

**APOYO A LA CARACTERIZACIÓN DE MICROESTRUCTURAS DE ALEACIONES METÁLICAS Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO A ELEMENTOS Y/O MATERIALES METÁLICOS DE CONSTRUCCIÓN, EN LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, BAHIA BLANCA, ARGENTINA.**

**ALEJANDRO SEPÚLVEDA BUITRAGO  
ID: 000243995**



**APOYO A LA CARACTERIZACIÓN DE MICROESTRUCTURAS DE  
ALEACIONES METÁLICAS Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO  
A ELEMENTOS Y/O MATERIALES METÁLICOS DE CONSTRUCCIÓN,  
EN LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, BAHIA  
BLANCA, ARGENTINA.**

**ALEJANDRO SEPÚLVEDA BUITRAGO  
ID: 000243995**

**SUPERVISOR DE LA EMPRESA  
Ing. ALBERTO CARLOS PICASSO PhD**

**SUPERVISOR DE PRÁCTICA UPB  
Ing. SERGIO MANUEL PINEDA VARGAS PhD**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
BUCARAMANGA  
2017**

Dedico este paso a mis padres,  
pues son ellos los que siempre han trabajado a mi lado.  
A ellos, por darme todas las herramientas, fuerza y apoyo;  
por todos sus años de sacrificios constantes y duro trabajo,  
por sus consejos, por creer y confiar en mí.  
A ellos, por brindarme una vida llena de aspiraciones  
y oportunidades sin desfallecer.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por este nuevo logro, por darme la compañía de todas esas personas que siempre me brindaron su apoyo con este fin. Agradezco a mis amados padres por el esfuerzo y dedicación que tuvieron cada día para ayudar a culminar mis logros, a mi querida hermana, por sus palabras y compañerismo en todos estos años, a todas esas personas que tocaron mi corazón e hicieron posible esta meta hoy.

Agradezco inmensamente a todos los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana que me formaron, en especial al Ingeniero Sergio Pineda. Agradezco a mi supervisor PhD Alberto Picasso y al Ingeniero Matías Sosa, por todas las enseñanzas en práctica y por convertirme en un integrante más de su equipo de investigación en esta pasantía internacional. Agradezco también la acogida y aportes del grupo de trabajo de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur en Argentina.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....</b>	<b>10</b>
3.1 DATOS DEL ESTUDIANTE EN PRÁCTICA.....	10
3.2 DATOS DE LA EMPRESA.....	11
3.3 DATOS DEL SUPERVISOR DE LA EMPRESA.....	11
3.4 DATOS DE JEFE DIRECTO.....	11
3.5 LOCALIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	12
3.6 HISTORIA.....	13
3.9 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	15
<b>4. ACTIVIDADES .....</b>	<b>16</b>
4.1 PREPARACIÓN DE MUESTRA.....	16
4.2 METALOGRAFÍA .....	18
4.2.1 <i>Desbaste</i> .....	19
4.2.2 <i>Pulido</i> .....	20
4.2.3 <i>Microscopía</i> .....	21
4.3 DUREZA VICKERS .....	25
4.4 DISOLUCIÓN DE MUESTRAS.....	28
4.5 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	30
<b>5. RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES .....</b>	<b>34</b>
<b>6. COMPARACIÓN DE LAS ALEACIONES HP-NB, ET45 CON EL ACERO A36.</b>	<b>38</b>
<b>7. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....</b>	<b>44</b>
<b>8. APORTES AL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>45</b>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>10. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE PASANTÍA INTERNACIONAL.....	12
<b>FIGURA 2</b> - EDIFICACIÓN DE LABORATORIO DE METALURGIA .....	14
<b>FIGURA 3</b> - ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR.....	15
<b>FIGURA 4</b> - COMPARACIÓN DE MUESTRAS DE ACERO HP-MODIFICADO CON Nb DEL ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE LLEVARLAS AL HORNO. ....	17
<b>FIGURA 5</b> - ADECUACIÓN DE MUESTRA CON POLÍMERO.....	18
<b>FIGURA 6</b> - DIRECCIONES DE LIJADO A MANO .....	19
<b>FIGURA 7</b> - PULIDO A MÁQUINA DE MUESTRA DE ACERO HP- MODIFICADA .....	21
<b>FIGURA 8</b> - MUESTRA EN MICROSCOPIO ÓPTICO MARCA LEICA .....	22
<b>FIGURA 9</b> - ELECTRÓLISIS DE ACERO HP EN HIDRÓXIDO DE POTASIO. ....	23
<b>FIGURA 10</b> - ESTRUCTURA DE METAL HP- Nb AUMENTADO A 1000X. ....	24
<b>FIGURA 11</b> - CARBUROS SECUNDARIOS DE MUESTRA DE ACERO HP-Nb. ....	24
<b>FIGURA 12</b> - CRECIMIENTO DE ÁREA DE CARBUROS SECUNDARIOS EN DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO DE ACERO HP A 800°C.....	25
<b>FIGURA 13</b> - IMPRONTA DE ENSAYO DE DUREZA VICKERS A 500X. ....	26
<b>FIGURA 14</b> - COMPARACIÓN DE DUREZA Y CRECIMIENTO DE ÁREA DE PRECIPITADOS EN DIFERENTES TIEMPOS DE ENVEJECIMIENTO DE ACERO HP A 800°C. ....	27
<b>FIGURA 15</b> - ENSAYO DE DISOLUCIÓN DE MATRIZ EN ACERO ET45.....	29
<b>FIGURA 16</b> - EQUIPO EVO 40 USADO PARA DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	30
<b>FIGURA 17</b> - MUESTRAS AS CAST DE ALEACIONES HP-Nb Y ET45. ....	35
<b>FIGURA 18</b> - ESPECTRO GENERADO EN LA MATRIZ DE ACERO ET45 ENVEJECIDO A T=750°C EN 1640 H. ....	35
<b>FIGURA 19</b> - ESPECTRO GENERADO EN CARBUROS PRIMARIOS DE ACERO ET45 ENVEJECIDO A T=750°C EN 1640 H.....	36
<b>FIGURA 20</b> - COMPARACIÓN DE COMPONENTES QUÍMICOS DE LA MATRIZ Y CARBURO PRIMARIO DE MUESTRA ET45 ENVEJECIDO A T=750°C EN 1640 H.....	37
<b>FIGURA 21</b> - FISURA POR OXIDACIÓN EN MALLA ELECTRO SOLDADA. ....	39
<b>FIGURA 22</b> - RELACIÓN ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE ACEROS ESTRUCTURALES. ....	40
<b>FIGURA 23</b> - COMPARACIÓN DE MICRO DUREZAS DE ALEACIONES ET45 Y HP-Nb ENVEJECIDAS A 800°C.....	41
<b>FIGURA 24</b> - COMPARACIÓN DE MICRO DUREZAS DE ALEACIÓN ET45 A TEMPERATURAS DE ENVEJECIMIENTO DE 700°C Y 800°C. ....	41
<b>FIGURA 25</b> - CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS PROPUESTOS PARA PASANTÍA INTERNACIONAL. .....	45

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA N° 1</b> - PROPIEDADES GENERALES DE ALÚMINA MARCA XIETA. ....	20
<b>TABLA N° 2</b> - COMPOSICIÓN DEL REACTIVO REVELADOR DE LA MUESTRA.....	22
<b>TABLA N° 3</b> - RESUMEN DE CÁLCULOS PROPORCIONADO POR SOFTWARE IMAGEJ DE MUESTRA HP A TEMPERATURA DE 800° CENTÍGRADOS Y TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO DE 1 HORA. ....	24
<b>TABLA N° 4</b> - COMPOSICIÓN DEL REACTIVO PARA DISOLUCIÓN DE MATRIZ AUSTENÍTICA....	29
<b>TABLA N° 5</b> - ACEROS HP-Nb ESTUDIADOS DURANTE LA PASANTÍA ENVEJECIDOS A 800°C. 31	31
<b>TABLA N° 6</b> - ACEROS ET45 ENVEJECIDOS A 700°C ESTUDIADOS DURANTE LA PASANTÍA... 31	31
<b>TABLA N° 7</b> - ACEROS ET45 ENVEJECIDOS A 800°C ESTUDIADOS DURANTE LA PASANTÍA... 32	32
<b>TABLA N° 8</b> - ACEROS ET45 ENVEJECIDOS A 750°C ESTUDIADOS DURANTE LA PASANTÍA... 33	33
<b>TABLA N° 9</b> - COMPOSICIÓN DE MATRIZ DE ACERO HP A 800°C DE ENVEJECIMIENTO. ....	34
<b>TABLA N° 10</b> - COMPOSICIÓN DE MATRIZ Y CARBURO PRIMARIO DE ACERO ET45 A 750°C DE ENVEJECIMIENTO. ....	37
<b>TABLA N° 11</b> - PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LA ALEACIÓN HP. ....	42
<b>TABLA N° 12</b> - COMPOSICIONES QUÍMICAS DE METALES HP-Nb, A36 Y ET45. ....	43
<b>TABLA N° 13</b> - GRADO PORCENTUAL DE OBJETIVOS CUMPLIDOS DURANTE LA PASANTÍA INTERNACIONAL. ....	44

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** APOYO A LA CARACTERIZACIÓN DE MICROESTRUCTURAS DE ALEACIONES METÁLICAS Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO A ELEMENTOS Y/O MATERIALES METÁLICOS DE CONSTRUCCIÓN, EN LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, BAHÍA BLANCA, ARGENTINA.

