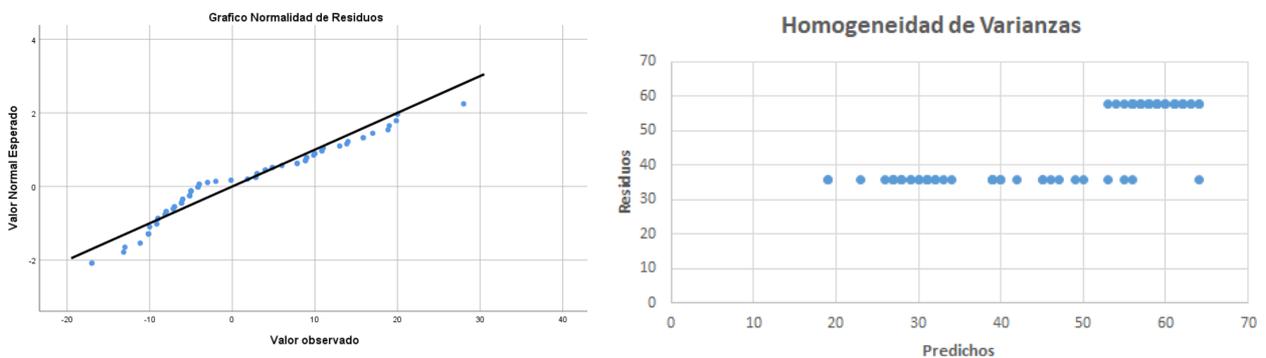
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	344,450 <sup>a</sup>	1	344,450	3,404	,069
Intersección	115976,450	1	115976,450	1146,085	,000
Tipo_Fuerza	344,450	1	344,450	3,404	,069
Error	7893,100	78	101,194		
Total	124214,000	80			
Total corregido	8237,550	79			

a. R al cuadrado = ,042 (R al cuadrado ajustada = ,030)

Tabla 6. Resultado Análisis de Bloques - Anova Ecuación 1.

La comprobación de los resultados obtenidos en un análisis de bloques depende de la validación de supuestos en base a los residuos. Estos supuestos son: normalidad y varianza constante, es decir que la varianza sea igual entre tratamientos, si se cumplen estos supuestos, los residuos se pueden ver como una muestra aleatoria de media cero y varianza constante, lo cual verifica la validez de los resultados. (Gutiérrez, H, 2008).

Para el análisis de normalidad se usan dos métodos: el método gráfico y la prueba estadística *Shapiro-Wilks*. En la primera, los puntos deben alinearse sobre una línea recta, mientras que en la segunda, el p-valor debe ser menor a 0,05. Para el análisis de homogeneidad de varianzas, se usa el método gráfico y la prueba de Levene. La validez de los resultados se comprueba, donde los residuos cumplen los supuestos de normalidad y varianza constante (*ver gráfica 2*).



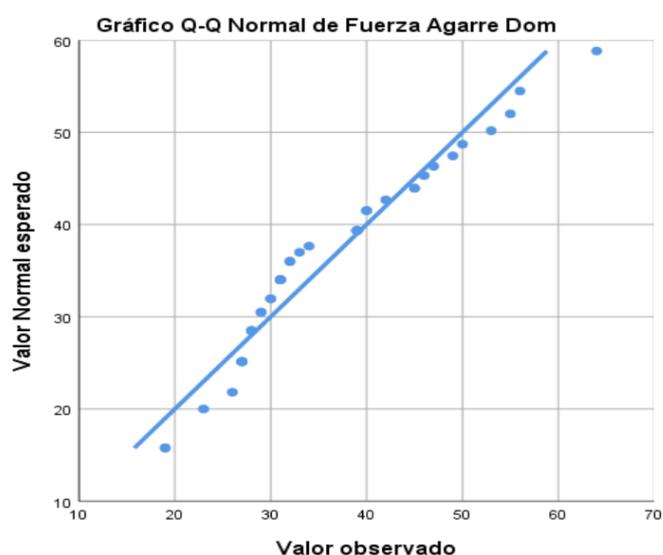
Gráfica 2: Pruebas de Homogeneidad de Varianzas y Normalidad (Residuos) - Ecuación 1.

Los residuos se encuentran alineados sobre una línea recta para la prueba de normalidad y desagregados para la prueba de homogeneidad de varianzas. Para las pruebas Shapiro y Levene se obtiene un p-valor mayor al 0,05 por lo cual se puede concluir que los datos se distribuyen con normalidad y existe homogeneidad de varianzas (*Ver Anexo 4*).

## Capítulo 3

### Pruebas de Normalidad KS

Para conocer el comportamiento de las variables se realizan dos pruebas de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov*, segmentando los datos según la fuerza de agarre dominante y no dominante y sus respectivas variables independientes, tales como: *Longitud de la mano*, *Ancho de la mano*, *Circunferencia de la mano*, *Espesor de la mano*, *Circunferencia de la muñeca* y *Longitud del antebrazo* (Ver Anexo 5). En primer lugar, se realiza la prueba a las variables dominantes, donde el resultado del p-valor para todas las variables independientes fue mayor a 0,05 garantizando suficiente evidencia estadística para concluir que todas las variables independientes se comportan normal; sin embargo, para el caso de la variable dependiente: *fuerza dominante*, se observa un p-valor menor a 0,05, concluyendo que no se comporta normal. En este caso, se recurre a la gráfica Q-Q Plot de SPSS, para examinar visualmente el gráfico y determinar la linealidad aproximada (ver gráfica 3). Para la variable *fuerza dominante*, el patrón del gráfico Q-Q es lineal, es decir, la distribución de los datos tiene una buena aproximación al modelo normal (Lau, 2014).



Gráfica 3: Prueba de Normalidad Fuerza de Agarre Mano Dominante - Q-Q Plot.

En segundo lugar, se realiza la prueba para la mano no dominante, donde se muestra que todas las variables, incluyendo las dependientes de la *fuerza no dominante* tienen un p-valor mayor a 0,05 por lo cual hay suficiente evidencia estadística para concluir que se comportan normal.

### Pruebas de Correlación

Para el análisis de correlación de variables las pruebas usadas son: Correlación de Pearson y Correlación de Spearman, con ellas se busca conocer las variables de interés, que pueden describir la variable dependiente: *Fuerza de agarre*. La prueba de Pearson mide la asociación lineal entre dos variables, otorgándole un valor calculado  $R$ , que oscila entre -1 y 1. Sin embargo, esta prueba solo funciona para variables paramétricas, por lo que fue aplicada a las variables de mano no dominante que se comportan de forma normal tomando como variable dependiente la *fuerza de agarre no dominante* que también se comporta de esta manera. Para las variables de mano dominante, fue necesario utilizar la correlación de Spearman para encontrar la correlación lineal entre variables no paramétricas dado que, para este caso, la variable dependiente *fuerza de agarre* se comporta normal.

