

Clave de la Propuesta	PPI- - -		
Puntos a considerar	Si	No	Observaciones/Comentarios
¿Se incluyen los datos de la <b>Portada</b> (licenciatura, título, modalidad, versión, declaratoria, firmas, etc.)?			
¿La extensión del <b>Título</b> es adecuada y sin abreviaturas?			
¿El <b>Título</b> refleja de forma clara lo que se trabajará en el proyecto?			
¿La <b>Introducción</b> describe en forma concisa el área de aplicación del proyecto?			
¿Los <b>Antecedentes</b> sitúan el proyecto propuesto respecto a otros trabajos?			
¿La <b>Justificación</b> describe la razón, relevancia o necesidad que origina el proyecto?			
¿El <b>Objetivo General</b> es claro y tiene relación directa con el proyecto a realizar?			
¿Los <b>Objetivos Particulares</b> se engloban en el objetivo general?			
¿La secuencia de actividades que se presenta en la <b>Metodología</b> es congruente con los objetivos y permite que se alcancen éstos?			
¿La <b>Descripción Técnica</b> presenta las especificaciones generales y particulares (materiales, dimensiones, normas, etc.), así como la explicación funcional de cada uno de los bloques del sistema a desarrollar?			
¿La <b>Normatividad</b> mencionada da un marco a la propuesta?			
¿El <b>Cronograma de Actividades</b> señala con claridad las tareas a realizar para alcanzar los objetivos del proyecto?			
¿El proyecto es realizable en el tiempo propuesto?			
¿Se encuentran indicados los <b>Entregables</b> dentro de la propuesta? ¿Se incluye explícitamente la entrega del <b>Reporte Final</b> ?			
¿Se incluyeron las <b>Referencias Bibliográficas</b> y estas cumplen con el formato solicitado?			
¿La <b>Terminología</b> específica del proyecto, que no es del conocimiento general en Ingeniería Mecánica, está claramente explicada?			
¿Se indican instalaciones, equipos y materiales que se requieren para realizar el proyecto?			
¿La propuesta tiene una redacción clara y sin faltas ortográficas?			
¿El enfoque del trabajo corresponde a un proyecto de Ingeniería Mecánica?			
Observaciones			
Estado de la propuesta			
( ) Autorizada      ( ) Revisada      ( ) No autorizada		Comité de Estudios de Ingeniería Mecánica	

## Propuesta de Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

**Nombre del Proyecto:** Evaluación mecánica de una capa de boruros mediante prueba de rasgado para su aplicación en herramientas de corte.

**Modalidad:** Proyecto de investigación.

**Versión:** Primera.

**Trimestre Lectivo:** 24-I

**Nombre:** José Luis Ramírez Ramírez.

**Matricula:** 2152000543.

**Correo Electrónico:** al2152000543@azc.uam.mx



---

Firma

**Nombre:** Ángel Andrés Castillo Hernández.

**Matricula:** 2152002332.

**Correo Electrónico:** al2152002332@azc.uam.mx



---

Firma

**Asesor:** Dr. José Luis Ramírez Cruz.

**Categoría:** Titular.

**Departamento de adscripción:** Energía.

**Teléfono:** (55) 5318 9068

**Correo electrónico:** rcjl@azc.uam.mx

---

Firma

**Co-asesor:** Dr. Angel Manuel Delgado Brito.

**Categoría:** Asociado.

**Departamento de adscripción:** Energía.

**Teléfono:** (56) 1773 4143

**Correo electrónico:** amdb@azc.uam.mx

---

Firma

---

Ciudad de México a 09 de Mayo 2024

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

---

José Luis Ramírez Ramírez

---

Ángel Andrés Castillo Hernández

---

Dr. José Luis Ramírez Cruz

---

Dr. Angel Manuel Delgado Brito

## 1. Introducción

La demanda mundial de transformar la materia prima en productos depende directamente de las máquinas y las herramientas disponibles en la industria. La importancia de las máquinas y las herramientas radica en manufacturar artículos que faciliten y beneficien las diversas actividades del ser humano. Por esta razón se han desarrollado técnicas como el recubrimiento de acero herramental con cerámicos avanzados, que desde el año 2005 representan un crecimiento proyectado del 5.2% anual [1].

