Licenciatura: Ingeniería Mecánica

Título: Diseño y construcción de un prototipo de exoesqueleto ergonómico para apoyar los miembros superiores.

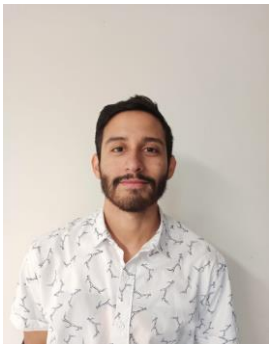
Modalidad: Proyecto Tecnológico

Versión: Primera

Trimestre lectivo: 20P

Integrantes:

Nombre: Martínez Jiménez Joshua
Matricula. 2152003400
Correo electrónico: al2152003400@azc.uam.mx



Nombre: Venegas Anaya Juan Abraham
Matricula. 2153035595
Correo electrónico: al2153035595@azc.uam.mx

Asesor: Romy Pérez Moreno.
Nivel académico: Ingeniero Mecánico.
Categoría: Asociado.
Departamento de adscripción: Energía.
Teléfono: 55 2900 3893.
Correo electrónico: romy@azc.uam.mx

Co-asesor: Miguel Eduardo Rangel Cordero.
Nivel académico: Ingeniero Mecánico.
Departamento de adscripción: Energía
Teléfono: 55 8442 4397
Correo electrónico: merc@azc.uam.mx

Fecha: 19 de octubre del 2020.

DECLARATORIA

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Martínez Jiménez Joshua

Venegas Anaya Juan Abraham

Ing. Romy Pérez Moreno

Ing. Miguel Eduardo Rangel Cordero

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día muchos puestos de trabajo aún siguen requiriendo de operaciones complejas para desarrollar ciertos procesos productivos en los que no es posible implementar la automatización de los mismos. Tareas como: agarres precisos, destreza operacional, destreza visual, trabajos repetitivos, entre otras, conllevan ciertas limitaciones al ser implementadas en los diferentes sistemas de producción, por lo que es necesario que sean realizadas manualmente por operarios experimentados en el ramo industrial. Aunque por un lado se logra mejorar el proceso de producción al emplear operarios en ciertas tareas, por otro lado, se descompensa el mismo proceso al exponer a los trabajadores a lesiones físicas, debido a que, para realizar las tareas, es necesario emplear contracciones musculares isométricas y movimientos repetitivos de escasa duración donde las manos se sitúan a la altura o por encima del espacio acromio-humeral. De esta forma, estas actividades suelen provocar trastornos músculo-esqueléticos en un alto porcentaje de los trabajadores [1].

De acuerdo con la Ocupacional Safety and Health Administration (OSHA) de Estados Unidos, las afecciones musculoesqueléticas (Musculoskeletal Disorders MSD, por sus siglas en inglés) afectan músculos, nervios, vasos sanguíneos, ligamentos y tendones [2].

En Europa, según la Sexta Encuesta sobre las Condiciones de Trabajo, las MSD relacionadas con el trabajo son las enfermedades profesionales más frecuentes en ese continente [3], generando en los operarios trastornos de espalda, cuello y miembros superiores; lo que conlleva importantes problemas de salud y costos para las organizaciones.

De acuerdo con una evaluación hecha a un exoesqueleto comercial, para atender los problemas de salud y económicos que conllevan las MSD dentro de las empresas se consideran varias soluciones, en las cuales destacan: reestructuración del área de trabajo para ser más confortable para el operario; integrar estratégicamente rotación de personal para ciertas actividades, capacitación del personal, así como integrar periodos de descanso obligatorios [4].

En el área de trabajo, los exoesqueletos son una de las herramientas que buscan mejorar la calidad de vida de las personas. Consisten en un mecanismo estructural externo acoplado a la fisionomía de la persona y cuyas junturas y eslabones corresponden a las de la parte del cuerpo humano que emula [5].

Pueden ser estructuras pasivas o activas (con o sin actuadores para realizar su movimiento), que se adaptan al cuerpo del portador con el objeto de facilitar un movimiento tanto en esfuerzo como en trayectoria [6].

Este proyecto propone diseñar y construir un exoesqueleto pasivo con una movilidad semejante a la de aquellos que existen en el mercado para el área industrial (figura 1), con el fin de contribuir a reducir los riesgos en las tareas donde sea necesario mantener las extremidades superiores del cuerpo humano en una posición incómoda.

Figura 1. Skelex 360-XFR, Skelex (2020) [7].