Una vez se realizó la prueba de correlación de variables en la herramienta SPSS, tanto para la fuerza de agarre de la mano dominante como no dominante, se organizaron en orden descendente las variables con mayor relación y proporcionalidad (ver tabla 7) respecto a la fuerza de agarre ( $R$ ). Las variables candidatas para describir la fuerza de agarre son aquellas variables que dan como resultado una correlación moderada, es decir, con un valor superior al 50% (Ortega, 2009).

Correlación de Variables			
Mano No Dominante	R	Mano Dominante	R
Longitud Antebrazo	0.78	Longitud Antebrazo	0.81
Género	0.67	Género	0.72
Longitud de la mano	0.66	Longitud de la mano	0.69
Circunferencia de la mano	0.65	Circunferencia de la mano	0.64
Altura	0.61	Circunferencia de la Muñeca	0.62
Circunferencia de la Muñeca	0.54	Altura	0.6
Ancho de la mano	0.53	Circunferencia del antebrazo	0.55
Espesor de la mano	0.52	Ancho de la mano	0.52

Tabla 7. Resultados prueba de correlación de variables utilizando SPSS.

Cabe resaltar que las variables peso y edad arrojaron correlaciones débiles, menores al 30%, por lo que no fueron consideradas para describir la fuerza de agarre.

### Método Forward y Stepwise

Para la construcción del modelo predictivo de la fuerza de agarre, es necesario probar diferentes escenarios que encuentren una fuerza de agarre teórica, a partir de estos se define como el más acertado, el escenario que tenga el menor error porcentual entre la fuerza real y la fuerza teórica. La construcción de escenarios se realiza a través de la aplicación de diferentes métodos de regresión usados en la literatura (Li, K. et.al 2010).

Primeramente, se realiza una regresión lineal múltiple donde se incluyen las variables con mayor correlación, para este caso las variables a tener en cuenta fueron aquellas con correlación moderada. Para ello, fueron utilizados dos algoritmos de selección de variables de la herramienta SPSS, denominados método Forward y Stepwise.

El primero de ellos, añade una a una las variables previamente seleccionadas al modelo con el objetivo de contar con múltiples escenarios de ecuaciones predictivas para la fuerza de agarre. Para conseguir un resultado acertado, se realiza la ejecución del método, hallando el coeficiente asignado a las variables por cada género, a este escenario compuesto de dos ecuaciones se observa su desempeño tanto global, como para la mano dominante y no dominante. Cada escenario se evalúa aplicando la ecuación a los datos de entrenamiento, teniendo presente el coeficiente de determinación y el porcentaje de error de la fuerza teórica resultante, frente al valor de fuerza real.

Se obtienen 8 escenarios resultantes por cada mano, dentro de cada escenario, una ecuación para el género masculino y femenino, para un total de 16 escenarios y 32 ecuaciones. Ahora bien, los escenarios con el mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) son mostrados a continuación:

Resultados Método Forward					
Mano Dominante			Mano No Dominante		
Variables	$R^2$ Hombres	$R^2$ Mujeres	Variables	$R^2$ Hombres	$R^2$ Mujeres
- Longitud del Antebrazo - Longitud de la Mano - Circunferencia de la Mano - Circunferencia de la Muñeca - Altura - Circunferencia del Antebrazo	74,10%	82,40%	- Longitud del Antebrazo - Longitud de la Mano - Circunferencia de la Mano - Altura - Circunferencia de la Muñeca - Ancho de la Mano - Espesor de la mano	76,30%	74,10%
- Longitud del Antebrazo - Longitud de la Mano - Circunferencia de la Mano - Circunferencia de la Muñeca - Altura	73,70%	75,90%	- Longitud del Antebrazo - Longitud de la Mano - Circunferencia de la Mano - Altura - Circunferencia de la Muñeca - Ancho de la Mano	69,00%	74,10%

Tabla 8. Escenarios obtenidos con método Forward con el  $R^2$  más cercanos a 1 para la mano dominante y no dominante. Para mayor detalle dirigirse a Anexo 1: Resultados Métodos Regresión.

Dependiendo de la dominancia, los distintos escenarios abarcan diferentes combinaciones de variables. Cuando el  $R^2$  es mayor a 0,70 la correlación de variables es fuerte (Ortega, 2009) y es posible afirmar que la combinación de dichas variables describe en gran medida la fuerza de agarre.

Para el segundo método Stepwise, se incluyen todas las variables en el modelo y este es quien determina qué variable debe permanecer en el modelo o, por el contrario, salir de él y ser reemplazada por otra. La condición

para suprimir o incluir un atributo, es comparar el porcentaje de error y el coeficiente de determinación arrojado por cada ecuación, de esta manera, si el porcentaje de error es menor en la ecuación en curso, la variable es incluida y el modelo continúa probando nuevos escenarios, de lo contrario, la variable es suprimida y es escogida la siguiente variable candidata con mayor correlación, el algoritmo se repite hasta finalizar la corrida del modelo. Finalmente, se obtienen cinco escenarios de fuerza de agarre para la mano dominante y diez para la mano no dominante. A continuación, se observan los escenarios con mayor  $R^2$  para cada mano:

Resultados Método Stepwise					
Mano Dominante			Mano No Dominante		
Variabes	$R^2$ Hombres	$R^2$ Mujeres	Variabes	$R^2$ Hombres	$R^2$ Mujeres
- Longitud del Antebrazo - Circunferencia de la Mano - Longitud de la Mano - Altura - Circunferencia de la Muñeca	73,70%	75,90%	- Espesor de la mano - Ancho de la mano - Altura - Longitud de la mano - Circunferencia de la Muñeca - Longitud del Antebrazo - Circunferencia de la Mano	76,30%	74,10%
- Longitud del Antebrazo - Circunferencia de la Mano - Longitud de la Mano - Altura	72,70%	75,80%	- Espesor de la mano - Ancho de la mano - Altura - Circunferencia de la Muñeca - Longitud Antebrazo - Circunferencia de la Mano	75,30%	74,10%

Tabla 9. Escenarios obtenidos con método Stepwise con el  $R^2$  más cercanos a 1 para la mano dominante y no dominante.

