



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Química**

**Aleaciones de Titanio aleadas con Niobio y  
Estaño para su uso como biomateriales**

**Autora:**

**Peláez Lozano, Mónica**

**Tutora:**

**García Cabezón, Ana Cristina**

**Departamento:**

**CMeIM/EGI/IGGF/IM/IPF**

**Valladolid, Julio 2021**



---

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradecer a mi tutora del TFG, Cristina García Cabezón el haberme guiado, ayudado en todo momento y haber tenido tanta paciencia con cada cosa que se rompía y salía mal. A José Gómez por su ayuda con cada problema técnico que ha ido surgiendo. A mis compañeros del laboratorio Rebeca Ramos y Adolfo Fernández por acompañarme en la aventura que ha sido el día a día con cada victoria que era hacer un buen taladro y cada fracaso que era romper una probeta bien preparada. A todo el grupo de los laboratorios de metalotécnica y química orgánica por su compañía y apoyo.*

*En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi familia y a mis amigos el apoyo incondicional que me han dado a lo largo a lo largo de los años. A mis padres Tomás y Maru por enseñarme a crecer personalmente. A mis hermanas Isabel y Carmen por sacar siempre lo mejor de mí. A mis amigos por animarme a seguir adelante siempre.*

*Por último, agradecer a todos aquellos que me han acompañado y ayudado a lo largo de estos años de carrera, gracias.*

*Mónica, julio de 2021*



## RESUMEN

El trabajo consiste en el estudio de nuevas aleaciones de titanio obtenidas por pulvimetalurgia para su uso como biomateriales. Estas aleaciones tienen como aleantes niobio y estaño en distintas proporciones para conseguir lo que se conoce como aleaciones beta de menor rigidez y de mayor biocompatibilidad.

Este trabajo de fin de grado abarca la caracterización química, estructural y mecánica del material, así como su comportamiento en servicio. Se evaluará este último mediante ensayos de corrosión, desgaste y tribocorrosión en un medio de saliva artificial.

## PALABRAS CLAVE

Aleación de titanio, biocompatibilidad, corrosión, tribocorrosión, microestructura.

## ABSTRACT

The work consists of the study on new titanium alloys obtained by powder metallurgy in order to use them as biomaterials. These alloys are alloyed with niobium and tin in different proportions to achieve what are known as beta alloys with low stiffness and high biocompatibility.

This final degree project covers the chemical, structural and mechanical characterisation of the material, as well as its behaviour in service. The latter will be evaluated by means of corrosion, wear and tribocorrosion tests in an artificial saliva medium.

## KEYWORDS

Titanium alloy, biocompatibility, corrosión, tribocorrosion, microestructure.



## Índice

1.	Introducción.....	11
1.1.	Enunciado del proyecto .....	11
1.2.	Justificación del proyecto .....	11
1.3.	Objetivos del proyecto.....	12
1.4.	Estructura del trabajo .....	12
2.	El titanio y sus aleaciones .....	15
2.1.	Introducción.....	15
2.2.	Historia.....	16
3.	Fundamentos teóricos .....	19
3.1.	Microfases estructurales.....	20
3.2.	Pulvimetalurgia .....	25
3.3.	Corrosión y tribocorrosión en biomateriales.....	26
3.3.1.	Corrosión de metales en entornos biológicos .....	28
3.3.2.	Tribocorrosión en implantes metálicos .....	30
4.	Experimentación .....	35
4.1.	Materiales .....	35
4.2.	Técnicas de ensayo .....	35
4.2.1.	Corte.....	35
4.2.2.	Prensado .....	36
4.2.3.	Lavado en baño de ultrasonidos .....	37
4.2.4.	Desbaste.....	38
4.2.5.	Pulido .....	39
4.2.6.	Acondicionado de la probeta para ensayos electroquímicos.....	40
4.2.7.	Identificación o marcaje.....	43
4.2.8.	Estudio de imagen con el microscopio .....	43
4.2.9.	Ensayo de macrodureza .....	44
4.2.10.	Ensayo de microdureza.....	47
4.2.11.	Caracterización microestructural. Microscopía Óptica.....	49
4.2.12.	Caracterización Microestructural. Ensayo de SEM con EDX: Microscopía electrónica de barrido.....	49
4.2.13.	Caracterización Microestructural. Ensayo de DRX: difracción de rayos X	51



---

4.2.14.	Ensayos de corrosión: acondicionado, impedancias, OCP y polarización anódica.	52
4.2.15.	Ensayo de desgaste con el tribómetro (pin-on-disk)	55
4.2.16.	Ensayo de tribocorrosión	58
5.	Resultados y discusión	61
5.1.	Caracterización microestructural del material	61
5.1.1.	Densidad	61
5.1.2.	Porosidad por análisis de imagen	63
5.1.3.	Microscopía óptica. Fases y microconstituyentes	65
5.2.	Características mecánicas	79
5.2.1.	Ensayos de dureza	80
5.3.	Ensayos de corrosión	87
5.3.4.	Estudio de la influencia del tiempo (OCP, PA, Impedancias)	100
5.3.5.	Ensayo de Espectroscopía de Masas, Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)	109
5.4.	Ensayos de desgaste	110
5.5.	Tribocorrosión	117
6.	Conclusiones	127
7.	Bibliografía	131
8.	Anexos	135
8.1.	Anexo 1. Datos sobre la porosidad de las muestras	135

# 1. Introducción



## 1. Introducción

### 1.1. Enunciado del proyecto

En el trabajo de fin de grado que se expone a continuación se analizarán cuatro novedosas aleaciones de titanio con distintos porcentajes de niobio y estaño obtenidas por pulvimetalurgia con objeto de conseguir biomateriales de menor rigidez que el titanio puro y que otras aleaciones de titanio.

Se estudiarán las aleaciones por microscopía óptica y electrónica de barrido además de la realización de análisis por difracción de rayos X para conocer la composición microestructural de estos nuevos materiales.

Por otro lado, se analizará su comportamiento en servicio por medio de ensayos de dureza, corrosión, desgaste y tribocorrosión en un medio de saliva artificial, que trata de simular el medio biológico de biomateriales utilizados para implantes dentales.

### 1.2. Justificación del proyecto

En la actualidad, el desarrollo de biomateriales es un campo de investigación creciente que se dirige a la introducción y aplicación de algunos materiales específicos para sustituir o complementar los tejidos humanos.

La tecnología de los biomateriales desempeña un papel crucial a la hora de proporcionar un entorno propicio para las células humanas. Se emplea en el tratamiento de millones de pacientes mediante diversos dispositivos biológicos y prótesis, como marcapasos, implantes dentales, articulaciones de cadera artificiales, audífonos, etc.

La principal preocupación del ser humano es su bienestar y su salud, de tal forma que el interés por desarrollar materiales cada vez mejores, más resistentes y biocompatibles está en auge.

Las propiedades que se buscan en las prótesis son alta resistencia a la rotura, un módulo elástico bajo y una alta biocompatibilidad.

El titanio es uno de los materiales metálicos más utilizados en prótesis dentales, sin embargo, su mayor rigidez respecto al hueso humano provoca apantallamiento de tensiones que origina en muchos casos fallos en servicio, para evitar este problema se están desarrollando aleaciones de menor módulo elástico y rigidez. Estas son las cualidades que se buscan en las aleaciones objeto de estudio.

### 1.3. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es la caracterización microestructural, mecánica, electroquímica y tribológica de las aleaciones de titanio siguientes:

- Ti-30Nb
- Ti-30Nb-2Sn
- Ti-30Nb-4Sn
- Ti-35Nb-4Sn

Todas se han obtenido por un proceso de pulvimetalurgia.

La caracterización microestructural se llevará a cabo por microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido con análisis de rayos X de energía dispersiva y por difracción de rayos X, de esta forma se conocerán los microconstituyentes de las aleaciones y sus fases.

La caracterización mecánica se efectúa a través de ensayos de dureza y microdureza y su caracterización física mediante estudios de densidad y porosidad a partir de microscopía óptica.

En lo referido a la corrosión la caracterización se realiza con ensayos de espectroscopía de impedancias (EIS), ensayos a circuito abierto (OCP) y ensayos de polarización anódica (PA), en todos ellos se utiliza el mismo medio fisiológico; saliva artificial. Además, se realiza un estudio del proceso de disolución del material en el tiempo para conocer la evolución de los materiales a lo largo del tiempo.

Por último, para el análisis tribológico, se realizan ensayos de desgaste seco y ensayos de tribocorrosión empleando un ensayo circular a circuito abierto. El medio utilizado en la tribocorrosión es también saliva artificial.

En resumen, el objetivo será conocer el comportamiento de las cuatro aleaciones de titanio en medios biológicos para su posible uso como material protético.

