

REDISEÑO DE BRAZO MECÁNICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE MECATRÓNICA

César Reyes Rodríguez¹, José de Jesús Robledo Córdova², José Luís Viramontes Reyna², Edgar Froylan Valdés Mata¹

[1] Alumno de Posgrado, [2] Universidad Tecnológica de San Luis Potosí. Pról. Av. de las Américas No.100, Rancho Nuevo Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. México; Apartado Postal 1-16, Código Postal 78430.

creyes@utslp.edu.mx; jrobledo@utslp.edu.mx; jviramontes@utslp.edu.mx; evaldes@utslp.edu.mx

RESUMEN.

En este artículo se presenta el rediseño mecánico de un brazo, seleccionando elementos mecánicos, materiales, cálculo de torque, ajustes y tolerancias, buscando tener precisión con carga de trabajo asignada en el brazo mecánico para realización de prácticas de laboratorio.

El cálculo de torque en el brazo para selección del motor adecuado y distribución del centro de masas para elementos ensamblados, el cálculo es seleccionando ajustes usando interferencia, selección de materiales con baja densidad, alta resistencia, y realización de planos como apoyo.

Este proyecto permite a los alumnos aplicar las estrategias para realización de prácticas y proyectos utilizando los brazos en su totalidad como complemento en su formación.

Palabras clave

Brazo, rediseño, torque.

INTRODUCCIÓN

El principal motivo para realizar el rediseño se fundamenta en el resultado aprendizaje del proceso de evaluación para alumnos de la Universidad Tecnológica de San Luis Potosí, un brazo mecánico en la Universidad se utiliza para enseñar lo último en tecnología, estar a la vanguardia y poder actualizar maquinaria, procesos, mencionando algunas tenemos:

a) La aplicación de pintura; b) La aplicación de soldadura; c) Ensamblajes; d) Rutinas de laboratorio; e) Experimentación; f) Manipulación; g) Celdas flexibles de manufactura; h) Automatización de procesos; i) Alimentación de máquinas. [12]

Las materias por mencionar algunas relacionadas son "Sistemas Manufactura Flexible" en los objetivos de esta materia es que el alumno empleará programas e integrará brazos manipuladores para ejecutar aplicaciones industriales logrando optimización, mejora e innovación de procesos de manufactura; otra materia relacionada es "Robótica" el objetivo de esta materia es que alumno realizará el programa de control para un brazo mecánico en procesos de manufactura.

El interés es por el resultado-aprendizaje del alumno, y la cantidad de equipos de brazos mecánicos que hay en la Universidad, los equipos en totalidad son 20 con la misma característica y sin utilizar en la Institución, el brazo debe cargar 0.500 kilogramos.



En el rediseño mecánico se pretende seleccionar elementos mecánicos, materiales, también calcular la resistencia de materiales en cualquier posición del área de trabajo, y los ajustes óptimos, buscando tener precisión, repetitividad con la carga de trabajo asignada en el robot semi-industrial, y como resultado lograr que el robot Labot pro-5 tenga la capacidad para un buen funcionamiento continuo de trabajo.

Figura 1 Brazo mecánico. [12]

FUNDAMENTOS

Partiendo de la premisa de optimizar y facilitar el proceso reconstructivo del brazo mecánico, se ha seleccionado como material para los separadores y algunos engranes el poliuretano de alta densidad, que posee una resistencia mecánica adecuada para las condiciones de trabajo del brazo mecánico, de sencilla maquinabilidad, una densidad menor comparada con el aluminio o el acero lo cual permite reducir el peso, además de que es auto lubricante por lo que presenta un bajo coeficiente de fricción, reduciendo así la presencia de cualquier carga que pueda ocasionar esfuerzos adicionales en los actuadores generadores de potencia que posee el manipulador. [1]

Tabla 1. Propiedades del poliuretano de alta densidad.

Esfuerzo de resistencia última a la tracción (S_{Ut}) [MPa]	60
Esfuerzo de resistencia última a la compresión (S_{Uc}) [MPa]	68.9
Densidad (ρ) [kg/m^3]	1220
Coefficiente de fricción	0.19

Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa, entre otras consideraciones, en sus propiedades mecánicas. [11]

La selección de acero, para la fabricación del engrane base, ya que el acero se definen como una aleación de hierro-carbono. Es la categoría más importante dentro del grupo de metales ferrosos. [13]

Tabla 2 Resistencia de cizallamiento para distintos materiales.