### Análisis Escenarios de Modelos Predictivos

Para cada escenario, es decir, posibles modelos predictivos resultantes de los métodos Forward y Stepwise, se calcula qué tan alejado está el resultado de la fuerza teórica vs. real, donde a menor porcentaje de error absoluto, la fuerza teórica se acerca más a la fuerza real. El error es calculado así:

$$\left| \frac{\text{Fuerza de agarre teórica}}{\text{Fuerza de agarre real}} - 1 \right| * 100$$

Para conocer cuáles son los modelos que más se ajustan a la muestra, se realiza el cálculo de la fuerza de agarre teórica que corresponde a cada ecuación, para hallar el porcentaje de error por individuo de cada ecuación. Para realizar la comparación entre los diferentes escenarios, se halla el error promedio para cada uno tomando los datos de entrenamiento (ver Anexo 6). Los porcentajes promedio de error para todos los escenarios dio de la siguiente manera:

Promedio de Error - Escenarios Modelos Predictivos							
Mano Dominante				Mano No Dominante			
Género Femenino		Género Masculino		Género Femenino		Género Masculino	
Escenarios	% de Error	Escenarios	% de Error	Escenarios	% de Error	Escenarios	% de Error
ES 1	84,95%	ES 1	34,45%	ES 1	16,00%	ES 1	16,21%
ES 2	95,11%	ES 2	41,71%	ES 2	15,58%	ES 2	17,25%
ES 3	12,93%	ES 3	15,11%	ES 3	15,50%	ES 3	20,66%
ES 4	12,69%	ES 4	15,22%	ES 4	15,41%	ES 4	21,13%
ES 5	13,64%	ES 5	16,09%	ES 5	14,66%	ES 5	24,82%
ES 6	13,65%	ES 6	16,01%	ES 6	12,88%	ES 6	24,15%
ES 7	13,65%	ES 7	16,13%	ES 7	12,97%	ES 7	32,74%
ES 8	13,26%	ES 8	20,39%	ES 8	13,10%	ES 8	N/A
ES 9	16,29%	ES 9	20,91%	ES 9	12,98%	ES 9	N/A
ES 10	16,26%	ES 10	17,77%	ES 10	13,77%	ES 10	N/A
ES 11	N/A	ES 11	16,90%	ES 11	14,11%	ES 11	N/A
ES 12	N/A	ES 12	18,69%	ES 12	15,51%	ES 12	N/A
ES 13	12,85%	ES 13	N/A	ES 13	N/A	ES 13	26,76%
ES 14	12,74%	ES 14	N/A	ES 14	N/A	ES 14	23,77%
ES 15	13,30%	ES 15	N/A	ES 15	N/A	ES 15	23,17%
				ES 16	N/A	ES 16	18,38%
				ES 17	N/A	ES 17	18,31%

Tabla 10. Errores porcentuales promedio de los escenarios obtenidos.

Como se muestra en la tabla 9, los escenarios 3, 4 y 14 reflejan el menor porcentaje de error para la mano dominante, donde cada uno de estos escenarios hace referencia a una ecuación predictiva, tal y como se observa a continuación:

Escenarios Mano Dominante	
Género Femenino	
ES 4	Fuerza Agarre = $-67.59 + 4.121 * \text{Longitud del Antebrazo}$
ES 14	Fuerza Agarre = $-105.208 + 2.408 * \text{Longitud del Antebrazo} + 1.303 * \text{Circunferencia Mano} + 0.327 * \text{Altura}$
Género Masculino	
ES 3	Fuerza Agarre = $-76.337 + 4.487 * \text{Longitud del Antebrazo}$
ES 4	Fuerza Agarre = $-108.386 + 5.812 * \text{Longitud del Antebrazo}$

Tabla 11. Escenarios con el menor error porcentual absoluto para la Mano Dominante.

Una vez se cuenta con el error promedio de todos los escenarios obtenidos a partir de los dos métodos de regresión lineal, se eligen los dos mejores según dominancia y género, dando un total de ocho ecuaciones candidatas para la decisión final de los modelos predictivos de mayor ajuste para los datos de entrenamiento (ver Tabla 10).

Por lo anterior, se utilizó una técnica de optimización, cuya función objetivo era minimizar el porcentaje absoluto de error promedio por ecuación, variando los coeficientes que acompañan a las variables para lograr un mayor ajuste de la fuerza de agarre teórica (Ver Anexo 7).

Ecuaciones Género Masculino			
Mano Dominante	% de Error	Mano No Dominante	% de Error
Fuerza Agarre = $(-72.459) + (4.445 * \text{Longitud del antebrazo})$	14,05%	Fuerza Agarre = $(-106.432) + (4.486 * \text{Longitud Antebrazo}) + (2.923 * \text{Longitud de la mano})$	10,64%
Ecuaciones Género Femenino			
Mano Dominante	% de Error	Mano No Dominante	% de Error
Fuerza Agarre = $(1.1278) + (1.1785 * \text{Longitud del antebrazo})$	11,58%	Fuerza Agarre = $(48.54) + (1.818 * \text{Longitud Antebrazo}) + (0.369 * \text{Longitud de la mano}) + (0.803 * \text{Circunferencia de la mano}) - (0.111 * \text{Altura}) - (1.782 * \text{Circunferencia de la Muñeca}) - (5.095 * \text{Ancho de la mano})$	10,47%

Tabla 12. Ecuaciones Definitivas con el menor error porcentual.

Se obtienen ecuaciones con la misma estructura, pero con constantes ajustadas, al reemplazar las variables y validarlas con los datos de prueba, se logra únicamente una disminución del error para la ecuación *Hombre/Dominante*, las demás ecuaciones conservan su óptimo en su versión original. Como ecuaciones definitivas se toman las plasmadas en la Tabla 12.

## 5. COMPONENTES DE DISEÑO EN INGENIERÍA

### Declaración de Diseño

Desarrollo de un modelo predictivo para la valoración de la fuerza de agarre ajustado a la población de estudio que permita obtener una fuerza teórica a partir de variables previamente seleccionadas que se espera, representen las condiciones reales de los trabajadores seleccionados.

### Proceso de Diseño

La construcción del aplicativo se realiza usando la hoja de cálculo Excel, donde se desarrolló una interfaz al alcance de cualquier individuo que esté interesado en conocer su fuerza de agarre. El primer paso de su construcción consiste en organizar las ecuaciones predictivas definitivas del estudio y de la literatura, de las cuales es necesario conocer la fuerza de agarre teórica para hacer una comparación de sus resultados. Enseguida se diseña un esquema de resultados, donde se buscan dos cosas: la primera, que una persona externa al estudio tenga la posibilidad de introducir sus datos (Ver Ilustración 2) y obtener el cálculo de la fuerza de agarre teórica para todas las ecuaciones determinadas. La segunda, que cualquier sujeto interesado en conocer los resultados del estudio, pueda ver gráficamente la predicción de fuerzas para los 20 datos de prueba, así como se observa a continuación:

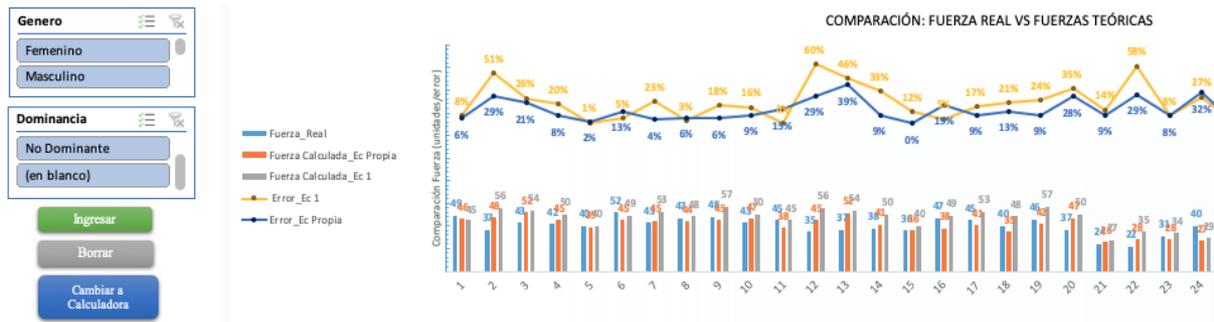


Ilustración 2: Comparación de la Fuerza de Agarre real y la Fuerza Teórica con los datos de prueba.