2. ANTECEDENTES

En el año 2019, la empresa COMAU S.p.A., en colaboración con IUVO SRL, sacó al mercado un diseño de un exoesqueleto MATE. Dicho exoesqueleto proporciona un mecanismo generador de torque con una compensación de la gravedad reduciendo la carga en los músculos de los miembros superiores [8]. Se expone un principio de funcionamiento mecánico que almacena y transforma la energía elástica de un conjunto de resortes paralelos, así como soporte lumbar el cual se analizará para guiar el diseño del exoesqueleto.

En el año 2019, la empresa Ottobock SE & Co. KGaA., sacó al mercado el diseño de un exoesqueleto llamado Paexo para miembros superiores. Paexo es un exoesqueleto usado en el cuerpo, es pasivo, no requiere energía, y es particularmente ligero (1.9 kg) [9]. Cuenta con una estructura ligera y práctica, permitiendo rangos de movilidad amplios. Estos parámetros serán analizados para el diseño del exoesqueleto.

En el año del 2015, la empresa EksoBionics, especializada en desarrollar tecnología con exoesqueletos para emplearse, tanto en el área de la salud como en la industria militar y manufacturera, lanzó al mercado un exoesqueleto al cual llamaron EksoVest; teniendo a la fecha su más reciente modelo: EksoEVO. El EksoVest es un exoesqueleto puramente mecánico (no requiere una fuente de alimentación) en forma de chaleco que fue diseñado para elevar y dar apoyo a los brazos de los trabajadores cuyas tareas se llevan a cabo a la altura del pecho y por encima de éste [10]. En dicho producto su estructura consiste en un mecanismo de eslabones y articulaciones mecánicas, permitiendo rangos de movilidad amplios. Este principio de funcionamiento se revisará para guiar el diseño del exoesqueleto.

La empresa Levitate Technologies, INC, desarrolló un dispositivo en forma de exoesqueleto que reduce la tensión muscular y articular de los operarios en la industria. Este dispositivo, al que se le llamó Airframe®, ayuda a los trabajadores que estén expuestos a realizar esfuerzo físico cuya posición requiere que tengan los brazos elevados, durante periodos prolongados de tiempo y repetitivos. Este exoesqueleto se ofrece en un diseño de tecnología ligera y ergonómica. Ofrece una reducción del esfuerzo físico de hasta un 80%; asegurando de esta forma mejor productividad en los trabajadores, al mismo tiempo que se mitigan costos de atención médica y discapacidad [11]. Cuenta con una estructura que se adapta al usuario, lo que permite que el dispositivo se ajuste cómodamente a cualquier tipo o tamaño de cuerpo. Esta característica se tomará como base para el diseño del soporte lumbar del exoesqueleto.

Skelex 360-XFR es un exoesqueleto liviano y compacto fabricado en el año 2017 por la compañía Skelex. Cuenta con soporte para brazos que ayudan al descanso de los mismos. Funciona con energía almacenada en resortes que compensan la gravedad. Proporciona asistencia óptima mientras trabaja con las manos a la altura de los hombros o más, y admite el 80% del rango de movimiento del brazo humano [7]. Se exponen algunos materiales ligeros con alto coeficiente de rigidez y flexibilidad, los cuales servirán como referencia en la selección de los materiales para el diseño del exoesqueleto.

3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas de salud ocasionados por lesiones musculoesqueléticas afectan a una cantidad sustancial de trabajadores en diferentes tipos de organizaciones productivas, mismas que generan pérdidas económicas considerables.

Contar con exoesqueletos accesibles, ayuda a mejorar las condiciones de seguridad en el trabajo [3], así como la calidad de vida de los trabajadores.

Para la realización del exoesqueleto considerado en este proyecto se propone diseñar y construir un prototipo capaz de soportar una herramienta de peso no mayor a 2.5 kg, implementando un mecanismo acumulador de energía en forma de espiral y materiales ligeros accesibles en el mercado local.

4. OBJETIVOS.

Objetivo general:

Desarrollar un exoesqueleto para reducir el riesgo de sufrir afecciones musculoesqueléticas en miembros superiores al operar una herramienta de peso no mayor a 2.5 kg.

Objetivos particulares:

Elaborar una tabla comparativa de los diferentes prototipos comerciales.

Diseñar el exoesqueleto para auxiliar los miembros superiores.

Simular en un programa CAE el exoesqueleto para determinar las magnitudes de las principales fuerzas y torques.

Elegir y evaluar la deformación de los materiales en el diseño propuesto.

Estimar los costos para el maquinado del exoesqueleto

Construir la estructura del exoesqueleto.

Validar la operación del exoesqueleto con un voluntario.

