

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL
SISTEMA DE TRIBOLOGÍA PIN ON DISK FABRICADO DE INCONEL
718**

Proyecto Terminal
Por
Inés Carolina Ortega Portilla

En cumplimiento a los requerimientos para obtener
la Especialidad de Tecnólogo en Mecatrónica

Revisor académico: Dr. Guillermo César Mondragón Rodríguez

Santiago de Querétaro, Qro., México, febrero 2020

“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SISTEMA DE TRIBOLOGÍA PIN ON DISK FABRICADO DE INCONEL 718”

PROYECTO DE INVESTIGACION

POR

Ingeniera Carolina Ortega Portilla

En cumplimiento a los requerimientos para obtener
la Especialidad de Tecnólogo en Mecatrónica

Revisor académico: Dr. Guillermo César Mondragón Rodríguez

Santiago de Querétaro, Qro., México, febrero 2020

TABLA DE CONTENIDO

Índice de figuras.....	4
Índice de Tablas.....	4
1. Introducción.....	5
2. Planteamiento del problema.....	6
3. Objetivos.....	7
4. Justificación.....	8
5. Antecedentes.....	9
6. Metodología.....	13
7. Resultados.....	16
8. Conclusiones.....	22
9. Bibliografía.....	23

Índice de tablas

Tabla 1. Composición acero 304.....	11
Tabla 2. Propiedades acero 304.....	11
Tabla 1. Composición INCONEL 718.....	12
Tabla 2. Propiedades INCONEL 718.....	12
Tabla 3. Configuración de parámetros generales.....	13
Tabla 4. Dominio Computacional.....	14
Tabla 5. Condiciones de frontera	14

Índice de figuras

Figura 1. Equipo de tribología pin on disk, modelo THT 1000 de Anton Paar.....	11
Figura 2. Equipo tribología diseñado en Solidworks.....	16
Figura 3, Equipo de tribología, temperatura d trabajo 1000 °C (1273 K), con material de acero AISI 304.....	17
Figura 4, Distribución de temperaturas de los sensores de carga.....	17
Figura 5, Temperatura vs. Nodos, desde la parte superior hasta la parte inferior.....	18
Figura 6, Temperatura del brazo soporte desde los extremos (sensores) hasta lo largo de la columna.....	18
Figura 7, Equipo de tribología, a una temperatura de trabajo 1000 °C (1273 K)- utilizando el INCONEL 718.....	19
Figura 8, Perfil de temperaturas de los sensores de carga.....	20
Figura 9, Temperatura del brazo soporte desde los extremos (sensores) hasta la columna.....	20
Figura 10, Simulación del perfil de temperaturas considerando un fluido gaseoso (aire).....	21
Figura 11, Simulación de la velocidad del fluido gaseoso (aire) dentro del horno del tribómetro.....	21

1. INTRODUCCION

El presente documento hace parte del proyecto final de la especialidad de tecnólogo en mecatrónica impartida en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI). Una de sus actividades es realizar transferencia tecnológica con la industria mexicana, por medio de los equipos de trabajo y su infraestructura. Es por ello que es de gran importancia conocer las características, límites de trabajo y las capacidades que tiene cada equipo para prestar un mejor servicio tanto para la industria como sus usos y aplicaciones en proyectos de investigación.

El desgaste de materiales es medido entre otros métodos por la técnica de perno sobre disco (ingl. pin on disk), para lo cual se utiliza el equipo de tribología modelo THT 1000 de Anton Paar que tiene CIDESI (Ingeniería de Superficies y Manufactura Aditiva) en sus laboratorios. Este equipo de tribología tiene la capacidad de aumentar su temperatura hasta 1000 °C, para trabajar en rangos similares a los encontrados en diversas industrias (p.ej. forja en caliente, maquinado en seco, troquelado y estampado en caliente, laminado en caliente deformación y enrollado). En el caso del tribómetro pin-on-disk o perno sobre disco, dichas temperaturas no afectan solamente a la muestra y superficie de trabajo, sino que también los componentes del equipo (sensores, brazo de soporte, vástago, sistema de rotación, conjunto de pesas, y tornillos ajustables) deben soportar altas temperaturas. Es ahí donde se debe estudiar tanto su funcionamiento a altas temperaturas como el control de los componentes principales para no perturbar el rendimiento de la superficie de trabajo y, por otro lado, extender al máximo la vida útil de los componentes críticos del tribómetro.

Para ello se propone un estudio de simulación de la transferencia de calor en el sistema de tribología (pin-on-disk) por medio del software “SolidWorks”, analizando la transferencia de calor en diversas zonas de los componentes antes mencionados. Con su componente de simulación adicional “Flow Simulation” se propone evaluar las características particulares de transferencia de calor en diferentes atmosferas en función del tiempo y cómo afectan estos parámetros los perfiles de temperatura en los componentes del pin-on-disk.