### 1.4. Estructura del trabajo

- 1º. Definición del material y procesado mediante técnicas pulvimetalúrgicas.
- 2º. Descripción de los métodos de ensayo que se emplearán.
- 3º. Presentación de los resultados obtenidos.
- 4º. Conclusiones.

## **2. El titanio y sus aleaciones**



## 2. El titanio y sus aleaciones

### 2.1. Introducción

El titanio es un metal plateado, fuerte, resistente a la corrosión e inerte. Es el noveno elemento más abundante en la corteza terrestre. No se encuentra normalmente en grandes depósitos, sino, en pequeñas cantidades contenidas en rocas.

El titanio es un componente significativo en un pequeño número de minerales. Alrededor del 90% del titanio de la corteza terrestre se encuentra en la ilmenita, un óxido de hierro y titanio con una composición química de  $\text{FeTiO}_3$ . El resto del titanio presente en la superficie de la Tierra se encuentra en minerales como la anatasa, la brookita, el leucoxeno, la perovskita, el rutilo y el esfeno.

El titanio se utiliza entre otros en joyería, prótesis, herramientas quirúrgicas y teléfonos móviles. Es tan resistente como el acero pesando la mitad que este y dos veces más resistente que el aluminio pesando solo un 60% más.

El titanio se combina con el hierro, el aluminio, el vanadio, el estaño, el niobio y otros metales para producir aleaciones de alto rendimiento [1].

Los materiales metálicos se han utilizado ampliamente como implantes ortopédicos y dentales, ya que suelen tener propiedades mecánicas aptas para resistir periodos de uso medio y largo. Sin embargo, el cuerpo humano es un entorno químicamente agresivo y sensible a la toxicidad de la mayoría de los iones metálicos. Así, la variedad de metales que pueden utilizarse como implantes es muy restringida. Para asegurar que la tensión no provoque un aflojamiento del implante, el material utilizado debe tener un módulo elástico (E) cercano al valor del tejido óseo ( $< 40 \text{ GPa}$ ).

El titanio comercialmente puro es un metal de baja densidad, biocompatible y resistente a la corrosión; sin embargo, sus propiedades mecánicas limitan su aplicación. Normalmente, se utiliza para usos no portantes, como implantes dentales, maxilofaciales y craneofaciales, tornillos y grapas para cirugías.

El niobio puro es biocompatible, tiene una excelente resistencia a la corrosión y un módulo elástico considerablemente inferior al del titanio. Se utiliza como elemento de aleación en las aleaciones de Ti [2].

El estaño fortalece las aleaciones de titanio al formar soluciones sólidas. El papel fundamental del estaño en las aleaciones titanio-niobio es facilitar la difusión del niobio en la solución sólida y conseguir una mayor homogeneidad microestructural.

## 2.2. Historia

El titanio fue descubierto en el año 1791 por el reverendo William Gregor en el condado de Cornualles, al suroeste de Gran Bretaña.

Un día, durante un paseo, Gregor, al cruzar un pequeño arroyo, observó una capa de arena negra y magnética, de aspecto similar a la pólvora.

Tomó una muestra, parte de ella era de color marrón rojizo; un óxido y supo que se trataba de un nuevo metal, pero no pudo aislarlo. Llamó al nuevo metal "manaccanita", en honor a la parroquia de Manaccan donde vivía. Posteriormente pasaría a conocerse también como ilmenita.

Unos años más tarde, en 1795, el químico alemán Martin Klaproth descubrió lo que creía que era un nuevo elemento metálico en los minerales de rutilo de un yacimiento de Boinik ( Hungría). Llamó al nuevo metal, "titanio", en honor a los titanes de la antigua mitología griega, por su fuerza.

En 1797, Klaproth tuvo la oportunidad de leer el relato de Gregor sobre su descubrimiento en 1791, y entonces Klaproth se dio cuenta de que su titanio y el óxido rojo que Gregor había encontrado en la manaccanita eran idénticos. El titanio y la manaccanita eran el mismo elemento, y Gregor fue reconocido como el verdadero descubridor del elemento.

Pasaría más de un siglo hasta que se encontró la forma de producir una muestra del elemento con una pureza considerable. El metalúrgico Matthew Hunter lo aisló en 1910 en Schenectady (Estados Unidos) calentando cloruro de titanio (IV) con sodio en un cilindro a presión.

Sin embargo, tuvieron que pasar otros 30 años hasta que se desarrolló el Proceso Kroll, el primero comercialmente viable para la obtención de titanio. Fue inventado por William J. Kroll en Luxemburgo. El método de Kroll funcionaba calentando el cloruro de titanio (IV) con magnesio.

En aquella época, sólo se producían cantidades ínfimas del metal. En 1948, la producción mundial de titanio era de sólo tres toneladas al año.

Sin embargo, la demanda del metal creció enormemente, y en 1956 la producción mundial de titanio alcanzó las 25.000 toneladas anuales. Hoy en día se producen más de 250.000 toneladas al año [3].

## **3. Fundamentos teóricos**



### 3. Fundamentos teóricos

El Titanio y sus aleaciones despiertan un gran interés en el campo de la implantología debido a su alta resistencia a la corrosión, su biocompatibilidad, su baja densidad, su facilidad de fabricación, la ausencia de toxicidad, su fácil biointegración, es decir, la conexión directa del implante con el hueso y sus las propiedades mecánicas altamente ajustables por medio de aleaciones y el uso de rutinas de procesamiento térmico.

A pesar de estas cualidades positivas, el titanio no es un material ideal. Su módulo de elasticidad es claramente superior a la del hueso y, por consiguiente, el fenómeno de apantallamiento de tensiones puede producir un aflojamiento del implante.

Las aleaciones de titanio beta, que actualmente son el centro de la investigación como materiales para implantes, muestran un módulo de elasticidad bajo en comparación con, por ejemplo, la aleación TiAlV, que ha sido la aleación más utilizada tradicionalmente. La resistencia a la corrosión de estas aleaciones está en un nivel comparable al del titanio, pero su resistencia en entornos que contienen iones fluoruro es mayor.

El uso de materiales porosos representa otra posible solución al problema de la incompatibilidad biomecánica. Los poros disminuyen el módulo de elasticidad y, además, pueden mejorar la osteointegración.

La tecnología de la pulvimetalurgia permite producción más barata de aleaciones beta, su procesamiento es más fácil y es posible la fabricación de pequeños elementos de formas complicadas. En materiales porosos, cabe esperar un comportamiento de corrosión diferente en comparación con los materiales producidos por métodos metalúrgicos estándar, ya que los poros pueden actuar como iniciadores de un ataque local a la vez que aumentan el área superficial del metal expuesto al medio de ensayo.

El uso de elementos de aleación ha permitido la modulación de una menor rigidez y una mayor resistencia que el titanio puro a temperatura ambiente. Esto es una propuesta atractiva cuando se buscan propiedades que imiten al hueso [4, 5].

### 3.1. Microfases estructurales

El titanio es un elemento alotrópico con estructura cristalina hexagonal compacta (hcp) a temperatura ambiente y un cristal con estructura cúbica centrado en el cuerpo (bcc) a temperaturas superiores a 882 °C. A la estructura hcp, mostrada en la Fig. 1.a se le denomina fase alfa ( $\alpha$ ), mientras que a la estructura bcc, mostrada en la Fig 1.b se le denomina fase beta ( $\beta$ ) [6].

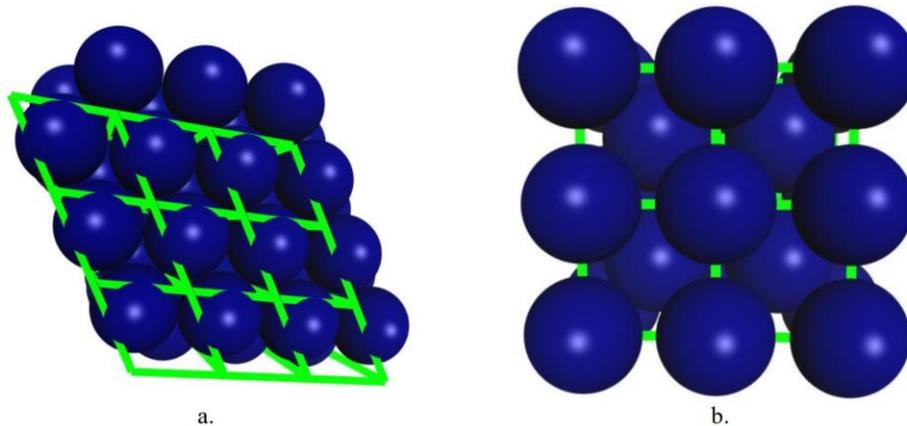


Fig. 1 Estructura cristalina de titanio a.  $\alpha$  y b.  $\beta$  [6]

Cuando se enfría desde la fase  $\beta$  los  $\{110\}$  planos densamente empaquetados de la estructura bcc se transforman en  $\{0001\}$  planos de la estructura hcp como se muestra en Fig. 2.