MATERIALES	RESISTENCIA DE CIZALLAMIENTO
ACERO	0.75
ALUMINIO	0.60
ACERO	0.75
COBRE	0.90
FUNDICIÓN MALEABLE	0.90
FUNDICION DE HIERRO	1.30

En la tabla 2 se muestra la resistencia de cizallamiento que permite seleccionar el material de acuerdo al resultado obtenido del cálculo de esfuerzo de cizallamiento o cortante. [6]

Dimensiones y ensamble

De forma breve y sencilla se muestra el ensamble de partes donde se tienen ajustes y tolerancias [9] que se deben utilizar para un buen funcionamiento y no dejar que se lleguen a atener holgura de las piezas del brazo mecánico.

Para poder clasificar y valorar la calidad de las piezas reales se han introducido las tolerancias dimensionales, mediante estas se establece un límite superior y otro inferior, dentro de los cuales tienen que estar las piezas buenas. [10]

Distribución de masas

Para un cuerpo rígido que tiene la libertad de moverse en tres dimensiones, hay un número infinito de posibles ejes de rotación. En el caso de la rotación sobre un eje arbitrario necesitamos una forma completa de caracterizar la distribución de la masa de un cuerpo rígido. [2]

El momento de una fuerza respecto a un eje.

El torque "T" es el producto de la fuerza "F" por la distancia del brazo "d" que genera el momento, el valor del momento producido por una fuerza dada depende del eje elegido. La elección de un eje es completamente arbitraria. En muchos casos, sin embargo, una elección adecuada del eje respecto del cual tienen que ser calculados los momentos de las fuerzas simplifican mucho un problema, porque puede reducir a cero el momento de una fuerza cuya magnitud o dirección es desconocida.

$$T = F d \quad (1)$$

El momento o torque de una fuerza es el producto de una fuerza y una distancia. Retomando el concepto de momento de una fuerza con respecto a un punto se puede hacer notar que las componentes rectangulares como se ve en la Fig. 2, que representan la tendencia a la rotación alrededor de los ejes coordenados se obtienen proyectando el momento sobre cada uno de los ejes. [3]

$$M_x = M_o \cos\theta_x; \quad M_y = M_o \cos\theta_y; \quad M_z = M_o \cos\theta_z; \quad (2)$$

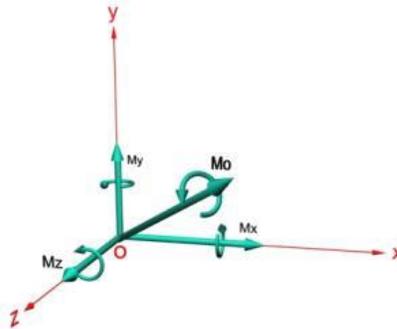


Figura 2 Representación de tendencia del momento

Potencia

La relación entre potencia y par motor es:

$$P = \frac{T}{2\pi f} \quad (3)$$

$P = \omega T$, siendo ω la velocidad angular en radianes/segundo, T el momento de torsión o torque, P la potencia. Como $\omega = 2\pi n$ (rpm) /60. [4]

Esfuerzo cortante

La relación entre el esfuerzo cortante, de cizallamiento o tangencial es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano que los resiste.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Los esfuerzos cortantes se producen en un cuerpo cuando las fuerzas aplicadas tienden a hacer que una parte del cuerpo se corte o se deslice con respecto a la otra sección. [4]

Factor de seguridad

Existe una relación lineal entre una carga y el esfuerzo producido (1), y el factor de seguridad se expresa como:

$$F.S. = \text{Esfuerzo final} / \text{Esfuerzo Admisible} \quad (5)$$

El software de diseño

Se utilizó Inventor® profesional [7] como herramienta de diseño del brazo mecánico, así mismo se aprovecharon las ventajas de simulación con las que cuenta este software para evaluar su posible desempeño.

El brazo mecánico está articulado [8] de 5 grados de libertad, cada pieza fue dibujada en Inventor® y al finalizar el modelado de las piezas, se realizó un ensamble virtual para hacer con las modificaciones y adaptaciones que fueran necesarias hasta que arrojaran un resultado satisfactorio, el ensamble prueba.

