

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
OCCIDENTE**

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de apoyo a centros de investigación externos



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

4G03 Programa de apoyo a centros de investigación externos

**Mejoramiento de reductor de velocidad cicloidal para manipuladores robóticos en el
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Lic. En Ingeniería mecánica. Luis Antonio Alvarez Luquin

Profesor PAP: Dr. Luis Enrique González Jiménez

Dr. César Real Díez Martínez

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2022

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP.....	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen.....	0
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional	1
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	2
1.2 Caracterización de la organización	11
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	12
1.4. Planeación de alternativa(s)	12
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora.....	17
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos.....	33
1.7. Bibliografía y otros recursos	34
2. Productos.....	35
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia	36
3.1 Sensibilización ante las realidades.....	36
3.2 Aprendizajes logrados.....	37

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El presente PAP, es continuación de un proyecto iniciado como parte del trabajo de obtención de grado del Dr. Cesar Real Diez, el cual abordó el proceso y desarrollo del diseño de un reductor cicloidal que pudiera ser utilizado en un manipulador robótico. El objetivo de este proyecto es lograr un nuevo diseño de reductor que permita la incorporación de piezas de línea, así como la simplificación y mejora de componentes con la finalidad de reducir el “backlash” del sistema y mejorar su precisión de posición. Para el logro de este propósito, se plantearon tres objetivos específicos: Sustituir elementos de máquina por rodamientos y/o pernos de línea rectificadas, rediseñar los componentes cuya manufactura resultara compleja o cuyo ensamble estuviera conformada por varias piezas, verificar mediante simulación que el sistema redujera la velocidad angular requerida de 64:1 con las mejoras propuestas.

Para lo anterior se estudiaron las problemáticas existentes en el diseño del reductor previamente hecho por el Dr. Cesar Real y utilizando una metodología deductiva se logró partir de la problemática general para después atender cada elemento en específico centrándose en el diseño a detalle del componente.

Se logró optimizar el diseño del reductor cicloidal, así como validar su correcto funcionamiento mediante un análisis de movimiento creando así un sistema más sencillo de manufacturar que tiene menos “backlash” al reducir las tolerancias entre componentes.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

Metodología

Para este proyecto se siguió una metodología deductiva la cual consistió en partir de la problemática general que presentaban los primeros prototipos de los reductores cicloidales para de ahí poder atender cada elemento en específico.

Por otra parte, se definieron las siguientes 4 etapas del proyecto:

1. Análisis de la problemática.
2. Propuestas de diseño y mejora de componentes para la reducción de “backlash”.
3. Simulación y análisis de movimiento del reductor en SolidWorks con los nuevos componentes y mejoras propuestas.
4. Manufactura y ensamble de nuevo prototipo de reductor.

Como primer paso se realizó un análisis a detalle de los prototipos ya existentes del reductor cicloidal y como resultado se pudieron identificar cuáles eran las áreas de mejora y cuáles eran los principales componentes que contribuían al aumento de “backlash” y que a su vez causaban imprecisiones en la posición radial en el reductor. Es por esto que se decidió modificar estos elementos para que estas estuvieran diseñadas de tal forma que sus tolerancias de dimensión fueran más cerradas contribuyendo así a disminuir el “backlash” en el ensamble.

Una vez analizado el reductor e identificado la problemática se definió el objetivo del proyecto el cual se explica a continuación.

Objetivo general

Generar un nuevo diseño de reductor cicloidal que permita la incorporación de piezas de línea, así como simplificación y mejora de componentes con la finalidad de reducir el “backlash” del sistema y mejorar su precisión.

Objetivos específicos

- Sustituir los bujes actuales por rodamientos de línea rectificadas.
- Diseñar una nueva flecha excéntrica que se pueda manufacturar en una sola pieza.
- Diseñar un nuevo disco central que permita sustituir los pines por pernos rectificadas.
- Simular un análisis de movimiento en SolidWorks para verificar que el sistema reduzca la velocidad requerida de 64:1.
- Realizar los planos de manufactura del nuevo modelo con su respectivo análisis de tolerancias.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

Este proyecto se realizó con la finalidad de mejorar un modelo de reductor cicloidal previamente diseñado y manufacturado por el Dr. Cesar Real Diez (Figura 1) como parte de su trabajo de doctorado y el cual pretende ser utilizado en un manipulador robótico (Figura 2) con el objetivo de generar un prototipo de manipulador de alta precisión que utilice la tecnología de reducción de velocidad a través de reductores cicloidales y pueda ser utilizado en la industria como un alternativa viable de los manipuladores previamente existentes en el mercado.

Esta propuesta de utilizar este tipo de reductor nace de las ventajas que conlleva el emplear engranes cicloidales en la caja de velocidad del manipulador en lugar de los engranes de involuta tradicionalmente utilizados, ya que con este modelo se consigue reducir considerablemente el tamaño de la caja reductora y mejora su eficiencia en la transmisión de torque.

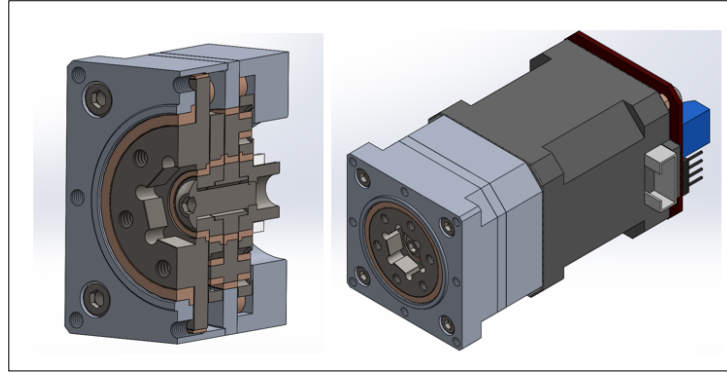


Ilustración 1 – Reductor cicloidal hecho por el Dr. César Real.

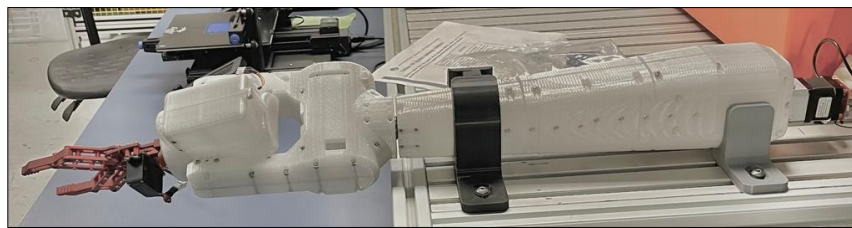


Figura 1.1 – Manipulador al que va ensamblado el reductor cicloidal.

A continuación, se muestra los principales datos que ayudan a entender los fundamentos y el contexto de la tecnología de reductores cicloidales, así como también se da un breve resumen de los resultados previamente obtenidos con el primer prototipo de reductor fabricado por el Dr. Cesar Real.

¿Qué es un reductor de velocidad?

Todo aquel mecanismo que necesite operar bajo una velocidad angular generada por un motor requiere que dicho movimiento proporcionado al sistema se adapte a una velocidad específica para que el mecanismo tenga un buen funcionamiento. Esta adaptación se realiza generalmente con arreglos de uno o varios pares de engranes de involuta los cuales adaptan la velocidad y potencia mecánica que entra al sistema, a este tipo de arreglos son a los que se les denomina como un reductor de velocidad [1].

Es por esta razón que usar un reductor de velocidad en un manipulador robótico permite tener un mayor torque a la salida, lo que ayuda a romper la inercia inicial ayudando al manipulador operar y mover cosas con mayor facilidad.

Sin embargo, estos arreglos de engranes de involuta resultan ser poco eficientes con el espacio ya que ocupan gran volumen para lograr reducciones de velocidad considerables debido a que el principio que rige a los reductores de engranes de involuta son las ecuaciones de “Relación de engranaje” las cuales dictan la relación que existe entre la potencia, el torque, la velocidad angular y la velocidad tangencial. Dichas ecuaciones determinan que por ejemplo si se quisiera lograr la misma reducción de 64:1 que se espera conseguir con el diseño de reductor cicloidal este proyecto, pero usando dos engranes de involuta se requeriría que para un diámetro de paso del engrane A igual a 10 cm el engrane B tendría que tener un diámetro de paso de 640 cm para que a la salida se lograra tener una reducción de 64:1 de la velocidad angular que entra al engrane A, como se ve en la figura 1.2. Y es por esta razón que como se mencionaba anteriormente este tipo de arreglos no son la mejor alternativa cuando se vana trabajar con espacios limitados como es en este caso, ya que se necesita que el modelo de reductor se adapte al espacio del manipulador antes presentado.

Ejemplo de la aplicación de las ecuaciones de engranaje:

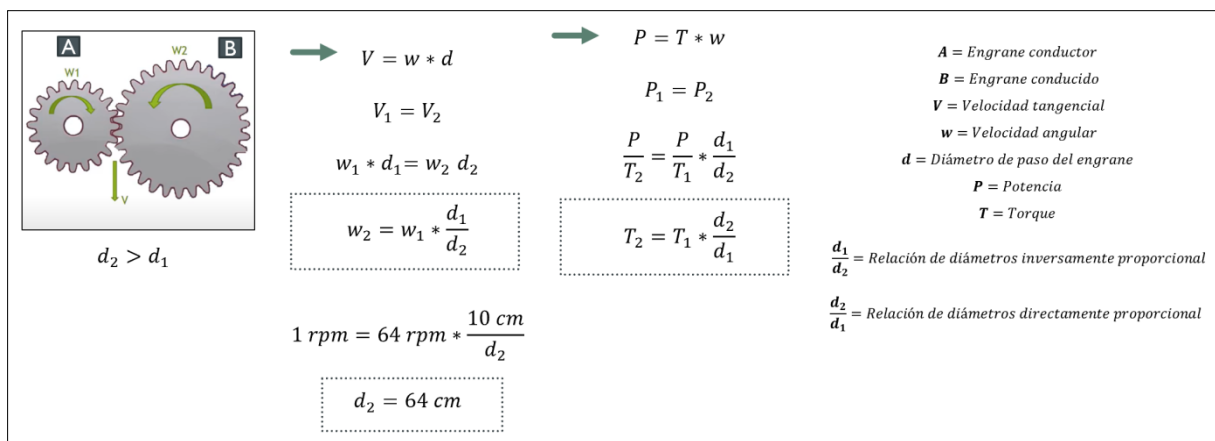


Figura 1.2 – Ejemplo de la aplicación de las ecuaciones de engranaje.

¿Qué es un reductor de velocidad cicloidal?

Dentro de los reductores de ejes móviles se encuentran los reductores cicloidales, que consisten básicamente en un engrane con perfil cicloidal accionado por un eje excéntrico que rueda dentro de un anillo con rodamientos, de tal manera que el engrane gira a una velocidad reducida en sentido opuesto al eje excéntrico como se muestra en la figura 1.3 [2].

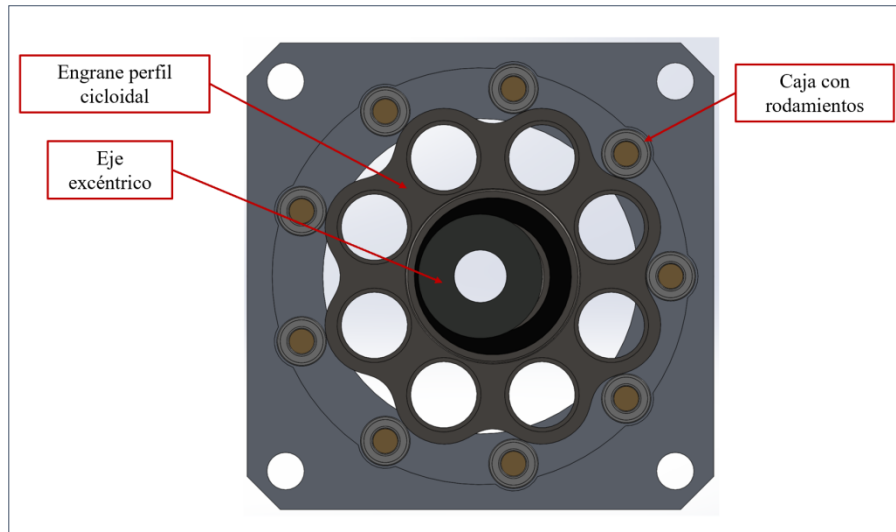


Figura 1.3 – Corte de sección del ensamblaje del reductor cicloidal.