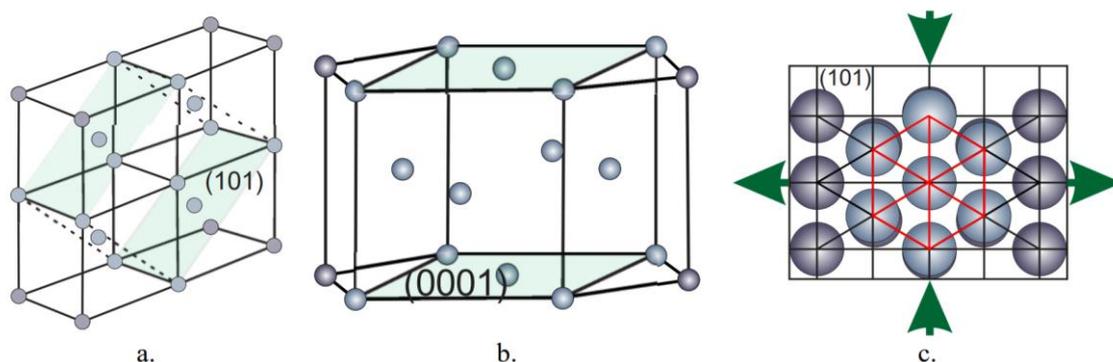


Fig. 2. Esquemas que muestran la transformación de  $\beta$  a  $\alpha$  (a. y b.) y la distorsión atómica (c.)

El cristal bcc tiene 12 variantes de hcp a las que transformarse, que dependen de la orientación.

En la fase  $\alpha$  la distancia entre los planos es mayor que en la fase  $\beta$  y se produce una ligera distorsión atómica, como se presenta en la Fig. 2.c. Se puede observar un aumento de volumen macroscópico durante la transformación.

La velocidad de enfriamiento dicta la aparición de la microestructura. Durante el enfriamiento se nuclea  $\alpha$  en el límite de grano  $\beta$  (Fig. 3.a). Una velocidad de enfriamiento lenta puede provocar la nucleación de placas  $\alpha$  tanto en el límite de grano  $\beta$  (Fig. 3.b) como en la interfaz  $\beta$ - $\alpha$  (Fig. 3.c), describiéndose la microestructura resultante como laminar.

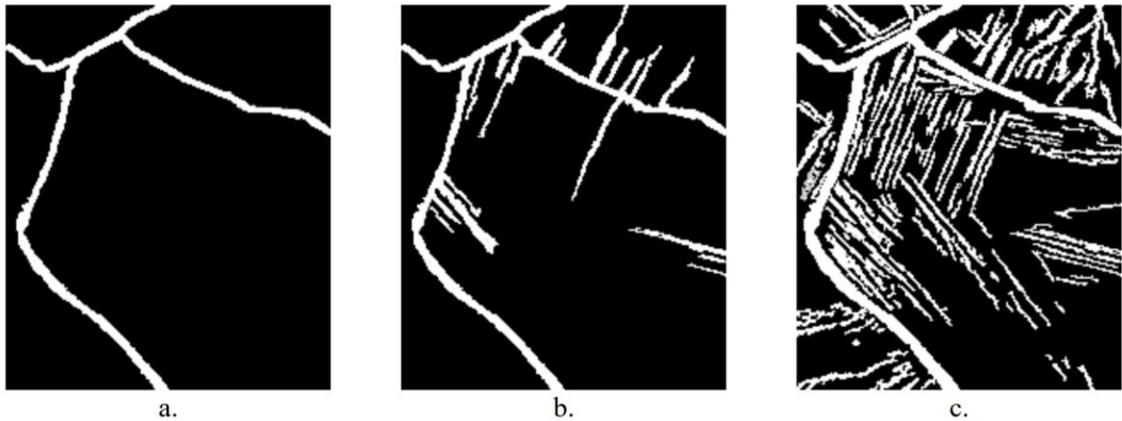


Fig. 3. Vista esquemática de la formación de la microestructura laminar

Además, el titanio y sus aleaciones experimentan una transformación martensítica. Esto implica que es independiente del tiempo, ocurre sin difusión, no involucra cambio de composición y depende únicamente de la velocidad de enfriamiento. La transformación martensítica se produce por un movimiento de cizallamiento de átomos.

Las aleaciones tipo  $\beta$  de titanio presentan un alto grado de metaestabilidad y sus microestructuras son muy sensibles al historial de procesamiento térmico. Esta circunstancia es particularmente característica de la familia de aleaciones titanio-niobio (Ti-Nb), en la que el coeficiente de difusión del niobio disminuye exponencialmente al aumentar el contenido en niobio.

Entre todos los sistemas de aleaciones de titanio estabilizados con fase  $\beta$ , el sistema Ti-Nb y las aleaciones derivadas de él están en el centro de los esfuerzos de investigación en el campo de los biomateriales metálicos por una serie de razones, entre ellas:

1. Propiedades mecánicas prometedoras, en particular un bajo módulo de Young ( $E < 70$  GPa).
2. Alta resistencia a la corrosión que conduce a una reducida liberación de iones en el cuerpo humano y una buena biocompatibilidad del titanio y el niobio.

- Alta deformabilidad que es de gran interés para el modelado de piezas mediante procesos de conformación.

El diagrama de fases de las aleaciones Ti-Nb muestra las relaciones de fase de la fase  $\beta$  y de la fase  $\alpha$  hexagonal compacta (hcp), y el diagrama metaestable las de la fase  $\beta$  y la fase  $\omega$ .

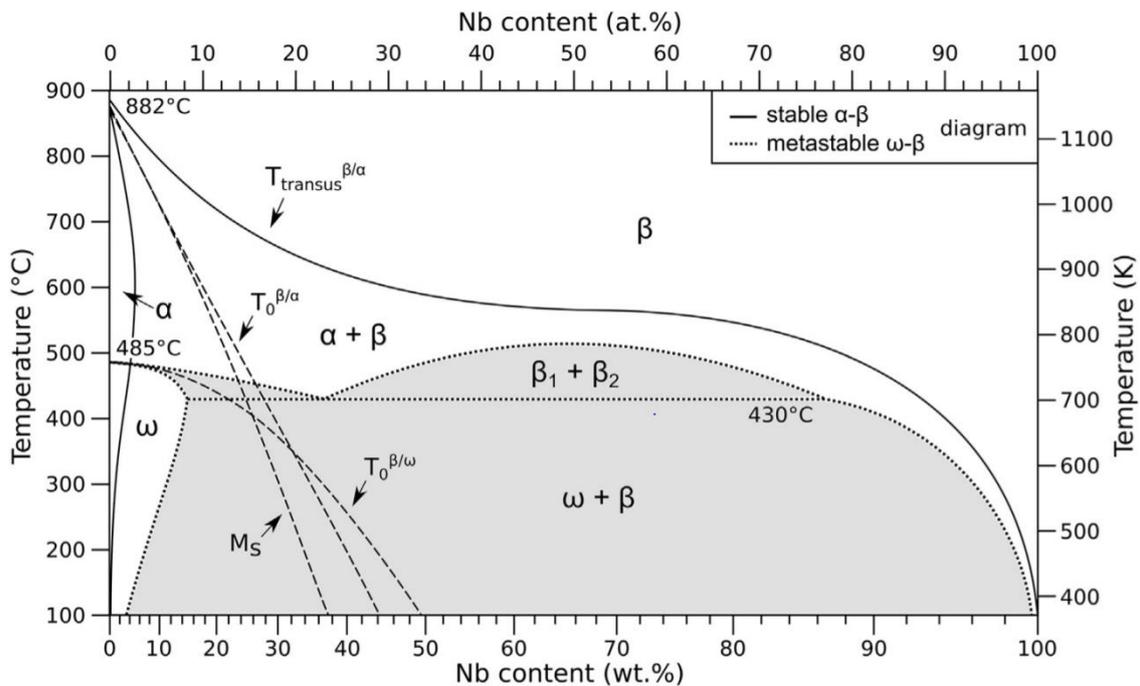


Fig. 4. Diagramas de fase estable ( $\alpha$ - $\beta$ ) y metaestable ( $\omega$ - $\beta$ ) del sistema Ti-Nb

Estos diagramas se caracterizan por la ausencia de fases intermetálicas (fases intermedias compuestas por la mezcla homogénea de sus constituyentes), en su lugar hay regiones bifásicas que abarcan casi todo el rango de composición, desde aleaciones ricas en titanio hasta aleaciones sin titanio.