**AUTOR(ES):** Alejandro Sepúlveda Buitrago

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ing. Sergio Manuel Pineda Vargas, PhD

### RESUMEN

Este trabajo de grado muestra las actividades ejecutadas como apoyo al grupo de investigación del Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur, encabezado por el PhD Alberto Picasso. Este grupo labora en la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo principal de la práctica fue caracterizar microestructuras de nuevas aleaciones metálicas, analizando su comportamiento térmico a temperaturas de 700°C hasta 900°C con tiempos de envejecimiento de 15 minutos hasta cientos de horas. Como actividades realizadas se encuentran metalografías de aproximadamente 20 muestras de aleación HP modificadas con Niobio (Nb) y 20 muestras de ET45; a su vez se realizaron más de 350 microscopías, 90 cálculos de fracciones volumétricas, 2 disoluciones de matrices y mediciones de micro-dureza a 30 muestras.

**PALABRAS  
CLAVE:**

Microestructuras, aleaciones, metalografía, microscopía, fracciones volumétricas, resistencia de materiales.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**



**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

:

**TITLE:** SUPPORT TO THE CHARACTERIZATION OF METALLIC ALLOY MICROSTRUCTURES AND THERMAL TREATMENT APPLIED TO METAL CONSTRUCTION ELEMENTS AND / OR MATERIALS, AT THE UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR' LABORATORIES, BAHIA BLANCA, ARGENTINA.

**AUTHOR(S):** Alejandro Sepúlveda Buitrago

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Ing. Sergio Manuel Pineda Vargas, PhD

**ABSTRACT**

The present work shows the activities carried out in support of an investigation group at the Metallurgy Laboratory of the Universidad Nacional del Sur, headed by the PhD Alberto Picasso. This group works in Bahía Blanca city, province of Buenos Aires, Argentina. The main objective of the practice was to characterize microstructures of new metal alloys, analyzing their thermal behavior at temperatures of 700 ° C to 900 ° C with aging times of 15 minutes to hundreds of hours. The activities performed include metallographies of approximately 20 samples of HP alloy modified with Niobium (Nb) and 20 samples of ET45; At the same time, more than 350 microscopies, 90 calculations of volumetric fractions, 2 solutions of matrices and measurements of microhardness to 30 samples.

**KEYWORDS:**

Microstructures, alloys, metallography, microscopy, volumetric fractions, materials resistance.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. Introducción

En 2010 el mundo conoció la estructura artificial más alta creada por el hombre, un orgullo ingenieril ubicado en Dubái llamado Burj Khalifa, un rascacielos con 828 metros de altura<sup>1</sup>, el cual demostró la importancia que tienen las aleaciones metálicas en los avances de la construcción. Una muestra de ello se encuentra en sus cimientos, con acero aleado que resiste mejor la corrosión del suelo dubaití, habitaciones de refugio con paredes y tuberías aleadas ignífugas que resisten las altas temperaturas de los incendios y fachadas de vidrios con recubrimiento de aluminio aleado para refractar los rayos solares, como lo muestra (National Geographic Society, 2008) en su documental “Skyscraper Burj Khalifa”.

Alear ciertos metales entre sí genera mejoras en sus propiedades físicas, como la resistencia a mayores cargas, esfuerzos a altas temperaturas, oxidaciones y corrosiones<sup>2</sup>.

La Universidad Nacional del Sur, cuenta con un vasto complejo estudiantil en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina, el cual cuenta con laboratorios dedicados a la investigación; uno de ellos, el Laboratorio de Metalúrgica, donde ingenieros físicos y mecánicos realizan estudios de resistencia de materiales a los aceros austeníticos HP-

---

<sup>1</sup> Emmar Group. (2016). Burj Khalifa. Obtenido de <http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/structures.aspx>

<sup>2</sup> Damborenea, J. J. (2007). *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI*. Madrid: CSIC.

Modificado con Niobio y ET45, ambos tipo Cr-Ni-Fe (Cromo, Níquel y Hierro)<sup>3</sup>. El PhD (Picasso, 2014) quien encabeza esta investigación hasta el día de hoy, junto con su equipo de trabajo, caracterizan la microestructura de los elementos antes mencionados, a través de microscopía óptica envejeciendo muestras a 700°C ~ 900°C en tiempos de hasta 4000 horas; examinando la transformación de los precipitados primarios y secundarios en estas condiciones.

El estudio de estas aleaciones metálicas ayuda al ingeniero civil a comprender y prever las alteraciones físicas y químicas de los materiales metálicos, cuando estos son expuestos a agentes extremos como la corrosión, oxidación y las altas temperaturas, condiciones que plantea (McCormac, 2012) en su libro de diseño; adquiriendo la capacidad de mitigar errores de almacenamiento y manipulación de los elementos y materiales metálicos de construcción en obra, dejando atrás casos como la “Torre Escollera” el edificio más alto de Colombia desmontado, como lo describe la (Agencia EFE , 2007) en WRadio.

Este informe contiene en detalle las actividades desarrolladas en el marco de pasantía internacional y que hacen parte del estudio de aleaciones metálicas, con el fin de analizar sus comportamientos, durezas y resistencias a altas temperaturas; comparando algunas de sus propiedades físicas y químicas con el acero estructural al carbono A36.

---

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones científicas (2012), *Informe Científico*. Argentina , Recuperado de [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2896/11746\\_2896.pdf](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2896/11746_2896.pdf)

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General.

Determinar las propiedades físicas y químicas de microestructuras de aleaciones metálicas expuestas a altas temperaturas de elementos y/o materiales de construcción.

### 2.2 Objetivos Específicos.

- Estudiar el tratamiento térmico de aleaciones metálicas a temperaturas entre 700 y 950 grados centígrados.
- Realizar el estudio de tracción y micro dureza Vickers al acero modificado HP y ET45.
- Realizar metalografías a las aleaciones metálicas HP-modificada con Nb y a la ET45.
- Realizar microscopías y calcular las fracciones de áreas al acero HP-modificado y ET45.
- Comparar propiedades físicas y químicas de nuevas aleaciones metálicas, con aceros de carbono (Aceros de la construcción).

### 3. Descripción de la empresa

La Universidad Nacional del Sur, es una institución de educación superior del sector público, ubicada en la ciudad de Bahía Blanca, en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Cabe señalar que esta universidad, se encuentra entre las 20 mejores instituciones académicas del país<sup>4</sup> y si bien la mayor parte del alumnado es nativo de Bahía Blanca e Ingeniero White, hay un gran porcentaje de jóvenes provenientes de toda zonas aledañas a la ciudad; así mismo, gracias a sus convenios internacionales, una gran cantidad de estudiantes extranjeros vienen en modalidad de intercambio, permitiéndoles realizar sus estudios, prácticas y/o pasantías en sus instalaciones.

#### 3.1 Datos del Estudiante en práctica.

Nombre Completo: Alejandro Sepúlveda Buitrago

ID: 000243995

Dirección Casa: Av Tejar 104-25, casa 5A

Ciudad: Floridablanca

Teléfono: 6976965

Celular: +573182221786 - +541130117871

---

<sup>4</sup> UniRank, (2017), *Top Universities in Argentina 2017*, Recuperado de <http://www.4icu.org/ar>

### **3.2 Datos de la Empresa.**

Nombre de la Empresa: Universidad Nacional de Sur

Dirección: Av. Alem 1253, 8000

Ciudad: Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Representante Legal: Dr. Mario Ricardo Sabbatini

Teléfono: +54 291 459-5118

Fax: +54 291 459-5118

Celular: +54 291 459-5118

### **3.3 Datos del Supervisor de la Empresa.**

Nombre del Supervisor: Dr. Alberto Carlos Picasso

Dirección de Laboratorios: Córdoba 794, 8000

Teléfono Oficina: +54 291 459-5118

Correo: alberto.picasso@uns.edu.ar

### **3.4 Datos de Jefe Directo.**

Nombre del Jefe Directo: Ing. Matías Sosa

Teléfono celular: +5492932496341

Correo: Matias.Sosa@uns.edu.ar

### 3.5 Localización de la empresa.

El laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur, está situado en la ciudad de Bahía Blanca de la provincia de Buenos Aires, ubicada al Sur-Oeste de Argentina. Esta ciudad está a 650km de la Capital Federal Buenos Aires, ciudad autónoma, costera con el Océano Atlántico y con más de 301.000 habitantes aproximadamente.<sup>5</sup>

Su edificación antigua e independiente a la estructura del campus universitario. Está entre las calles Córdoba y 12 de Octubre, con 400 m<sup>2</sup> distribuidos entre talleres, laboratorios y área administrativa.



*Figura 1 - Ubicación Geográfica de pasantía internacional.*

Fuente: Google (s.f) – Mapas de Bahía Blanca, Argentina en Google Maps. Recuperado de <https://goo.gl/a3yuAcp>

<sup>5</sup> Municipio de Bahía Blanca, (2017) Recuperado de : <http://www.bahia.gob.ar>

### 3.6 Historia

La Universidad Nacional del Sur en su página web cuenta su gran trayectoria para convertirse en Universidad<sup>6</sup>. Inició como un Instituto, creado el 9 de Octubre de 1946 con el nombre de Instituto Tecnológico del Sur, a través de la ley de la provincia de Buenos Aires N°5051, estando supervisada por la Universidad Nacional de la Plata.

La provincia de Buenos Aires y el gobierno Argentino firmaron un convenio, dándole fondos a la institución, los cuales posibilitaban el mantenimiento y funcionamiento del instituto.

El Instituto logra subir a categoría universitaria en 1950, pero tan solo dos años después, se la suprimen, dependiendo nuevamente del Ministerio de Economía de la Nación.

Luego de la caída del gobierno de Perón, el profesor Pedro González Prieto, en función de interventor inicia las gestiones ante el gobierno Nacional para adquirir nuevamente la condición de Universidad Nacional.