Estos reductores cicloidales fueron desarrollados por primera vez por el ingeniero alemán Lorenz Konrad Braren en el año de 1931, y el concepto se basa en el funcionamiento del obturador de las cámaras fotográficas [2].

Funcionamiento y ventajas de los reductores cicloidales

Como se mencionó anteriormente los engranes de involuta son actualmente los más utilizados para la fabricación de reductores de velocidad, sin embargo, este tipo de engranes presentan algunas desventajas en la operación ya que a pesar de tener una transmisión de potencia precisa ocupan un gran volumen para lograr la reducción de dicho par. Por otro lado, los engranes de dientes rectos tienden a provocar más vibraciones durante su funcionamiento debido a un bajo número de puntos de contacto ente sus dientes, como se puede ver en la figura 2.

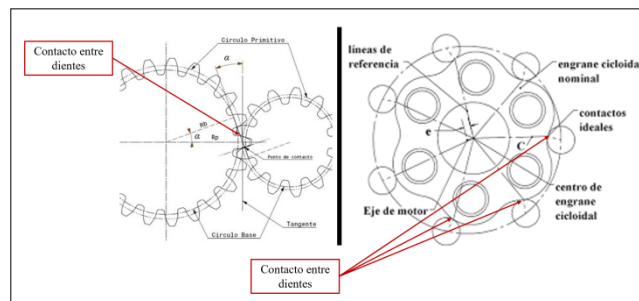


Figura 2 – Diferencias entre el contacto entre un engrane de involuta (lado izquierdo) y un engrane cicloidal (lado derecho).

Por lo que los reductores de velocidad cicloidales cumplen la misma función que los reductores con engranes de involutas sin embargo el utilizar un perfil cicloidal garantiza ciertas ventajas en el funcionamiento del sistema debido a sus características. Dichas ventajas son las siguientes:

- Tienen una reducción considerable de velocidad en un espacio mucho más reducido, debido a que cuentan con menos componentes.
- Alta capacidad de carga a torsión, debido a que la mitad de sus dientes están en contacto simultáneamente cuando este está en operación.
- Tiene un funcionamiento silencioso ya que a diferencia de los engranes de involuta hay menos puntos donde no hay contacto.
- Su mantenimiento es más sencillo gracias a su bajo número de piezas.

Ahora para calcular la tasa de reducción de un reductor cicloidal es necesario usar la ecuación de Blagojevic, la cual dicta que para encontrar la tasa de reducción de un sistema se tiene que multiplicar número de dientes del disco cicloidal de la etapa 1 que en este caso era de 8 por el número de rodillos de la flecha de salida que de igual forma se contaban con 8 rodillos en esta pieza, como se muestra en la figura 2.1 [3].

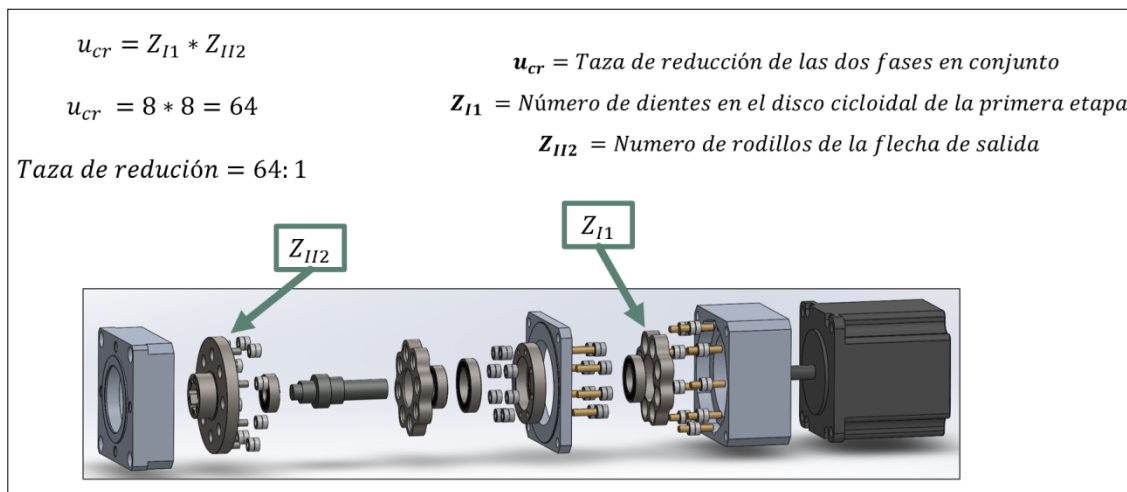


Ilustración 2.1 – Cálculo de la tasa de reducción para un reductor de velocidad cicloidal.

A continuación, se muestra un ejemplo del funcionamiento de estos reductores y la relación que existe entre el torque y velocidad angular, ya que para una entrada de velocidad angular

de 64 rpm y de 1 N*m de torque a un reductor comuna taza de 64:1 se obtiene como resultado que la velocidad angular del sistema a la salida disminuye hasta 1 rpm pero el torque aumenta hasta 64 N*m como se ve en la figura 2.2.



Ilustración 2.2 – Ejemplo relación de torque y velocidad angular.

¿Qué es el “Backlash”? y ¿Por qué es importante reducirlo?

La holgura o “backlash” es un fenómeno que se presenta cuando dos piezas mecánicas no encajan perfectamente (véase figura 3), ocasionando que la transmisión del movimiento se interrumpa cuando el elemento propulsor no hace contacto con el elemento de transmisión del movimiento. En la figura 3 se ilustran dos bloques donde el acoplamiento presenta “backlash”. El bloque superior cuenta con un diente de ancho d , mientras que el inferior tiene una muesca de ancho D . El desplazamiento de la pieza superior se indica por x_1 , mientras que x_2 indica el desplazamiento de la pieza inferior. La transmisión es posible si $D \geq d$ y el “backlash” se presenta cuando $D > d$. [2]

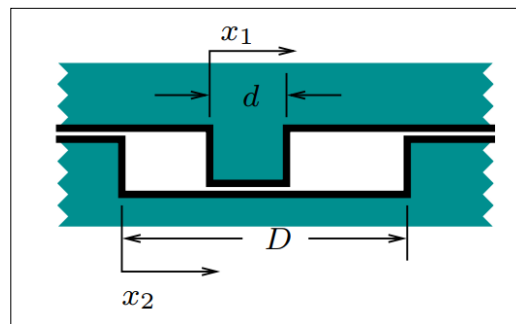


Figura 3 - Ilustración de las piezas mecánicas con “backlash”.

Es importante destacar que este fenómeno está presente en todos aquellos mecanismos que se encuentren en movimiento y en los cuales todas las holguras combinadas entre cada uno de sus componentes causan que el sistema presente inexactitudes de posición.

Por otro lado, es importante mencionar que este fenómeno es una consecuencia de las tolerancias que se presentan en la manufactura de todas las piezas y cuyas causas son muy amplias ya que dependen de cada proceso de fabricación, generalmente se atribuye su aparición debido a vibraciones o movimientos inexactos de las maquinas con las que se fabrican las piezas.

Sin embargo, aunque reducir esta holgura ayuda a incrementar precisión del sistema es imposible eliminarlo por completo, ya que siempre se van a presentar pequeñas desviaciones entre las medidas nominales de un modelo de CAD y las piezas manufacturadas, además de en algunos casos resulta contraproducente erradicar este fenómeno ya que eliminar esta holgura por completo ocasionaría que el mecanismo no se pudiera mover, debido a que los mecanismos dependen de que exista un espacio entre sus componentes para funcionar correctamente, y sin “backlash” las piezas se amarrarían por lo que no podrían girar y moverse una vez que estuviera ensamblado el mecanismo.

Por ello que se puede decir que lo que se busca en realidad no es la eliminación del “backlash” sino su reducción para encontrar la configuración en la que no se afecte la exactitud del sistema, pero que a su vez los componentes puedan moverse con libertad una vez armado el mecanismo. Ahora es importante agregar que no en todas las piezas es necesario reducir este fenómeno ya que la aplicación de técnicas más precisas de manufactura para reducir las holguras entre componentes implica un mayor costo por lo que se tiene que hacer un profundo análisis para determinar que piezas aportan más al “backlash” del sistema y hacer estas mas precisas cuidando que aquellas piezas que no contribuyen a la presión o funcionamiento del mecanismo puedan manufacturarse sin tanta precisión buscando cuidar los costos de manufactura.

Manufactura y resultados del primer prototipo hecho por el Dr. Cesar Real

Primeramente, se manufacturaron los componentes para ensamblar 4 prototipos completos, más un juego excedente de rotores cicloidales de menor medida nominal, dichas piezas excedentes se diseñaron con distintos ajustes, bujes y pernos fuera de los especificado en los

planos para compensar errores en la manufactura y determinar experimentalmente el valor más adecuado para la holgura, véase la figura 4.

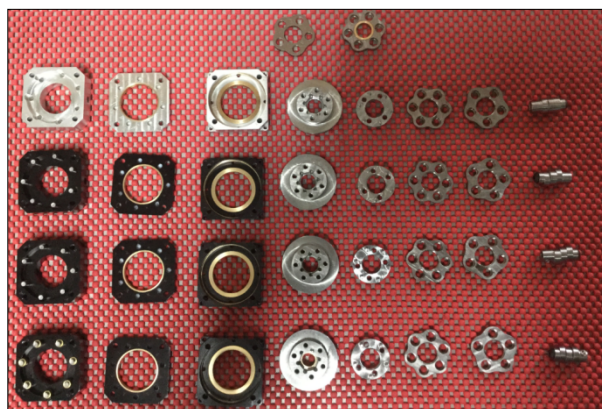


Figura 4 – Piezas del reductor coloidal para motor NEMA 17.

Posteriormente se procedió a la inspección de las dimensiones de las piezas manufacturadas, prestando especial atención en los elementos que tienen una fuerte influencia en el “backlash”, por lo que se efectuó la inspección con dos distintos instrumentos de medición una con instrumentos tradicionales (Vernier, micrómetro) y otra por medio de un escáner de luz azul, de esta manera aprovechando las ventajas de ambos métodos, se identificaron aspectos de mejora en la manufactura y otras variables que no se habían previsto como excentricidades entre componentes, o barrenos inclinados [3].

Una vez realizada la inspección de las medidas de las piezas se procedió a comprobar experimentalmente la holgura entre los componentes por lo que se aplicó un método gráfico para determinar el “backlash” de los reductores y como resultado de este análisis se obtuvieron las gráficas de la holgura donde se muestran los resultados de dos experimentos similares, para el caso de este análisis se inspeccionaron dos reductores diferentes a los cuales se les denominó como reductor A y reductor B, siendo el reductor A el que tenía sus medidas más cercanas a las nominales, dicha conclusión se realizó después de la inspección de los componentes antes mencionada y como resultado de la aplicación del método gráfico se obtuvo que el ángulo de desviación para el reductor A fue de 0.8731° y de 2.3735° para el reductor B. Por lo que se comprobó que a mayor holgura se obtenga un mayor “backlash” [3].

Por otro lado, como resultado de aplicar el método gráfico se pudo observar que la holgura entre la flecha excéntrica y los bujes implica un grado de libertad que permite una desalineación de la flecha. Además de que el centro de la flecha se desvía de su posición exacta, lo que en combinación con la holgura permite una rotación adicional sin transmitir movimiento y por ende inexactitudes en la posición final de la flecha del reductor. Otra área de mejora que surgió de este análisis fue flecha excéntrica del reductor está compuesta de 3 elementos individuales lo que aumenta el número de partes y por ende contribuye al aumento de “backlash” véase la figura 5.

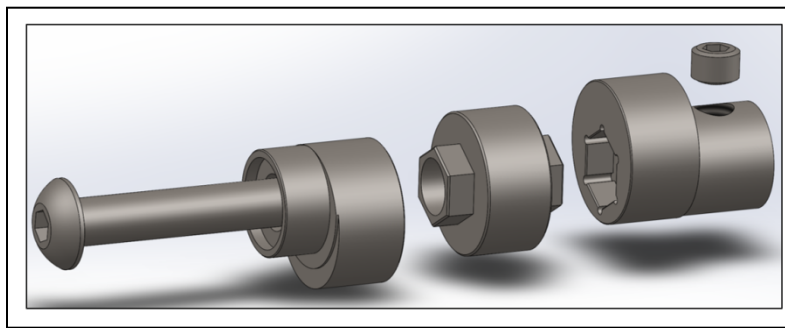


Figura 5 – Ensamble de flecha excéntrica del modelo hecho por el Dr. Cesar Real.