La preparación de las aleaciones de titanio estabilizadas con fase  $\beta$  implica un rápido enfriamiento desde el campo de la fase  $\beta$  de alta temperatura hasta la temperatura ambiente. Al hacerlo, se obtienen estados metaestables compuestos de fase  $\beta$ , fases martensíticas ( $\alpha'$  o  $\alpha''$ ), fase  $\omega$  o una combinación de ellas.

Se pueden observar dos morfologías de martensita, denominadas alfa prima ( $\alpha'$ ) y alfa doble prima ( $\alpha''$ ).

- La  $\alpha'$  tiene una estructura hexagonal; en el titanio puro y de baja aleación aparece como regiones grandes e irregulares sin características internas observables por microscopía. En las aleaciones

de titanio de alta aleación, el  $\alpha'$  tiene un aspecto "acicular" o "en forma de aguja" y aparece como placas individuales.

- Normalmente el  $\alpha''$  aparece en aleaciones de titanio altamente aleadas (de al menos tres elementos aleantes). Los elementos de aleación distorsionan la red de hexagonal a ortorrómbica. Esta transformación martensítica termoelástica entre la fase  $\beta$  cúbica centrada en las caras y  $\alpha''$  ortorrómbica da lugar a un efecto de memoria conformacional y superelástico, dos fenómenos que se utilizan ampliamente hoy en día en una variedad de herramientas y dispositivos biomédicos.

La fase  $\omega$  puede formarse a presión ambiente a partir de la fase  $\beta$  mediante:

- Desplazamiento, conservando la composición, el producto del desplazamiento se denomina omega atérmico ( $\omega_{ath}$ ) y se produce durante el enfriamiento.
- Difusión, lo que implica la fragmentación de los solutos, su producto se conoce como omega isotérmico ( $\omega_{iso}$ ) y requiere una activación térmica, es decir, una exposición a temperaturas lo suficientemente altas.

En la metalurgia del titanio, la clasificación de las aleaciones se hace en función de la estructura cristalina y de la microestructura. Así, pueden describirse tres tipos principales de aleaciones de titanio:  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  y  $\beta$ .

La composición química, el procesamiento y los tratamientos térmicos generan una variedad de microestructuras que pueden aparecer en las aleaciones de titanio ya que son posibles múltiples transformaciones de fase.

- En el titanio comercialmente puro y en las aleaciones  $\alpha$  predomina la fase  $\alpha$  con pequeñas fracciones de  $\beta$  retenidas. Las aleaciones  $\alpha$  no pueden tratarse térmicamente, pero tienen excelente soldabilidad. Si se añaden estabilizadores de la fase  $\beta$  (Mo, Ta, Nb, V) se mejora la resistencia. La solución sólida puede reforzarse con estabilizadores de la fase  $\alpha$  (Al, O, Ga, Ge o C) o elementos de aleación neutros (Sn, Zr).
- Las aleaciones  $\alpha+\beta$  tienen una composición química rica en elementos estabilizadores de la fase  $\beta$  (normalmente 4-6%) tienen mejores propiedades mecánicas (resistencia a la fatiga y a la tracción final) en comparación con el titanio puro y pueden utilizarse en estructuras de soporte como las prótesis femorales; sin embargo, tienen poca ductilidad a la flexión. Responden al tratamiento térmico, por lo que se desarrolla una variedad de microestructuras, generalmente se describen tres tipos principales:

- Totalmente laminar que se obtiene cuando se realiza un recocido de recristalización al final de la ruta de procesamiento. La velocidad de enfriamiento controla la anchura de las láminas y el tamaño de las colonias.
- Las estructuras bimodales aparecen tras el procesamiento termomecánico por debajo de la temperatura  $\beta$ -transus, temperatura a la que el titanio experimenta la transformación alotrópica en la que cambia de fase  $\alpha$  (hcp) a  $\beta$  (bcc).
- Se obtiene una microestructura totalmente equiaxial cuando el enfriamiento desde recristalización es lo suficientemente lento como para permitir la formación de granos  $\alpha$ . No se formarán láminas dentro de los granos  $\beta$ .
- Las aleaciones  $\beta$  tienen ventajas como un módulo elástico bajo, buena resistencia a la corrosión, mejor ductilidad a la flexión y biocompatibilidad en comparación con las aleaciones  $\alpha+\beta$ .

La composición química de las aleaciones  $\beta$  comprende grandes cantidades de estabilizadores de la fase  $\beta$ , aproximadamente el 30%, lo que hace que la fase  $\beta$  sea estable a temperatura ambiente si el elemento de aleación tiene una estructura bcc (V, Nb, Ta, Mo), además muchos de ellos como el niobio o el tántalo son elementos no tóxicos.

Estas aleaciones pueden llegar a ser completamente  $\beta$  a temperatura ambiente cuando se añade un porcentaje superior al 40% en peso, en el caso del niobio, sin embargo, estas aleaciones con tanto porcentaje en niobio son poco habituales debido a que el niobio es un metal raro con un elevado punto de fusión que hace que el proceso de producción de la aleación con un porcentaje elevado de niobio tenga un coste muy elevado.

Aunque existen varias aleaciones de titanio en el mercado, pocas han encontrado su uso en medicina. El titanio puro y las aleaciones  $\alpha+\beta$  se utilizan ampliamente como biomateriales estructurales y funcionales, principalmente en ortopedia y odontología, pero también en cirugía cardiovascular y neurocirugía [6, 2].

El titanio, destinado a aplicaciones de bioingeniería, como ya se ha indicado anteriormente se ha aleado con multitud de elementos, de los cuales cabe destacar el niobio y el estaño puesto que sobre estas aleaciones se ha realizado este estudio:

- El Niobio (Nb), un estabilizador beta que suprime la formación de fase  $\alpha$  hexagonal compacta, fase  $\alpha'$  martensítica hexagonal compacta y fase  $\alpha''$  ortorrómbica, cuando se trabaja a temperatura ambiente.
- El Estaño (Sn), un estabilizador neutro de bajo coste que disminuye la formación de la fase  $\omega$  isotérmica difusional, estabilizando la fase  $\beta$  y, por tanto, disminuyendo la rigidez [4, 5].

La aleación de titanio con niobio reduce la temperatura de inicio de la formación de martensita ( $M_s$ ) desde un rango de temperatura de 882-855 °C hasta temperatura ambiente en composiciones cercanas a Ti-39Nb [7].

Conseguir una temperatura de formación de la martensita relativamente baja, que se puede adaptarse controlando el contenido de niobio, es relevantes para aplicaciones biomédicas, en las que el cuerpo humano dicta la temperatura de funcionamiento.

Dadas las atractivas propiedades del titanio y su coste actual, es comprensible que la reducción de su coste de producción y fabricación haya sido una motivación continua y principal para la investigación de este metal.

### 3.2. Pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia, al ser una tecnología de fabricación similar a la configuración de una red, se ha investigado y desarrollado durante más de cuatro décadas. La pulvimetalurgia incluye la producción de polvos, la compactación, la conformación de los polvos, y la sinterización, así como los procesos posteriores para fabricar materiales listos para su uso.

Debido a su capacidad para reducir la cantidad de chatarra producida, el potencial del uso de pulvimetalurgia para la fabricación de titanio es realmente sustancial.

Sin embargo, los éxitos comerciales de la pulvimetalurgia del titanio son todavía muy limitados. Tradicionalmente, se opta por el titanio forjado, porque las piezas de titanio procedente de pulvimetalurgia son insatisfactorias desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas, su rendimiento, y su elevado coste.

Existen muchos métodos para la producción de polvo metálico de titanio. Estos métodos pueden clasificarse en dos categorías:

1. El polvo de titanio se fabrica como producto de procesos extractivos mediante la reducción del tetracloruro de titanio ( $TiCl_4$ ) o del dióxido de titanio ( $TiO_2$ ).

2. El polvo de titanio se fabrica a partir de lingotes de aleación de titanio, de productos obtenidos de la molienda de titanio o chatarra de titanio [8].

### 3.3. Corrosión y tribocorrosión en biomateriales

El principal inconveniente de los biomateriales metálicos es su alta reactividad lo que los hace especialmente susceptibles a la corrosión cuando se exponen a entornos acuosos como los fluidos corporales.

Además de la corrosión de los fluidos corporales, los biomateriales metálicos pueden estar expuestos a cargas mecánicas y al desgaste. El efecto combinado de la corrosión y el desgaste, también conocido como tribocorrosión, puede provocar una mayor liberación de iones y partículas metálicas en los fluidos y tejidos circundantes, lo que puede causar diferentes reacciones biológicas adversas y limitar la vida útil de los implantes metálicos.