La Universidad Nacional del Sur, fue la séptima universidad pública creada en el país, y la misma decidió estructurarse bajo Departamentos, en vez de las típicas facultades. Esta organización logra una estructura administrativa menor, y permiten mayor transversalidad en el conocimiento, al igual que flexibilidad. Una muestra de este

---

<sup>6</sup> Universidad Nacional del Sur, Reseña Histórica-  
[http://uns.edu.ar/institucional/laUns\\_resena\\_historica](http://uns.edu.ar/institucional/laUns_resena_historica).



sistema es que las unidades académicas no deben crear para sus carreras las materias que otras dictan para las suyas, lo que permite a los alumnos cursarlas en ellos.

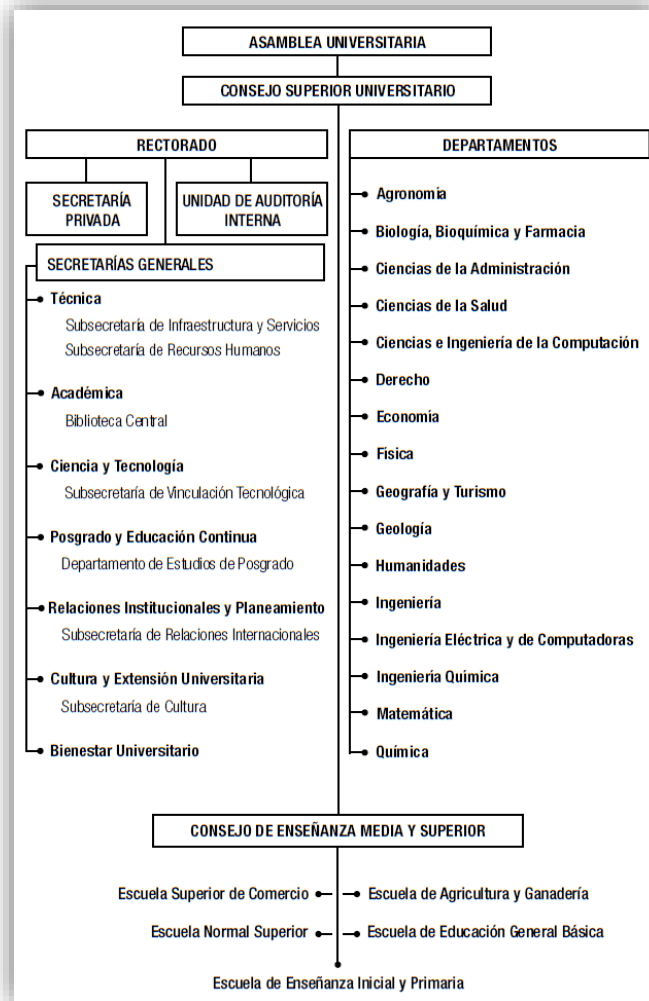
Contabilidad, Economía, Física, Geología y Geografía, Matemática, Ingeniería, Humanidades y Química fueron unos de los primeros departamentos creados en ese entonces.



*Figura 2 - Edificación de Laboratorio de Metalurgia*

*Fuente: Datos del mapa ©2015 Google*

### 3.9 Estructura Organizacional.



*Figura 3 - Estructura Organizacional de la Universidad Nacional del Sur*

*Fuente: Plan Estratégico de la Universidad Nacional del Sur 2011-2016-2026, EdiUns – 2013.*

#### 4. Actividades

Las actividades que se desarrollaron en el transcurso de la pasantía internacional, se enfocaron en el estudio de resistencia de los materiales metálicos HP con Nb y ET45, en los laboratorios de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur.

Para lograr los objetivos propuestos, se hizo indispensable inicialmente una rigurosa y detallada capacitación sobre las actividades que se debían realizar a diario en las instalaciones, usos de software especializados de ingeniería y adicionalmente el uso de los equipos y material dispuesto para la labor dentro de los laboratorios.

A continuación se describe al detalle, las labores que se ejercieron:

##### 4.1 Preparación de muestra

En primera instancia el jefe de taller corta las muestras de acero inoxidable HP-modificada con Nb, y ET45, en pequeños cubos, de aproximadamente 1 cm de arista; la muestra debe tener una textura lisa. Las mismas se limpian con alcohol y se llevan a un horno resistivo con el fin de envejecerlas. Dicho proceso aporta beneficios en estas aleaciones metálicas, tales como aumento en resistencia mecánica, mayor dureza y mayor resistencia a la corrosión y oxidación<sup>7</sup>. Esto se debe a un comportamiento

---

<sup>7</sup> Picasso, A. (2014). *Propiedades mecánicas y evolución microestructural a altas temperaturas en aleaciones metálicas*. Bahía Blanca: CIC.

químico que sufre los componentes de la aleación, donde sus carburos primarios segregan Cromo (Cr) y la matriz sede Carbono (C) creando nuevos carburos, llamados “Carburos secundarios” de tipo  $M_{23}C_6$ , dándole nuevas propiedades a la aleación.<sup>8</sup> El envejecimiento varía de 15 minutos a miles de horas, siendo la relación que existe entre el tiempo de exposición y cantidad de carburos secundarios relativamente proporcional. Adicional a esto, el grupo de investigación estudió varias temperaturas de envejecimiento, para observar las diferencias del comportamiento físico y químico entre las muestras.



**Figura 4** - Comparación de muestras de acero HP-modificado con Nb del antes, durante y después de llevarlas al horno.

Fuente: Fotografías de Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.

---

<sup>8</sup> Picasso, A. (2014). *Propiedades mecánicas y evolución microestructural a altas temperaturas en aleaciones metálicas*. Bahía Blanca: CIC.

Una vez la muestra estaba completamente fría, se depositaba en un tubo plástico rellenando los espacios libres con polímero, formando un solo objeto, con el fin de tener una mayor manipulación y lograr un posterior pulido más plano, reduciendo factores de errores para sus posteriores estudios acá consignados.

La pasta de polímero se hizo al mezclar polvo de polímero con un disolvente para este material, esta debe ser de 50% polvo y 50% disolvente; este proceso se debe realizar de manera ágil, pues el polímero se solidifica rápidamente.



*Figura 5 - Adecuación de muestra con polímero*

*Fuente: Fotografías de Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.*

## **4.2 Metalografía**

La metalografía es la parte de la metalurgia que estudia la estructura de la aleación de un metal, encontrando sus propiedades físicas y químicas.<sup>9</sup> Esta tiene unos procesos que se deben ejecutar de forma correcta para obtener información verídica.

---

<sup>9</sup> Teoría de la Metalografía, Universidad Tecnológica Nacional – Argentina

#### 4.2.1 Desbaste

Este proceso se realizó con lijas de agua, de diferentes granos, comenzando del más grueso, al más fino, para un posterior pulido; esta actividad se hace bajo un constante y delgado flujo de agua, eliminando las partículas que acumulaba la lija, prolongando más el uso de la misma.

Se utilizó la lija número 320 como inicio, terminando en la lija número 1500. En cada variación de lija, se debió cambiar el ángulo de lijado, siempre de 90 de grados. Únicamente se aumentaba de lija cuando la huella de la lija anterior desaparecía, con el fin de eliminar cualquier imperfección en la superficie, logrando un acabado totalmente plano.



**Figura 6** - Direcciones de lijado a mano

Fuente: Fotografía de Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.

#### 4.2.2 Pulido

Este pulido se realizó bajo agua y en un tambor de pulido; además, se debía ir agregando al sistema, solución de Alúmina, también llamada solución de óxido de aluminio<sup>10</sup>. El pulido del metal no puede tener rayas sobre su superficie y debe quedar completamente liso y brillante.

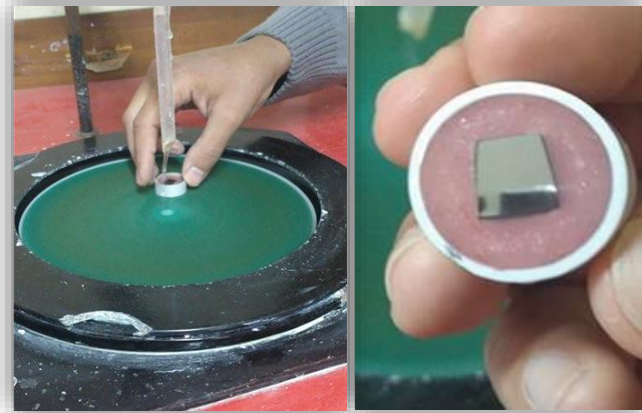
**Tabla n° 1** - Propiedades generales de Alúmina marca Xieta.

PROPIEDADES GENERALES	ALÚMINA	
	XT-05	XT-0325
Tamaño de Cristal Predominante	3-4 micras	1-2 micras
Tamaño de Partícula D50	80-100 micras	5-6 micras
Densidad Aparente	900-1100 kg/m <sup>3</sup>	900-1100 kg/m <sup>3</sup>
Perdida de calcinación(300°-1000°C)	0.25%	0.20%
B.E.T	1.5-2.0	3.0-3.5
Absorción Aceite (ml/100g)	40-55%	15-25%
Dureza(Mohs)	9	9
Grado de Calcinación	Alta	Alta

**Nota de fuente:** (Xieta, (2017): *Materias primas: Óxido de aluminio*, Recuperado de <http://www.xieta.com/index.php/es/productos/materiasprimas/aluminas-calcinadas>, Barcelona-España)

Este trabajo puede durar entre 30 minutos a 1 hora, dependiendo de la dureza de la aleación.