Adicionalmente se observó un desgaste excesivo en los bujes del reductor cicloidal (figura 6), después de que este estuviera funcionando por tiempos prolongados. Así como también se detectaron errores en la manufactura del disco central GR53 (figura 7), ya que la medida del diámetro de los pines de dicha pieza sobrepasaba las tolerancias permitidas.

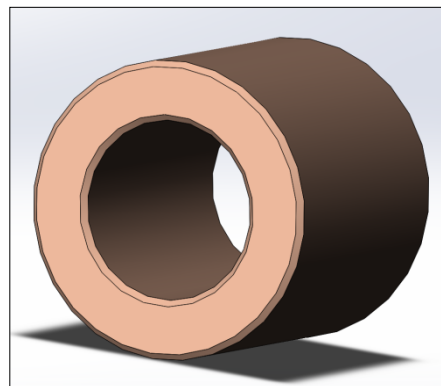


Figura 6 – Buje maquinado.



Figura 7 – Disco central maquinado en una sola pieza.

Es por ello que como resultado del análisis y experimentación hecha por el Dr. Cesar Real se comprobó que el “backlash” adicional en el reductor es la suma de dos efectos: la rotación libre de la flecha excéntrica dentro del buje y la rotación adicional debida a una desalineación. Por lo que se partió de esta problemática para plantear las mejoras y modificaciones que competen al trabajo realizado en este proyecto PAP.

1.2 Caracterización de la organización

Este proyecto de aplicación profesional se desarrolló en las instalaciones y laboratorios del ITESO (Instituto de Estudios Superiores de Occidente) ubicado en Periférico Sur Manuel Gómez Morín # 8585 C.P. 45604 Tlaquepaque, Jalisco, México. El proyecto se desarrolló en colaboración con los departamentos de la misma universidad DESI (Departamento de Electrónica Sistemas e Informática) y DPTI (Departamento de Procesos Tecnológicos Industriales).

Dichos departamentos antes mencionados están integrados por direcciones, centros y oficinas, cuyas facultades, organización y funcionamiento estarán previstos de acuerdo con los fines del ITESO:

- Comunicar el saber humano, adquirir y general conocimiento, difundir y acrecentar la cultura por medio de la docencia, la investigación y la vinculación.
- Servir a la sociedad por medio de la formación y la capacitación de profesionales preparados cultural, científica y técnicamente; integrados humanamente; abiertos a la

autotrascendencia, orientados por la inspiración cristiana, para que sean profesionales competentes, libres y emprendedores en su campo de actividad, y asuman un compromiso social firme y definido en favor de los más necesitados.

- Establecer un diálogo permanente con la cultura, el saber científico, la fe cristiana y otras confesiones religiosas y la sociedad.
- Participar en los procesos de transformación social para generar alternativas de desarrollo integral para beneficio del país.
- Asumir y realizar en las actividades de la vida universitaria los valores declarados en las Orientaciones Fundamentales y la Misión [4].

Para este proyecto en específico los encargados de cada departamento fueron el Dr. Luis Enrique González Jiménez por parte del DESI y el Dr. Cesar Real Diez Martínez por parte del DPTI.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

Como resultado del diagnóstico inicial del proyecto se pudieron observar las siguientes problemáticas:

- Se observó un desgaste excesivo en los bujes del reductor cicloidal, después de que este estuviera funcionando por tiempos prolongados. Lo que perjudica la vida útil del reductor.
- Se detectaron errores en la manufactura del disco central GR53, ya que la medida del diámetro de los pines de dicha pieza sobrepasaba las tolerancias permitidas, lo que causa imprecisiones de posición en el reductor.
- La flecha excéntrica del reductor está compuesta de 3 elementos individuales lo que aumenta el número de partes y por ende contribuye al aumento de “backlash”.

1.4. Planeación de alternativa(s)

Para el desarrollo de este PAP se utilizaron las técnicas y metodologías de diseño mecánico propuestas por el Dr. Cesar Real Diez en su tesis de doctorado (figura 8), este proceso está orientado a la validación de las propuestas de mejora partiendo del entendimiento y análisis de la problemática verificando mediante el análisis del modelo en CAD si el sistema cumple

con los objetivos planteados, para este caso en específico esta metodología ayudó a corroborar si el modelo lograba la tasa de reducción de velocidad angular deseada, validando también que el ensamble no existan interferencias entre los componentes internos, para posteriormente implementar la metodología de diseño a detalle y poder validar el modelo con la finalidad de posteriormente realizar los planos de manufactura de cada pieza con su respectivo análisis de tolerancias.

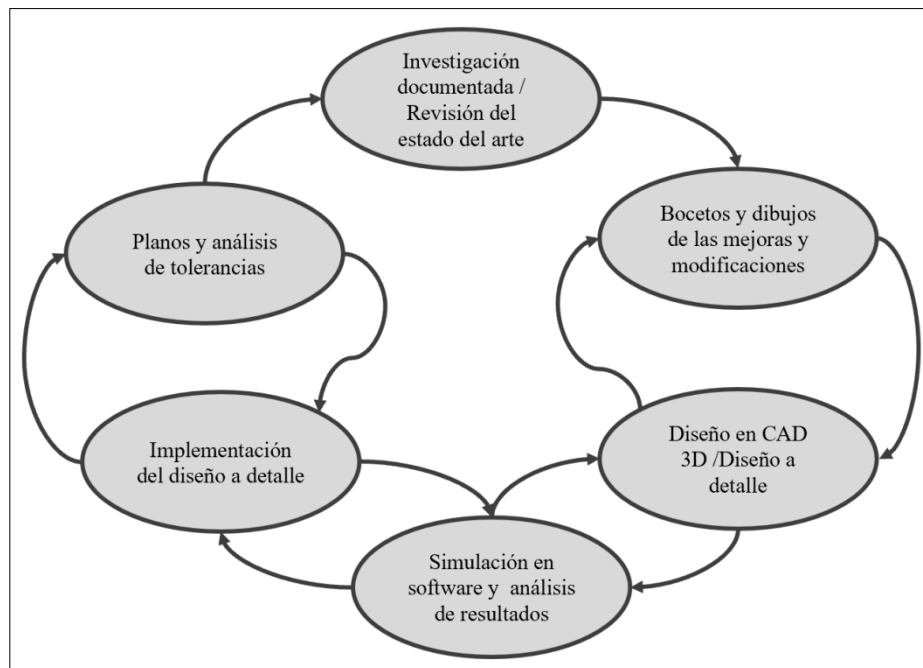


Figura 8 – Proceso de diseño mecánico propuesto por el Dr. Cesar Real.

Diseño en CAD 3D

Para el desarrollo del nuevo diseño en CAD 3D de reductor cicloidial se tomó como base el diseño previamente propuesto por el Dr. Cesar Real, el cual estaba diseñado para anclar en un motor NEMA 23, y el cual se esperaba tuviera una reducción de velocidad angular de 64:1. Dicho reductor se utilizó como base y se partió de este diseño para hacer las modificaciones y propuestas de mejora. Primeramente, se remplazaron los bujes maquinados por rodamientos rectificados de línea, así como se modificaron las piezas que contenían pines maquinados por pernos rectificados. Por otro lado, se propuso el diseño de una nueva flecha excéntrica la cual podría ser maquinada en una sola pieza, contribuyendo a la reducción de

componentes en el ensamble. Todas estas modificaciones obligaron a rediseñar el resto de los componentes del reductor para que se adaptaran a la geometría de las nuevas piezas.

Simulación de análisis de movimiento

Con la finalidad de comprobar si el nuevo diseño del reductor cumpliría con la reducción deseada se realizó un análisis de movimiento en el que se simuló la entrada de una velocidad angular al reductor, de esta manera mediante el análisis y comparación de los resultados se pudieron comprobar dos cosas, la primera que la velocidad en el disco de salida correspondía a la reducción esperada realizada anteriormente con cálculos analíticos, que para este caso se esperaba que fuera de 64:1, es decir, por cada 64 vueltas que diera la flecha del motor el reductor entregaría en la salida de su segunda fase solo una vuelta en el mismo tiempo (figura 9). Y por otra parte se pudo observar que en un estado de movimiento no existiera interferencia ente los componentes del ensamble.

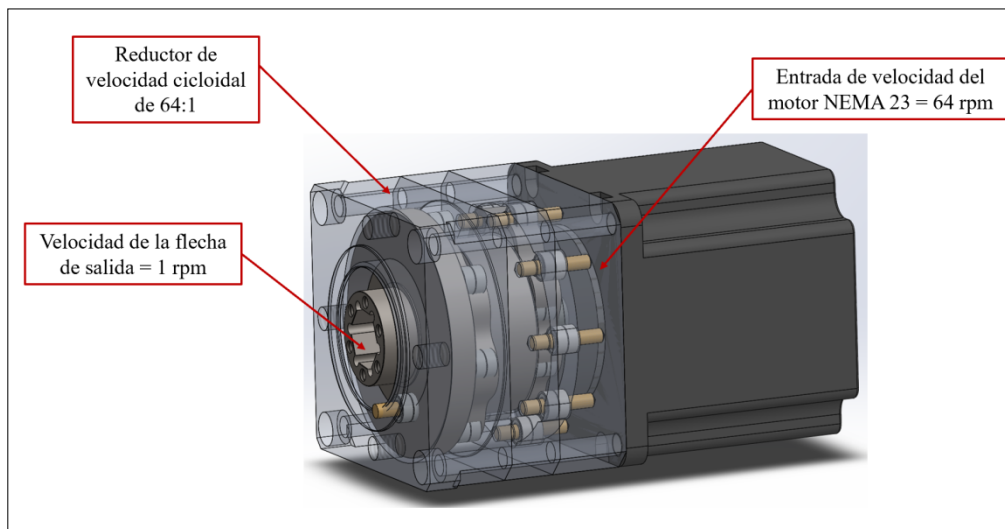


Figura 9 – Descripción gráfica del funcionamiento del reductor cicloidal.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se enumeran las actividades realizadas durante el proyecto, así como una breve descripción de las razones por las que se decidió implementar dichas actividades.

Tabla 1 – Descripción de actividades del PAP / Diseño mecánico		
No.	Descripción de la actividad	Justificación
1	Diseñar una nueva versión del reductor cicloidal en CAD 3D con la integración de elementos que contribuyan a disminuir las tolerancias entre componentes (baleros pernos, etc.).	Analizar que sea posible la incorporación y modificación de elementos en el reductor que permitan reducir el “backlash” así como verificar que sea posible remplazar los elementos del reductor previamente maquinados por elementos rectificadas de línea.
2	Implementar la metodología de diseño mecánico descrita por el Dr. César Real en su tesis de doctorado.	Verificar que los nuevos elementos del reductor cumplan con los requerimientos del manipulador y que las piezas internas del mecanismo no tengan interferencias entre sí.
3	Simulación del diseño obtenido que valide el funcionamiento correcto del reductor.	Comprobar mediante un análisis estático que con las nuevas modificaciones el reductor sigue cumpliendo con la reducción de velocidad angular calculada analíticamente y que ninguno de sus componentes presenta interferencias entre si una vez que al reductor se le da una velocidad angular de entrada.
4	Análisis del desempeño y los datos obtenidos en simulación.	Analizar las gráficas de velocidad de salida obtenidas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema y comparar los resultados de la simulación con los cálculos analíticos.

5	Realización de planos requeridos para la manufactura de piezas.	Realizar un prototipo del modelo del reductor para comprobar de manera experimental la reducción de “backlash”
---	---	--

En la siguiente tabla (Tabla 2) se muestran de actividades que se realizaron a lo largo de las 16 semanas que duró el proyecto, así como también indica en que semana se realizó cada una de las actividades y se especifica cuantos días se demoró en completar dicha actividad. Dentro de los recursos utilizados para llevar a cabo estas actividades estuvieron el programa de SolidWorks, así como sus funciones derivadas como SolidWorks Motion, Asistentes de taladro y toolbox.