Una vez que se completó el ensamble de manera satisfactoria utilizando el software de diseño se inicia con las simulaciones, como un análisis de colisiones entre piezas, aprietes entre piezas, excesos de cargas y carga total para la distribución de masas.

PROCEDIMIENTOS

El torque (T) que se genera para el motor-reductor que se encuentra en el hombro y con carga en el extremo, se pueden ver estas reacciones en la Figura 3.

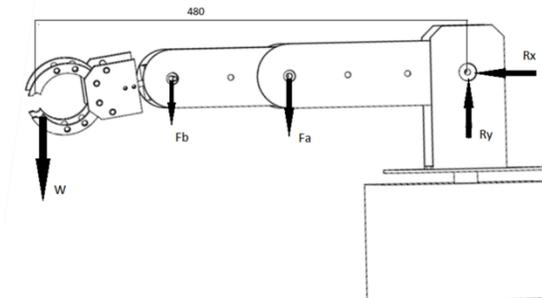


Figura 3 Diagrama de cuerpo libre del brazo con carga (acotación milimétrica).

En el cálculo de reacciones, se tiene que incluir la carga.

$$\Sigma F_y = 0 \quad - 4.905 \text{ N} - 3.1862 \text{ N} - 6.1234 + R_y = 0$$

$$R_y = 14.2146 \text{ N}$$

$$T = R_y d; \quad T = (14.2146 \text{ N})(0.48 \text{ m}) = 6.823 \text{ N}\cdot\text{m}$$

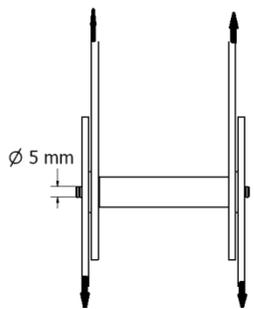
Para encontrar la potencia requerida del motor utilizando el par de elevación a una velocidad de 3 m/min y el torque generado en la posición horizontal.

$$P = \frac{T}{2\pi f}$$

$$3 \text{ m/min} = 0.05 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{6.823 \text{ N}\cdot\text{m}}{2\pi(0.05 \text{ m/s})} = 21.7182 \text{ W}$$

Diagrama de cuerpo libre para el codo se utilizara para el cálculo del esfuerzo cortante de los materiales se muestra en la Figura 4.



Para realizar este cálculo de esfuerzo cortante nos apoyaremos de las fórmulas de esfuerzo cortante.

Figura 4 Diagrama de cuerpo libre para cortante del codo.

Datos:

Diámetro del perno de cortante = $5 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$A = (2)\pi(2.5 \times 10^{-3})^2 = 3.9269 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{cortante}}}$$

$$\tau = \frac{6.1234 \text{ N}}{3.9269 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \quad \tau = 155.934 \text{ kPa}$$

Para el hombro, que tiene un diagrama de cuerpo libre similar al de la Figura 5, cambiando a un diámetro de 8 mm.

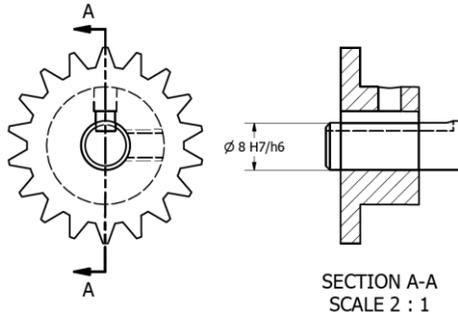
$$A = \pi(4 \times 10^{-3})^2 = 5.0265 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{14.2084N}{5.0265 \cdot 10^{-5} m^2}$$

$$\tau = 282.669 \text{ kPa}$$

Ajustes y Tolerancias

Catarina y flecha: Para la catarina (ver Figura 5) es quien da movimiento al antebrazo se indican unos valores para seleccionar de acuerdo con la clasificación del tipo de ajustes conforme a su aplicación según la recomendación ISO. [9]