<sup>10</sup> Xieta, (2017) : *Materias primas: Óxido de aluminio*, Recuperado de <http://www.xieta.com/index.php/es/productos/materiasprimas/aluminas-calcinadas>, Barcelona- España



*Figura 7- Pulido a máquina de muestra de acero HP- Modificada*

*Fuente: Fotografías de Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.*

### 4.2.3 Microscopía

Antes de realizar las microscopías, se atacaron químicamente las muestras en una solución de Hidróxido de potasio (KOH) al 10%, exponiendo los precipitados en cada una de ellas. Fue necesario sumergirlas en esta solución y aplicarles 2 Voltios; este proceso se llama electrólisis, donde la energía eléctrica se convierte en energía química y los cationes se reducen, mientras los aniones se oxidan.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Lenntech BV- Electrólisis - 1997/2017 – Recuperado de <http://www.lenntech.es/electrolisis.htm>



**Tabla n° 2** - Composición del reactivo revelador de la muestra.

<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Agua Común	20 ml
Hidróxido de potasio en capsulas	2gr

Las microscopías se realizaron con un equipo óptico de marca Leica, con un alcance de aumento máximo de 1000x.



*Figura 8-* Muestra en Microscopio Óptico marca Leica

*Fuente:* Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.

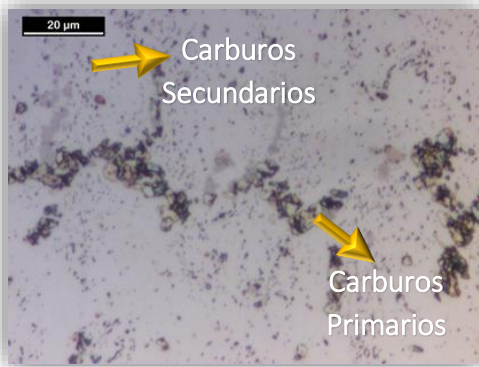
Se capturaron imágenes a 50x, 200x, 500x y 1000x de aumento. Estas últimas se editaron, para calcular el área de los carburos secundarios. Este proceso se llama “cálculo de fracción de áreas” y del mismo se deriva el “cálculo de fracciones volumétricas”.



*Figura 9 - Electrólisis de acero HP en Hidróxido de Potasio.*

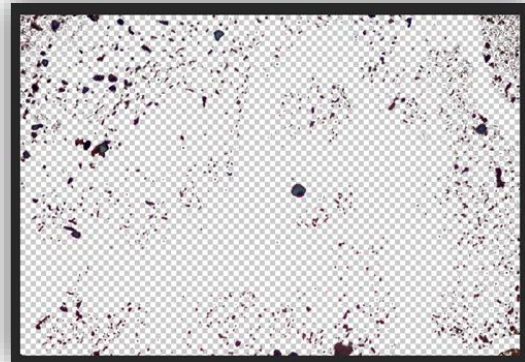
*Fuente: Autor (Agosto de 2017) – Bahía Blanca, Argentina.*

Una vez se obtenía una imagen sólida de los precipitados, se procedía a usar el software ImageJ, el cual determina un porcentaje de área; éste funciona por tonalidades de colores y a través de su contraste hace un conteo y calcula las áreas seleccionadas por el usuario.



**Figura 10** - Estructura de metal Hp- Nb aumentado a 1000x.

Fuente: Imagen editada por autor. (Agosto de 2017) – Microscopia UNS, Argentina.



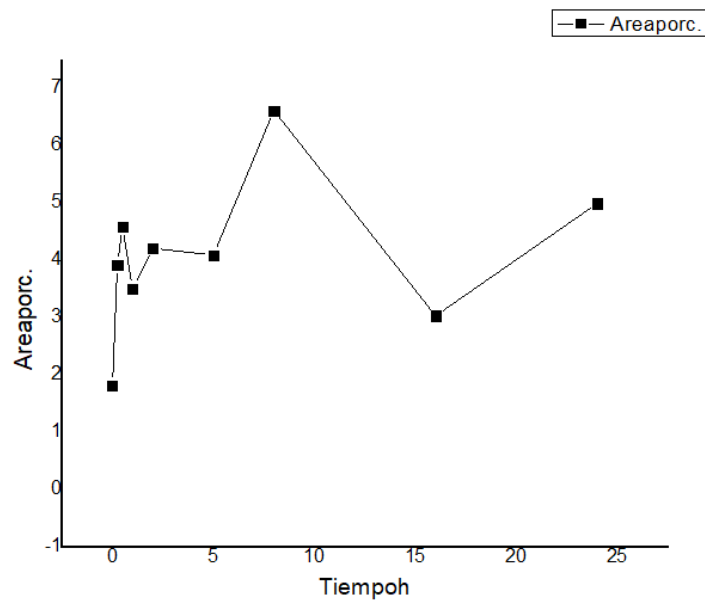
**Figura 11** - Carburos secundarios de muestra de acero Hp-Nb.

Fuente: Imagen editada por autor. (Agosto de 2017) – Microscopia UNS, Argentina.

**Tabla n° 3** - Resumen de cálculos proporcionado por software ImageJ de muestra HP a temperatura de 800° Centígrados y tiempo de envejecimiento de 1 hora.

SLICE	COUNT	TOTAL AREA	AVERAGE SIZE	AREA FRACTION	MEAN
H80N-a	6087	375152	61.632	5.7%	255

En la tabla anterior se observa un área de 5.7% de carburos secundarios, este número varía dependiendo del envejecimiento que tuvo y de la temperatura a la que estuvo expuesta.



**Figura 12** - Crecimiento de área de carburos secundarios en diferentes tiempos de envejecimiento de acero HP a 800°C.

Fuente: Sosa Matías: *Material de investigación Doctoral* (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.

### 4.3 Dureza Vickers

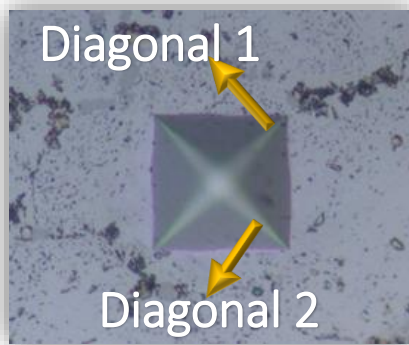
Los ensayos de dureza Vickers determinaron la dureza de los materiales, a través de la penetración de un diamante tetraédrico con ángulo entre aristas de 136° en la muestra<sup>12</sup>. Se llevaron las muestras HP y ET45 al micro durómetro FM300, realizando 15 mediciones a cada una, las cuales correspondían a cargas de 300g y 10g. Se debía poner la impronta o huella del diamante sobre la matriz austenítica, evitando en lo

<sup>6</sup> Kirnosov V. *Medición de fuerza y dureza*. Edit. Pueblo y Educación. La Habana. 1985.

<sup>7</sup> *Estructura y Propiedades de las Aleaciones*-Facultad de Ingeniería-UNLP

posible cualquier carburo. Si se mide la dureza sobre los carburos, su lectura será errónea, debido a que estos poseen otras propiedades.

La matriz austenítica es la base de la aleación, esta matriz es blanda, dúctil y con tenacidad alta. Esta matriz está compuesta por Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Níquel (Ni), haciéndola un acero inoxidable.<sup>13</sup>



*Figura 13 - Impronta de ensayo de dureza Vickers a 500x.*

*Fuente: Imagen capturada por Autor (Agosto de 2017) – Microscopia UNS, Argentina.*

La dureza se calculó midiendo las distancias de las diagonales que deja la huella del diamante con el mismo microscopio acoplado al durómetro, como se describe a continuación:

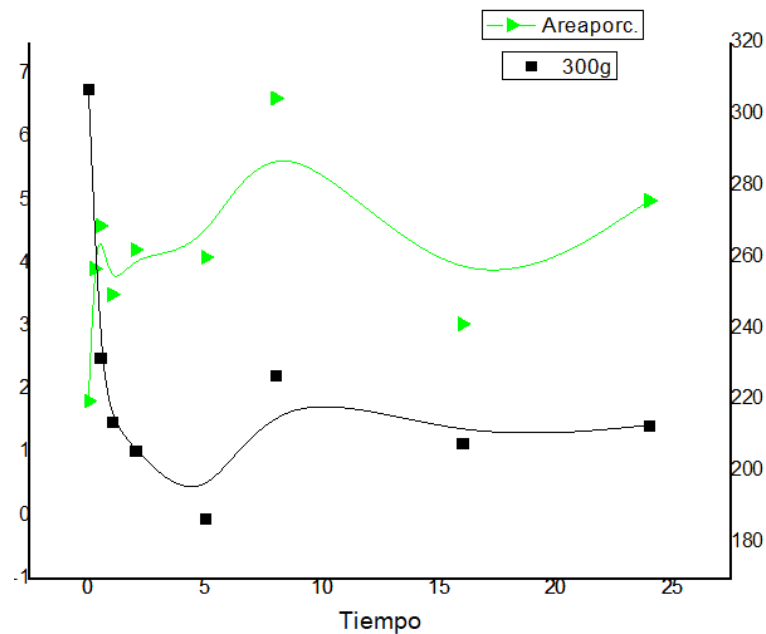
- **Calibrar:** Se ubicó las guías de medida en cero y se reinició el sistema.
- **Objetivo:** Impactar la impronta para realizar la medición en sitios adecuados.

---

<sup>13</sup> Sosa Matias (2016): *Microstructure evolution of a nickel-base alloy resistant to high temperature during aging*, Scientific Research Publishing- Vol 4, Buenos Aires.

- **Medición:** Se midió las diagonales de la huella del diamante, ubicando los extremos opuestos de la diagonal con el mismo sistema del micro durómetro.

Es de suma importancia este ensayo, para conocer las propiedades mecánicas que tiene el material, en nuestro caso el acero HP- modificado con Nb y la aleación ET45.



**Figura 14** - Comparación de dureza y crecimiento de área de precipitados en diferentes tiempos de envejecimiento de acero HP a 800°C.