Tabla 2 - Cronograma de actividades para la realización del proyecto																		
Nombre	Recursos	Tiempo (Días)	Enero			Febrero			Marzo				Abril			Mayo		
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
			Diseño del modelo de CAD		15													
Implementación de metodología de diseño y validación de propuestas de mejora		5																
Simulación de análisis de movimiento		5																
Análisis de resultados de la simulación		1																
Diseño a detalle																		
Planos para la manufactura y análisis de tolerancias		20																

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Las evidencias de los resultados preliminares del proyecto conforme al cronograma planteado se muestran a continuación.

Diseño en CAD 3D

Para realizar el diseño en CAD 3D del nuevo prototipo de reductor cicloidal se empezó realizando bocetos a mano de cada una de las modificaciones que se querían hacer al modelo previamente hecho por el Dr. Cesar Real. Posteriormente se dibujaron las piezas de los bocetos en el programa de SolidWorks y se agregaron al ensamble del reductor para corroborar que no tuvieran interferencias con los otros componentes.

La primera pieza en modificarse fue la flecha excéntrica la cual inicialmente estaba compuesta de 3 piezas unidas por un tornillo, a este componente se le hicieron cambios para que pudiera manufacturarse en una sola pieza como se ve en la figura 10 la cual muestra la comparación entre la flecha anterior (imagen inferior) y el nuevo diseño (imagen superior). Dicho cambio se realizó con la finalidad de reducir el número de componentes del ensamble ya que al estar la flecha compuesta de tres partes contribuía en gran medida a la suma de holguras entre componentes y por ende aumentaba el “backlash”

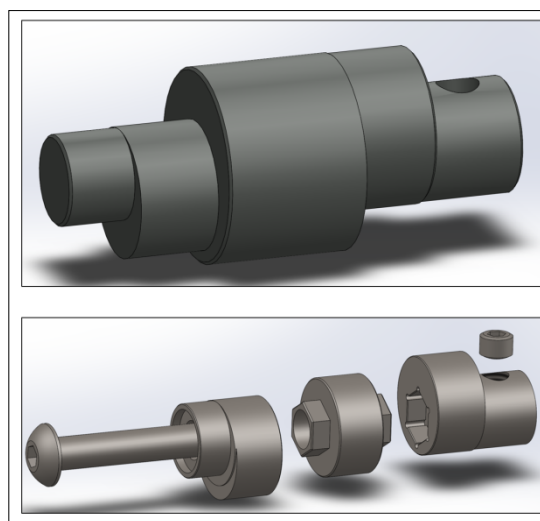


Figura 10 – Comparación de flechas excéntricas.

Posteriormente se modificó que el disco central el cual inicialmente estaba maquinado en una sola pieza como se puede observar en la figura 11 presentaba errores en las medidas de sus pines debido al proceso de manufactura, no cumplían con la medida solicitada y tras un proceso de inspección de la pieza se observó que la medida del diámetro de todos los pines cambiaba conforme la distancia del mismo es decir que la base presentaba un diámetro y en la parte superior otro como se observa en la figura 12, lo que quiere decir que los pines no estaban rectos ni sus caras completamente paralelas por lo que se decidió cambiar los pines maquinados por unos arreglos de barrenos y pines rectificados que pudieran albergar los rodamientos L630ZZ de dimensiones 3x6x2.5 mm que remplazaron los bujes maquinados. En la siguiente figura (Figura 13) se muestra la comparación entre el disco central anterior (imagen izquierda) y el disco central modificado (imagen derecha). Cabe mencionar que adicionalmente a este cambio antes mencionado se tuvo que hacer una adecuación al espesor del disco como consecuencia de la incorporación de pines rectificados, ya que al tener una cantidad diferente de pines en las caras del disco teniendo en una cara 8 y en la otra 7 pines, todos ellos con un ángulo equidistante entre ellos, como se muestra en la figura 14, por lo que resultaba imposible que estos coincidirán para hacer que el pin pasara por toda la pieza, por lo que se optó por incrementar el espesor del disco para que de un lado pudiera albergar un juego de pines de 7 elementos y en la otra cara de 8 elementos, respetando el espacio que se necesitaban incrustar los pines en la superficie del disco para tener suficiente contacto y así evitar flexiones al tener suficiente contacto con el disco como se muestra en la figura 15.



Figura 21 – Disco central maquinado en una sola pieza.

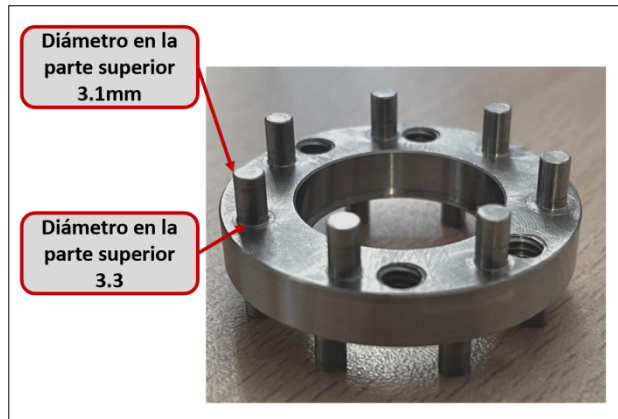


Figura 12 – Error en la medida de los pines del disco central.

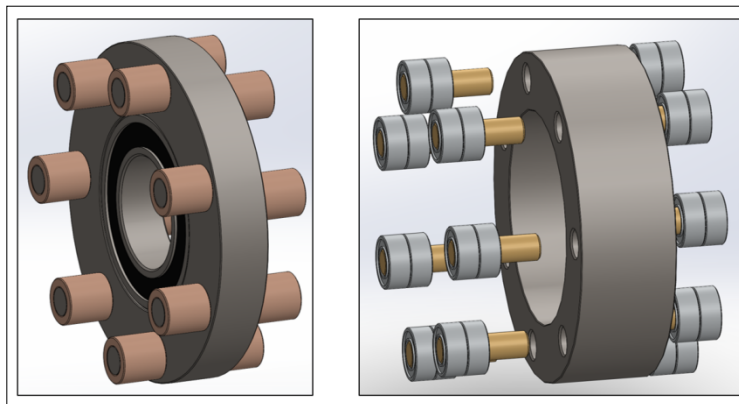


Figura 13 – Comparación entre discos centrales.

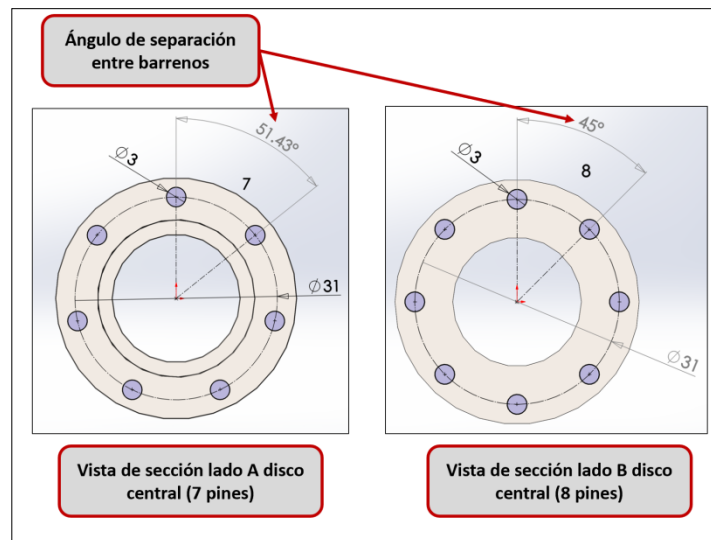


Figura 14 – Comparación entre lados del disco central.

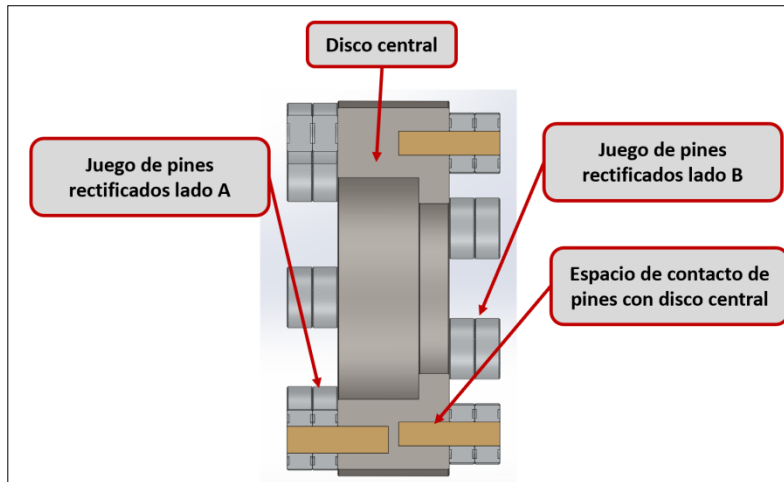


Figura 15 – Vista de sección transversal disco central modificado.

Después de estas modificaciones se procedió a remplazar los bujes maquinados de la carcasa de la etapa inicial por rodamientos de línea L630ZZ de dimensiones 3x6x2.5 mm, como se muestra en la figura 16 en la cual se ve la comparación entre el modelo original (imagen izquierda) y el modelo modificado (imagen derecha).

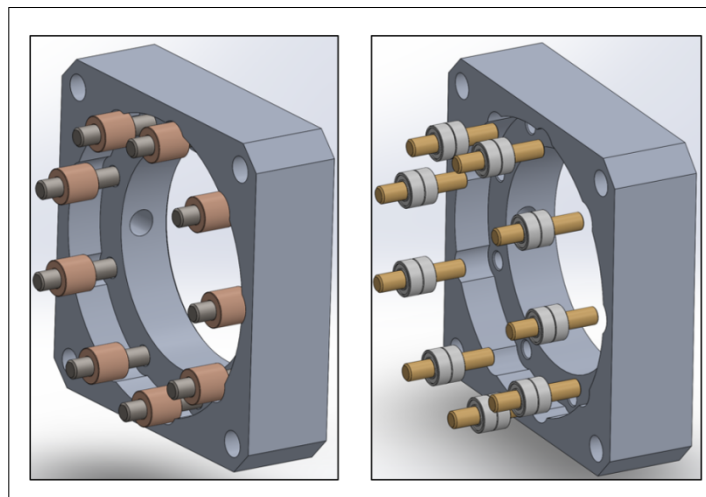


Figura 16 – Comparación entre carcasis exteriores.

Posteriormente se cambió la geometría de la carcasa central ajustando su espesor a la nueva medida del disco como se muestra en la figura 17.

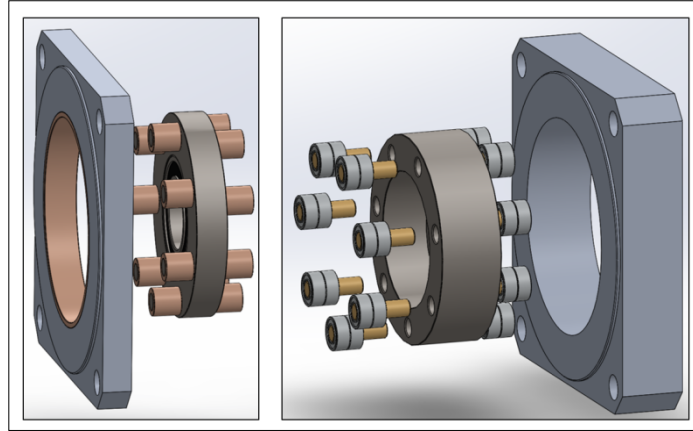


Figura 17 – Comparación de espesor de carcasas exteriores.

Después de esto se modificó el disco de salida sustituyendo los 8 bujes por rodamientos L630ZZ de dimensiones 3x6x2.5 mm, y adaptando su geometría para albergar los pines rectificados que sostiene el arreglo de rodamientos. En la siguiente figura (Figura18) se muestra la comparación entre el modelo original (imagen izquierda) y el modelo modificado (imagen derecha).