Los metales se utilizan habitualmente en aplicaciones biomédicas debido a sus buenas propiedades mecánicas, como su alta resistencia y dureza, y su conductividad térmica y eléctrica. Algunas de las aplicaciones en las que se utilizan los metales son los dispositivos de fijación de fracturas, los implantes articulares, los stents vasculares y los marcapasos. Las propiedades de los metales pueden modificarse mediante aleaciones y tratamientos mecánicos y térmicos, lo que permite un mayor grado de adaptabilidad a la hora de seleccionar un material metálico para una aplicación concreta.

Los elementos metálicos son aquellos que pierden fácilmente electrones. Los metales se describen generalmente como la combinación de dos o más elementos metálicos unidos por enlace metálico, donde los iones con carga positiva están orientados formando una estructura cristalina y rodeados por una nube de electrones. Esta estructura atómica confiere a los metales propiedades tales como una excelente conductividad eléctrica y térmica, buenas propiedades mecánicas como una alta resistencia, rigidez, tenacidad, maleabilidad y ductilidad.

Por otro lado, todos los metales, a excepción del oro, tienen una tendencia natural a la corrosión y a cambiar a estados más estables, especialmente en soluciones acuosas con oxígeno e iones disueltos, como en el caso de los fluidos fisiológicos.

Debido a la corrosividad de los fluidos corporales, los metales con alta resistencia a la corrosión se utilizan generalmente para muchas aplicaciones biomédicas. Los metales pasivos tienen la capacidad de reaccionar con el medio ambiente para formar una capa de óxido muy estable y protectora que

los protege de una mayor corrosión. Los grupos de metales pasivos más utilizados para aplicaciones biomédicas son el acero inoxidable, las aleaciones de cobalto-cromo-molibdeno y las aleaciones de titanio.

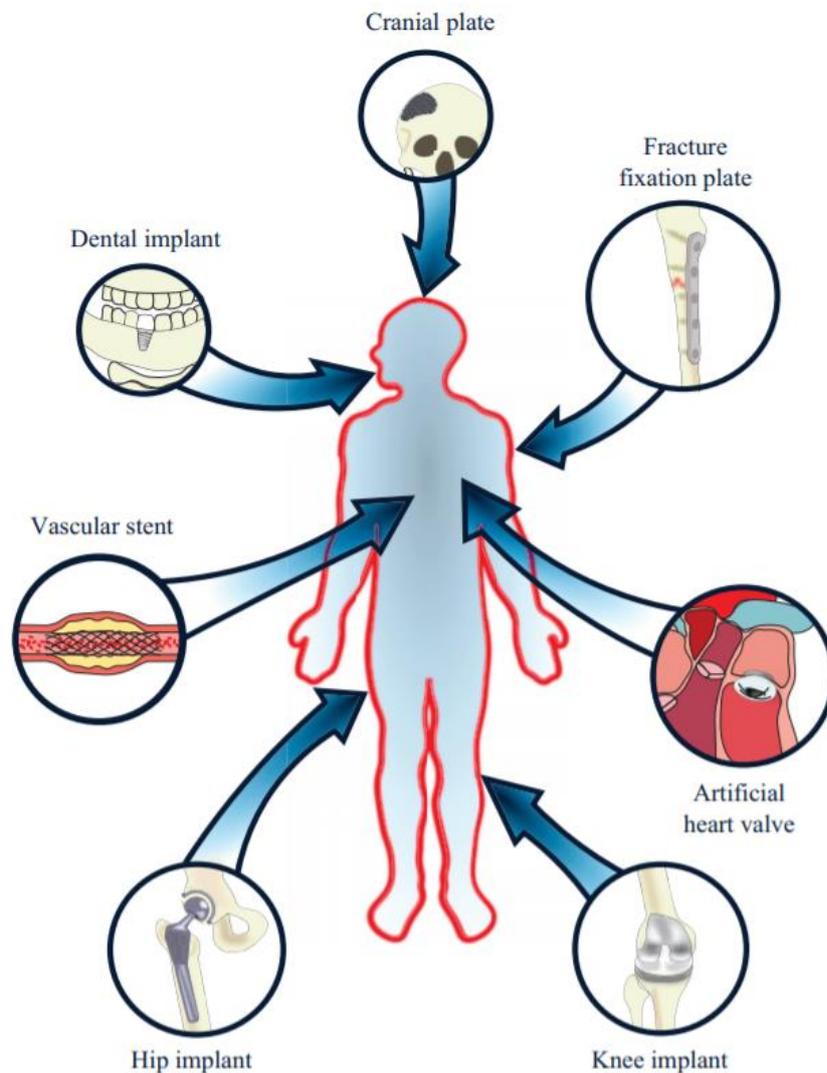


Fig. 5. Representación de diferentes dispositivos médicos

El titanio comercialmente puro y las aleaciones de titanio tienen una excelente resistencia a la corrosión. El estado pasivo viene dado por una capa de óxido protectora formada principalmente por óxido de titanio. Sin embargo, las aleaciones de titanio presentan una escasa resistencia al desgaste que limita su uso en aplicaciones de soporte de carga. La capacidad del hueso para formar una interfaz directa con el titanio lo convierte en la primera opción como material para los tornillos dentales y los vástagos sin cemento de cadera y rodilla, entre otras aplicaciones.

### 3.3.1. Corrosión de metales en entornos biológicos

La corrosión se define como el deterioro de un material debido a la reacción con el entorno. La degradación puede ser causada por reacciones químicas, electroquímicas, físicas, o por una combinación de ellas.

Los metales se encuentran en los minerales en estados estables y de baja energía, como óxidos, sulfuros, silicatos, etc. Cuando se procesan, los compuestos estables se reducen a un estado metálico menos estable. Según los principios de la termodinámica, los metales con un estado de alta energía son propensos a reaccionar con las especies del entorno y volver a cambiar a estados más estables.

Los metales implantados en el cuerpo están expuestos a fluidos biológicos, que son fluidos acuosos que contienen diferentes nutrientes, especies orgánicas, electrolitos, etc. La naturaleza acuosa de los fluidos corporales hace que los procesos electroquímicos sean dominantes en la corrosión de los biomateriales metálicos. Además, aunque los fluidos corporales son generalmente soluciones tamponadas con un pH de alrededor de 7,4, su pH puede cambiar en el caso de las infecciones o después de la cirugía, provocando la corrosión de los materiales que se encuentren en contacto.

La corrosión electroquímica implica una reacción de oxidación anódica, una reacción de consumo de electrones catódica y la transferencia de electrones entre ambas (Figura 6). En el caso de los metales, la **reacción anódica** genérica consiste en la oxidación desde el estado metálico a iones. Además, los metales pasivos pueden reaccionar con el agua para formar una capa de óxido/hidróxido. La **reacción catódica** consiste en la reducción de las especies electroquímicamente activas del electrolito, y puede variar en función de las propiedades químicas y la composición del medio.

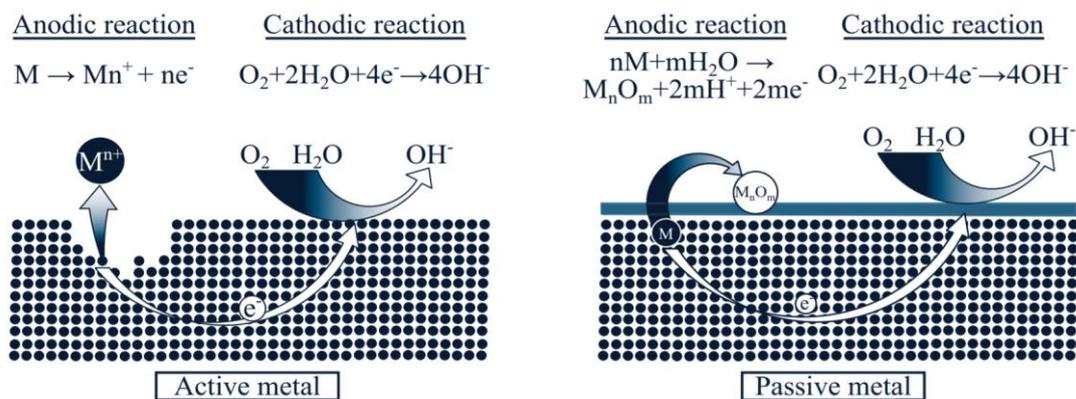


Fig. 6. Representación genérica de las reacciones electroquímicas que intervienen en la corrosión de un metal activo (izquierda) y un metal pasivo (derecha).

Cuando se exponen a ambientes corrosivos, los metales pueden sufrir diferentes tipos de corrosión. A continuación, se resumen algunos de los tipos de corrosión más comunes.