2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

El equipo de tribología de pin-on-disk o perno sobre disco, es un equipo para determinar el grado de desgaste de superficies de materiales (aleaciones metálicas, cerámicos, polímeros, recubrimientos, etc). Su funcionamiento consiste en colocar una pieza plana (y de rugosidad conocida) del material a evaluar en un cilindro rotatorio. El tribómetro tiene un vástago el cual aplica una presión bajo una carga normal y por medio de movimientos cíclicos (circulares y/o recíprocos) los materiales en contacto sufrirán diferentes tipos de desgaste (adhesivo, abrasivo, corrosión y fatiga superficial), lo cual se registra por medio de una curva del coeficiente de fricción contra el número de ciclos, tiempo o distancia. El equipo de tribología posee celdas de carga que censan la fuerza tangencial generada por acción de la fricción, lo que permite calcular el coeficiente de fricción del par tribológico en cuestión.

Para tener un adecuado funcionamiento del equipo de tribología, se debe mantener la integridad de los sensores de temperatura y de las celdas de carga, lo cual no debe afectar la prueba de desgaste, y por tanto se debe analizar cuidadosamente ¿cuál es el efecto de las condiciones externas en el ensayo de tribología?, dichas condiciones (diferentes atmósferas, cargas, temperaturas o velocidades) deben ser controladas. En cuanto a la temperatura del equipo, esta se aplica por medio de resistencias eléctricas y se controla mediante termopares que se colocan cerca de la muestra (uno por debajo y otro en la parte de arriba de la muestra). La transferencia de calor al vástago o pin se lleva a cabo de manera no controlada ya que se encuentra en contacto con la superficie de la muestra, esto es particularmente claro a temperaturas elevadas (p.ej. 900 °C) en donde se puede observar el color rojo del vástago causado por la temperatura y el contacto con el aire. Una vez terminada la operación de tribología se pueden ver cambios permanentes en la coloración del vástago que indican que ha tenido degradación por oxidación. Particularmente crítico sería que el calor se disipe hasta las celdas de carga, pero *¿será posible predecir cómo afecta la distribución de calor (a altas temperaturas) en función del tiempo hacia las celdas de carga a través del vástago?*

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

Estudiar la transferencia de calor entre la superficie del horno y el sistema brazo/soporte del tribómetro (pin-on-disk) a altas temperaturas.

Objetivos específicos:

- Simular diferentes escenarios de transferencia de calor y evaluar su distribución de temperatura en el brazo del sistema pin-on-disk.
- Aplicar el paquete de Flow simulation del software SolidWorks para la simulación y análisis de transferencia de calor en el brazo del sistema pin-on-disk.
- Proponer una estrategia adecuada para la protección a altas temperaturas (hasta 1000 °C) y tiempos prolongados del brazo y sensores del tribómetro.

4. JUSTIFICACIÓN

El campo de desgaste de materiales es bastante amplio, ya que actualmente las industrias, como por ejemplo: metalmecánica, automotriz, aeronáutica, etc, están expuestas continuamente a pérdidas de materiales en sus procesos y limitaciones en algunos de sus equipos debido a fenómenos de fricción, y es ahí donde las pruebas de desgaste en piezas como herramientas para forja, baleros, cigüeñales, árboles de levas, pistones, bujes, biela, etc, son de gran importancia para la determinación del tiempo de vida útil de las maquinarias y/o elementos utilizados para diversos procesos industriales. Una de las pruebas fundamentales para analizar y evaluar el desgaste causado por fricción se realiza por medio de equipos de tribología, entre ellos el sistema pin-on-disk.

Dicho equipo de tribología simula diversas condiciones de fricción y desgaste lo cual permite determinar los tiempos de vida de los materiales evaluados, ya sea esto a temperatura ambiente o altas temperaturas que van de unos cuantos cientos de grados ($> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta condiciones extremas de calor ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$) bajo cierta carga normal (desde 0.5 hasta 60 N) aplicada mediante un perno (pin). Hasta el momento no se conoce el perfil de temperatura en el brazo de sistema pin-on-disk. Este proceso, particularmente a temperaturas de hasta $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tiempos prolongados, podría ocasionar daños en los sensores de fricción (o celdas de carga) que están colocados a un extremo del brazo del sistema de tribología, pin-on-disk.

Por lo tanto, se plantea analizar la distribución de calor a lo largo del perno (pin) y del brazo del equipo de tribología, esto para asegurar la integridad de sus componentes y su funcionamiento durante los ensayos prolongados de desgaste a temperaturas de hasta $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hasta el momento no se ha determinado hasta donde puede afectar el calor al funcionamiento del equipo tanto en la celda de carga como en la deformación del soporte del brazo del tribómetro causado por cargas elevadas combinado con altas temperatura y tiempos prolongados de exposición.