La interfaz del aplicativo cuenta con un diseño intuitivo para que la persona que lo utilice conozca de qué manera debe introducir las variables para que la ejecución de la ecuación se desarrolle satisfactoriamente, por lo tanto cuenta con ventanas emergentes que guían el uso del mismo (Ver Ilustración 3).

Nombre Asignado	Ecuaciones Fuerza de Agarre [Kg f]	%Efectividad (Por Datos de Entradas)
Ecuacion 1	FA (femenino) = 0,258 * peso + 0,394 * altura - 43,967 FA (masculino) = 0,207 * peso + 0,621 * altura - 71,461	82%
Ecuacion 2	FA (dominante) = 15,490 + (10,787 + (1 (Masculino); 0 (Femenino))) + (0,558 * circ. antebrazo) + (1,763 * long. mano) FA (no dominante) = 9,887 + (12,832 + (1 (Masculino); 0 (Femenino))) + (2,028 * long. mano)	25%
Ecuacion 3	FA (dominante) = 39,996 - (0,388 * años) + (0,174 * peso) + (13,628 * (1 (masculino); 0 (femenino))) FA (no dominante) = 44,968 - (0,420 * años) + (0,110 * peso) + (9,274 * (1 (masculino); 0 (femenino)))	73%
Ecuacion 4	FA = -65,477 + 0,524 * Circ. Mano	72%
Ecuacion 5 (Femenino Dominante)	FA = (1,1278) + (1,1785 * Long. Antebrazo)	88%
Ecuacion 6 (Femenino No Dominante)	FA = 48,54 + 1,818 * Long. Antebrazo No Dom + 0,369 * Long. Mano No Dom + 0,803 * Circ. mano No Dom - 0,111 * Altura - 1,782	90%
Ecuacion 7 (Masculino Dominante)	FA = (-72,459) + (4,445 * Long. Antebrazo)	85%
Ecuacion 8 (Masculino No Dominante)	FA = -106,432 + 4,486 * Long. Antebrazo No Dom + 2,923 * Long. mano No Dom	89%

Ilustración 3: Ejecución del aplicativo a través de ventanas emergentes.

Como variable de salida se busca que la persona obtenga su fuerza de agarre teórica por medio de una ventana de resultados, esta fuerza se muestra en la unidad de medida *kilogramo-fuerza* [Kgf]. Para lograr esto, fue necesario el uso de la herramienta *Visual Basic*, donde se realizó el código de programación para el cálculo de cada ecuación a partir de las condiciones que presenta cada ecuación, es decir, el género y la dominancia con sus respectivas variables predictoras. De igual forma, el aplicativo está diseñado para mostrar los resultados de los datos a partir de un gráfico dinámico que se puede alimentar tanto de la base de datos de prueba, como de una base de datos que se puede construir a partir de la información de la persona que lo utilice.

### Requerimientos de Desempeño

La fuerza de agarre es una variable que puede usarse para preservar la salud de la población trabajadora y en Colombia no se cuenta con ecuaciones predictivas que la definan, por lo cual, se hizo necesario el desarrollo de un modelo predictivo con variables antropométricas de colombianos, para este caso, aplicado a una muestra de conveniencia. Se evalúa la incidencia de las variables que han sido utilizadas en estudios anteriores como predictoras de la fuerza de agarre, con el fin de construir una ecuación que proponga una fuerza de agarre ajustada al género y la dominancia, diseñada a partir de los atributos de nuestra sociedad. Se valida el modelo haciendo uso del error porcentual del mismo buscando el menor valor posible para encontrar un mejor ajuste a los datos de prueba.

El desarrollo de este modelo establece la fuerza de agarre teórica como variable de salida a partir de un aplicativo que contenga la ecuación definitiva con el fin de contribuir en la predicción de la fuerza de agarre en posteriores estudios y en el campo de la salud ocupacional de las empresas.

## Pruebas de Rendimiento

Dentro de las pruebas de rendimiento, se ejecutó en primer lugar el paso a paso del aplicativo con el fin de comprobar que todos sus componentes y codificaciones siguieran el flujo establecido en el esquema principal. Acto seguido, se procede a validar que las fuerzas resultantes para cada ecuación según el aplicativo estuvieran acorde a lo calculado previamente, reemplazando las variables en las ecuaciones de forma manual. Por otra parte, se verifica que los resultados mostrados en las gráficas sean consecuentes con la base de datos que decida introducir un tercero y sea actualizada automáticamente una vez el aplicativo arrojó el resultado de fuerza de agarre al individuo.

## Restricciones

El modelo predictivo estuvo sujeto a la participación de una muestra de conveniencia de 60 individuos que permiten realizar un diseño experimental y la construcción de diferentes escenarios de predicción para la fuerza de agarre real. Los parámetros que se tuvieron en cuenta para el aplicativo fueron *la dominancia de la mano y el género* de los participantes, así como variables específicas para cada ecuación. En este caso, para las ecuaciones encontradas en la literatura se debe contar con los siguientes parámetros: *circunferencia de la mano, edad, peso, talla, circunferencia del antebrazo y longitud de la mano*. De igual manera, para las ecuaciones obtenidas en nuestra investigación se debe tener presente *la longitud del antebrazo, la longitud de la mano, la circunferencia de la muñeca y el ancho de la mano*, como parámetros de entrada para generar un resultado teórico de fuerza de agarre. Estos parámetros de entrada deben usar las unidades de medida e instrumentos correctos (*Ver Anexo 2*) con el objetivo de obtener un resultado que se aproxime a la realidad.

Es importante mencionar, que los resultados arrojados por el estudio no se podrán extrapolar a una población diferente a la muestra tomada, pero se podrán realizar conclusiones o recomendaciones que podrán ser tenidas en cuenta para futuros estudios con muestras más significativas.

## Cumplimiento del estándar

El protocolo de medición utilizado en la toma de los datos garantizó el cumplimiento de las normas establecidas por la Sociedad Americana de Cirugía de Mano, donde se tuvieron en cuenta aspectos tales como: *la postura del individuo al momento de realizar el levantamiento de información, tiempos de descanso entre cada medición y tiempo máximo a ejercer la fuerza de agarre al momento de tomar dicho valor*.