1. La corrosión general o uniforme afecta a toda la superficie del material con una intensidad equivalente.
2. La corrosión por picadura es un tipo de corrosión localizada que da lugar a la formación de pequeñas cavidades en la superficie del metal. La reacción de oxidación en la picadura provoca un descenso del pH y la migración de iones de cloruro para equilibrar la carga de los iones metálicos. Esto crea un entorno más agresivo localmente y potencia la corrosión.
3. La corrosión galvánica puede tener lugar cuando materiales distintos están en contacto y expuestos a una solución conductora. Sus diferentes potenciales tienden a aumentar la velocidad de corrosión del material más activo.
4. La corrosión por hendidura es un tipo de corrosión localizada que se produce cuando una superficie metálica está parcialmente protegida del entorno, por ejemplo, en aberturas estrechas, juntas o grietas profundas. Las reacciones anódicas se producen preferentemente en la grieta debido a la diferencia de aireación. La corrosión por hendiduras puede minimizarse optimizando el diseño o seleccionando adecuadamente el material.
5. La tribocorrosión es el resultado del efecto combinado del desgaste y la corrosión. En el caso de los metales pasivos, el daño por desgaste conduce a una mayor corrosión causada por la ruptura de la capa de óxido.
6. La corrosión por frotamiento tiene lugar en la interfaz de superficies en contacto con un pequeño movimiento relativo entre ellas. El daño causado por fricción puede degradar la capa de óxido de los metales pasivos, aumentando la corrosión.

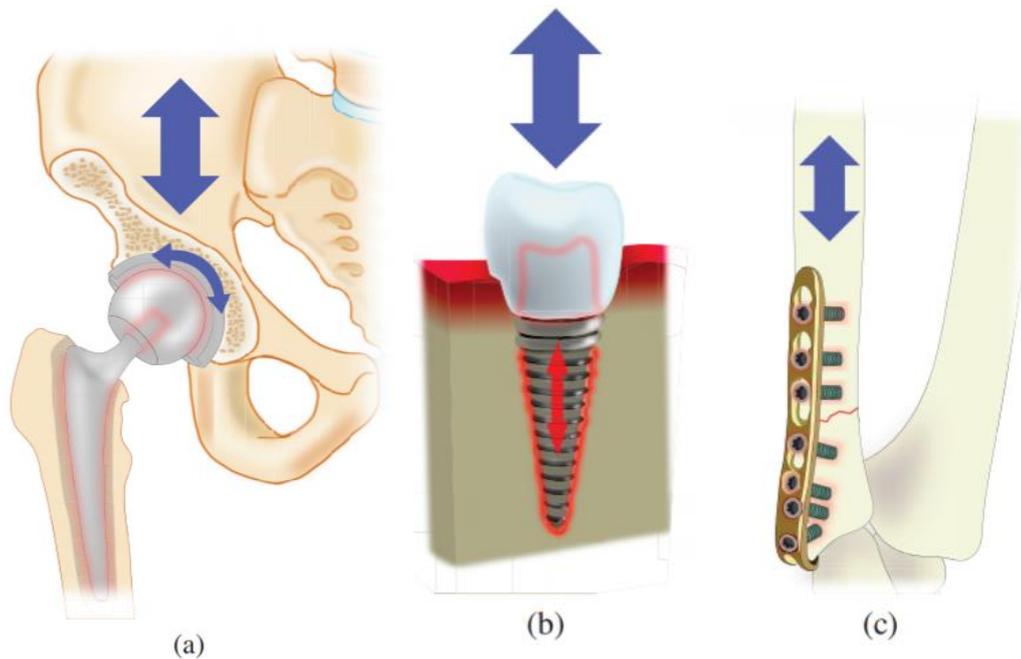
Existen varias aplicaciones industriales en las que se utilizan métodos de protección contra la corrosión (por ejemplo, protección catódica o ánodos de sacrificio). Sin embargo, los entornos altamente sensibles en los que se implantan los biomateriales no permiten el uso de tales técnicas. Las condiciones restrictivas hacen que el uso de metales pasivos o revestimientos seleccionados sean algunas de las pocas opciones disponibles actualmente para reducir la corrosión de los biomateriales metálicos.

### 3.3.2. Tribocorrosión en implantes metálicos

En algunas aplicaciones biomédicas, los materiales de los implantes pueden estar expuestos a condiciones de servicio muy complejas que incluyen cargas estáticas y dinámicas y movimientos relativos en contacto con superficies blandas o duras. Esto, junto con la corrosividad de los fluidos fisiológicos, puede potenciar los procesos de degradación.

La tribocorrosión puede definirse como la degradación causada por el efecto combinado de la corrosión y el desgaste. Los materiales de los implantes utilizados para restaurar la función de partes del sistema musculoesquelético son un ejemplo típico de aplicaciones en las que pueden tener lugar procesos de desgaste-corrosión. Los biomateriales utilizados para los implantes artificiales de cadera y rodilla están sometidos a la carga estática del peso corporal y a las cargas dinámicas debidas a actividades como caminar o subir escaleras, así como al movimiento relativo entre las superficies debido a la amplitud de movimiento de las mismas. El efecto combinado del desgaste y la corrosión puede tener lugar en las superficies articuladas, pero también en otras superficies en contacto debido a la carga y descarga variable, como se muestra en la figura 7(a). Los dispositivos de fijación de fracturas y los implantes dentales (figura 7(b) y 7(c)) son otros ejemplos en los que el efecto combinado del desgaste y la corrosión puede tener lugar debido al pequeño rango de movimiento producido durante actividades como caminar o masticar, respectivamente.

La degradación debida a los procesos de tribocorrosión no puede considerarse como la simple suma de la degradación por desgaste y la degradación por corrosión, sino que también debe considerarse el efecto de las sinergias creadas entre ellas.



*Fig. 7. La degradación por tribocorrosión puede tener lugar en diferentes dispositivos médicos como implantes de cadera (a), implantes dentales (b) y dispositivos de fijación de fracturas (c). La flecha azul representa la dirección típica de carga y descarga, y las áreas rojas representan las zonas más propensas a sufrir rozamiento y desgaste.*

La siguiente ecuación se utiliza para describir el desgaste total debido a la tribocorrosión:

$$T = D + C + S = D + C + (D_C + C_D)$$

Donde  $T$  representa el desgaste total por tribocorrosión;  $D$  es la pérdida por desgaste en ausencia de corrosión;  $C$  es la pérdida por corrosión en ausencia de desgaste; y  $S$  representa la sinergia entre desgaste y corrosión, o la combinación del efecto de la corrosión sobre el desgaste ( $D_C$ ) y del desgaste sobre la corrosión ( $C_D$ ).

En el caso de los metales pasivos, el desgaste puede provocar la ruptura de la capa de óxido protectora formada sobre la superficie, propiciando la disolución del metal. La composición y las características de la película de óxido y la composición química del medio circundante tienen un fuerte efecto sobre el comportamiento de los materiales frente al desgaste y la corrosión. Aunque la capa pasiva se regenera espontáneamente, recuperando su efecto protector, se produce un aumento de la corrosión durante el proceso, aumentando no sólo la degradación de los materiales sino también la liberación de iones metálicos al medio biológico. El efecto cíclico y repetitivo de la carga mecánica y el desgaste en la corrosión puede conducir a un aumento de los niveles de



iones en el organismo. Aunque metales como el cobalto, el hierro o el cromo pueden encontrarse de forma natural en el cuerpo, pueden llegar a ser tóxicos en concentraciones más elevadas.

El estudio del comportamiento de la corrosión y la tribocorrosión de los biomateriales metálicos puede ayudar a predecir su comportamiento cuando se implantan en el cuerpo y a evaluar la validez de los nuevos materiales candidatos con el objetivo general de aumentar el éxito de los implantes médicos. [9]

## 4. Experimentación



## 4. Experimentación

### 4.1. Materiales

En este proceso de investigación se ha trabajado con cuatro aleaciones de titanio con estaño y niobio en distintos porcentajes:

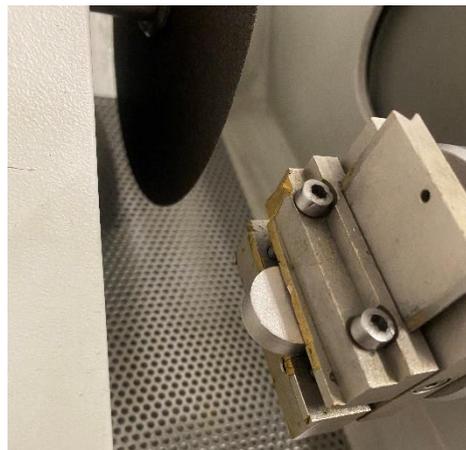
- Ti-Nb30
- Ti-Nb30-Sn2
- Ti-Nb30-Sn4
- Ti-Nb35-Sn4

### 4.2. Técnicas de ensayo

#### 4.2.1. Corte

El corte de las muestras se realiza con la cortadora de disco (tronzadora dimensional), figura 8. Se corta la pieza a la mitad y de nuevo a la mitad, poniendo un avance del disco de aproximadamente 25 mm para el primer corte y 17 para el segundo. La parte con la que se va a trabajar va a ser con la parte del corte (la zona transversal) o con la zona superficial según el objeto de estudio.