5. ANTECEDENTES

- **Tribología**

Ciencia que estudia los fenómenos que se producen cuando dos superficies en contacto se mueven una respecto a la otra. La interacción de dos superficies se manifiesta mediante la disipación de energía (coeficiente de rozamiento), modificación de características básicas (rugosidad), alteración de propiedades físicas (dureza) y/o pérdida de material (desgaste). Este último es afectado por la temperatura de trabajo [1]:

- **Desgaste de materiales**

Como desgaste se entiende el proceso de remoción de material de una superficie sólida, que es resultado del movimiento relativo de esta superficie en contacto con otra. Cuando está en funcionamiento el proceso de movimiento relativo superficial, el material removido puede ser transferido, expulsado o quedar atrapado como partícula libre de desgaste. El desgaste se estudia por su mecanismo y su(s) modo(s); los mecanismos de desgaste comprenden una clasificación del o los proceso(s) por el/los cual(es) el material es removido de las superficies del par de contacto. Los mecanismos típicos de desgaste son el desgaste adhesivo, abrasivo, por fatiga y químico. Es frecuente que más de un mecanismo de desgaste actúe simultáneamente. Los modos de desgaste se refieren al tipo de contacto, el cual es caracterizado por una clase específica de movimiento, geometría y ambiente por ejemplo, desgaste por deslizamiento, laminados, fretting, erosión, tribo-corrosión, desgaste por impacto y cavitación.

- **Desgaste Abrasivo:** Ocurre cuando partículas duras (tercer cuerpo) o asperezas de la superficie con mayor dureza del par tribológico, se deslizan sobre la superficies y producen deformación plástica y fractura.
- **Desgaste por fatiga:** A causa de los repetidos ciclos de carga y descarga a los que están sometidas las superficies de los materiales se puede inducir la formación de grietas superficiales o sub-superficiales, que eventualmente, después de un número crítico de

ciclos resultarán en la rotura de la superficie con la formación de grandes fragmentos, dejando grandes agujeros en la superficie.

- **Desgaste por impacto:** Comprende dos amplios tipos de fenómenos de desgaste: el erosivo (partículas al azar) y el percusivo (impactos repetidos en un punto). La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas transportadas por un fluido, en general aire o agua, o también por gotas líquidas. La percusión ocurre por impactos repetidos de cuerpos sólidos de tamaño menor. El desgaste por percusión acontece por el impacto repetitivo de un cuerpo sólido, (martilleo). En la mayoría de las aplicaciones prácticas de maquinaria, el impacto está asociado con el deslizamiento ejerciendo fuerzas con componentes normal y tangencial conocidas como impacto compuesto.
- **Desgaste químico:** Sucede cuando el deslizamiento entre dos superficies tiene lugar en un ambiente corrosivo. Por ejemplo el oxígeno del aire promueve el desgaste por oxidación. La formación de capas de óxido por la reacción con el ambiente y la acción deslizante produce el desgaste de la superficie a causa de la combinación simultánea de los dos procesos.
- **Desgaste por vibraciones “fretting”:** Ocurre cuando hay un movimiento oscilatorio de baja amplitud en dirección tangencial entre superficies en contacto que están nominalmente en reposo (amplitud de oscilación desde nanómetros hasta unos pocos micrómetros). Se puede considerar como una forma de desgaste adhesivo o abrasivo, donde la carga normal causa adhesión entre asperezas y el movimiento oscilatorio causa su ruptura [2].

Para la medición de desgaste utilizamos la técnica pin-on-disk, el cual utiliza el equipo de tribología. La figura 1. Ilustra un sistema de Pin-on-disk o perno sobre disco. Formado por una plataforma giratoria, de velocidad controlada. Sobre la superficie de la muestra descansa un vástago en posición vertical, cuyo extremo termina en una esfera formada por un material duro (acero, alúmina, nitruro de silicio, carburo de tungsteno, etc). El vástago, a su vez, está unido al brazo de una palanca que regula el peso (carga) aplicado a la bola. Todo el conjunto está soportado sobre un árbol, el cual lleva un tornillo posicionado para controlar el desplazamiento del vástago sobre la superficie de la muestra. De este modo, el recorrido de la bola describe una

circunferencia sobre la muestra en cada ciclo o giro de esta. Todo el conjunto puede ir encerrado en una campana hermética para permitir el control adecuado de la temperatura.



Figura 12. Equipo de tribología pin-on-disk, modelo THT 1000 de Anton para ubicado en el laboratorio de Ingeniería de Superficies y Manufactura Aditiva de CIDESI.

Materiales

- **AISI 304**

Los materiales que utilizados para el equipo de tribología son generalmente metales resistentes a altas temperaturas, para el caso del equipo estudiado es acero 304, sus propiedades son [3]:

Composición

Tabla 1. Composición química del acero 304 [3].

C	Si	Mn	Cr	Ni
≤ 0.08%	≤ 1.00%	≤ 2.00%	18% - 20%	8% – 10,5%

Propiedades

Tabla 2. Propiedades del acero 304 [3].

Peso específico a 20C (densidad) (g/cm ²)	7.9
Módulo de elasticidad (N7mm ³)	193.000
Estructura	AUSTENITICO
Calor específico a 20C /1000C (J/Kg K)	500

Coeficiente de dilatación a 100C (x106°C)	16-17.3
Conductividad térmica a 20C/100 (W/mk)	15/16
Intervalo de fusión (C)	13981454

- **INCONEL 718**

El material propuesto para la simulación es el INCONEL 718, ya que por su capacidad de resistir a altas temperaturas superiores a los aceros 304 y 316, sin deformarse, lo hace un material excelente para aplicaciones de resistencia mecánica y desgaste a alta temperatura [4].