Por otro lado, el aplicativo cumple con los criterios básicos, los cuales son: poder predecir la fuerza de agarre de una persona ajena al estudio y brindar el valor de la fuerza con la posibilidad de comparar con los modelos predictivos que se encuentran actualmente en la literatura. Adicional a estos criterios también se ofrece la posibilidad de incluir una base de datos adicional a los *datos de prueba* comparando los resultados de fuerza entre ecuaciones por medio de gráficos que ilustran los errores porcentuales a partir de la comparación de fuerza real vs fuerzas teóricas obtenidas en las ecuaciones de interés. Se garantiza que el diseño supera los requerimientos de desempeño en cuanto al cálculo de fuerza de agarre y ofrece el desempeño adicional de ilustrar gráficamente el desempeño de cada ecuación (*Ver Anexo 8*).

## 6. RESULTADOS

### Sección 1 - Primer objetivo

Al realizar una revisión bibliográfica se obtuvieron cuatro ecuaciones que buscan predecir la fuerza de agarre a partir de distintas variables, tal y como se observa en las secciones previas del documento. Cada uno de estos modelos predictivos fue probado según los atributos demandados para validar si sus resultados eran coherentes y cercanos a la fuerza de agarre real. En ese orden de ideas, en la siguiente tabla se muestran las frecuencias resultantes de cada una de las variables presentes en las ecuaciones de la literatura:

VARIABLES PRESENTES EN LAS ECUACIONES DE LA LITERATURA	FRECUENCIA
Género	6
Peso	4
Mano Dominante	4
Estatura	2
Longitud de la Mano	2
Edad	2
Circunferencia del Antebrazo	1
Circunferencia de la Mano	1

Tabla 13. Frecuencia de las variables presentes en las ecuaciones de la literatura.

Es importante mencionar que estas variables entraron en el diseño de experimentos e hicieron parte de los modelos predictivos definitivos, así como los demás atributos mencionados en los artículos científicos, tales como: *la circunferencia de la muñeca, el ancho y espesor de la mano y la longitud del antebrazo*, pero que no hicieron parte de los resultados finales. Sin embargo, estos atributos antropométricos fueron considerados en la presente investigación por su fuerte correlación con la fuerza de agarre de la muestra de conveniencia tomada y por su relación con los aspectos demográficos de la población estudio.

## Sección 2 - Segundo objetivo

Una vez conocidos los atributos y sus respectivas frecuencias, se realizó la caracterización de las variables encontradas en la literatura, la cual permitió hacer el planteamiento de las unidades de medida y clasificación de los tipos de variables, que conlleva al análisis y selección de variables a través del método TOPSIS. Se tuvieron en cuenta factores como frecuencia, uso en labores manuales, correlación con la variable dependiente (Fuerza de Agarre) y la influencia que puede tener la variable en Desórdenes Músculo-Esqueléticos (DME) de origen laboral. Los resultados arrojaron las variables adicionales que deberían medirse y darles mayor importancia en cuanto a los criterios escogidos. Fruto de esta prueba se agregaron las variables: *perímetro de la mano, circunferencia de la muñeca y la longitud del antebrazo*, ya que contaban con un alto desempeño ( $P_i$ ) e incidencia en la construcción de nuestro modelo predictivo.

Al contar con los datos y como primera medida, se reemplazaron los valores de las variables en las ecuaciones encontradas en la literatura para así encontrar un resultado inicial aproximado a la fuerza de agarre de la población muestreada, con el fin de estudiar y analizar el efecto de las ecuaciones de otro tipo de población adaptadas a nuestro biotipo de persona. Como resultado se obtuvo que la ecuación 1 fue la más acertada en promedio a la fuerza de agarre real con un valor de 80.13%, mientras que las demás lograron aproximarse apenas en un 30.5%, 73.5% y 73.3%, respectivamente. En total se encontraron 4 resultados por persona, teniendo en cuenta que se contaba con 4 ecuaciones iniciales para cada individuo se encontró la diferencia existente entre el resultado teórico y el real. Sin embargo, para tener mayor claridad de cuál de las ecuaciones tenía una media más acertada a la de la fuerza real se realizó una prueba de bloques la cual arrojó los siguientes resultados:

Ecuación	Prueba de Bloques (Datos de Entrenamiento)	
	Mano Dominante ( <i>p</i> -valor)	Mano No Dominante ( <i>p</i> -valor)
1	0.069	0.069
2	0	0
3	0.002	0.009
4	0.003	0.016

Tabla 14. Resultados estadísticos de la Prueba de Bloques obtenidos en la herramienta SPSS.

Como se puede observar en la *tabla 14*, el único resultado estadísticamente significativo fue el de la ecuación 1, donde el *p*-valor es mayor a 0.05 con lo que es posible establecer que la media de los resultados de la ecuación 1 se asemejan a los de la fuerza real, afirmando que es la única ecuación que puede llegar a describir la fuerza de agarre para la población de estudio. Las demás ecuaciones quedan descartadas por tener un *p*-valor menor al 0.05 y no fueron tenidas en cuenta para las demás etapas del estudio.

### Sección 3 - Tercer objetivo

Para el estudio de la fuerza de agarre en la literatura, los investigadores se basan en la regresión lineal como una herramienta para llegar a un resultado final que logra predecir la fuerza de una persona, esto se logra al introducir medidas antropométricas y aspectos propios de la persona en una misma ecuación que usa estas variables con coeficientes asignados. En este sentido, se realizan un análisis de correlación de variables para hallar las variables candidatas a ser ingresadas en las regresiones lineales. Se obtienen correlaciones entre 20% y 81%, donde se descarta el *Peso* y la *Edad*, dado que tienen correlaciones menores al 30%. Son todas aquellas variables que se relacionan con la fuerza de agarre en más de 30% las que se toman en cuenta para la construcción de escenarios, dando como resultado que la variable *Longitud del Antebrazo* es la que tiene mayor correlación en la fuerza de agarre real de nuestra muestra de conveniencia.

Acto seguido, se usan los métodos Forward y Stepwise para hallar escenarios combinando las variables con correlación alta o moderada, en este caso 9 variables, de estos métodos se obtienen un total de 15 escenarios de ecuaciones para la mano dominante y 17 escenarios para la mano no dominante, donde en ambos casos se cuenta con unos índices independientes entre género masculino y femenino dado que disminuye el error porcentual entre géneros al hallar ecuaciones independientes para cada uno. Del total de escenarios, fueron tomados únicamente los dos mejores por género con cada mano como opcionados para ser la ecuación más ajustada a los datos de entrenamiento.

Para los datos de entrenamiento se logra mejorar el error porcentual en, dominancia y género, especialmente para el género femenino en donde se disminuye en un 7% y 8% para mano dominante y no dominante, respectivamente, comparado con el mejor de los resultados de la literatura, para este caso la Ecuación 1. Aquí se comprueba que la única ecuación de la literatura candidata para describir los datos de nuestra muestra por conveniencia es la ecuación 1, la cual obtiene el menor de los porcentajes de error entre ecuaciones de la literatura para todos los casos (Ver Tabla 15).