Durante todo el proceso de corte la máquina expelle una disolución a base de agua y taladrina que actúa como lubricante y refrigerante.



*Fig. 8. Disco y mordaza de la tronzadora sujetando una muestra*

Funcionamiento de la cortadora Struers Accutom-5: se enciende en la parte posterior, se abre la mordaza y se coloca la aleación, se cierra y se mueve el brazo con las flechas hasta la posición inicial que ha de tener justo antes de empezar a cortar, figura 9, se presiona F1 para seleccionar este punto como la posición cero en la escala relativa, se presiona Enter  y con los botones de Menu UP ▲ y Menu DOWN ▼ se selecciona el recorrido que se quiere que haga el brazo (para el diámetro de pastilla que se tiene con hacer 20 mm es suficiente) se presiona Enter y ya con todos los parámetros marcados da comienzo el experimento al pulsar Start .

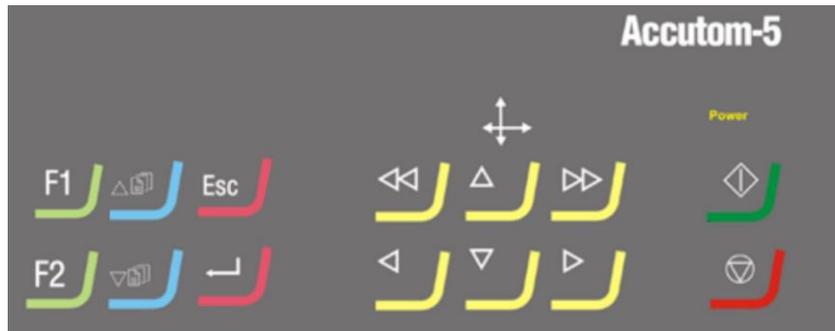


Fig. 9. Panel de control de la tronzadora

#### 4.2.2. Prensado

Se forma la probeta metalográfica en la prensa metalográfica de la figura 10. Se introduce la porción de muestra en la prensa con la superficie que se pretende observar hacia abajo, y sobre ella se añade metacrilato en polvo (cuando se quiere que la probeta sea transparente, también se podría usar baquelita que es negra). La prensa trabaja en ciclos de:

- Dos de minutos precalentamiento.
- Seis minutos de prensado.
- Cuatro minutos de enfriamiento.

Estos intervalos de tiempo son regulables y se adaptan a las necesidades del momento.



Fig. 10. Prensa metalográfica

#### 4.2.3. Lavado en baño de ultrasonidos

El baño de ultrasonidos, figura 11, se prepara fregándolo primero con agua y jabón y después se llena con agua y jabón para limpiar la probeta cuando salga de la prensa y también para limpiarla entre paño y paño de las etapas de pulido, de tal forma que se evite un posible arrastre de polvo pulido que arañe y deje marcadas rayas sobre la superficie de trabajo.



Fig. 11. Baño de ultrasonidos

#### 4.2.4. Desbaste

El desbaste se realiza en cinco lijas de distinto grano, empezando por la lija más gruesa de 120 hasta lijas más finas de 4000. La figura 12 muestra una de las desbastadoras utilizadas en el laboratorio.

En el proceso de lijado cada vez que se cambia de lija se posiciona la probeta en un sentido de forma que primero salen rayas en una dirección y en la segunda lija habrá que borrarlas y sustituirlas por rayas perpendiculares a las primeras; en la tercera tendrán en mismo sentido que en la primera y en la cuarta el mismo que en la segunda.

Es importante procurar no hacer planos porque si no la muestra queda inutilizable. Las lijas están constantemente recibiendo agua para eliminar los detritus y para mantener la probeta refrigerada.



Fig. 12. Lijas para el desbaste

#### 4.2.5. Pulido

Es el proceso posterior al desbaste, en él se utilizan tres paños, los dos últimos aterciopelados, que atrapan mejor las partículas de diamante, estos paños tienen como misión eliminar todas las rayaduras que se hayan podido hacer en las etapas anteriores y las colas de cometa (que la suciedad se acumule en los poros y se arrastre desde ahí) el objetivo es conseguir unas muestras de superficie brillante observable en un microscopio metalográfico que funciona por reflexión.

Estos paños se humedecen con una disolución de diamante de tamaño de cristal cada vez más fino (6 y 1 micras) y el último paño de pulido se carga con

una suspensión de sílice en agua. La figura 13 muestra los tres paños de pulido utilizados para la preparación de las muestras con las que se ha trabajado.



Fig. 13. Paños para el proceso de pulido

#### 4.2.6. Acondicionamiento de la probeta para ensayos electroquímicos

Los ensayos electroquímicos exigen un contacto eléctrico, que se realizará con una varilla de latón. Para ello se realizan los siguientes pasos:

1. **Desbaste de la probeta.** Se corta una cuerda de la circunferencia (segmento que une dos puntos de la circunferencia sin pasar por el centro) para ello primero se señala con un rotulador permanente y luego se procede al corte del metacrilato para dejar una superficie lisa sobre

la cual se pueda ajustar bien la goma de los ensayos de corrosión. Este corte se realiza con las medidas de seguridad adecuadas, es decir, llevando la pantalla protectora de seguridad y en caso de necesidad los guantes protectores. La figura 14 corresponde con la lijadora gruesa utilizada para desbastar el metacrilato.



*Fig. 14. Lija gruesa para el desbaste*

2. **Taladrado.** Para poder hacerle a la muestra ensayos de conductividad es necesario abrir un canal que conecte la aleación con el exterior. Se taladra el lado de la probeta recién lijado (el plano), con una broca en el taladro, figura 15. El taladrado se va haciendo poco a poco sacando la broca en repetidas ocasiones para limpiar con una brocha el material (metacrilato) que sobra.



Fig. 15. Taladradora

Una vez hecho el agujero se limpia con una pistola de aire a presión figura 16, para evitar que las virutas taladradas se acumulen en el interior del agujero ocasionando la pérdida de contacto directo entre la muestra y el exterior.



Fig. 16. Pistola de aire a presión

Seguidamente se introducen por el agujero dos machos de rosca, la primera más fina (de menor diámetro), para marcar los filetes y que puedan introducirse elementos a rosca, figura 17. Cabe la posibilidad

de utilizar un tercer macho de rosca más grueso, que en caso de necesidad se introduciría para hacer más grande el agujero.



Fig. 17. Machos de rosca

#### 4.2.7. Identificación o marcaje

Se marca la probeta con una punta eléctrica, figura 18, se escribe el tipo de aleación que es y su número o algo que sirva para identificarla.



Fig. 18. Lápiz grabador eléctrico

#### 4.2.8. Estudio de imagen con el microscopio

Se lleva la muestra al microscopio metalográfico, figura 19 y se ve a distintos aumentos para comprobar la calidad del pulido y que no se vean rayas. Se utiliza el programa Picsara Premium Edition para todas las cuestiones relacionadas con el análisis de imagen, así como para la captura de imágenes.



*Fig. 19. Microscopio óptico*

Cuando la muestra no tiene rayas ni colas de cometa está correctamente preparada para trabajar con ella. Cabe destacar que se pueden ver los poros en negro y si se intentan enfocar se desenfoca el resto de la muestra, esto es porque el fondo del poro está a una profundidad distinta de la superficie del material. Además, se podrían ver otras inclusiones de elementos no metálicos que aparecen sin color.

Tras cada uno de los ensayos operados (ataque, polarización anódica, ensayo de dureza...) se utilizará el microscopio para ver el efecto que este ha tenido sobre la muestra. Por ejemplo, cuando se ataca la probeta se pueden ver los bordes de grano en el microscopio y ver si aparece más de una fase, en las muestras de trabajo hay más de una fase, esto se ve en los bordes grano donde aparecen numerosas rayas como agujas de otra fase.

Con el microscopio se sacan imágenes a distintos aumentos de las diferentes muestras, para poder compararlas unas con otras.