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

Se pretende diseñar un exoesqueleto pasivo, es decir, que no dependa de alguna fuente de energía para su funcionamiento, con un sistema ajustable de la talla chica (s) hasta la extra grande (XXL).

Especificaciones generales de las dimensiones esperadas del exoesqueleto:

Anchura de hombros: 44 cm - 53 cm
Altura: 70 cm - 80 cm
Cintura: 80 cm - 120 cm
Contorno de brazo: 35 cm - 55 cm

En el prototipo del exoesqueleto se propone un peso de 4 kg en su estructura y una capacidad de carga de 2.5 kg. Para el mecanismo generador de torque se consideran que las alternativas de diseño podrían ser: muelles de torsión, resortes de tensión y cuerdas tipo resorte. Para el recubrimiento del mecanismo se propone elaborar carcasas a partir de impresión 3D.

6. NORMATIVIDAD.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2017, Factores de riesgo ergonómico en el trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1-Manejo manual de cargas: Establece los elementos para identificar, analizar, prevenir y controlar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo derivados del manejo manual de cargas, a efecto de prevenir alteraciones a la salud de los trabajadores [12].
El seguimiento de esta norma permitirá una correcta identificación y prevención de los riesgos de trabajo derivados del manejo manual de cargas de manera cotidiana, así como el rango de cargas en que tendrá o no aplicación dicha norma.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo: Establece los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud [13].
La atención a esta norma servirá para identificar las áreas de trabajo donde podrá ser usado el prototipo de exoesqueleto.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo: Establece las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo [14].
Esta norma servirá para definir las características con las que deberá contar el exoesqueleto como Equipo de Protección Personal (EPP), identificando previamente los factores de riesgo a los que estará expuesto el trabajador según la naturaleza de sus actividades.

Norma ASME Y14.5: Dimensionamiento geométrico y tolerancia
Establece prácticas uniformes para establecer e interpretar el dimensionamiento geométrico y las tolerancias, requerimientos relacionados para el uso sobre dibujos de ingeniería y en documentos relacionados [15]. La adecuada interpretación y aplicación del contenido de esta norma nos ayudará a elaborar dibujos con los estándares ASME requeridos.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

UEA para la que se solicita autorización:

Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

#	Actividades	Semana											
	Trimestre 20-O	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	Elaborar una tabla de verificación de los requerimientos que las normativas aplicables impondrán al diseño.	x											
2	Diseñar tres propuestas cinemáticas para el exoesqueleto.	x	x	x									
3	Dibujar en el CAD los elementos individuales de las propuestas.			x	x	x							
4	Ensamblar en el CAD las propuestas.					x	x	x					
5	Comparar las propuestas y elegir la que sea viable construir.							x	x				
6	Especificar los posibles materiales a utilizar.									x	x		
7	Obtener esfuerzos y deformaciones por medio de la simulación CAE.									x	x	x	x
8	Ajustar el diseño a los materiales accesibles en el mercado.											x	x
9	Elaborar el reporte final					x	x	x	x	x	x	x	x

#	Actividades	Semana											
	Trimestre 21-I	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	Estimar los costos de maquinado y obtener los recursos propios.	x	x										
2	Adquirir los materiales para la estructura y el sistema de sujeción al operario.		x	x	x	x	x						
3	Maquinar los elementos del exoesqueleto.			x	x	x	x	x					
4	Ensamblar el exoesqueleto.						x	x	x	x			
5	Validar el funcionamiento con un voluntario sano.									x	x		
6	Ajustar el exoesqueleto en lo necesario.									x	x		
7	Elaborar y entregar el reporte final	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

8. ENTREGABLES

Reporte final.
Memoria de cálculo.
Dibujos de definición.
Video del prototipo en operación.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Elguea Aguinaco, Í., & Belda Lois, J. M., 2019, "Elaboración de un Modelo de Exoesqueleto de Hombro mediante OpenSim®," pp. 206-207.

[2] Kate Bachman, 2019, "Los exoesqueletos aumentan la productividad y reducen las lesiones durante el ensamble, el acabado y la unión de partes," The fabricator espanol, 14, 52.

[3] Parent-Thirion, A., Biletta, I., Cabrita, J., Vargas Llave, O., Vermeylen, G., Wilczyńska, A., Wilkens, M., (2016), Eurofound, "Sixth European Working Conditions Survey." Reporte General (2019).pp. 42-44, disponible en: https://www.eurofound.europa.eu/es/publications/report/2016/working-conditions/sixth-european-working-conditions-survey-overview-report.