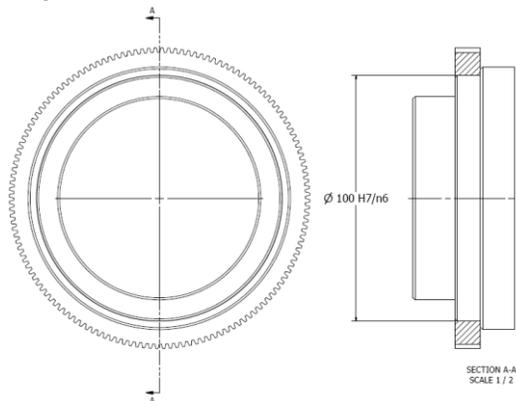
Según datos del tipo de ajuste para el ensamble se seleccionó "ajuste deslizante" **8 H7/h6**.

$$\text{Diámetro del agujero} = 8 \begin{pmatrix} +0.015 \\ 0.000 \end{pmatrix}$$

$$\text{Diámetro del eje} = 8 \begin{pmatrix} -0.005 \\ -0.014 \end{pmatrix}$$

Figura 5 Ensamble de catarina con flecha de motor

Engrane base que transmite el movimiento de la cintura del brazo; ver Figura 6



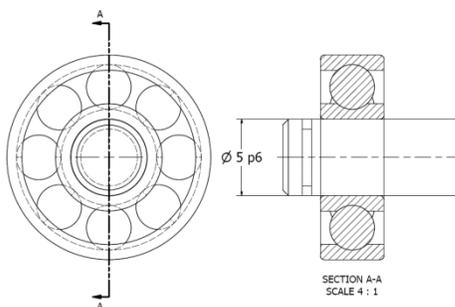
Según datos del tipo de ajuste para el ensamble se seleccionó "ajuste transición localizada" **100 H7/n6**.

$$\text{Diámetro del agujero} = 100 \begin{pmatrix} +0.035 \\ 0.000 \end{pmatrix}$$

$$\text{Diámetro del eje} = 100 \begin{pmatrix} -0.055 \\ -0.023 \end{pmatrix}$$

Figura 6 Ensamble de engrane con la base.

Eje en el rodamiento: Se ensambla con el rodamiento del codo que da movimiento al antebrazo (ver figura 7) se indican unos valores para seleccionar de acuerdo con la clasificación del tipo de ajustes conforme a su aplicación según la recomendación ISO.



Según datos del tipo de ajuste para el ensamble de la flecha con la pista interna del rodamiento se seleccionó "ajuste de interferencia localizada" **5 p6**

$$\text{Diámetro del eje} = 5 \begin{pmatrix} +0.012 \\ +0.020 \end{pmatrix}$$

Figura 7 Ensamble de flecha de codo.

Materiales

Tabla 3 Comparativo de materiales para el engrane base, cuña para la catrina y separador.

Material	Resistencia a la tensión MPa.	Resistencia a la deformación MPa.	Coefficiente de fricción con respecto al acero
Acero bajo carbono	300	175	0.57
Acero alto carbono	400	400	0.57
Nylomaq SL	75.8	103	0.2
Nylomaq BLUE	82	103	0.2

En la tabla se seleccionaron los materiales más adecuados para el trabajo que debe realizar el brazo mecánico.

Separador de rodamientos

En la Tabla 3 se indican los materiales a seleccionar, donde los más acorde a cumplir con el trabajo, la finalidad del separador es darle movimiento a los eslabones como se ve en la figura 8, este beneficio aplicaría en la fabricación de todos los separadores.

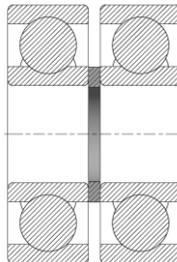


Figura 8 Corte del separador de rodamientos.

En la imagen se nota que los rodamientos van separados por la pieza que se ha diseñado solo trabajando en las pistas interiores de los rodamientos.

Cuña para la catarina y flecha

En la figura 9 se muestra la cuña que es utilizada en los mecanismos para transmitir potencia, en la selección de ella necesitamos basarnos de la tabla 4 que muestra la resistencia a la deformación y de la tabla 2 de resistencia de cizallamiento

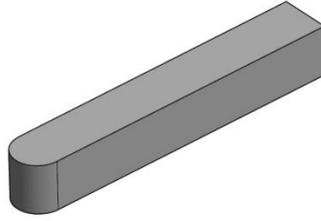


Figura 8 3D de la cuña que transmite potencia de la flecha del motor a la catarina.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al mostrar los resultados del esfuerzo cortante, el factor de seguridad queda demasiado elevado utilizando la tabla 2. La tabla 3 arroja valores para selección de materiales que involucra el engrane base, cuña y separador, y respectivamente la selección queda de la siguiente manera, se utilizara acero al alto carbono, acero de bajo carbono, y nylamid SL. Los ajustes y tolerancias son seleccionados de acuerdo a lo sugerido en Diseño de Shigley. Los valores de torque y potencia son de gran ayuda en la selección de un motor-reductor óptimo. En la distribución de masas el resultado que se utiliza en la obtención de casi todos los cálculos mencionados.