En este sentido, desde el siglo XVIII se ha estudiado el proceso de endurecimiento superficial por difusión de boro en aceros [2]. Este proceso consiste en obtener una capa de boruros con alta dureza, mediante la difusión de átomos de boro en la superficie del material. En particular, el proceso termoquímico de borurización en pasta, es una alternativa que ofrece una notable mejora en sus propiedades superficiales (resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión). sin embargo, la efectividad del recubrimiento se ve comprometida si no se tiene una adhesión adecuada con el sustrato.

Una de las pruebas más comunes para evaluar la integridad de los recubrimientos, en función de la adhesión con el sustrato, es la prueba mecánica de scratch o rasgado. Este método consiste en deslizar un indentador de diamante (tipo Rockwell C), ya sea bajo una fuerza normal constante o una fuerza normal progresiva [3]. La finalidad es generar un daño en el recubrimiento y determinar las cargas críticas de adhesión con el sustrato (figura 1).

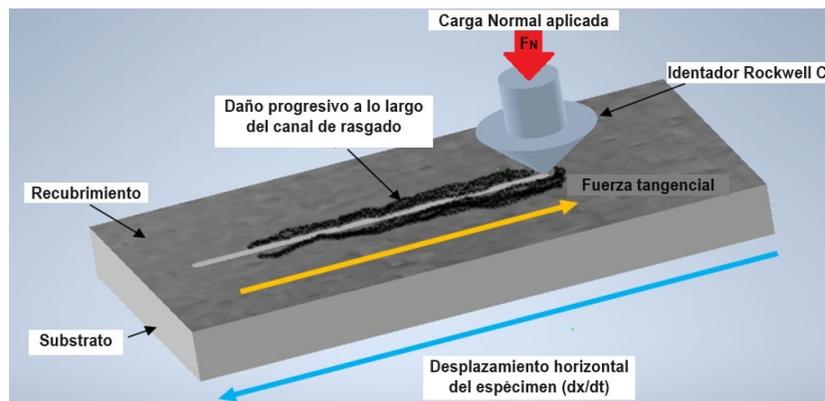


Figura 1. Representación gráfica de prueba mecánica de rasgado

En este proyecto de investigación, se propone evaluar la adhesión entre el sistema capa de boruros/aceros H13 (grado herramental), mediante la prueba de rasgado. La capa de boruros es obtenida mediante un tratamiento de borurado en pasta al vacío. A través de la prueba de rasgado se podrá establecer si esta nueva alternativa en el área de recubrimientos es funcional, tomando en consideración la necesidad de analizar el comportamiento de la capa mediante pruebas mecánicas.

## **2. Antecedentes**

En el año 2020, el ingeniero Salas Enrique publicó en la revista de docencia e investigación de la UAM Azcapotzalco su trabajo llamado “Efecto de la microadición de boro en un acero TWIP sobre las características de la estructura de colada”. De este proyecto se analizará la interacción del boro con el acero y el tipo de estructuras obtenidas [4].

En el año 2015, el ingeniero Roberto Carlos Vega Morón realizó una tesis en el Instituto Politécnico Nacional, titulada “Desgaste por deslizamiento multipass en recubrimientos duros formados por difusión interrumpida de boro”. De esta tesis, se analizará la técnica de difracción de rayos X para conocer las fases obtenidas en el proceso de borurado, además del método de micro indentación para obtener la dureza superficial [5].

En el año 2016, el ingeniero Contla Pacheco Alan Daniel elaboró una tesis en el Instituto Politécnico Nacional, titulada “Estimación de las propiedades mecánicas superficiales de boruros de níquel formadas en una superaleación inconel 718”. De este trabajo, se obtendrá el proceso para la estimación de la adhesión del sistema capa/sustrato mediante la prueba de rasgado [6].