Fuente: Sosa Matías: Material de investigación Doctoral (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.

En la figura 14 se observa la relación directa y proporcional que existe entre el crecimiento del porcentaje de los carburos secundarios y la dureza del material. En este caso cuando la muestra HP con 800°C cuenta con una normalización en su resistencia

y dureza a partir de las 25 horas de envejecimiento y con un comportamiento inverso en sus primeros minutos de exposición a la temperatura.

#### **4.4 Disolución de muestras**

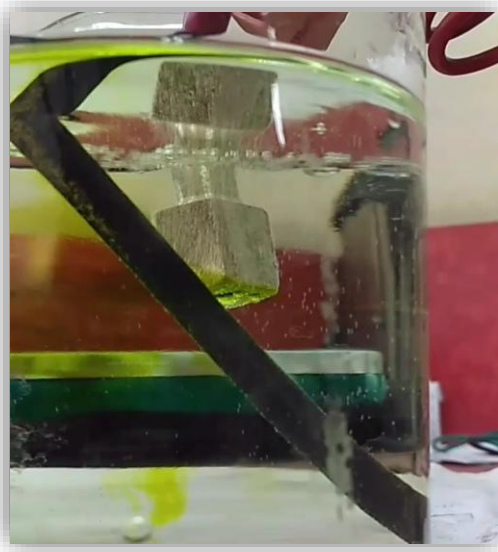
Este fue un proceso químico el cual diluía las matrices de las aleaciones metálicas. Esto se hacía para obtener los precipitados que tiene la aleación, para su posterior análisis. Además el grupo de investigación también realizaba este procedimiento con la posibilidad de encontrar un fenómeno llamado “Fase G”.

Dicha “Fase G” es una etapa que se da en la aleación HP, donde sus carburos primarios interdendríticos se transforman en un compuesto con mayor Níquel y Silicio.<sup>14</sup> Esto hace que el material disminuya su dureza en cierto tiempo de envejecimiento y temperatura de exposición, afectando la resistencia del mismo. Este proceso y fase no se presenta en la aleación ET45, debido a su mayor contenido de Níquel y Cromo, siendo esta última una aleación de última generación.

La disolución se puede hacer con ácido cítrico e hidróxido de potasio al 15%, o únicamente hidróxido de potasio diluido en etanol. Este proceso se realizó bajo electrólisis, con voltajes entre los 8 y 10 voltios. Las disoluciones duraban entre 48 a 100 horas.

---

<sup>14</sup> Alberto Picasso, (2014): *Propiedades Mecánicas y Evolución Micro estructural a Altas Temperaturas en Aleaciones Metálicas*, CIC, Argentina.



*Figura 15 - Ensayo de disolución de matriz en acero ET45.*

*Fuente: Autor (Octubre de 2017) – Laboratorio UNS, Argentina.*

**Tabla n° 4** - Composición del reactivo para disolución de matriz austenítica.

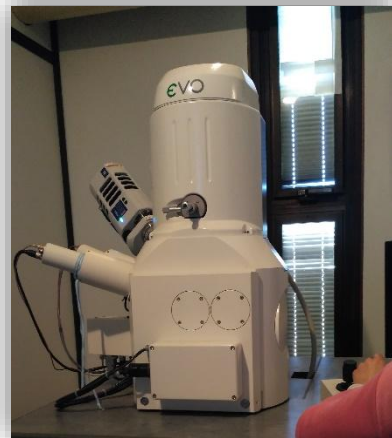
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Etanol	100 ml
Hidróxido de potasio en capsulas	15gr
Voltaje	8V



#### 4.5 Difracción de rayos x

Para complementar el estudio realizado, las muestras que pasaron por el proceso de análisis en el laboratorio, se llevaron al CONICET (Cetro Científico y Tecnológico – Bahía Blanca); laboratorio nacional, donde se les realizó difracciones de rayos x a algunas de las muestras, obteniendo datos exactos de los componentes originales y generados por reacciones de cada aleación.

El CONICET cuenta con sistemas de última tecnología como su equipo de difracción EVO 40, el cual fue empleado para esta fase del proyecto de investigación.



*Figura 16 - Equipo EVO 40 usado para difracción de rayos x.*

*Fuente: Autor (Octubre de 2017) – Laboratorio CONICET, Argentina.*

**Tabla n° 5** - Aceros Hp-Nb estudiados durante la pasantía envejecidos a 800°C.

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Microdureza (300g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>	<b>Microdureza (10g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>
Hp- As Cast	0	307	12	225	6
H80-N-1C	0.25	-	-	-	-
H80-N-2C	0.5	232	9	223	11
H80-N-3C	1	214	8	215	7
H80-N-a	2	206	7	140	31
H80-N-b	5	187	9	154	12
H80-N-1	8	227	17	207	14
H80-N-2	16	208	7	186	9
H80-N-2´	24	213	7	189	3
H80-N-3	31	201	8	170	14
H80-N-4	50	220	7	187	9
H80-N-5	72	201	8	165	8
H80-N-6	90	211	13	173	6
H80-N-7	143	217	6	175	8
H80-N-8	196	196	7	152	4
H80-N-9	311	206	8	160	7
H80-N-10	479	207	9	170	12
H80-N-11	648	208	9	171	4

**Tabla n° 6** - Aceros ET45 envejecidos a 700°C estudiados durante la pasantía.

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Microdureza (300g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>
AC	0	224	15
70-A	0.25	-	-
70-B	0.5	-	-
70-C	1	189	7
70-D	2	-	-
70-E	4	174	7
70-F	7	179	13
70-G	10	169	5
70-H	18	175	7
70-I	25	-	-
70-J	50	204	8

70-1	80	-	-
70-1'	100	-	-
70-2	120	292	11
70-3	264	291	10
70-4	432	295	20
70-5	578	305	14
70-6	746	321	10
70-7	963	-	-
70-8	1203	-	-
70-9	1515	-	-
70-10	1827	-	-

**Tabla n° 7 - Aceros ET45 envejecidos a 800°C estudiados durante la pasantía.**

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Microdureza (300g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>	<b>Microdureza (10g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>
AC	0	224	15		
80-A	0.25	254	6	250	8
80-B	0.5	280	7	258	12
80-C	1	283	6	249	15
80-D	3	262	12	250	2
80-E	10	275	8	250	2
80-F	18	-	-	-	-
80-G	25	269	10	220	12
80-H	50	300	16	252	7
80-I	73	251	6	239	5
80-J	96	266	7	-	-
80-1	122	266	8	-	-
80-2	169	-	-	-	-
80-3	232	-	-	-	-
80-4	336	273	5	-	-
80-5	408	247	11	-	-
80-6	480	-	-	-	-
80-7	495	-	-	-	-
80-8	687	-	-	-	-
80-9	770	-	-	-	-
80-10	964	-	-	-	-

80-11	1129	-	-	-	-
80-12	1167	-	-	-	-
80-13	2007	-	-	-	-

**Tabla n° 8** - Aceros ET45 envejecidos a 750°C estudiados durante la pasantía.

<b>Designación Antigua</b>	<b>Designación Nueva</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Microdureza (300g)</b>	<b>Desvío Estándar</b>
AC	AC	0	224	15
-	75-A	0.25	-	-
-	75-B	0.5	-	-
-	75-C	1	-	-
-	75-D	3	-	-
-	75-E	10	-	-
75-P	75-F	12.5	-	-
-	75-G	18	-	-
75-R	75-H	24	-	-
75-Q	75-I	51	-	-
75-O	75-2	98	-	-
75-1	75-3	170	-	-
75-2	75-4	335	-	-
75-3	75-5	479	-	-
75-Y	75-6	796	-	-
75-4	75-7	980	-	-
75-5	75-8	1145	-	-
75-6	75-9	1330	-	-
75-7	75-10	1640	-	-
75-8	75-11	1952	-	-
75-9B	75-12	2312	-	-
75-10	75-13	3800	-	-
75-11	75-14	3992	-	-

## 5. Resultados de las actividades

Los resultados consignados en esta sesión son los reportados y compartidos por el grupo de investigación, cabe resaltar que estos estudios se vienen ejecutando hace más de 4 años y ha sido material de publicaciones e investigaciones para obtenciones de títulos Magister y PhD; adicional a esto, el grupo de investigación, tomó la decisión de suspender el estudio de la muestra Hp-Nb el día 20 de Octubre del presente año, debido a que se esperaban otros resultados en los mismos, descartando las muestras como no aptas para el estudio.

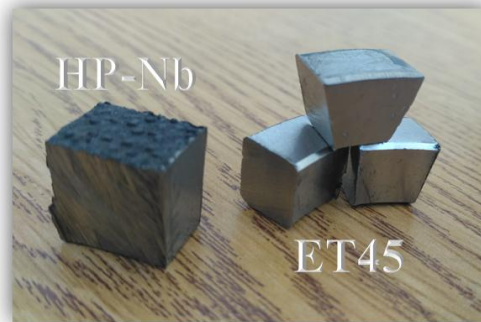
**Tabla n° 9** - Composición de matriz de acero Hp a 800°C de envejecimiento.