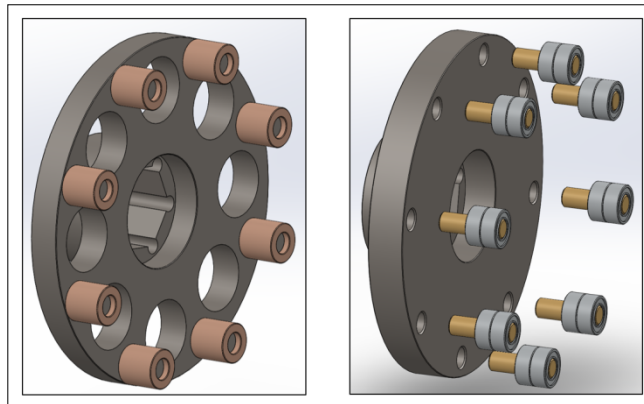


Figura 18 – Comparación de discos de salida.

Seguido de este proceso de modificación de piezas se investigó la disponibilidad y existencia de los rodamientos y pernos de línea que se querían agregar al sistema con la finalidad de agregarlos al ensamble para así también modificar las dimensiones y la geometría de las piezas en las que estos irían colocados. En la siguiente figura (Figura 19) se muestran las diferencias entre el modelo hecho por el Dr. Cesar Real (Imagen inferior) y la versión que se

modificó como parte de este proyecto (Imagen superior). Cabe destacar que adicionalmente al proceso de diseño de nuevos componentes por cada una de las modificaciones hechas a las piezas del reductor cicloidal se requirieron hacer ajustes a las geometrías de las piezas adyacentes con la finalidad de seguir ajustando las dimensiones exteriores del reductor a las ya establecidas previamente ya que este tenía que adaptarse a un espacio limitado por el manipulador robótico en el que se planea que el sistema opere.

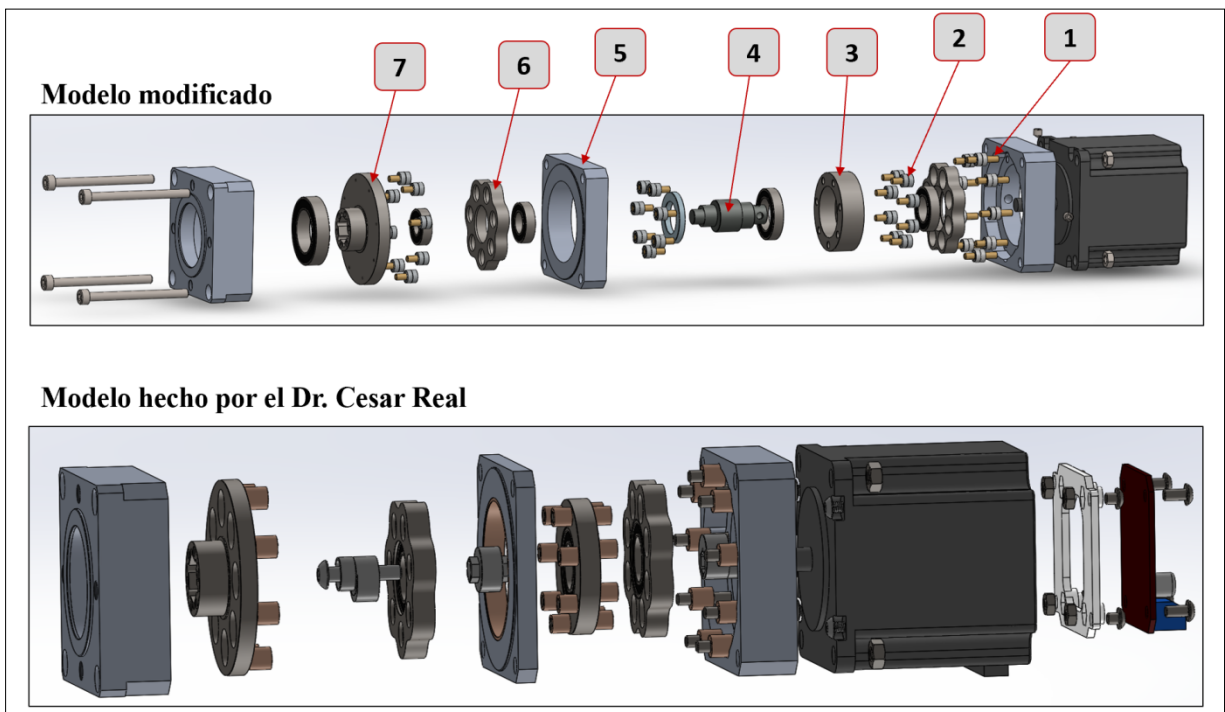


Figura 19 – Comparación de modelo anterior del reductor y el modificado.

Simulación y análisis de movimiento

Con la finalidad de comprobar que el nuevo diseño del reductor funcionara correctamente con las nuevas modificaciones y que este lograra la reducción de velocidad angular esperada se realizó un análisis de movimiento en el programa de SolidWorks.

Primeramente para realizar dicho análisis se requirió poner los componentes internos del ensamble en una posición fija en la que no existieran interferencias entre las mismas piezas, a estas relaciones de posición que fijaron los componentes del ensamble se les denominó

“relaciones de posición 0” como se muestra en la figura 20 en la que se observa la relación que fijo el rotor cicloidal de la primera etapa en una posición en la que no tuviera penetración con alguno de los rodamientos colindantes, tomando un ángulo de 34° entre uno de los planos de dicho rotor y una de las caras del motorreductor NEMA 23.

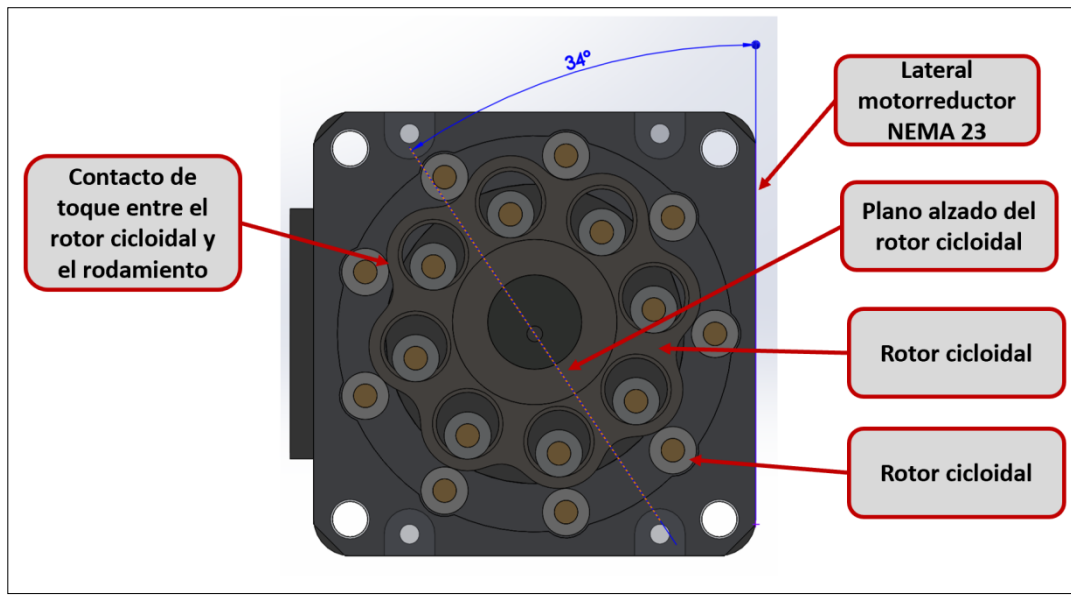


Figura 20 – Método de fijación del ensamble para posición cero.

Este proceso se aplicó todos los componentes móviles internos del ensamble, y como se muestra en la figura 21 se obtuvieron las relaciones de posición de que cumplían la condición de fijar las piezas en una posición en la que no existirá una fusión o penetración entre piezas.

Posterior a este proceso se activó la función de “SolidWorks Motion” y se seleccionó la opción de análisis de movimiento, después se especificaron los contactos que se tendrían entre los componentes, para ello se utilizó la operación de “Contacto” con la opción de “Grupo de contactos” lo que permitió seleccionar múltiples contactos entre los rotores internos y los rodamientos exteriores como se muestra en la figura 14. Esta función permite que no exista una penetración entre las piezas seleccionadas.

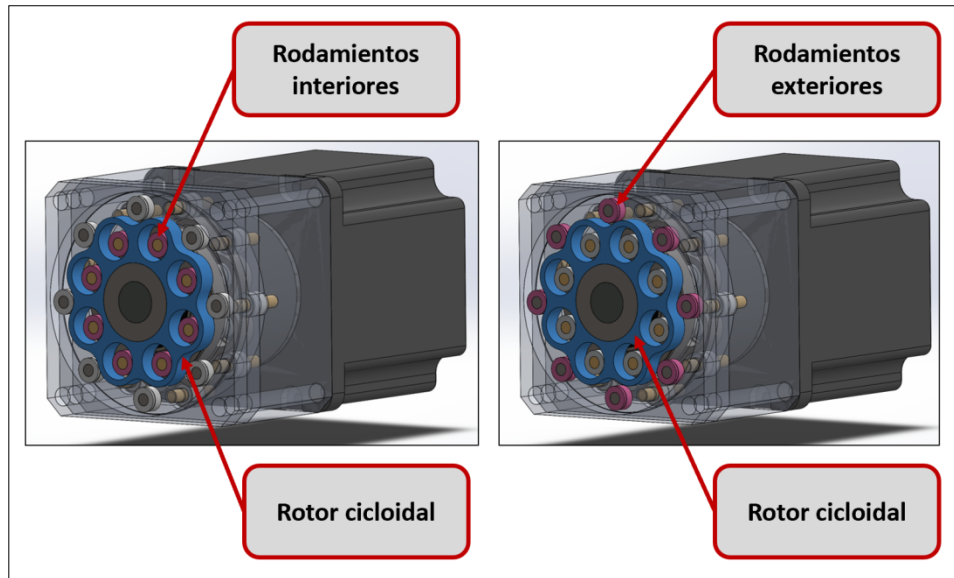


Figura 21 – Relación entre grupo de contactos en el ensamble del reductor.

Posteriormente se procedió a ajustar los parámetros de la simulación, como primer parámetro se agregó una velocidad angular de entrada de magnitud de 140 rpm como se muestra en la figura 22.

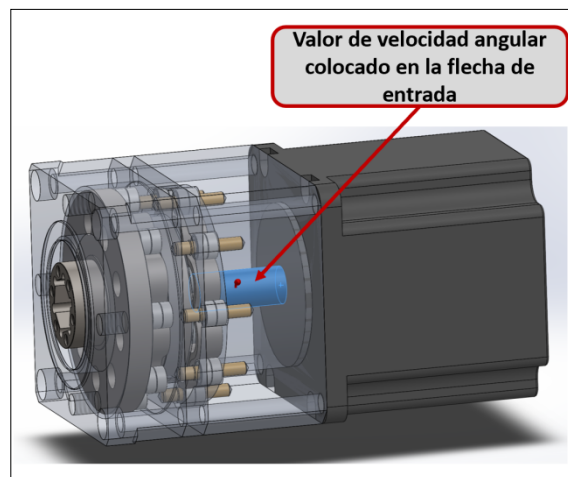


Figura 22 – Velocidad angular de entrada.

Después se ajustó el tiempo de simulación a 6 segundos con un escalón de entrada de 2 segundos el cual permite que la velocidad angular de entrada aumente paulatinamente durante los primeros segundos hasta llegar a su valor máximo, este escalón ayuda a evitar

errores en la simulación debido a que se utilizó una configuración de contacto preciso entre componentes. En la figura 23 se muestra la configuración de dicho escalón de entrada en la velocidad angular.

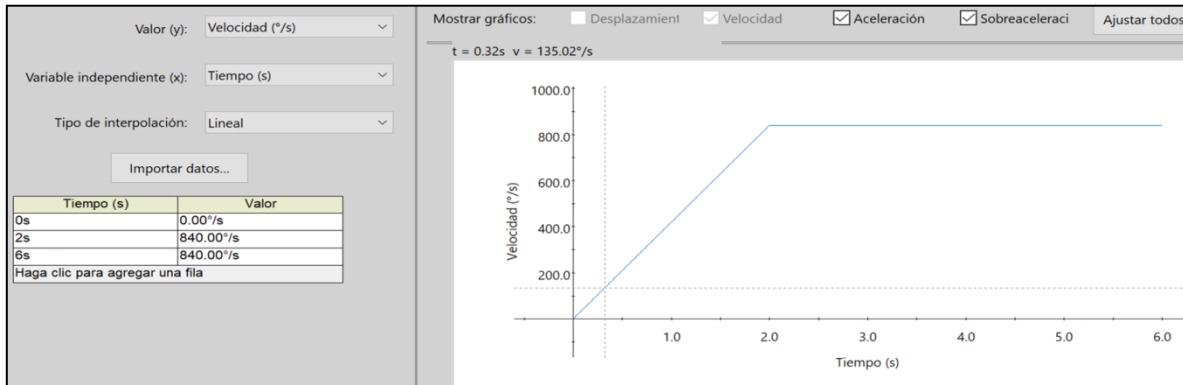


Figura 23 – Comportamiento de la velocidad angular de entrada en la simulación.