## **3. Justificación**

Para garantizar la mejora en las propiedades de la capa de boruros sobre el acero H13, es necesario establecer su integridad mediante pruebas mecánicas de rasgado, las cuales consisten en provocar un daño generado por la aplicación de una fuerza normal de forma constante o progresiva en la capa a evaluar. Los datos obtenidos determinarán la viabilidad de la capa de boruros como una alternativa para incrementar las propiedades mecánicas del material, y por ende si incrementa el ciclo de vida de las herramientas de corte. La adhesión de la capa de boruros se abordará desde la perspectiva de adhesión práctica, estimando la fuerza que se necesita para separar dos componentes enlazados.

## **4. Objetivo**

### **Objetivo general.**

Determinar las propiedades mecánicas de una capa de boruros en acero tipo H13, mediante la evaluación de su adhesión práctica, para establecer su desempeño como una alternativa para incrementar la vida útil de una herramienta de corte.

## **Objetivos particulares.**

Realizar prueba de micro indentación Vickers en la superficie y sección transversal, para estimar los valores de dureza en la superficie de la capa y a lo largo del sistema capa/substrato.

Caracterizar la capa resultante del proceso de borurado mediante microscopía óptica y análisis de difractogramas de rayos X, para determinar los espesores y morfología del recubrimiento, así como las fases que lo conforman.

Llevar a cabo la prueba de rasgado, con el equipo comercial CSM Revetest Xpress+, en la superficie de la capa de boruros, para determinar sus propiedades de adhesión práctica.

Analizar los resultados obtenidos para establecer la viabilidad del proceso en herramientas de corte.

## **5. Metodología**

Fase 1. Preparación metalográfica de la sección transversal de la muestra.

Se comenzará realizando un corte a las muestras, para analizar la sección transversal. Posteriormente, los cortes se montarán en baquelita y se someterán a un proceso de lijado mecánico y pulido. Finalmente, se hará un ataque químico para revelar la microestructura del sistema capasustrato.

Fase 2. Análisis microestructural de la capa mediante microscopía óptica.

Las muestras montadas en baquelita y atacadas químicamente, serán inspeccionadas con la técnica de microscopía óptica con el objetivo de establecer la microestructura del sistema capa-sustrato y los espesores de capa.

Fase 3. Identificación de fases de la capa mediante análisis de difracción de rayos X.

Durante esta etapa se hará la identificación de fases mediante la comparación de un difractograma de rayos X con patrones que se tienen en una base de datos y que sirven como referencia.

Fase 4. Pruebas de microindentación Vickers.

Se aplicarán ensayos de microindentación Vickers en la superficie de la capa y en la sección transversal del sistema capa-sustrato. Posteriormente, mediante microscopía óptica se medirá el tamaño de las huellas de indentación, en función de la carga aplicada  $F$  (en Newtons).

Fase 5. Pruebas de rasgado.

Se someterá la superficie de las muestras boruradas al ensayo de rasgado, con la aplicación de una fuerza incremental para generar fallas bien definidas en la capa. Esta prueba nos indica la fuerza necesaria para llegar al desprendimiento de la capa. Las cargas críticas se estiman al relacionar las fallas presentes en la capa con la distancia en la que se presentarán.

Fase 6. Análisis de viabilidad para herramientas de corte

Se evaluarán los resultados obtenidos de la prueba de rasgado y se determinará si la adhesión de borurado en las muestras es viable para la aplicación en herramientas de corte.

## 6. Normatividad

La norma **ASTM E3** Describe los métodos de muestreo y preparación de muestras metalográficas. De esta norma se tomarán en consideración las recomendaciones para la preparación adecuada de las muestras [7].

La norma **NMX-R-082-SCFI-2016, ISO 20502 Y ASTM C1024** Describe el método para evaluar la adhesión/cohesión en recubrimientos cerámicos. De esta norma se utilizará el procedimiento de las pruebas de rasgado, con los criterios considerados para este trabajo [8].

La norma **ASTM C1327** describe el método de prueba estándar para la dureza por microindentación Vickers en cerámicos avanzados. De esta norma se retomará el procedimiento para obtener el tamaño de indentación de las muestras del presente proyecto [9].

## 7. Cronograma de actividades

UEA para la que se solicita autorización:

Proyecto de integración en ingeniería mecánica I.	X
Proyecto de integración en ingeniería mecánica II.	
Introducción al trabajo de investigación en ingeniería mecánica.	