<b>Componentes H80N-7</b>				
<b>Elemento</b>	<b>wt%</b>	<b>Masa at.</b>	<b>wt/masa at</b>	<b>%at.</b>
C	4.6	12	0.38	17.21
Si	8.67	28	0.31	13.9
Ti	0.14	48	0	0.13
V	2.86	51	0.06	2.52
Cr	39.77	52	0.76	34.33
Mn	0.35	55	0.01	0.29
Fe	3.1	56	0.06	2.48
Ni	34.7	59	0.59	26.4
Nb	5.69	93	0.06	2.75
	99.88		2.23	100

**Nota de fuente:** (Sosa Matías, (2017): *Documentos de investigación doctoral*, Argentina)

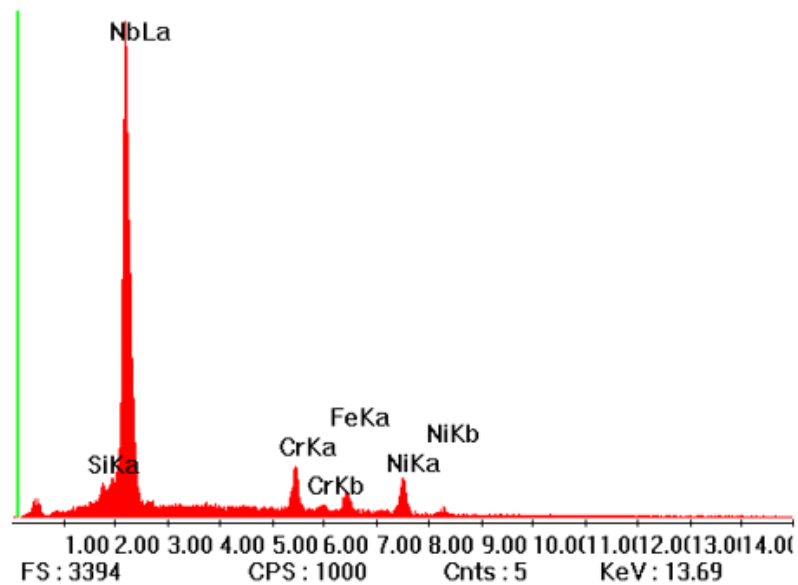
En la tabla n°9 se observa los componentes dados como resultado de la difracción de rayos x en este material. El resultado revela porcentajes y apariciones de otros

componentes químicos que se pudieron generar en el proceso de envejecimiento, o malos procedimientos al momento de ser fundido.



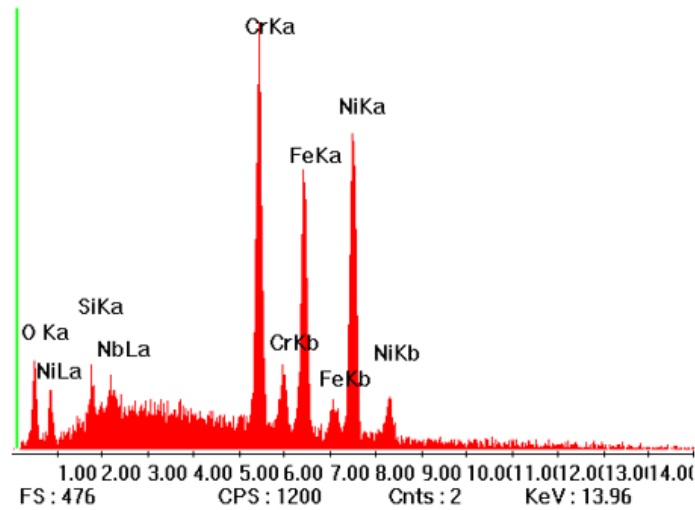
**Figura 17** - Muestras As Cast de aleaciones Hp-Nb y ET45.

Fuente: Autor (Octubre de 2017) – Laboratorio UNS, Argentina.



**Figura 18** - Espectro generado en la matriz de acero ET45 envejecido a  $T=750^{\circ}\text{C}$  en 1640 h.

Fuente: Sosa Matías: Material de investigación Doctoral (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.



**Figura 19** - Espectro generado en carburos primarios de acero ET45 envejecido a  $T=750^{\circ}\text{C}$  en 1640 h.

Fuente: Sosa Matías: *Material de investigación Doctoral (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.*

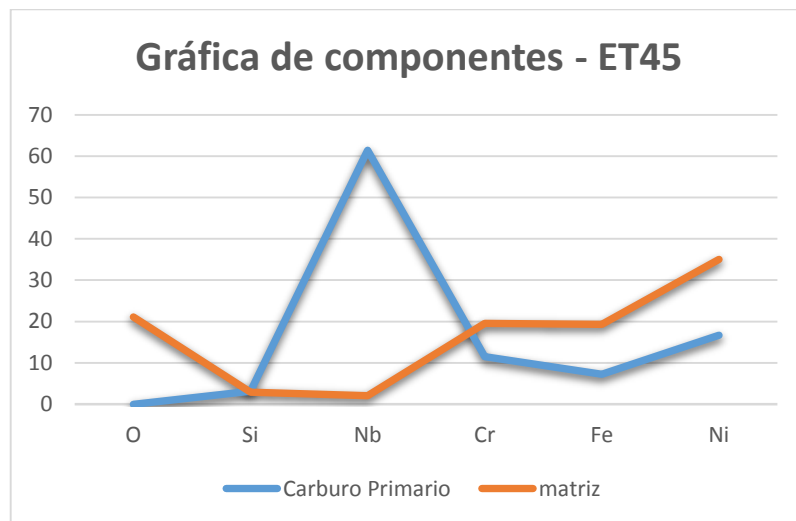
En las figuras 18 y 19 se observa los componentes obtenidos en la difracción, en la matriz y carburos primarios de una muestra ET45 envejecida a  $750^{\circ}\text{C}$  por 1640 horas. Es necesario hacer la misma prueba en diferentes tiempos de envejecimiento para observar el comportamiento de los carburos secundarios generados en el transcurso del envejecimiento.

Un suceso que se observa en las muestras As cast ( sin envejecimiento) a las que ya fueron expuestas, es un crecimiento notable de carburos secundarios en dirección desde los carburos primarios hacia la matriz.

**Tabla n° 10** - Composición de matriz y carburo primario de acero ET45 a 750°C de envejecimiento.

Componente	Carburo Primario	matriz
<b>O</b>	0	21.12
<b>Si</b>	3.17	2.93
<b>Nb</b>	61.44	2.06
<b>Cr</b>	11.48	19.57
<b>Fe</b>	7.25	19.3
<b>Ni</b>	16.65	35.01
<b>Total</b>	99.99	99.99

**Nota de fuente:** (Sosa Matías, (2017): *Documentos de investigación doctoral*, Argentina)



**Figura 20** - Comparación de componentes químicos de la matriz y carburo primario de muestra ET45 envejecido a  $T=750^{\circ}\text{C}$  en 1640 h.

Fuente: Autor (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.



En la figura 20 podemos observar los porcentajes de componentes en dos sitios principales de la estructura física de la aleación ET45. La misma presenta Oxígeno (O) en su matriz, poco Niobio y mayor cantidad de Hierro y Níquel que los carburos primarios, a pesar de ello, es este último el que tiene mayor dureza, por su alto contenido de Niobio.

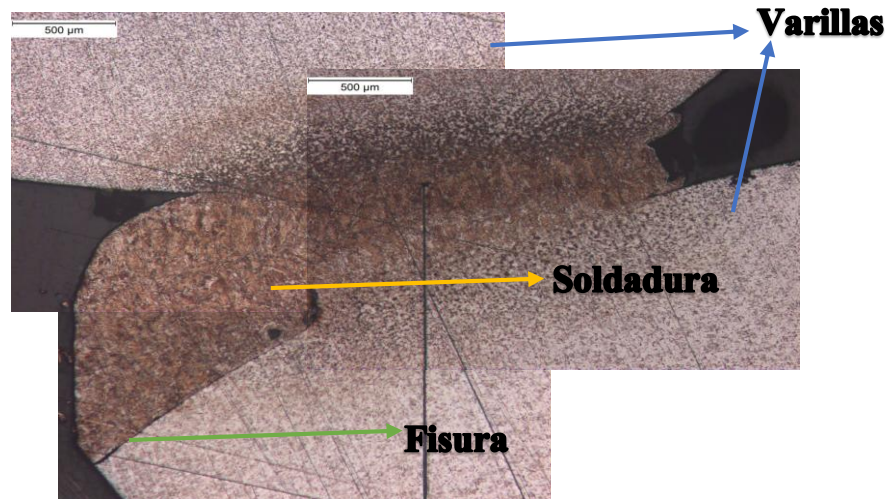
## 6. Comparación de las aleaciones Hp-Nb, ET45 con el acero A36.

En la actualidad el acero A36 es un metal con implementación en las estructuras metálicas como vigas soldadas y remachadas en edificios, bases de columnas, partes de puentes y estructuras en general<sup>15</sup>. El uso de las aleaciones ET45 y Hp-Nb se dan actualmente en tuberías para uso de altas temperaturas en las industrias petroquímicas. En esta sección, se hace una comparación de las propiedades físicas y químicas del acero A36, Hp-Nb y ET45, en condición As Cast. Comprender el comportamiento que tiene cada componente químico sobre las aleaciones y de sus reacciones ante diferentes exposiciones, ayuda a pensar en mejorar los elementos y partes metálicas presentes en las obras civiles. Un caso de ello es la presencia de óxido en los elementos metálicos durante una obra; implementar productos adicionales, tiempo y dinero para poder evitarlo, es la forma actual de mitigarlo.

---

<sup>15</sup> Carlos Cházaro Rosario: *El acero hoy, Elección de tipo de aceros para estructuras*, México.

En la figura 21 que se expone a continuación, se ve una fisura producida por óxido en la unión de dos varillas de una malla electro soldada de la región; la misma produjo grietas en el concreto donde se encontraba.