Composición:

Tabla 6. Composición química del INCONEL 718 [5].

Ni	Fe	Cr	Cu	Mo	Nb	C	Mn	P	S	Si	Ti	Al	Co	B
50-55.	Resto	17.-21.	0.30 max	2.8-3.3	4.75-5.50	0.08 max	0.35 max	.015 max	.015 max	.35 max	0.65-1.15	.20-.80	1.00 max	.006 max

Propiedades

Tabla 7. Propiedades del INCONEL 718 [4].

Propiedades Térmicas	435
Calor específico a 23 C (JK ⁻¹ Kg ⁻¹)	435
Coeficiente de Expansión Térmica 20-100 (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	13.0
Conductividad Térmica a 23°C (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	11.2
Temperatura máx. de utilización de Aire (°C)	700
Estructura	Superalcaciones austeníticas de base níquel-cromo.

6. METODOLOGÍA

A continuación se describe la configuración obtenida para la simulación de transferencia de calor y los parámetros para la optimización de resultados, entre ellas la definición del tipo de análisis, la resolución del mallado, etc.,. Esta información es primordial para obtener resultados con mayor precisión y que sean comparados con la aplicación en campo.

- Configuración de parámetros generales

En la siguiente tabla se muestra los parámetros elegidos para la simulación en el software SolidWorks- Flow Simulation

Tabla 8. Configuración de parámetros generales para simulación de transferencia de calor en sistema pin-on-disk.

Configuración Flow Simulation	
Unidad del Sistema	SI
Tipo de Análisis	Internal- Exclude cavities without flow conditions
Fluido	Gas (Aire)
Tipo de fluido	Laminar y turbulento
Condiciones de frontera	Adiabático, rugosidad = 0 micrómetro
Condiciones Iniciales y ambientales	Presión = 101325 Pa Temperatura = 293.15 K Velocidad en X, Y, Z = 0 m/s Intensidad de la turbulencia = 2 % Temperatura del solido = 293.15 K
Temperatura de Trabajo	1273 K

- **Definición del dominio computacional**

En la tabla 6 se muestra las definiciones de las dimensiones del dominio computacional para la optimización de resultados.

Tabla 9. Dominio Computacional.

Xmin = -0.0821571944	Ymin = -0.178355951	Zmin = 0.00653684204
Xmax = 0.243477762	Ymax = 0.140711896	Zmax = 0.307136842

El dominio computacional es la región en donde se trabajará, es decir donde se llevara a cabo el mallado para su respectivo análisis, y así no se inviertan recursos computacionales que no necesarios.

Seguido establecemos el subdominio, el cual es el material y el fluido a trabajar. En este caso fue un sólido (acero 304 e INCONEL 718) y acotado por aire a temperatura ambiente y aire a 800 °C, lo cual nos permite aún más especificar el análisis requerido.

- **Materiales**

Los materiales utilizados fueron acero 304 (prefijado en el software) e INCONEL 718 (se adiciono los parámetros del material de acuerdo a sus propiedades específicas [3.4]). Se eligieron estos materiales, ya que el equipo de tribología actualmente está fabricado de acero 304 y el material INCONEL 718, es la nueva propuesta para condiciones extremas de trabajo.

- **Condiciones de frontera**

Tabla 10. Condiciones de frontera

Condiciones de frontera	Parámetros en componentes
Volumen de entrada del flujo	Coeficiente de transferencia = 25 W/m ² /K Temperatura = 297 K Caudal Volumétrico = 0.05 m ³ /s
Presión estática 1	Pressure = 0.0006 kg/s Temperatura= 297 K y 1073.15 K

El objetivo de la simulación es abarcar la capacidad del material propuesto (INCONEL 718) y compararlo con el acero 304 que actualmente trabaja el sistema pin-on-dik. Por lo tanto para realizar la simulación y ver cómo es su comportamiento se debe definir las fuentes de calor para saber cómo se comportará el fluido, en este caso es aplicado directamente en la superficie interna de la tapa, por medio de resistencias eléctricas conectadas directamente al equipo.

7. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de transferencia de calor obtenidos para el caso que el sistema sea de acero AISI 304 o de la superaleación INCONEL 718. En la figura 2, observamos el modelo del equipo de tribología pin-on-disk para su respectivo análisis de transferencia de calor y su efecto en los componentes del equipo [6].