	Actividades del trimestre 24-P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Preparar metalográficamente la sección transversal de la muestra	■											
2	Analizar la microestructura de la capa mediante microscopía óptica		■	■									
3	Identificar las fases de la capa mediante difracción de rayos X				■	■	■						
4	Realizar las pruebas de microindentación Vickers						■	■	■				
5	Realizar las pruebas de rasgado								■	■	■	■	
6	Análisis de viabilidad para herramientas de corte									■	■	■	
7	Elaboración y entrega del reporte final							■	■	■	■	■	■

## 8. Entregables

Reporte Final

## 9. Referencias bibliográficas

- [1] Organización Internacional de Normalización (ISO), 2005, Disponible en: <http://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/customview.html?func=ll%objId=687806&objAction=browse&sort=name>
- [2] López García, C., 2012, "Formulación numérica de la difusión del boro en capas duras de boruros de hierro formadas en una configuración cilíndrica de acero AISI D2", Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- [3] ISO, 2005, "Fine ceramics advanced ceramics, advanced technical ceramic, determination of adhesion of ceramics by scratch testing", ISO 20502:2205.
- [4] Salas Reyes, A. E., 2020, "Efecto de la microadición de boro en un acero TWIP sobre las características de la estructura de colada", Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química, año 6, número 6.

- [5] Vega Moròn, R. C., 2015, "Desgaste por deslizamiento multipass en recubrimientos duros formados por difusión interrumpida de boro", Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- [6] Contla Pacheco, A. D., 2016, "Estimación de las propiedades mecánicas superficiales de boruros de níquel formadas en una superaleación Inconel 718", Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- [7] ASTM, 2005, "Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing", ASTM E3.
- [8] Secretaría de economía, 2016, "Determinación de la cohesión-adhesión en recubrimientos cerámicos técnicos avanzados mediante la prueba de rasgado-método de prueba", NMXR-082-SCFI-2016.
- [9] ASTM, 2019, "Standard test method for Vickers indentation hardness of advanced ceramics", ASTM C1327-15 2019.

## **10. Terminología**

No es necesaria.

## **11. Infraestructura**

Laboratorio Grupo Ingeniería de superficie de la SEPI ESIME Zacatenco.

## **12. Asesoría complementaria**

No es necesaria.

## **13. Publicación o difusión de resultados**

No se tiene la intención de publicar.

COMENTARIO DEL CEIM		ACCÓN REALIZADA EN LA PPI	
Expo.	Comentario	Expo.	Comentario
Pregunta 1	¿Cómo se va a controlar el espesor de la capa de boruros en el acero H13?	Respuesta	En este proyecto no se va a sintetizar la capa de boruros, el objetivo es realizar las pruebas mecánicas a muestras que ya tienen el proceso de borurizado de pasta al vacío, las cuales serán proporcionadas por el Dr. Angel Manuel Delgado Brito, quien es uno de nuestros asesores.
Pregunta 2	¿Qué pasa si la capa de boruros es muy delgada?	Respuesta	Se pretende evaluar solo la adhesión de la capa de boruros en un proceso al vacío, sin importar el espesor de la capa, ya que esta depende de un análisis del borurizado, el cual no se aborda en el presente proyecto.
Pregunta 3	¿Este trabajo obedece a una inquietud por parte del alumnado o es alguna solicitud de una empresa?	Respuesta	El presente trabajo es una solicitud por parte de una empresa, quien busca implementar este proceso al catálogo de recubrimiento que ya maneja. La empresa realiza el tratamiento y requiere una caracterización mecánica de la capa de boruros para evaluar la viabilidad de su implementación en herramientas.
Pregunta 4	¿Hay un convenio con el IPN para tener acceso a los laboratorios?	Respuesta	Sí, el Dr. Angel Manuel Delgado Brito, quien es uno de nuestros asesores y forma parte del Grupo de Ingeniería de Superficies del IPN, gestionó el oficio de acceso y uso de las instalaciones del laboratorio del grupo antes mencionado, para los alumnos participantes del presente proyecto de integración.