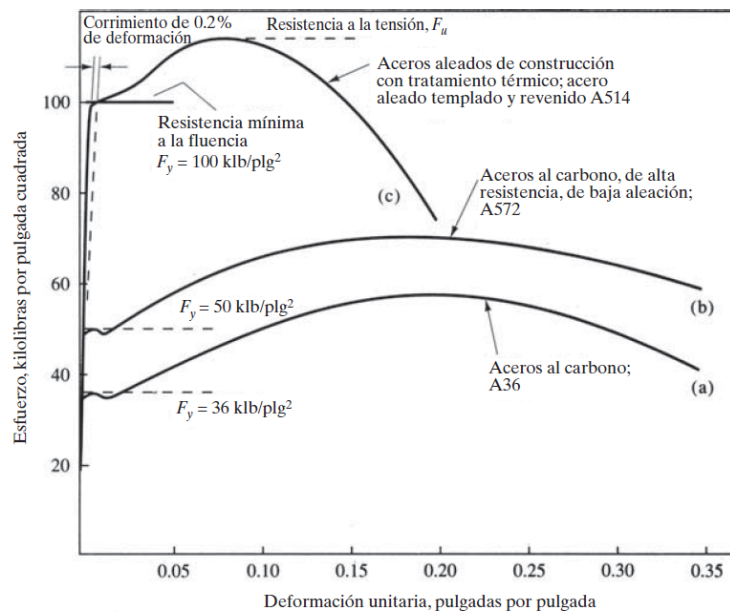
*Figura 21 - Fisura por oxidación en malla electro soldada.*

*Fuente: Daniel Ziegler (Octubre de 2017) – Laboratorio UNS, Argentina.*

## 6.1 Propiedades físicas

Los aceros al carbono como el A36 son definidos por la ASTM como aceros estructurales. Los mismos se encuentran en diferentes perfiles, dependiendo del uso que se les dará. El acero A36 es resistente a las fracturas frágiles y presenta resistencia a esfuerzos de deformaciones mínimas de  $F_y = 36 \text{ klb/plg}^2 (250 \text{ Mpa})^{16}$ .

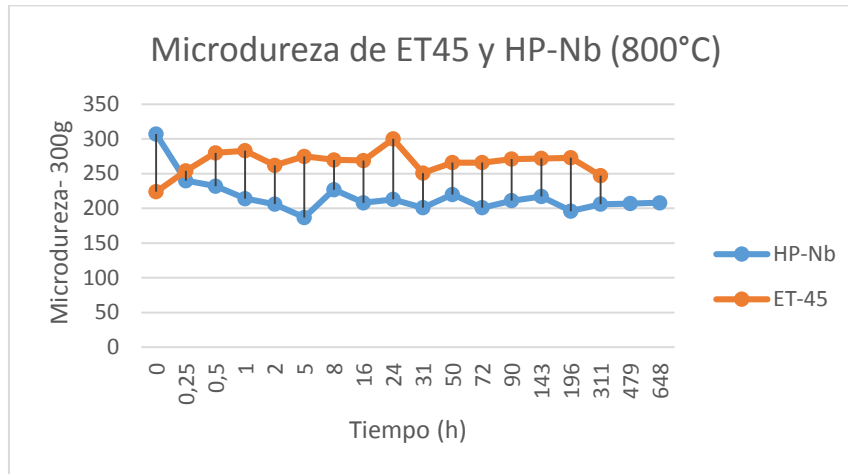
<sup>16</sup> McCormac : *Diseño de estructuras de acero. 5ta Ed, Alfaomega* , México - 2013.



**Figura 22** - Relación esfuerzo-deformación de aceros estructurales.

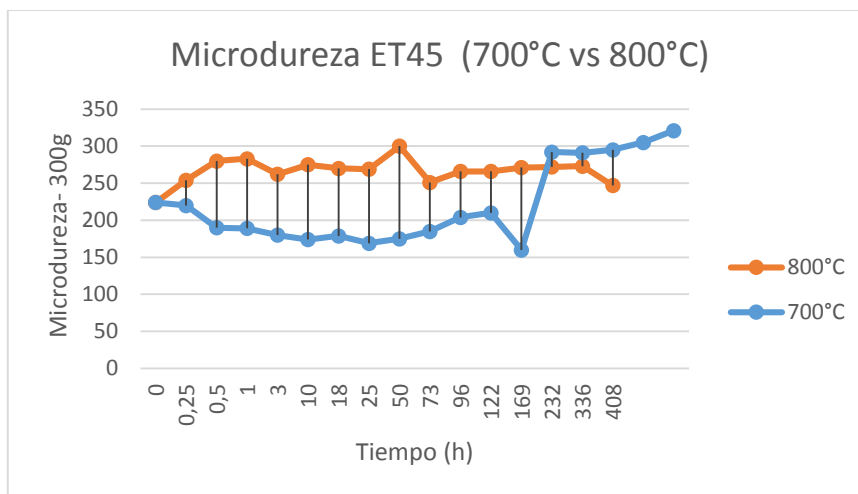
Fuente: Salmon C – *Steel structures: Design and Behavior*-Prentice Hall, 1996.

En la figura 23 se muestra una comparación de micro durezas entre las aleaciones ET45 y Hp Nb, ambas envejecidas a 800°C. En esta se observa una relación inversamente proporcional de sus durezas, donde la Hp-Nb disminuye con el tiempo de envejecido hasta normalizarse, y donde la ET45 aumenta las primeras horas, hasta normalizarse. Las mismas se estabilizan después de un tiempo, alcanzando un estado constante.



**Figura 23** - Comparación de micro durezas de aleaciones ET45 y Hp-Nb envejecidas a 800°C.

Fuente: Autor (Noviembre 2017 – Argentina)



**Figura 24** - Comparación de micro durezas de aleación ET45 a temperaturas de envejecimiento de 700°C y 800°C.

Fuente: Autor (Noviembre 2017 – Argentina)

En la figura 24 se compara las micro durezas de muestras ET45 a diferentes temperaturas de envejecimiento, aparentemente la muestra que se expuso a 700°C baja su dureza, pero aproximadamente a las 170 horas, sube rápidamente, suponiendo que tienen la misma relación creciente, sólo que en la muestra de 800°C se presenta en menor tiempo.

**Tabla n° 11** - Propiedades de resistencia de la aleación HP y Acero A36.

Alloy	Condition	Tensile Strength		Yield Strength		Elongation	Hardness
		Mpa	ksi	Mpa	ksi	%	HB
HP	As Cast	490	71	275	40	11	170
A36	As Cast	400-550	58-80	250	36	20	-

**Nota de fuente:** (ASTM, (1996): *Carbon and Alloy steel*, ASTM International)

La resistencia que demuestra los metales Hp y A36 tiende a tener características similares, estando su fuerza de tracción en los 500 MPa aproximadamente. La resistencia a deformaciones mínimas supera por poco la aleación HP a la A36, pero sin duda alguna uno de los datos que se observa con gran diferencia, es su porcentaje de elongación, siendo el del HP menor que el del A36, pudiendo este fallar con fracturas frágiles.

## 6.2 Propiedades Químicas

En la tabla 12 se plantea información recolectada de (ASTM, 1996) y difracciones de rayos x realizadas durante la pasantía de porcentajes atómicos de composición química de las aleaciones Hp-Nb, ET45 y Acero A36.

**Tabla n° 12** - Composiciones químicas de metales Hp-Nb, A36 y ET45.

	<b>HP-Nb</b>	<b>A36</b>	<b>ET45</b>
<b>C</b>	4.6	0.29	3.2
<b>Si</b>	8.67	0.15-0.40	3.05
<b>Ti</b>	0.14	0	0
<b>V</b>	2.86	0	0
<b>Cr</b>	39.77	0	15.525
<b>Mn</b>	0.35	0.8-1.2	0.01
<b>Fe</b>	3.1	98	13.275
<b>Ni</b>	34.7	0	25.83
<b>Nb</b>	5.69	0	31.75
<b>Cu</b>	0	0.2	0
<b>P</b>	0	0.04	0
<b>S</b>	0	0.05	0
<b>O</b>	0	0	10.56

Entre los materiales ET45 y Hp-Nb, se demuestran muy poco contenido de Hierro (Fe), siendo el elemento principal en el acero A36. Las aleaciones ET45 y Hp-Nb presentan en mayor parte Cromo (Cr) y Níquel (Ni), dejando claro su gran resistencia a la oxidación y corrosión. Estos mismos tienen también mayor contenido de carbono (C), suponiendo que tengan un tipo de falla frágil.

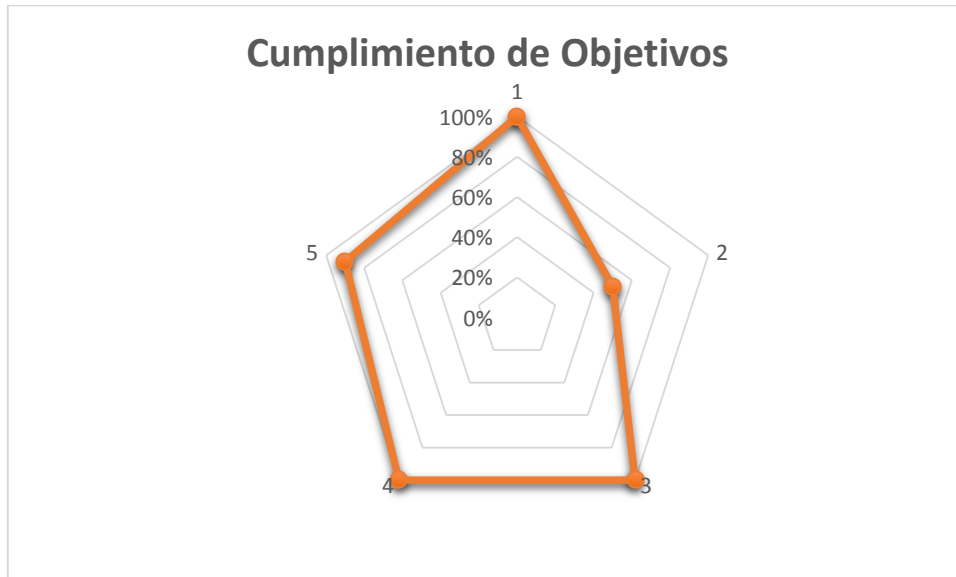
Se observa que el Niobio (Nb) les da mayor resistencia a las aleaciones ET45 y Hp-Nb, pero su fundamental uso en su composición, es controlar procesos químicos que se dan al envejecer estas muestras a altas temperaturas.