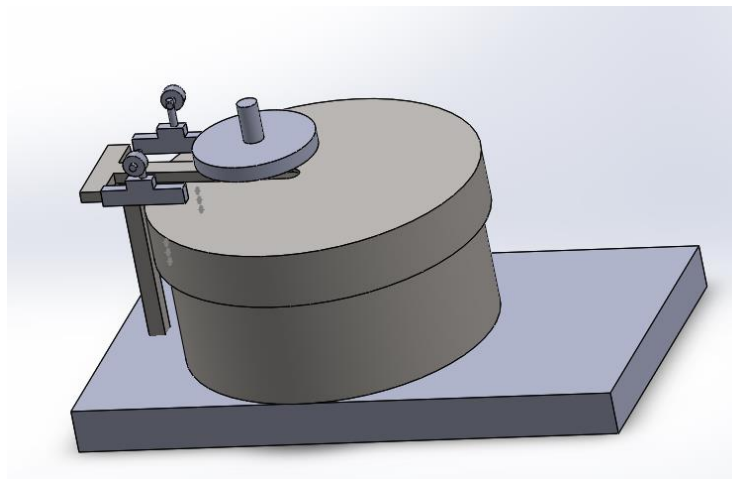


Figura 13. Equipo de tribología pin-on-disk diseñado en SolidWorks.

- **Simulación de la temperatura usando Acero AISI 304**

En la figura 3, se muestra la carcasa del equipo de tribología considerando el material inicial (acero 304). Como se ha mencionado el equipo trabaja en rangos de temperatura desde 25 °C hasta 1000 °C. El horno primario (parte inferior del esquema mostrado en la figura 3) del equipo permite alcanzar un máximo de 800 °C.

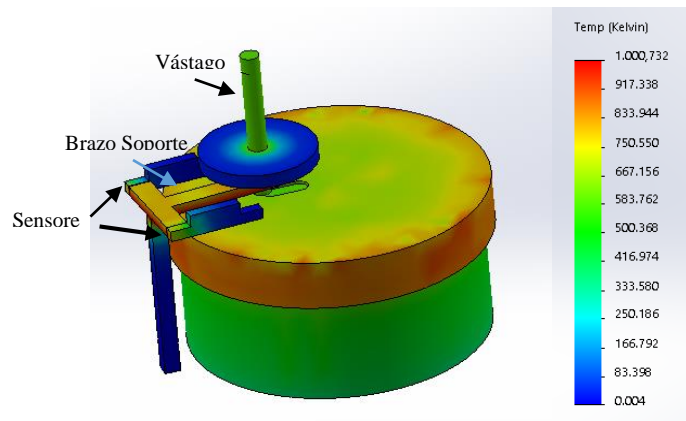


Figura 14, Modelado de la temperatura de trabajo 1000 °C (1273 K), del equipo de tribología fabricado con material de acero AISI 304.

La parte superior de la tapa del equipo cuenta también con resistencias eléctricas que permiten alcanzar la temperatura de 1000 °C, para realizar la prueba de desgaste en ambientes extremos. En la simulación se observa que la temperatura de trabajo también se transfiere al vástago, brazo soporte y celdas de carga. Cuando el horno trabaja a 1000 °C, el brazo a dichas temperaturas llega en sus extremos a rangos de aprox. 750 K (476 °C), esto se observa en la figura 4, lo cual puede afectar y dañar parcialmente a los sensores. Si la exposición a altas temperaturas es contante y durante periodos largos de trabajo, los sensores y las celdas de carga podrían ser dañados permanente.

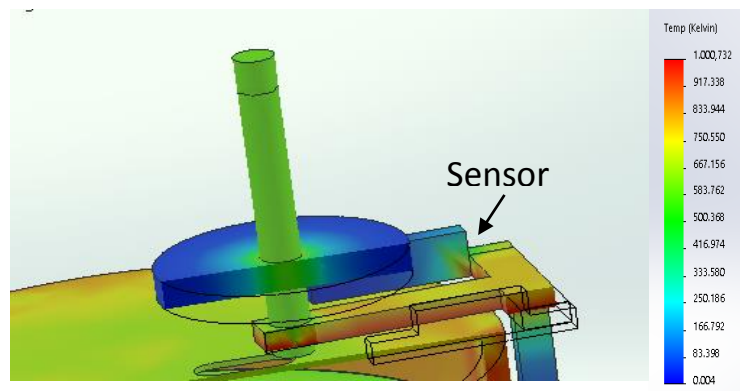


Figura 15, Distribución de temperaturas de los sensores de carga.

Los extremos del brazo soporte llegan a una temperatura de (833 K - 917 K), esto puede afectar cualquier componente a su alrededor con tiempos prolongados.

Para conocer la distribución de la temperatura del horno se toma una serie de nodos o puntos donde visualizamos las temperaturas durante su proceso, desde la parte superior a la parte inferior del equipo. En la figura 5, se observa el comportamiento del perfil de la temperatura de la tapa superior hasta la parte inferior del equipo.