En el análisis se podría decir que el brazo no cumple con el diseño apropiado para lo asignado que es con una carga nominal de 0.500 kilogramos, si se sigue haciendo un análisis más profundo se puede encontrar con más detalles del diseño original.

CONCLUSIONES

Con el cálculo del torque y la potencia se corrobora que el motor-reductor no es el adecuado aun así aunque las masas estuvieran bien distribuidas, lo cual no lo están por lo que se necesita realizar modificaciones en las masas utilizando plomo en lugar de acero, seguido de la distribución de masas se opta por seleccionar un motor-reductor que soporte el torque y tenga la potencia con factor de seguridad mayor a 3 o 4.

Los ajustes y tolerancias ayudan en los movimientos debido a que no se tendrá holgura que provoca la poca precisión, para la cuña y el separador no se contaba con estos elementos y al sugerirlos se necesitaba seleccionar un material, en el engrane base se selecciona otro material por uno que pudiera tener alta resistencia y no desgastarse muy rápido soportando un ensamble de interferencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **PYTEL, ANDREW y SINGER, FERDINAND L.** ESFUERZO CORTANTE. *RESISTENCIA DE MATERIALES*. MÉXICO : OXFORD, 1994.
2. **Javier, Suarez Quiroz.** *DISEÑO E INGENIERÍA CON AUTODESK INVENTOR*. México : PRENTICE-HALL, 2006. 9788483223321.
3. **GRAIG, JHON J.** ROBÓTICA. *ROBÓTICA*. MÉXICO : PRENTICE HALL, 2006.
4. **QUIÑONES., SERGIO RODRÍGUEZ.** Aplicaciones de recoemndación ISO. *TOLERANCIAS DIMENSIONALES*. Rinconada del Arco No. 6 Buena Vista, Cuernavaca, Morelos (México) : PARADIGMA EDITORIAL, 1992.
5. **Budynas–Nisbett.** *Shigley’s Mechanical Engineering Design*,. United Estates of America : MacGraw-Hill, 2006.
6. **Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston, Jr.** Mecánica de Materiales. Naucalpan de Juárez, Edo. de México : McGraw-Hill Inc. U.S.A., 1981.
7. **BEER y JOHNSTON, MAZUREK, EINSENBURG.** Momenot de una Fuerza. *MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS, ESTATICA*. México : Mc Graw Hill, 2001.
8. **13. ERDMAN, ARTHUT G. DISEÑO DE MECANISMOS . [aut. libro] GEORGE N. SANDOR.** Mecanismos. [aut. libro] EORGE N. SANDOR. *ANÁLISIS Y SINTESIS*. . México : PRENTICE, HALL, 1998.
9. **MARCILLA, M. BELTRAN y A. POLIMEROS.** PROCESOS Y PROPIEDADES. *TECNOLOGÍA DE POLIMEROS. PROCESOS Y PROPIEDADES*. . MÉXICO : UNIVERSIDAD ALICANTE., 1992.
10. **L., GILBERTO MERCADO.** *ESPECIFICACIONES ROBOT BRAZO MANIPULADOR CRYA LABOT PRO-5. CONTROL ROBOTICA Y AUTOMATIZACIÓN*. México : CORROB CRYA., CORROB CRYA., 2001. 2.
11. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO MECÁNICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD*. **YUGAT, JESÚS OTERO**. No. 39, PEREIRA URUGUAY : Scientia et Technica , 2008, Vol. XIV. ISSN 0122-1701.
12. **K.S. FU, R.C. GONZALEZ, C.S.G. LEE.** ROBOTICA. *CONTROL DIRECCIÓN, VISIÓN E INTELIGENCIA*. MADRID, ESPAÑA : MC GRAW HILL, 2004.
13. **GROOVER, MIKELL P.** *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*. MÉXICO : PRENTICE HALL, 1997.