Datos de Entrenamiento (40)				
Error porcentual	Dominante		No Dominante	
	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
Ecuación 1	18,17%	22,42%	18,17%	22,42%
Ecuación 2	96,83%	42,53%	63,13%	25,65%
Ecuación 3	26,83%	26,32%	41,18%	31,28%
Ecuación 4	32,12%	20,92%	42,71%	30,09%
Ecuación Propia	11,58%	14,68%	10,47%	10,64%

Tabla 15. Error porcentual absoluto Ecuaciones de la literatura vs. Ecuación propia (datos de entrenamiento).

Luego de llegar al mínimo porcentaje de error en los datos de entrenamiento, se procede a observar el comportamiento de las ecuaciones definitivas en los datos de prueba que son totalmente ajenos al proceso de construcción de ecuaciones. Los datos de prueba muestran que la ecuación propia se ajusta al menos en un 3% más que las ecuaciones de la literatura para la mano dominante y para el género femenino de la mano no dominante.

Se realiza un análisis de bloques para la comparación de medias de los datos de prueba (20 Datos) entre la fuerza real y la fuerza teórica hallada con cada una de las ecuaciones, tanto las ecuaciones de elaboración propia como las ecuaciones de la literatura. Se plantea como hipótesis nula que las medias entre la fuerza real y la fuerza teórica son diferentes. Según los valores mostrados en la *tabla 16*, se obtiene que para los datos de prueba el p-valor es mayor al 0.05 en las ecuaciones 1,3 y 4 de la literatura para los datos de prueba. De igual forma, para las ecuaciones de elaboración propia se muestra un valor mayor a 0.05, mostrando así que la hipótesis nula se rechaza y para los datos de prueba se observa que el promedio de la fuerza real y la fuerza teórica son iguales.

Datos de Prueba (20)				
P-Valor (Prueba de Bloques- Comparación de Medias)	Dominante		No Dominante	
	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
Ecuación 1	0.650	0.700	0.750	0.767
Ecuación 2	0.000	0.000	0.000	0.567
Ecuación 3	0.667	0.800	0.633	0.700
Ecuación 4	0.767	0.650	0.767	0.767
Ecuación Propia	0.533	0.900	0.550	0.800

Tabla 16. Comparación p-valores ecuaciones de la literatura vs. ecuación propia (datos de prueba diseño de bloques para comparación de medias).

Dado que los p-valor de la prueba de bloques no describe a profundidad el ajuste de la fuerza real comparado con las ecuaciones, se realiza el análisis de los errores absolutos. Para el género masculino de la mano no dominante, se obtiene que el menor error porcentual pertenece a la ecuación 2 de la literatura, la cual muestra gran dispersión para los demás datos, es decir, su aplicación no asegura el resultado de mejor ajuste en todos los casos (*ver Anexo 9*). Para la mano dominante en ambos géneros y la mano no dominante del género femenino, se obtiene el menor error porcentual en las ecuaciones de elaboración propia (*Ver Tabla 17*).

Datos de Prueba (20)				
Error porcentual	Dominante		No Dominante	
	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino
Ecuación 1	15,93%	13,73%	18,08%	18,63%
Ecuación 2	47,67%	27,40%	33,16%	11,12%
Ecuación 3	18,09%	15,96%	22,19%	15,13%
Ecuación 4	25,51%	15,70%	24,72%	16,24%
Ecuación Propia	13,66%	10,30%	13,01%	16,94%

Tabla 17. Error porcentual absoluto Ecuaciones de la literatura vs. Ecuación propia (datos de prueba).

#### Sección 4 - Aplicativo

El aplicativo se desarrolló tomando las ecuaciones con mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y las ecuaciones obtenidas de la literatura, con el fin de realizar una comparación entre el valor de la fuerza de agarre de la ecuación creada a través de este estudio y las creadas en otros estudios a partir de poblaciones distintas a la colombiana. El aplicativo cuenta con una interfaz de fácil manejo que guía al usuario según las preferencias que este tenga. En su pantalla de inicio se muestran todas las ecuaciones con su coeficiente de determinación para que la persona que lo utilice tenga la posibilidad de escoger cómo desea calcular su fuerza de agarre. Según la ecuación seleccionada, es desbloqueada una hoja de Excel donde se le pide al usuario ingresar cierta información para que el programa pueda calcular la fuerza de agarre y esta sea introducida en un base de datos para su posterior comparación o para guardar los datos necesarios para un análisis de la fuerza de cada individuo.

De igual forma, la persona que use el aplicativo tiene la opción de ingresar los datos que desee y calcularlos con la ecuación que esté más acorde a lo que necesita o los datos con los que cuente. En cada una de las hojas del aplicativo se explica con un texto corto que hace cada botón y cual es el paso a seguir para que la persona conozca su fuerza de agarre y pueda guardarla en una base de datos.

La segunda opción con la que cuenta el aplicativo, es una comparación de las fuerzas resultantes a través de una tabla y un gráfico. En esta opción se comparan los resultados entre la ecuación desarrollada, y la ecuación de la literatura que más se acercó a la media de los datos de la fuerza real de la muestra. Con esto se busca que la persona logre ver gráficamente el comportamiento de la fuerza de agarre teórica contra la fuerza de agarre real en cada una de las ecuaciones y así tener mayor claridad de cuál dato debe tomar según el resultado. Para realizar esta comparación el usuario debe ingresar un número específico de datos como lo son: *género, dominancia, fuerza real, longitud del antebrazo, longitud de la mano, circunferencia de la mano, circunferencia de la muñeca y ancho*

de la mano, con el fin de contar con toda la información necesaria para alimentar la base de datos y que se calcule la fuerza teórica según la ecuación, para así mostrar la comparación entre lo real, lo teórico y lo desarrollado en este estudio. El aplicativo cuenta con una base de datos de prueba de 20 personas, que fueron con las que se realizaron las pruebas de desempeño de la ecuación, esto debido a que se muestra la funcionalidad de las ecuaciones en un grupo de personas y se van ingresando más datos para observar bien sea la disminución o el aumento del error porcentual de cada una de las ecuaciones para conocer el nivel de precisión y poder analizar el comportamiento de la gráfica.

## Sección 5 - Medición del impacto

En la actualidad la población trabajadora colombiana no cuenta con ecuaciones predictivas que definan la fuerza de agarre con el objetivo de preservar su salud al momento de desempeñar sus funciones y evitar esfuerzos innecesarios en las actividades que realizan manualmente. Por este motivo, las ecuaciones obtenidas en el estudio impactan positivamente la sociedad, al brindar una manera de calcular su fuerza de agarre a partir de variables antropométricas simples y sin la necesidad de contar con instrumentos de alto valor monetario, como lo es un dinamómetro de mano, evitando a su vez, el mantenimiento y calibración de los mismos para tener datos que reflejan la fuerza de agarre real de los individuos.