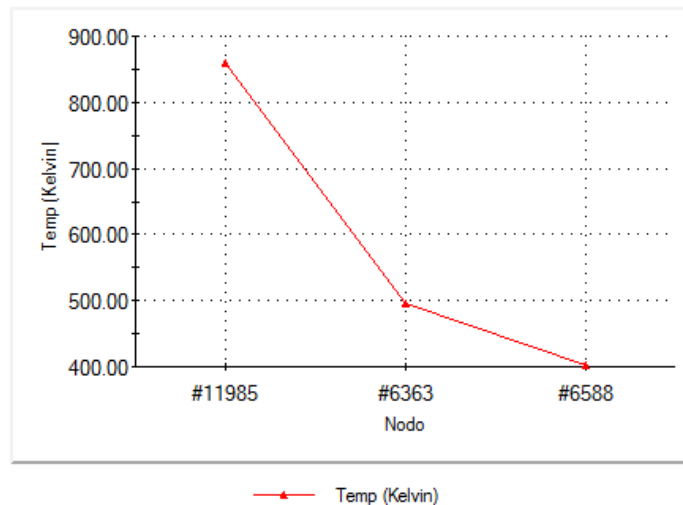


Figura 16, Temperatura vs. Nodos, desde la parte superior hasta la parte inferior.

Se realizó el mismo análisis para todo el brazo soporte del tribómetro para conocer las diferentes temperaturas alcanzados por efecto de la transferencia de calor, se observó que cerca de los sensores tenemos temperaturas cercanas a los 670 °K y a lo largo del brazo la temperatura va aumentando hasta 790 °K, esto sucede porque se aproxima a la fuente de calor, es decir resistencias de la superficie de desgaste.

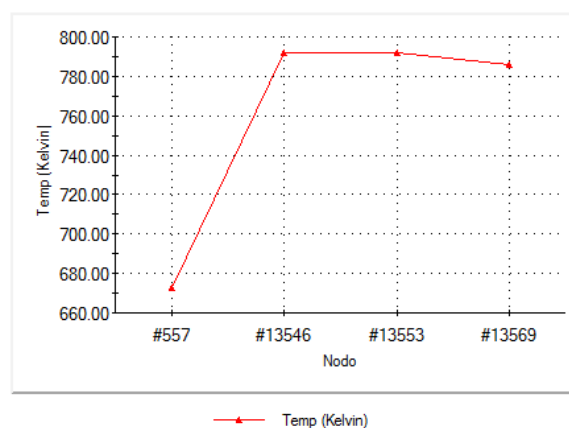


Figura 17, Temperatura del brazo soporte desde los extremos (sensores) hasta lo largo de la columna.

- **Simulación de temperatura usando INCONEL 718.**

En la figura 7, se observa el análisis de la distribución de temperaturas para el vástago y brazo soporte aplicando la superaleación de INCONEL 718. Podemos observar un cambio de temperatura comparado con el acero AISI 304, ya que hay una reducción en el perfil de temperaturas de aproximadamente del 30 %, (AISI 304 ~ 750K, INCONEL 718 ~ 476K). Una reducción similar se puede observar en los sensores y en el vástago, mostrando que es adecuado el uso de INCONEL 718 para trabajar tiempos prologados a 1273 K. Se espera que este material pueda resistir mayores tiempos de exposición. En la figura 8, observamos la disminución de temperatura para el brazo soporte.

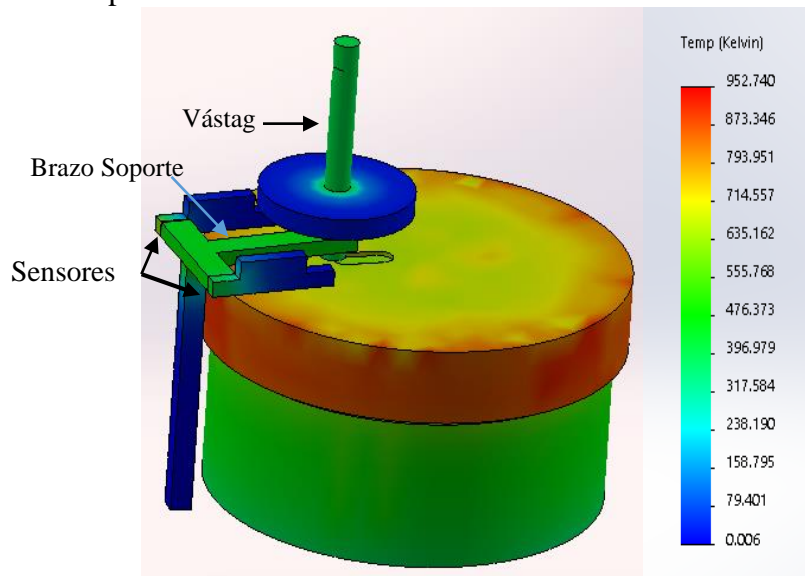


Figura 18, Equipo de tribología, a una temperatura de trabajo 1000 °C (1273 K)- utilizando el INCONEL 718.