[4] Pacífico I., Scano A., Guanzilori E., Moisé M., Morelli L., Chiavena A., Romo D., Spad S., Giuseppe C., Molteni F., Giovachinni F., Vitiello N. y Crea S., 2020, "An experimental Evaluation of the Proto-MATE," p. 55, IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 27(1), Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8952904

[5] Tibaduiza, D., Chio, N., Grosso, J. M., & Anaya, M., 2009, "Diseño de un exoesqueleto mecatrónico de brazo basado en screws and robots paralelos, " 2do Congreso Internacional de Ingenierıa Mecatrónica.

[6] Cardona, M. A. C., Spitia, F. R., & López, A. B., 2010, "Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación," Revista Ingeniería Biomédica, 4(7), pp. 63-73.

[7] SKELEX, 2020., de URL: https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/

[8] COMAU. 2020, MATE de URL: https://mate.comau.com/

[9] OTTOBOCK, 2020., de URL: https://paexo.com/paexo-shoulder/?lang=es

[10] EKSOBIONICS, 2020., de URL: https://eksobionics.com/ekso-evo/

[11] LEVITATE TECHNOLOGIES INC., 2020, de URL: https://www.levitatetech.com/airframe/

[12] Diario oficial de la federación. Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2017 Factores de riesgo ergonómico en el trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. CDMX, México. 2017. p. 44.

[13] Diario oficial de la federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. CDMX, México. 2008. p. 11.

[14] Diario oficial de la federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. CDMX, México. 1999. p. 7

[15] ASME, Norma ASME Y14-5 2009, Estándar de dimensionamiento y Tolerancias. p. 216.

[16] Guerra A., 2016, "Patología del Hombro, Pinzamiento subacromial," recuperado de: https://www.texum.es/wordpress/patologia-del-hombro-pinzamiento-subacromial/

10. TERMINOLOGÍA

Espacio acromio-humeral: Este espacio se sitúa entre la cabeza del húmero y el arco coracoacromial; y alberga los tendones del manguito rotador, el tendón de la porción larga del bíceps y la bursa subacromiodeltoidea.

Acromion: Apófisis del omóplato, con la que se articula la extremidad externa de la clavícula.

Húmero: Hueso del brazo, que se articula por uno de sus extremos con la escápula y por el otro con el cúbito y el radio.

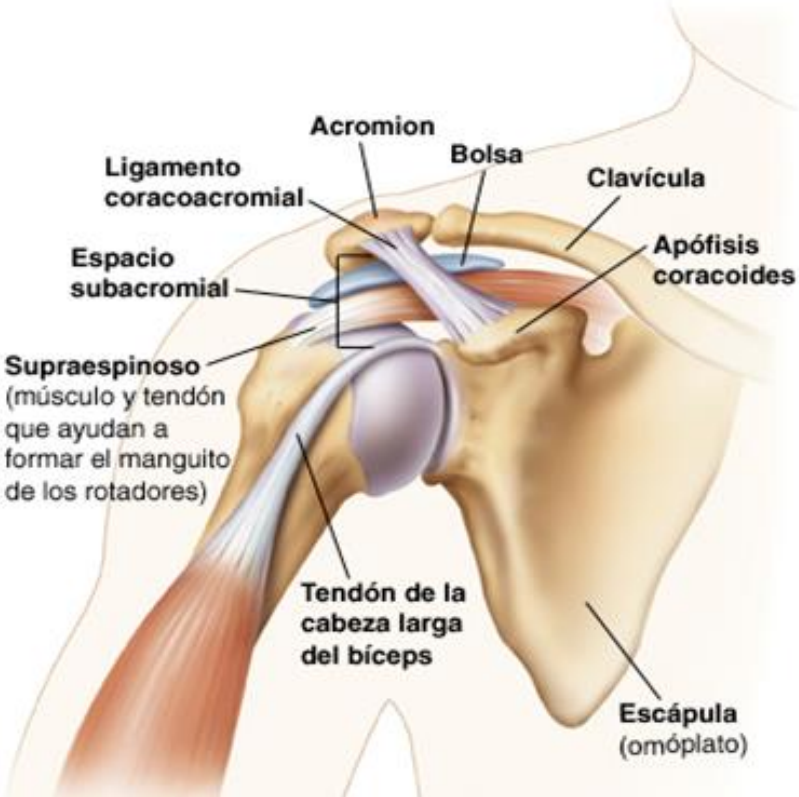


Figura 2. Anatomía del hombro (Guerra A., 2016) [16].

11. INFRAESTRUCTURA

No es necesaria.

12. ASESORÍA COMPLEMENTARIA

No es necesaria.

13. PUBLICACIONES O DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS

No se tiene la intención de publicar.