Adicional a esto se ajustaron las tramas por segundo de la simulación a 100 tramas/segundo. Una vez hecha esta configuración se procedió a correr la simulación y una vez completada se utilizó la operación de “Resultados y trazados” como se muestra en la figura 24, para obtener la gráfica y la magnitud de la velocidad angular a la salida del reductor.

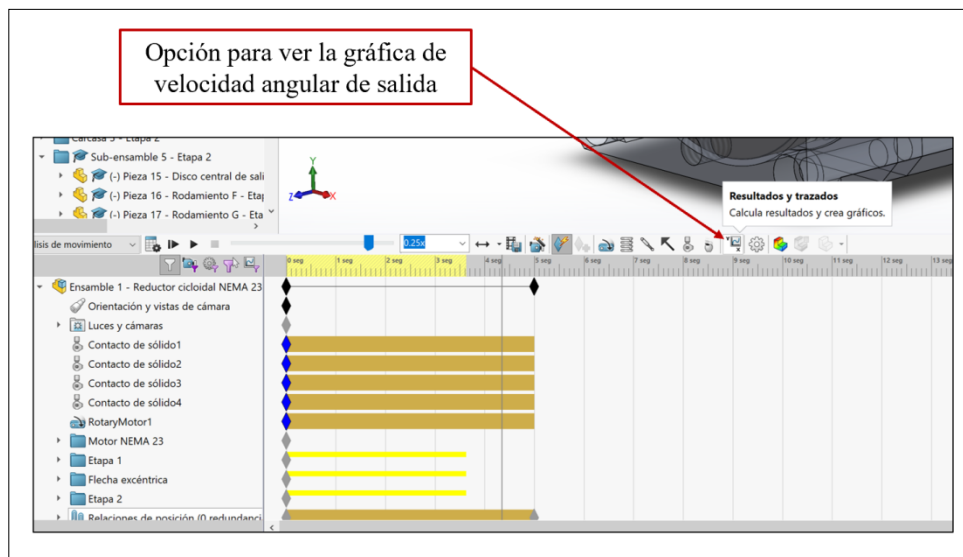


Figura 24 – Opción de resultados y trazados.

Una vez que se seleccionó la opción de resultados se configuraron los parámetros que se querían obtener, en este caso se seleccionó la opción de “Desplazamiento / Velocidad / Aceleración”, seguida de “Velocidad angular” y por último se especificó que se quería obtener la “Magnitud” por último para obtener la gráfica se especificó de que pieza del ensamble se querían obtener los resultados, para este caso se seleccionó la cara del disco de salida del reductor como se observa en la figura 25.

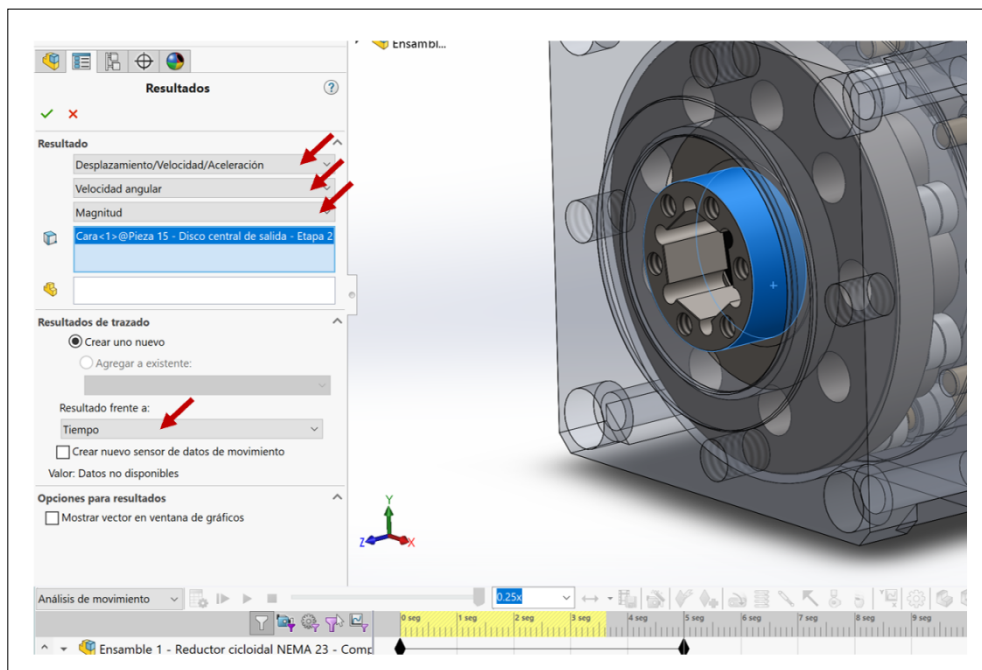


Figura 25 – Parámetros utilizados para obtención de velocidad angular de salida.

Como resultado de esta simulación se obtuvo una matriz de resultados de 2 x 787 la cual contenía la información de la velocidad angular en la cara del disco de salida contra el tiempo de simulación, esta matriz de datos se exportó a Excel para ser filtrada y analizada.

Una vez que se obtuvieron los datos en Excel se graficaron los resultados y se realizó un promedio de la velocidad angular sin considerar el escalón inicial, ya que este primer escalón que va de 0 a 2 segundos se puso con la finalidad de evitar errores en la simulación debido a que el sistema podía presentar fallas si se configuraba una entrada tan brusca de velocidad en el ensamble, por lo que fue necesario poner una entrada de rampa para hacer este aumento más paulatino pero sin embargo estos valores no se toman en cuenta para el promedio por lo

que solo se graficaron los datos correspondientes desde los 2 segundos de simulación hasta los 6 segundos como se muestra en la figura 26.

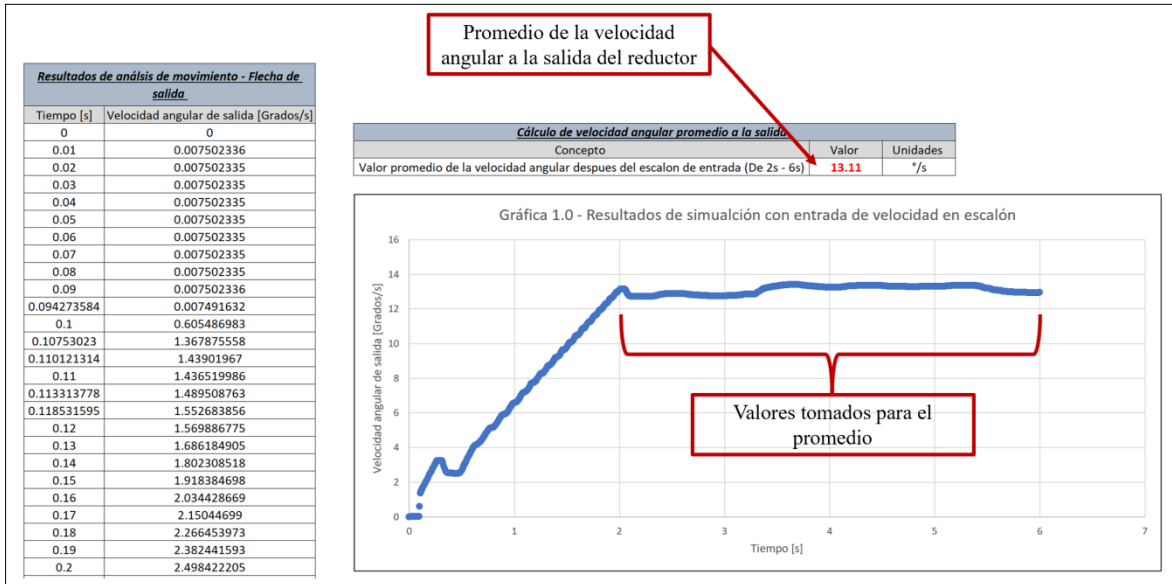


Figura 26 – Resultados obtenidos de la velocidad de salida en la simulación.

Después de obtener el valor promedio se realizaron los cálculos analíticos para obtener el valor teórico de velocidad angular de salida que debería de entregar el sistema con la configuración especificada en la simulación, para ello se partió de la relación de reducción que el sistema debería entregar la cual para este modelo es de 64:1, este valor se utiliza para dividir las revoluciones por minuto (rpm) de entrada entre la magnitud de reducción:

$$\text{Revoluciones de salida} = \frac{\text{Revoluciones de entrada}}{\text{Razón de reducción}} \quad (1)$$

$$\text{Revoluciones de salida} = \frac{140 \text{ rpm}}{64} = 2.1875 \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \quad (2)$$

Posteriormente se hizo un análisis dimensional para convertir las unidades de las revoluciones/minuto de salida a grados/segundo y poder así hacer la comparación con el resultado de la simulación.

$$2.1875 \frac{\text{revoluciones}}{\text{minuto}} \left(\frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} \right) \left(\frac{360^\circ}{1 \text{ rev}} \right) = 13.125 \frac{\text{grados}}{\text{segundos}} \quad (3)$$

Como resultado analítico se obtiene que para una entrada de 140 rpm el reductor debería de estar entregando a su salida 2.1875 revoluciones/min o lo que es igual a 13.125 grados/segundo. Este resultado analítico se comparó con el resultado de la simulación y se calculó el porcentaje de error que se tenía entre ambos resultados:

$$\% \text{ de error} = \left(\frac{\text{valor aproximado} - \text{Valor exacto}}{\text{Valor exacto}} \right) * 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ de error} = \left(\frac{13.11 \text{ }^\circ/\text{s} - 13.125 \text{ }^\circ/\text{s}}{13.125 \text{ }^\circ/\text{s}} \right) * 100 = 0.11\% \quad (5)$$

Como resultado se obtuvo que el porcentaje de error entre ambos valores es de 0.11% como se observa en la figura 27. Este resultado se tomó como un error despreciable y por ende valida que el resultado de la simulación es un valor correcto, por lo que se pudo concluir que el modelo con las nuevas modificaciones logra reducir de manera efectiva la velocidad angular de entrada y se puede garantizar que una vez manufacturado cumplirá con este requerimiento de reducción.

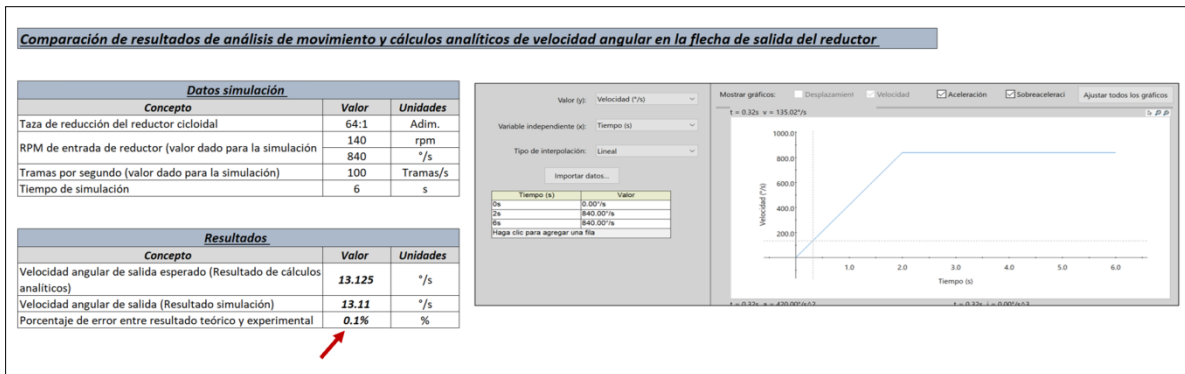


Figura 27 – Porcentaje de error obtenido entre el resultado analítico y el resultado de la simulación.