El desarrollo de este trabajo pretende contribuir en la predicción de la fuerza de agarre de futuros estudios, y extender su aplicabilidad al campo de la salud ocupacional de las empresas, en busca de la prevención de DME en los trabajadores que desempeñan labores manuales a lo largo de su jornada laboral.

La precisión de los modelos predictivos de elaboración propia, logró predecir la fuerza de agarre real para los 20 datos de prueba con una precisión superior al 83 % para todas las ecuaciones, donde el mayor desempeño lo obtuvo la ecuación desarrollada para *el género masculino mano dominante*. En la siguiente tabla se puede observar a detalle la precisión de cada una de las ecuaciones:

Precisión de las Ecuaciones Propias		
Género/Dominancia	Femenino	Masculino
Dominante	86,34 %	86,90%
No Dominante	89,70%	83,06%

Tabla 18. Precisión de los modelos predictivos de elaboración propia.

El promedio de precisión de las ecuaciones fue igual a 86,5% por lo cual se puede medir el impacto en torno al acercamiento logrado a la fuerza de agarre real de la población trabajadora colombiana.

## 7. LIMITACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Limitaciones

En primer lugar, se tiene una gran variabilidad tanto de los datos de entrenamiento, como de pruebas, entre la mano dominante y no dominante, por lo que no fue posible encontrar una ecuación predictiva global para todos los casos planteados. Por lo anterior, el estudio se ve obligado a separar los datos y hallar escenarios a partir de la variable dominancia de la mano.

Por otra parte, no fue posible controlar la fatiga de las manos para los sujetos que hacen parte de la población de estudio, ya que al momento de realizar la medición algunos de ellos habían completado un turno de trabajo, mientras que otros no, por lo que este aspecto puede afectar la toma de información de la fuerza de agarre real de la muestra aun tomando tres mediciones de manera aleatoria para cada individuo.

De igual manera, el uso del aplicativo se limita a ofrecer la predicción de la fuerza de agarre del individuo que, de uso de él, dado que no es posible concluir sobre la forma correcta de realizar actividades laborales con esta fuerza teórica, por la inexistencia de tablas antropométricas estándar ajustadas a la población trabajadora Colombiana.

La comparación entre la fuerza de agarre real y teórica que ofrece el aplicativo, está sujeta a que la persona o entidad que haga uso de este cuenta con los instrumentos necesarios para medir las variables que componen cada una de las ecuaciones predictivas para obtener fuerza de agarre real del individuo, tales como: *un dinamómetro de mano, un pie de rey y cinta métrica*. Igualmente, el uso del aplicativo debe ir acompañado de un protocolo de

mediciones que indique la forma correcta de tomar los datos y sus respectivas unidades, con el fin de garantizar un resultado coherente por parte del aplicativo.

### Conclusiones

El análisis de la literatura se dio mediante la investigación de estudios que tuvieran un modelo predictivo de la fuerza de agarre aplicada a distintos tipos de poblaciones, aunque todos son modelos aplicados a la fuerza de agarre ninguno de estos está desarrollado entorno a una población trabajadora, por lo cual el modelo elaborado en este estudio da una visión de cómo predecir la fuerza en población laboral colombiana.

La ecuación desarrollada a través del estudio realizado logró disminuir el error porcentual de la fuerza de agarre teórica con respecto a la fuerza real, teniendo en cuenta que son ecuaciones que se ajustan a la muestra escogida. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue mayor que en las investigaciones ya realizadas en otras poblaciones y aunque el p-valor hallado en la prueba de comparación de medias concluye que tanto las ecuaciones de la literatura como las de elaboración propia tienen un promedio igual a la fuerza real, por lo cual los modelos predictivos de elaboración propia tienen un mejor desempeño en el cálculo de la fuerza de agarre con respecto a la fuerza real de las personas, dado el comportamiento de los errores absolutos porcentuales por individuo (*ver tabla 19*).

Ecuaciones Género Masculino			
Mano Dominante	% de Error	Mano No Dominante	% de Error
Fuerza Agarre = (-72.459) + (4.445*Longitud del antebrazo)	14,05%	Fuerza Agarre = (-106.432) + (4.486*Longitud Antebrazo) + (2.923*Longitud de la mano)	10,64%
Ecuaciones Género Femenino			
Mano Dominante	% de Error	Mano No Dominante	% de Error
Fuerza Agarre = (1.1278) + (1.1785*Longitud del antebrazo)	11,58%	Fuerza Agarre = (48.54) + (1.818*Longitud Antebrazo) + (0.369*Longitud de la mano) + (0.803*Circunferencia de la mano) - (0.111*Altura) - (1.782 *Circunferencia de la Muñeca) - (5.095 *Ancho de la mano)	10,47%

Tabla 19. Ecuaciones Definitivas de Elaboración Propia.

Así mismo, se desarrolló un aplicativo para el fácil cálculo de la fuerza de agarre de distintas ecuaciones, con el fin de facilitar a la persona la aplicación de las ecuaciones y permitir un mayor enfoque en el análisis de los resultados. El aplicativo cuenta con dos herramientas que permiten al usuario el cálculo y comparación de la fuerza de agarre de las personas, introduciendo variables fáciles de medir con instrumentos de un alcance asequible.

La construcción del modelo predictivo será útil para generar tablas de fuerza de agarre teórica en individuos con características similares al de la población de conveniencia del estudio, donde se brinda la posibilidad de tener resultados parciales de la fuerza de agarre aplicada versus la fuerza de agarre que dictamina una labor manual.

Finalmente, a partir de una observación directa en el levantamiento de información, fue posible evidenciar que el 90% de los individuos del estudio realizan sus labores manuales únicamente con una de sus manos, dados los resultados de fuerza de agarre mayor en esta mano comparada con la no dominante. Por ello, no es posible asegurar que la fuerza de agarre para la mano no dominante se ajuste a personas ajenas a la investigación, así como se ajusta en la muestra por conveniencia tratada en este estudio. Así mismo, no es posible garantizar que los porcentajes de error obtenidos en cada uno de los modelos predictivos sean extrapolables a la población trabajadora de Colombia.

### Recomendaciones

Se recomienda verificar el error porcentual de la ecuación definitiva con una muestra más amplia que cuente con unas condiciones semejantes a las del presente estudio, dado que se podrá observar el comportamiento de la dispersión de los datos con más detalle. Adicionalmente, la muestra a evaluar deberá tomar en cuenta un número de personas independiente para el género masculino y femenino.

Para el uso del aplicativo en áreas de trabajo establecidas, debe tenerse en cuenta que la ecuación definitiva deberá aplicarse de forma diferente para cada mano y con coeficientes propios de cada género. En caso de tomar una de estas opciones para toda la población por igual, no se puede asegurar que tenga el mejor desempeño.