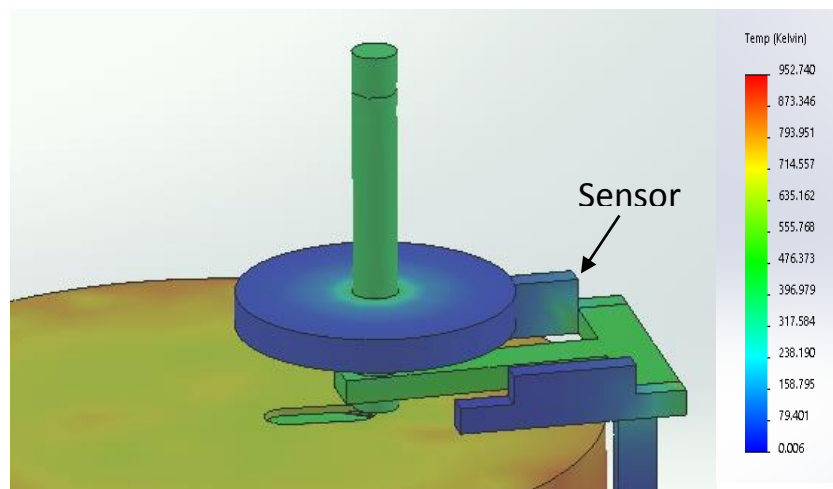


Figura 19, Perfil de temperaturas de los sensores de carga.

De igual manera se observa una temperatura casi uniforme en todo el brazo soporte, esta temperatura alcanza en los extremos ~ 420 K.

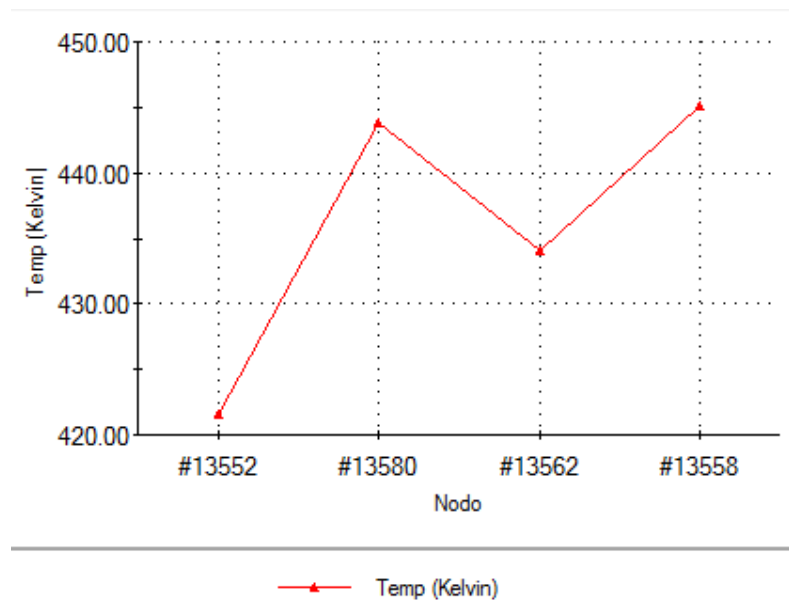


Figura 20, Temperatura del brazo soporte desde los extremos (sensores) hasta la columna.

- **Simulación de fluidos- Flow Simulation.**

Para el análisis de fluidos, tendremos en cuenta que el equipo trabajará con diferentes atmosferas (gases inertes como Ar o N₂, aire, etc). Para el siguiente estudio se consideró el aire como fluido gaseoso. En la figura 10, observamos los vectores que muestran el movimiento y dirección del fluido gaseoso, y se puede observar que su temperatura aumenta en el centro del equipo, esto debido a la mayoría de choques que hay entre las moléculas de aire concentradas en ese espacio. Este análisis indica que la muestra estará expuesta a mayor concentración de calor por parte del fluido interno.

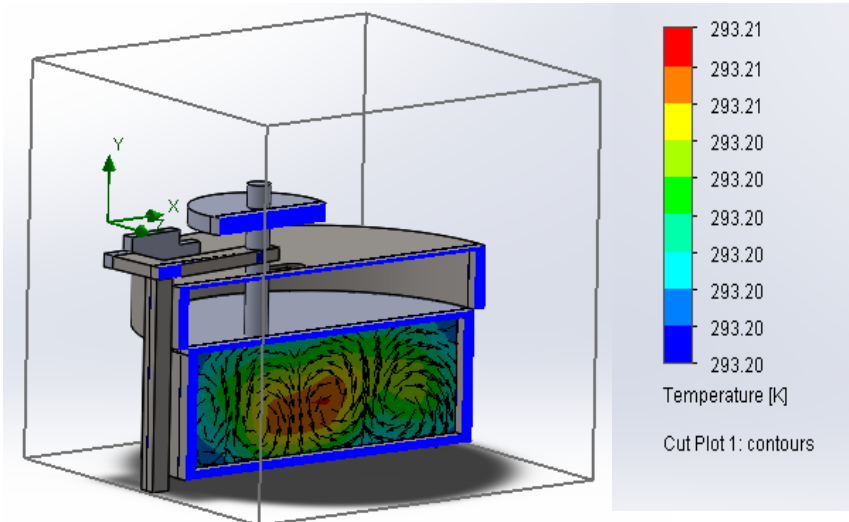


Figura 21, Simulación del perfil de temperaturas en la cámara del equipo pin-on-disk considerando un fluido gaseoso (aire).