Diseño a detalle

Una vez que se obtuvieron los resultados de la simulación y se pudo comprobar el correcto funcionamiento del sistema con las nuevas modificaciones se procedió a hacer el diseño a detalle de los componentes, este proceso se centró en verificar de manera minuciosa que no existieran interferencias entre componentes corroborando todas las medidas de las piezas en el ensamble.

Este proceso sirvió para pulir el diseño del reductor y poder detectar posibles fallas en el funcionamiento una vez manufacturado. Dentro de las modificaciones que se hicieron estuvieron la incorporación de chaflanes a la flecha excéntrica, reducción de los diámetros de los agujeros de los rotores cicloidales, ensanchamiento del disco central y modificación de espesor de piezas para reducir los espacios entre componentes.

Análisis de tolerancias y elaboración de planos

Posterior al proceso de diseño a detalle y una vez que se comprobó el correcto funcionamiento del sistema con las nuevas modificaciones se procedió a elaborar los planos de las piezas para llevar a cabo su manufactura, en este proceso se realizó también el análisis de tolerancias enfocándose en las piezas cuyo ensamble incluía acoplamiento con piezas de línea, es decir aquellas cuyas dimensiones no podrían ser modificadas.

Para dicho análisis se tomó como referencia la tabla 3, la cual corresponde a la tabla de ajustes de tolerancia en sistema métrico. De esta tabla se utilizaron los ajustes de “Deslizamiento” y “Con juego de locación”.

	SÍMBOLO ISO		DESCRIPCIÓN
	Columna 1 Con base en el agujero	Columna 2 Con base en el eje	
Ajustes con juego	H11/c11	C11/h11	Rotación libre holgado
	H9/d9	D9/h9	Rotación libre sin restricciones
	H8/f7	F8/h7	Rotación libre estrecho
	H7/g6	G7/h6	Deslizante
Ajustes inciertos	H7/h6	H7/h6	Con juego de locación
	H7/k6	K7/h6	Inciertos de locación
	H7/n6	N7/h6	Inciertos de locación
Ajustes por interferencia	H7/p6	P7/h6	Por interferencia de locación
	H7/s6	S7/h6	Forzado medio
	H7/u6	U7/h6	Forzado

Más espacio libre (aplicable a los ajustes con juego)

Más interferencia (aplicable a los ajustes por interferencia)

Tipos de contacto entre componentes

Tabla 3 – Tabla de ajustes de tolerancias en sistema métrico

El procedimiento que se siguió para determinar las tolerancias de las piezas fue el siguiente, se tomó como medida nominal los diámetros exteriores e interiores de los pernos y rodamientos de línea, debido a que por su manufactura sus dimensiones son muy exactas y debido a material de fabricación es muy difícil modificar estas dimensiones, por lo que es recomendable tomar estos diámetros como nominales para el análisis.

Una vez que se identificaron estas cotas se dividió el análisis en dos partes, un análisis para determinar la tolerancia de las flechas y otra para la de los agujeros de las piezas a maquinar. Para el caso de los agujeros que se necesitaban maquinar se tomó la columna 2 de la tabla 3, ya que esta corresponde a un arreglo basado en el eje, esto significa que el eje es aquella medida que no se pudo cambiar de la pieza, en este caso corresponde a el diámetro exterior de los pernos y rodamientos, y para el caso contrario se tomó la columna 1 de la tabla 3 para aquellas piezas cuya medida nominal fuera el agujero de un rodamiento es decir un diámetro interno por el qué la pieza debía ensamblar. Una vez que se identificó en que columna había que trabajar se seleccionó el tipo de arreglo que se requería para este análisis, y se determinó el siguiente criterio, para aquellos ensambles en los que se requirió que la pieza estuviera muy unida al perno o rodamiento, es decir que ese ensamble se comportara como una sola pieza se utilizó el ajuste de “Con juego de locación” para el resto de los ensambles donde el

perno o el rodamiento solo iba a tener un contacto, pero estos no tenían que unirse contundentemente se utilizó un ajuste “Deslizante”.

Utilizando este criterio se determinó que conjunto de letras usar, para el caso de las piezas basadas en el eje (Columna2) con ajuste “Deslizante” se tomaron las tolerancias “G7/h6” y para el ajuste “Con juego de locación” se utilizaron las tolerancias “H7/h6”. Del mismo modo para las piezas basadas en el agujero (Columna1) con ajuste “Deslizante” se tomaron las tolerancias “H7/g6” y para el ajuste “Con juego de locación” se utilizaron las tolerancias “H7/h6”.

Posteriormente para determinar cuál de las tolerancias usar en cada caso se determinó si la medida a la que se le quería dar el ajuste de tolerancia era un agujero o un eje, en caso de que fuera agujero se utilizaron las letras mayúsculas y para los ejes se utilizó las letras minúsculas.

A continuación, se presentan dos ejemplos de la selección de tolerancias una para el caso de piezas basadas en el eje y otra para el caso de piezas basadas en el agujero.

Ejemplo 1 (Basado en el eje): Para el caso del disco central como se muestra en la figura 27 va ensamblado tanto a unos pernos como a un rodamiento, por lo que se requirió trabajar con la columna 2 de la tabla 3 ya que en ambos casos tanto el diámetro exterior de los pernos como el del rodamiento son diámetros que no se pueden maquinar y se toman como nominales como se había explicado anteriormente. Por otro lado, para ambos casos se necesita utilizar un ajuste con un “Juego de locación” es decir con las tolerancias “H7/h6” ya que se requirió que este ensamble funcionara como una pieza rígida por lo que se eligió que el ajuste entre estas piezas fuera muy cerrada. En ambos casos tanto los pernos como el rodamiento van acoplados a un agujero en el disco central por lo que está al ser el disco central una pieza maquinada pueden cambiar las dimensiones de sus agujeros y es por ello por lo que se utilizó la tolerancia “H7” para ambos casos. En la figura 28 se muestra cómo se configuró dicha tolerancia en el programa SolidWorks y cómo es que esta se vio reflejada ya en el plano de manufactura.

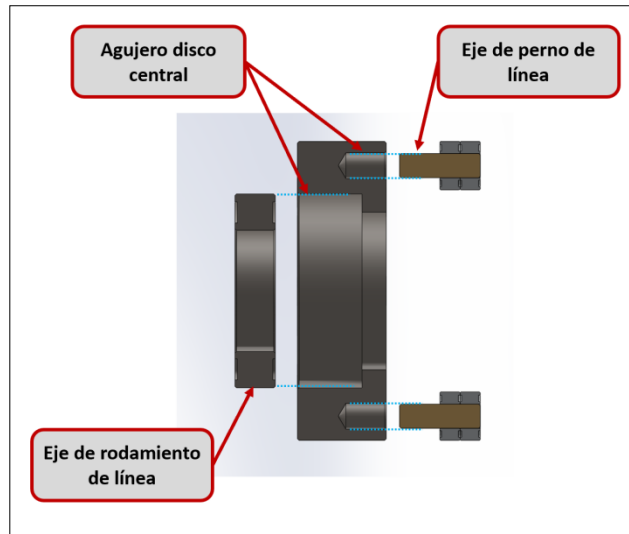


Figura 27 – Vista de sección transversal ensamble de disco central con juego de pernos y rodamiento.

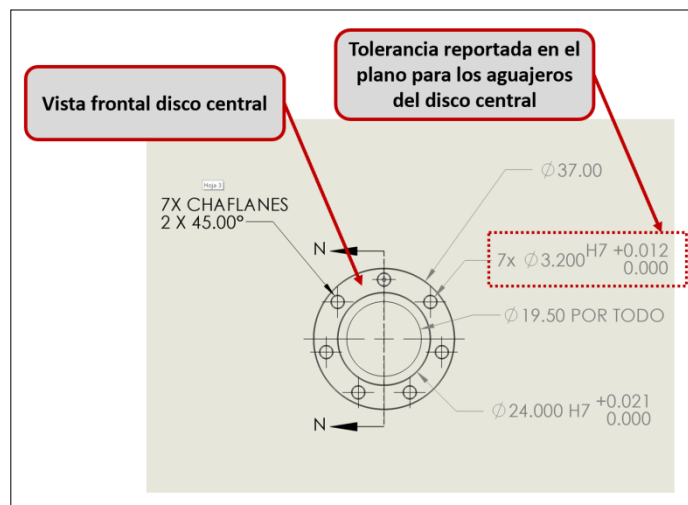


Figura 28 – Plano del disco central

Ejemplo 2 (Basado en el agujero): Para el caso de la flecha excéntrica como se muestra en la figura 29 va ensamblado al diámetro interior de unos rodamientos, por lo que se requirió trabajar con la columna 1 de la tabla 3 ya que el diámetro interior de los rodamientos son dimensiones que no se pueden maquinar y se toman como nominales, como se había explicado anteriormente. Por otro lado, para ambos casos se necesita utilizar un ajuste “Deslizante” es decir con las tolerancias “H7/g6” ya que no se requirió que este ensamble funcionara como una sola pieza, por lo que no era necesario que su tolerancia fuera muy

cerrada. Para el caso del diámetro exterior de la flecha se toma como eje por lo que se le da la tolerancia “g6”. En la figura 30 se muestra cómo se configuró dicha tolerancia en el programa SolidWorks y cómo es que esta se vio reflejada ya en el plano de manufactura.

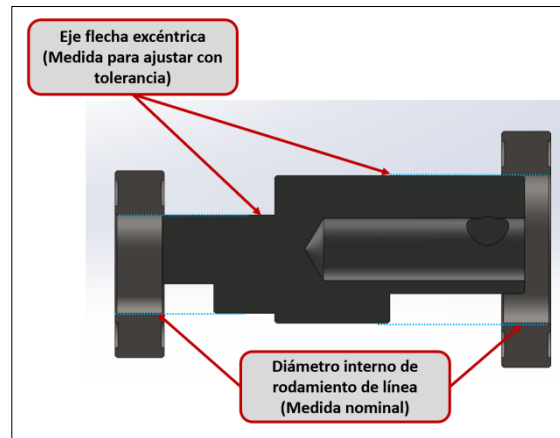


Figura 29 – Vista de sección transversal ensamble de flecha excéntrica con rodamientos.

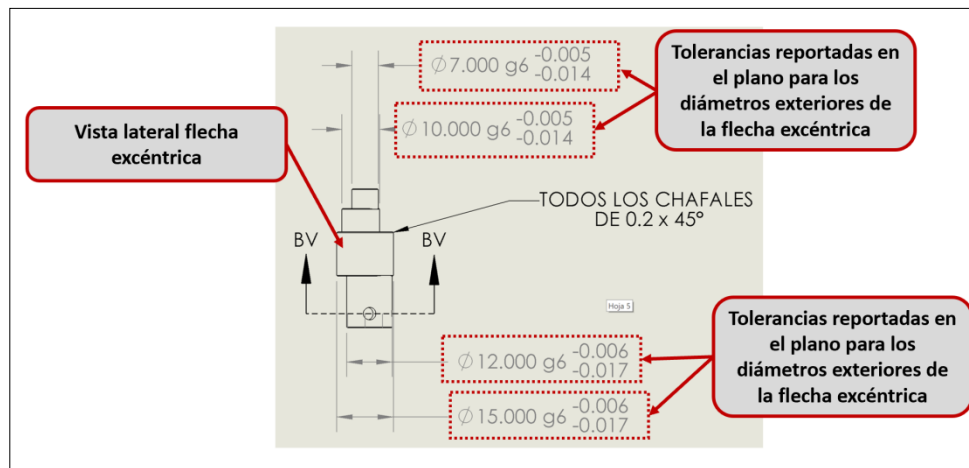


Figura 30 – Plano de flecha excéntrica

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

La experiencia PAP me permitió situarme bajo las normativas de un proyecto de investigación, así como poner en práctica los conocimientos que he aprendido durante mi carrera. El reto para este proyecto fue desarrollar distintas habilidades, como la orientación hacia los resultados, el pensamiento crítico y el razonamiento para lograr los objetivos

planteados, así como aportar nuestros puntos de vista de manera clara y respetuosa. Mis conocimientos de diseño y simulación en CAD 3D sino como mi capacidad de análisis ayudaron a que este proyecto se realizara eficientemente.