## REFERENCIAS

- Alfiah, F. et al. (2018). *Data Mining Systems to Determine Sales Trends and Quantity Forecast Using Association Rule and CRISP-DM Method*. Editorial Int. J. Eng. Tech.
- Barrera, M. & Stibs, F. (2015). *Relación entre la fuerza de agarre y la morbimortalidad en pacientes mayores de 55 años en un programa de atención domiciliaria de una EPS en la ciudad de Bogotá*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Ballesteros, A., Sánchez, D. & García, R. (2013). *Minería de datos educativa: Una herramienta para la investigación de patrones de aprendizaje sobre un contexto educativo* (pp. 667-668). Latin-American Journal of Physics Education. Recuperado de: [http://www.lajpe.org/dec13/22-LAJPE\\_814\\_bis\\_Alejandro\\_Ballesteros.pdf](http://www.lajpe.org/dec13/22-LAJPE_814_bis_Alejandro_Ballesteros.pdf)
- Bohannon, R. et al. (2006). *Reference values for adult grip strength measured with a Jamar dynamometer: a descriptive meta-analysis* (pp. 11-15). Physiotherapy Volume 92, Issue 1. Editorial Elsevier.
- Castillo, J. (2011). *Prevención de intervención de los Desórdenes Músculo Esqueléticos*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda: Boletín Técnico preliminar 2018. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/cnpv-2018-boletin-tecnico-2da-entrega.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). Boletín técnico: Principales indicadores del mercado laboral. Recuperado el 19 de Febrero de 2019, de: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech/bol\\_empleo\\_dic\\_18.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech/bol_empleo_dic_18.pdf)
- Estrada, J., Camacho, J., Restrepo, M., & Parra, M. (2012). *Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995*. Medellín: Facultad Nacional de Salud Pública.
- Espinoza, S (2016). Tipos de muestreo: No Probabilístico por Conveniencia. Recuperado el 05 de Abril de 2019, de: <http://www.bvs.hn/Honduras/Embarazo/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf>
- Eksioglu, M. (2004). Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34, 1-12. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814104000186>
- García, M. (2017). Hand grip dynamometry references by height ranges in pediatric and adolescent age. *Nutrición Clínica Y Dietética Hospitalaria*, 34, 135-139. Recuperado de: [http://revista.nutricion.org/PDF/GLOPEZ\\_\(1\).pdf](http://revista.nutricion.org/PDF/GLOPEZ_(1).pdf)
- Galán, V. (2016). *Aplicación de la metodología CRISP-DM a un proyecto de minería de datos en el entorno universitario* (Trabajo Fin de Grado). Escuela Politécnica Superior Ingeniería en Informática, Madrid.
- Giraldo, J., Arango, V., Aristizabal, N., Morelo, L. y Manzur, R. (2003). Fuerza de agarre en hombres ancianos ambulatorios. *Revista Asociación Colombiana de Gerontología y Geriatria*, 17, 455-460.
- González, C., Sepúlveda, L. & Santafé, R. (2017). Different reference values for hand dynamometry: A conflicting issue. *Nutrición clínica y dietética Hospitalaria*, 37, 104-110.
- González, Elvia., Ávila, R. & Prado, L. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile*. Universidad de Guadalajara: D,R.
- Gutiérrez, H., De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Recuperado de: [http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseno\\_experimentos.pdf](http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf)
- Hincapié, O. (2007). Elaboración de estándares de la fuerza de agarre en individuos sanos entre 20 y 70 años residentes en la localidad de Usaquén, Bogotá. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 6, 5-20.
- Hillman, T., Nunesa, M., Hornbya, Z. & Stangab, K. (2004). A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting. *Clinical Nutrition Journal*, 24, 224-228.

- Krassik, M. (2019). Dinamometría: Medición del estado nutricional. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de: <https://dinamometro.org/dinamometria/>
- Lau, A. & Neubauer, D. (2014). Quality Assurance and Statistics Precision on data analysis: Determine if data distributed as normal. *ASTM International*, 35, 5-12.
- Li, K., Hewson, D., Duchêne, J. & Hogrel, Y. (2010). Predicting maximal grip strength using hand circumference. *Manual therapy*, 15(6), 579-585.
- Lopes, J. et al. (2018). Reference equations for handgrip strength: Normative values in young adult and middle-aged subjects. *Clinical Nutrition Journal*, 37(3), 914-918.
- Ministerio de la Protección Social. (2006). *Guía de atención integral basada en la evidencia para desórdenes musculoesqueléticos (DME) relacionados con movimientos repetitivos de miembros superiores*. Recuperado de: <https://issuu.com/monitores3/docs/seresdvfs/68>
- Mullerpatan, R., Karnik, G. & John, R. (1985). Grip and pinch strength: Normative data for healthy indian adults. *Hand Therapy*, 18(1), 11-16. Recuperado de: [http://bleng.com/media/wysiwyg/Mathiowetz\\_Grip\\_and\\_Pinch\\_Strength\\_Norms.pdf](http://bleng.com/media/wysiwyg/Mathiowetz_Grip_and_Pinch_Strength_Norms.pdf)
- Nariño, R., Alonso, A. & Hernández, A. (2016). Antropometría: Análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas. *Revista EIA*, 13 (1), 47-59.
- Nicolay, C. & Walker, A. (2005). Grip strength and endurance: Influences of anthropometric variation, hand dominance and gender. *International journal of industrial ergonomics*, 35 (3), 605-618.
- Norman, K., Stobäus, N., Gonzalez, C., Schulzke, D. & Pirlich, M. (2011). Hand grip strength: outcome predictor and marker of nutritional status. *Clinical nutrition Journal*, 30 (5), 135-142.
- Ortega, R., Pendás, L., Pérez, A. (2009). Caracterización de los rangos del coeficiente de correlación de Spearman. *Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana*, 8 (1), 2-7. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-519X2009000200017](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017)
- Sasaki, H., Kasagi, F., Yamada, M. & Fujita, S. (2007). Grip strength predicts cause-specific mortality in middle-aged and elderly persons. *The American Journal of Medicine*, 120 (4), 337-342.
- Su, Y., Lin, J., Chien, T., Cheng, K. & Sung, Y. (1994). Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75 (7), 812-815. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8024431>
- Tello, M., Blanco, E. & Tobias, L. (2013). Análisis y evaluación del nivel de riesgo en el otorgamiento de créditos financieros utilizando técnicas de minería de datos. *Visión electrónica*, 7(1), 19-23. Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/4389/6093>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2018). Guía técnica para la evaluación y prevención de Desórdenes Músculo Esqueléticos y riesgos relativos. Recuperado de: <https://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/DTEAntropometriaDP.pdf>
- Yepes, V (2019). Sustainability assessment of concrete bridge deck design using TOPSIS criteria weights. *Structure and Infrastructure*, 86 (4), 9798-9807.