En la figura 11, observamos el análisis de velocidad del fluido gaseoso, y se puede visualizar que se tiene una velocidad promedio de ~ 0.009 m/s, a temperatura ambiente. Esta velocidad es muy baja y se puede considerar que no afectará la muestra en durante el ensayo de tribología, pero si se debe tener en cuenta las fuerzas de cohesión entre las moléculas y la rapidez de transferencia de cantidad de movimiento molecular, ya que la viscosidad aumenta cuando aumenta la temperatura y eso afectaría la superficies a trabajar [7].

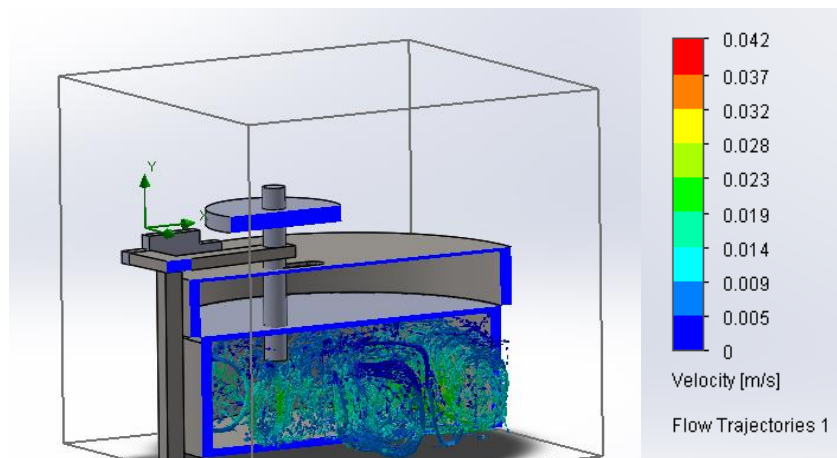


Figura 22, Simulación de la velocidad del fluido gaseoso (aire) dentro del horno del tribómetro.

8. CONCLUSIONES

1. Se determinó las temperaturas de transferencia de calor del brazo soporte 640 °K y vástago 720 °K, hasta llegar a los sensores extremos de carga.
2. El material propuesto INCONEL 718, es adecuado para mayor resistencia a altas temperaturas, logrando una disminución aproximadamente del 30 % en comparación con el material acero 304 que es actualmente considerado por la compañía que oferta el equipo pin on disk.
3. Se realizó el estudio de las velocidades de flujo gaseoso, llegando a determinar las velocidad de fluido interno dentro del equipo pin-on-disk, puntualmente en la muestra que es de 0.023 m/s y el vástago que es 0.032 m/s.

BIBLIOGRAFIA

1. ASM International Handbook Committee.” *Friction, Lubrication, and Wear Technology*”, Vol. 18, 1992.
2. C. Mathew Mate. “Tribology on the small scale”. OXFORD Press, 2008, pag 44-49.
3. Página web, visitada 15/08/2019:
<https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>
4. Página web, visitada 15/08/2019:
<http://www.goodfellow.com/S/Inconel-alloy-718-Aleacion-Resistente-al-Calor.html>
5. Página web, visitada 15/08/2019:
http://megamex.com/span/inconel_718.html
6. Norma G99- Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus I
7. Página web, visitada 16/08/2019:
http://fcm.ens.uabc.mx/~fisica/FISICA_II/APUNTES/VISCOSIDAD.htm



CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN TECNOLÓGICA

AUTORIZACIÓN
PUBLICACIÓN EN FORMATO ELECTRÓNICO DEL TRABAJO TERMINAL,
ESPECIALIDAD

Fecha: 28-02-2020

El que suscribe
Alumno (a) INES CAROLINA ORTEGA PORTILLA.....

CURP ...OEPI880702MNERRN03.....CVU.....901487.....

ORCID

Correo electrónico (opcional)
.....

Egresado (a) de ...Especialidad tecnólogo en mecatrónica.....

Autor del Trabajo Terminal, Especialidad titulado:

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SISTEMA DE
TRIBOLOGÍA PIN ON DISK FABRICADO DE INCONEL 718**

Por medio del presente documento autorizo¹ en forma gratuita y permanente a que el Trabajo terminal, Especialidad arriba citada sea divulgada y reproducida para publicarla mediante almacenamiento electrónico que permita el acceso al público a leerla y conocerla visualmente, así como a comunicarla públicamente en Página Web.

La única contraprestación que condiciona la presente autorización es la del reconocimiento del nombre del autor en la publicación que se haga de la misma.

Atentamente

-----INES CAROLINA ORTEGA PORTILLA-----

Nombre y firma del estudiante

¹ Ley Federal de Derechos de Autor

Para obtener tu ORCID regístrate en: <https://orcid.org/register>

Av. Playa Pie de la Cuesta No. 702 Desarrollo San Pablo. C. P. 76125

Santiago de Querétaro, Qro., México México.

Tel. 01 (442) 211 98 40

E-mail: jvite@cidesi.edu.mx