### 7. Porcentaje de cumplimiento de Objetivos

El cumplimiento de los objetivos en la pasantía se dio en su mayoría de forma satisfactoria. Sin embargo el estudio de tracción de las aleaciones tratadas, no se realizó, debido a la falta de tiempo para su ejecución y a la existencia de anteriores datos de estudios, convirtiéndose en una actividad no prioritaria para el grupo de investigación. Este mismo, impidió una comparación física de estas aleaciones con el acero A36.

**Tabla n° 13** - Grado porcentual de objetivos cumplidos durante la pasantía Internacional.

<b>N°Obj</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
<b>1</b>	- Estudiar el tratamiento térmico de aleaciones metálicas a temperaturas entre 700 y 950 grados Centígrados.	100%
<b>2</b>	-Realizar el estudio de tracción y micro dureza Vickers al acero modificado HP y ET45.	50%
<b>3</b>	-Realizar metalografías a las aleaciones metálicas HP-modificada con Nb y ET45.	100%
<b>4</b>	-Realizar microscopías y calcular las fracciones de áreas al acero HP-modificado y ET45.	100%
<b>5</b>	-Comparar propiedades físicas y químicas de nuevas aleaciones metálicas, con aceros de carbono (Aceros de la construcción).	90%



*Figura 25 - Cumplimiento de objetivos propuestos para pasantía Internacional.*

*Fuente: Autor (Octubre de 2017) – Instalaciones UNS, Argentina.*

## **8. Aportes al conocimiento**

Estar realizando las pasantías como auxiliar de laboratorio en otro país y conocer las metodologías de trabajo que emplean otras culturas, enriquecen de forma positiva mi aprendizaje profesional y personal.

Adicionalmente, todas las horas de prácticas que se contemplan en la formación del alumnado UPB son fundamentales. Esto permite realizar de forma idónea todos los ensayos en esta práctica y comprender correctamente los procesos y estándares que se ejecutan en la labor.



Al realizar constantemente y personalmente los ensayos de metalografía y dureza Vickers, se logra conocer y entender el proceso que sufren los materiales, las propiedades de los mismos, así como la importancia que estos tienen en el correcto almacenamiento, fabricación y errores de producción.

Las capacitaciones en los usos de nuevos Software como ImageJ y Origin, son relevantes para mi carrera como ingeniero Civil, estos permiten interactuar de forma gráfica el almacenamiento y visualización de datos.

Adicional al marco de la realización de mis actividades diarias, se logró proponer y ejecutar una reestructuración, renombramiento y almacenamiento de las muestras existentes y nuevas, evitando pérdida de tiempos entre análisis y posteriores revisiones de las mismas. Cada una de ellas lleva grabada su nombre en el respaldo y costados, se designó letras y números crecientes para reconocer su tiempo de envejecimiento.

Así mismo se propuso en este documento una comparación de las propiedades físicas y químicas de dos nuevas aleaciones termos resistentes (ET45 y Hp-Nb) con un acero muy comúnmente usado (A36), planteando ideas de posibles implementaciones en materiales que necesiten mayor resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas. (Vigas, columnas, soldaduras, varillas corrugadas, etc)

## 9. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos propuestos en esta pasantía, podemos abordar diversas conclusiones respecto a las propiedades físicas, químicas y comparaciones realizadas a cada una de las aleaciones estudiadas. En el caso de las metalografías revelaron las propiedades físicas que posee cada una de las aleaciones HP-Nb y ET45 en determinados tiempos de envejecimiento, para observar de esta forma su comportamiento, identificando mayores cualidades en la aleación ET45 sobre la HP-Nb, como la resistencia, estabilidad y micro dureza.

Así mismo, una vez calculadas las micro-durezas Vickers de los aceros HP-modificados con Nb y ET45, se logró identificar que la aleación ET45 envejecida a 700°C baja su dureza en las primeras 24 horas; pero luego, esta aumenta exponencialmente hasta estabilizarse. Ocurre lo contrario cuando es expuesta a temperaturas de 800°C, donde la dureza aumenta en las primeras horas antes de llegar a estabilizarse. En el caso de la aleación HP-Nb su dureza bajó y se estabilizó en un valor menor al As-Cast, comportamiento que puso en duda la calidad del material que se disponía, dándose la suspensión temporal del estudio porque los resultados no eran afines a los planteados por el grupo de investigación. Adicionalmente, dicha situación impidió que pudiera realizarse la prueba de tracción para esta aleación.

Por otra parte, la micro dureza de 10g para tiempos mayores de 200 horas no pudo realizarse, pues ubicar la impronta del diamante sobre la matriz era casi imposible, lo que generaría datos erróneos en dichos tiempos.

Siguiendo con el planteamiento de los objetivos propuestos, se realizaron microscopías a las muestras aleadas del Laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional del Sur, calculando las fracciones de áreas de los carburos secundarios y determinando el aumento de los mismos a mayores tiempos de envejecimiento. Este proceso se da en la aleación Hp-Nb por la segregación de Carbono en los carburos de Niobio (Nb), absorbiendo a su vez Silicio (Si) y Níquel (Ni) y en la aleación ET45 dichos precipitados absorben Cromo (Cr) de la matriz y Carbono (C) de los carburos primarios.

En las actividades propuestas para estudiar las propiedades químicas de las aleaciones ET45 y HP-Nb, se realizaron difracciones de rayos x en los laboratorios del CONICET las cuales determinaron los contenidos porcentuales de sus compuestos químicos y las interacciones físicas generadas por los tiempos de envejecimientos en el horno.

Actualmente la aleación Hp-Nb no se ha implementado en elementos de construcción, pues tiene porcentaje de elongación bajo y se presume fallas a fracturas frágiles; adicional a esto, sus componentes elevan su precio haciéndola más costosa que los aceros al carbono como el A36, donde su mayor componente es el hierro. Además, se

necesitan mayores estudios para determinar los usos y comportamientos en estructuras metálicas como vigas, columnas u otro elemento que aporte beneficios a la ingeniería civil. Por esta misma razón, es importante mencionar que no se logra una comparación detallada de las propiedades de los metales planteados. En este punto, se esperaría que hubiese mayor información, ensayos y datos de estas nuevas aleaciones.

## 10. Recomendaciones

- La investigación se gesta generalmente al interior de las universidades y cada vez, es más bajo el porcentaje de personas que le apuestan a ella. Por ello y de acuerdo a la experiencia de pasantía dada, creo que es vital generar mayor apoyo a grupos de investigación. En este caso, apoyo a través de la gestión de más plazas para pasantías de este tipo y mayor seguimiento. De esta manera no solo apoyaríamos el trabajo investigativo de otras personas, sino que más estudiantes podrían verse motivados a investigar a futuro.
- Se recomienda realizar todas las labores dentro de los laboratorios con los implementos adecuados de seguridad, evitando daños como los causados por el uso de químicos corrosivos.
- Se recomienda continuar con las investigaciones de nuevos materiales y sus posibles usos en la ingeniería civil.
- Se recomienda a la universidad anfitriona y al departamento de ingeniería continuar con la inclusión de pasantes extranjeros en sus instalaciones, fortaleciendo nuevas experiencias y expectativas a jóvenes estudiantes.

## Bibliografía

- Agencia EFE . (20 de 05 de 2007). Por fallas desmontan estructura de la torre la Escollera en Cartagena. *WRadio*.
- ASTM. (1996). *Carbon and Alloy Steels*. ASTM International.
- Damborenea, J. J. (2007). *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI*. Madrid: CSIC.
- Emmar Group. (2016). *Burj Khalifa*. Obtenido de <http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/structures.aspx>
- McCormac, J. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. México: Alfaomega.
- National Geographic Society. (2008). *Burj Khalifa. Documental de Skyscraper*.
- Picasso, A. (2014). *Propiedades mecánicas y evolución microestructural a altas temperaturas en aleaciones metálicas*. Bahía Blanca: CIC.
- Society, N. G. (Dirección). (2013). *Burj Khalifa* [Película]. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=Akfs8oUjp\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=Akfs8oUjp_g)
- UniRank. (2017). *Top Universities in Argentina 2017*. Obtenido de [www.4icu.org/ar](http://www.4icu.org/ar)
- Sosa M, (2016). *Microstructure evolution of a nickel-base alloy resistant to high temperature during aging*, *Scientific Research Publishing- Vol 4*, Buenos Aires.
- Santiago E,(2009) *Materiales de construcción para edificación y obra civil*, ECU, España.
- Lothongkum G, (2006) *The Effect of Long-Term thermal exposure at elevated temperatures on Microstructures and Mechanical properties in Centrifugally casted Iron-base alloy – Journal of Metals and Minerals Vol16 N°2*
- M. Mostafaei,( 2009) *Effect of aging temperature on structural evolution of HP-Nb heat resistant steel – International Journal of ISSI*
- C.J Liu (2015 ) *Phase transformation of Nb in Carburized Zone of 25Cr35NiNb+MA Alloy after Service, Procedia Engineering, China*
- ASTM E304: *Practice for use and evaluation of spark source mass spectrometers for the analysis of solids*.

ASTM E407: *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*, 2015.

Cházaro Rosario C, (2016): *El acero hoy, Elección de tipo de aceros para estructuras*, México.