Por otro lado, se obtuvieron resultados muy valiosos tanto para los profesores investigadores como para el equipo de diseño, ya que se pudo obtener una nueva geometría de reductor con un diseño que permitiera la incorporación de rodamientos y pernos de línea, así como el rediseño completo de piezas clave como la flecha excéntrica o el disco central lo que ayudó a disminuir el número de componentes y ensambles dentro del sistema lo que a su vez no solo ayuda a reducir costes de manufactura y simplificar el ensamble sino que permite implementar tolerancias más cerradas disminuyendo así el “backlash” y mejorando la precisión deposición del reductor.

Las simulaciones de movimiento permitieron concluir que el sistema funcionara correctamente con las nuevas modificaciones obteniendo un margen de error de solo 0.1% entre los resultados teóricos y experimentales, por lo que se puede afirmar que el sistema cumple de manera eficiente con la tasa de reducción de 64:1.

Se tiene contemplada una segunda etapa del proyecto en la cual se planea evaluar mediante un método gráfico la reducción de “backlash” entre el viejo y el nuevo modelo del reductor, así como la manufactura de un nuevo prototipo con el objetivo de valorar su correcto funcionamiento y poder empezar así con el proceso de validación de resistencia y pruebas de fatiga de los componentes.

1.7. Bibliografía y otros recursos

(1) J. A. Chávez C, J. F. Soriano P, V. López G y L. A. Valencia G, "Diseño parametrizado de serie de reductores cicloidales", *Memorias del XXIII congreso internacional anual de la SOMIN*, vol. 1, n.º 1, 2017, art. n.º 1.

(2) R. C. Joaquín Alvarez, "Modelos dinámicos del backlash", *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*, vol. 1, n.º 1, pp. 1–6, 2009.

(3) Diez Martínez, C. R. (2019). Desarrollo de un reductor cicloidal para un manipulador robótico [Doctoral no publicada]. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente.

(4) Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. (2021, 24 de junio).

Estructura organizacional. iteso.mx.

https://iteso.mx/web/general/detalle?group_id=2926209

2. Productos

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de apoyo a centros de investigación externos
Nombre del proyecto	Mejoramiento de diseño de reductores de velocidad angular cicloidales para manipuladoras robóticas
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Modelo / CAD 3D: Modelo en SolidWorks de la nueva propuesta de diseño de reductor cicloidal con la incorporación de piezas de rodamientos y pernos de línea, así como la simplificación de componentes y ensambles del sistema. Se realizó para el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Este modelo se creó con la finalidad de tener el diseño en CAD y en un software que permitiera su manipulación análisis y simulación de movimiento para corroborar su correcto funcionamiento y geometría.
Autores:	- Luis Antonio Alvarez Luquin

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de apoyo a centros de investigación externos
Nombre del proyecto	Mejoramiento de diseño de reductores de velocidad angular cicloidales para manipuladoras robóticas
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Otros / Planos: Planos para manufactura de las piezas del reductor. Se realizó para el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Estos planos se elaboraron con la finalidad de tener los croquis completos de cada pieza y en base a estos poder manufacturar el primer prototipo del nuevo diseño creado como parte de este proyecto. Los planos incluyen las cotas dimensionales de cada pieza y su respectiva tolerancia.
Autores:	- Luis Antonio Alvarez Luquin

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

En esta experiencia PAP puede involucrarme en las problemáticas propias de un proceso de investigación e innovación en el diseño de mecanismos y de la cual pude darme cuenta de la importancia que tiene la validación y enfoque a detalle en el diseño de un prototipo, ya que al inicio desconocía todas las implicaciones que se necesitan tener en cuenta para el correcto

desarrollo de mejoras de un sistema, sin embargo, a lo largo del desarrollo del proyecto pude ir dándome cuenta de todas las consideraciones que habría que tomar en cuenta para no solo lograr tener una geometría que cumpliera con los parámetros técnicos y objetivos que se buscaban sino que esta pudiera cumplir con consideraciones físicas y limitantes de manufactura.

Fue así como poco a poco fui involucrándome en la problemática de diseño que se tenía y mediante la comprensión y entendimiento del contexto del prototipo previamente hecho por el Dr. Cesar Real fue que pude entender todos los aspectos técnicos que habría que tener en consideración y me ayudo a entender el por que de algunos detalles del diseño del prototipo del Dr Cesar. Gracias a esto logre aportar más al proyecto complementando con mi punto de vista algunos aspectos del diseño y logrando así crear un nuevo diseño de reductor que logra cumplir de mejor manera con los objetivos planteados y que tiene más ventajas que el diseño previo.

Es por ello que como conclusión puedo decir que en base a los resultados obtenidos el trabajo realizado en este proyecto contribuye al perfeccionamiento de un reductor de velocidad el cual puede ser acoplado a un manipulador robótico, con el fin de generar un modelo de brazo funcional y que este pueda ser tanto manufacturado localmente como alternativa económica para la industria mexicana de los manipuladores ya existentes. Poniendo al alcance de las pequeñas y medianas empresas la posibilidad de adquirir un modelo de manipulador de alta calidad y bajo costo.

3.2 Aprendizajes logrados

Al inicio del PAP me enfrenté con el reto de aprender cómo es que funcionaban los reductores cicloidales, ya que no estaba familiarizado con su fundamento teórico. Sin embargo, con ayuda de los profesores y de una investigación profunda pude comprender su funcionamiento, ventajas y principios físicos, lo que me permitió entender como es que estos sistemas estaban compuestos y me ayudo a poder identificar sus áreas de mejora considerando las implicaciones técnicas y de diseño que necesitaba cumplir.

Por otro lado, durante el desarrollo del proyecto me enfrente con el reto de aprender a realizar un análisis de movimiento al mecanismo de reductor que había diseñado, ya que en su momento solo estaba familiarizado con el fundamento teórico de estas simulaciones. Por lo que fue necesario que aprendiera a implementar esta técnica y gracias a la asesoría del Dr. Cesar Real y considerando los aspectos técnicos del funcionamiento dinámico del mecanismo pude lograr realizar en más de una ocasión la simulación de movimiento del reductor y que mediante un análisis técnico de los resultados pude comprobar su correcto funcionamiento y corroborar que el nuevo diseño cumplía con la reducción de velocidad angular que debía.

Del mismo modo también me enfrente con el reto de poder implementar de manera correcta el diseño a detalle en el modelo de CAD 3D y de cómo poder realizar los planos de manufactura que cumplieran con la norma AISI por lo que de nuevo con la asesoría técnica del Dr. Cesar Real pude lograr realizar la correcta implementación de la técnica de diseño a detalle y del mismo modo una vez validado el diseño realizar los planos de manufactura, considerando implicaciones técnicas de la afectación de las tolerancias de manufactura al sistema. Logrando así aprender el proceso completo de diseño y validación de mecanismos.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

Tabla 4 – Inventario de competencias					
Competencia		Evidencia	Relevancia/Fortaleza*	Competencia al final del PAP	Competencias potencializadas
Conocimientos	Se hacer	He realizado	Esto me permite		
	Diseño y simulación de modelos y piezas en CAD 3D	He realizado piezas y ensambles en CAD de maquinaria usada en la industria de la construcción y el concreto	Aterrizar ideas y bocetos de piezas a software de diseño en 3D para su análisis a detalle y simulación de su resistencia	<p>- Elaboración correcta de un reporte de actividades.</p> <p>- Elaboración correcta de planos</p>	- Mejoró la habilidad de hacer una investigación documental.

				<p>de manufactura con tolerancias.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elaboración correcta de simulaciones de análisis de movimiento para mecanismos. - Elaboración correcta de análisis de tolerancias. - Análisis de diseño e implementación de mejoras a mecanismos. - Elaboración de modelos en CAD 3D con la correcta incorporación de asistentes de taladro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoró la habilidad de diseño a detalle en CAD 3D. - Mejoró la habilidad de realización de planos de manufactura. - Meoro la habilidad de interpretación y análisis de resultados de simulación. - Corroboré la importancia y mejoré algunas habilidades blandas como mi autogestión, mi orientación hacia los resultados y mi atención al detalle.
Planificación y desarrollo de proyectos de innovación	He participado en distintos proyectos de desarrollo de maquinaria industrial desde su concepción hasta su comercialización	Llevar a cabo una correcta planeación en el desarrollo de maquinaria, así como verificar que se siga la ruta optima de validación de producto			
Análisis de resistencia a la fatiga	He realizado simulaciones y cálculos analíticos para piezas sometidas a distintas cargas	Identificar si las piezas de un ensamble de maquinaria soportaran las cargas a las que estarán sometidas durante su vida útil y si estas soportan cargas cíclicas que les permitan soportar la fatiga			
Análisis estáticos	He realizado cálculos analíticos en más de 25 tipos de configuraciones	Identificar las cargas a las que una pieza estará sometida durante su vida útil			

		de cargas a piezas y vigas sometidas a esfuerzos			
	Diseño de elementos de máquinas	He realizado cálculos analíticos para piezas de sujeción como tornillos y remaches para maquinaria industrial	Identificar cuáles son los torillos, remaches, bujes, o rodamientos óptimos para una máquina, tomando en cuenta las cargas y el esfuerzo a fatiga a la que estos elementos vana a estar sometidos durante su vida útil.		
Habilidades	Manejo de diseño y simulación avanzada en SolidWorks	He realizado piezas y ensambles en CAD de maquinaria usada en la industria de la construcción y el concreto	Poder diseñar piezas en software 3D que permitan su manipulación y análisis para que la pieza pueda tener una manufactura y funcionamiento óptimo.		
	Programación avanzada en Excel	He realizado códigos de macros en Excel para el análisis de ventas en empresas industriales	Poder manipular, ordenar y analizar grandes bases de datos en Excel		
	Manejo de tabas dinámicas en Excel	He realizado macros en Excel que generen reportes a través de tablas dinámicas para en análisis de ventas para empresas industriales	Poder manipular, ordenar y analizar grandes bases de datos en Excel de manera gráfica		
	Manejo de Ultimaker Cura para impresión aditiva	He realizado configuraciones de los parámetros técnicos para más de 50 modelos manufacturados a través de la impresión en 3D	Conocer cuál es la configuración óptima para alguna pieza en específico que se requiera manufacturar mediante la impresión en 3D		
A	Responsable	Siempre procuro entregar mis deberes en tiempo y forma	Ser organizado con mis actividades y que estas sean		

			estregadas en el tiempo especificado		
Comprometido	Trato de involucrarme a profundidad en los proyectos en los que participo	Aportar más ideas relevantes en los proyectos en los que participo así como opiniones más objetivas de la problemática abordada			
Perfeccionista	Siempre estoy en busca de la mejora constante y siempre trato de proponer o identificar las áreas de mejora en los procesos o diseños en los que me involucro	Identificar cuáles son los aspectos que se podrían mejorar de los diseños o procesos en los que me veo involucrado			
Creatividad	Siempre busco la manera de darle un enfoque creativo o disruptivo a las propuestas y diseños en los que participo	Promuevo el desarrollo de propuestas innovadoras que permitan solucionar problemáticas desde otros enfoques			
--					

Como parte de este proyecto PAP pude desarrollar diferentes competencias y habilidades que me permitieron lograr los objetivos planteados, ya que durante el desarrollo de las actividades fue necesario no solo implementar mis conocimientos y habilidades previos como el diseño en CAD 3D o el análisis de mecanismos, sino que fue necesario poner en práctica nuevas habilidades que en conjunto con los asesores y profesores investigadores pude desarrollar y pulir cada vez más. Es por ello que me doy cuenta que estas nuevas competencias cumplieron un papel fundamental en el desarrollo de las actividades ya que sin ellas no me hubiera sido posible alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto, por lo que significo mucho para mí que no solo pude aportar las habilidades que yo tenía previas al proyecto sino que pude adquirir nuevas que en mi opinión van a ser de gran valor tanto para mi vida profesional como personal, tal fue el caso de las habilidades como el correcta elaboración de un reporte de actividades, el análisis de diseño, la correcta realización de simulaciones y análisis de movimiento para mecanismos, la correcta implementación del diseño a detalle e incorporación de elementos de maquina a un ensamble y la correcta elaboración de planos y

análisis de tolerancias así como también corroboré la importancia y mejoré algunas habilidades blandas como mi autogestión, mi orientación hacia los resultados y mi atención al detalle.