#### 4.2.9. Ensayo de macrodureza

Las dos metodologías de ensayo que más se utilizan para determinar la macrodureza de los materiales metálicos de baja dureza son los siguientes:

- Ensayo **Rockwell B**: se selecciona el cabezal adecuado con una bolita de diámetro 1/16 de pulgada, se pone una carga de 100 N en la prensa y se realizan las improntas asegurando que se está a una distancia suficiente de los bordes y de otras huellas que podrían interferir en el ensayo.
  1. Se coloca con el volante de abajo el cabezal de forma que toque la muestra.
  2. Se ajusta la aguja pequeña con el volante menor de arriba hasta que esté en el medio del punto rojo de forma que se aplica una precarga de 10N.
  3. Se ajusta la aguja grande en el otro punto rojo que indica 10 y sería el 0.
  4. Se deja caer el peso, para ello se empuja la palanca ligeramente y se le deja girar sola.
  5. Cuando se enciende la luz roja ha acabado el proceso, se libera de la carga a la muestra, tirando de la palanca y se anota la carga que marca la escala de fuera.
- Ensayo **Vickers**: el penetrador es una pirámide de diamante y sirve para todas las durezas. Se pone la mínima carga de la que dispone el macrodurómetro, figura 20, en este caso 31,25 N.
  1. Se coloca con el volante de abajo el cabezal de forma que toque la muestra.
  2. Se ajusta la aguja pequeña con el volantito de arriba hasta que esté en el medio del punto rojo de forma que se aplica una precarga de 10N.
  3. Se deja caer el peso, para ello se empuja la palanca ligeramente y se le deja girar sola.
  4. Cuando se enciende la luz roja ha acabado el proceso, se espera 30 segundos y se libera de la carga a la muestra, tirando de la palanca, no hace falta anotar nada.

En el caso concreto de estas muestras de trabajo de aleaciones de titanio, el ensayo Rockwell no era factible porque la carga que marcaba es mayor de 100 y eso se sale de la escala de medida del aparato de forma que se hizo el ensayo de Vickers.

La forma de proceder es hacer tres punciones formando un triángulo y una cuarta en el centro del triángulo de forma que se saca la dureza media de los tres puntos del triángulo y se compara con la dureza del punto central de forma que  $\bar{H} \pm \sigma \cong H_4$  es decir que la media de las tres medidas de triángulo más la desviación típica es aproximadamente la dureza del punto central, figura 21.

Para conocer la dureza de cada punto se miden con el microscopio las dos diagonales que deja el ensayo de Vickers en la muestra y se calcula la longitud media ( $l$ ) siendo la dureza de Vickers:

$$HV = 1,865 \cdot \frac{P}{l^2}$$

Donde  $P$  es la carga sobre de muestra, es decir, 31,25N.



Fig. 21. Macrodurómetro realizando un ensayo Vickers



Fig. 20. Muestra tras el ensayo de macrodureza

El número de dureza Vickers (HV) relaciona la carga aplicada y el área de la superficie dejada por la huella después de quitar la carga.

$$HV = \frac{P(\text{aplicada})}{A(\text{huella})} = \frac{P}{\frac{d^2}{2\text{sen}(\alpha/2)}} = \frac{2P\text{sen}\alpha/2}{d^2}$$

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

Donde :

- HV = Número de dureza de Vickers.
- P = carga Aplicada (kgf o N)
- d = Diagonal promedio de la huella (mm)
- $\alpha$  = Angulo entre caras del indentador (136°)

No es necesario hacer el ensayo de macrodureza a la sección transversal y superficial de la muestra, puesto que los resultados deberían ser muy similares (si no lo fueran se debería posiblemente a un mal preparado de la muestra, como una grieta) de forma que solo se hará en la sección superficial donde es más sencillo realizar las improntas siguiendo el formato tipo triángulo.

El ensayo de macrodureza se hace directamente sobre la superficie metálica sin empastillar. La muestra estará cortada y desbastada.

El empastillado se hace después del ensayo para poder dejar la superficie con las muescas (sobre la que se ha hecho el ensayo) hacia el interior de la pastilla y utilizar la otra superficie en los siguientes ensayos para que no sea necesario perder tanto material en la etapa de desbaste intenso que se necesitaría para llegar a una capa donde las muescas del penetrador ya no aparezcan marcadas en el caso en el que se usara la misma cara que en el ensayo de macrodureza.

#### 4.2.10. Ensayo de microdureza

Se realiza con un microdurómetro Vickers, figura 22, cuyo método de empleo es el siguiente:

1. Se encienden los dos interruptores; el del durómetro en la parte trasera y el de la luz en el lateral, se desenrosca la protección del penetrador y se quita la tapa de la lente.
2. Se coloca la muestra en el durómetro ajustándola con una mordaza y mirando a través de los aumentos del microscopio (incorporado en el durómetro) se selecciona un campo de trabajo sobre el que se va a hacer la muesca, esta se hace por la zona delimitada con tres rayas horizontales, habrá que seleccionar zonas libres de fase  $\alpha$  (que se encuentra en forma acicular en los bordes de grano) si lo que queremos es conocer la dureza de la matriz  $\beta$ , o bien seleccionar una zona rica en fase  $\alpha$  si se quieren determinar la variaciones de dureza que puede originar esta fase. Para tener una medida global se realizará un barrido de varias improntas situadas aleatoriamente sobre ambas fases a lo largo de una línea recta.
3. Calibrado: haciendo uso de la ruleta pequeña en el lado derecho del ocular, se hacen coincidir las dos líneas verticales que se ven mirando por el microscopio, de forma que una esté sobre la otra. Una vez calibrado se presiona durante dos segundos el botón de SET.
4. Formación de la muesca: una vez seleccionado el campo y calibrado el equipo, falta seleccionar la carga, esto se hace girando una ruleta en la parte derecha del durómetro que permite seleccionar cargas de 100, 200, 500 y 1 kgf, en el caso de estos ensayos se ha utilizado una carga de 1 kgf. Se coloca el penetrador sobre la muestra y da comienzo la penetración que dura aproximadamente 30 segundos, el propio equipo indica el final de experimento ya que se apaga la luz verde que señala que está ejecutándose, figura 23.
5. Toma de medidas: cambiando el penetrador por el objetivo (girando) se observa la marca hecha y se miden las dos diagonales de la pirámide,

para ello se separan las líneas verticales que se juntaron para el calibrado, utilizando las dos ruletitas situadas a ambos lados del ocular de tal forma que queden tangentes a dos vértices enfrentados de la pirámide, midiendo la primera diagonal. Se presiona el botón en la parte superior del durómetro para que registre esta medida y se gira el ocular, de forma que las dos líneas verticales giran también pudiéndose medir la otra diagonal, de nuevo se presiona el botón de toma de medida y se registra la segunda medida, además el propio durómetro hace los cálculos que dan la dureza Vickers de la muestra utilizando las dos longitudes medidas. Además, incorpora un convertidor que aporta el dato de dureza al que equivaldría si se estuvieran haciendo otros ensayos como Rockwel B o C.

6. Barrido: lo que ha de hacerse para la toma de medida es elegir una recta he irse desplazando sobre ella hasta tomar aproximadamente once medidas de dureza, de las cuáles los dos valores más pequeños se descartan puesto que se trata de una zona de menor dureza debido a que se ha aplicado la presión sobre un poro que, aunque no se vea en la capa superficial puede estar en las inferiores.



Fig. 22. Microdurómetro

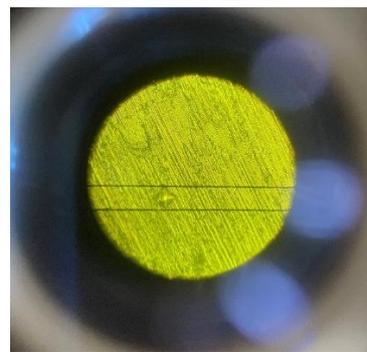
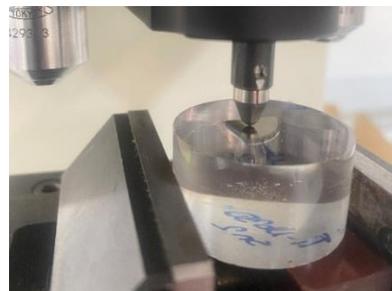


Fig. 23. Huella impresa por el microdurómetro

#### 4.2.11. Caracterización microestructural. Microscopía Óptica.

Se introduce la probeta con pinzas para no correr ningún riesgo personal, en un vaso de precipitados con el reactivo encargado del ataque. Se deja ahí un tiempo hasta que se ataque (se pueden ver burbujas de aire emerger desde la superficie de la aleación). Prestando atención para no permitir que se quemee la superficie y aparezca negruzca lo que implicaría tener que volver a preparar la muestra para repetir el ensayo. Tras el ataque, se saca la muestra y se introduce en otro vaso de precipitados lleno de agua para parar el ataque.

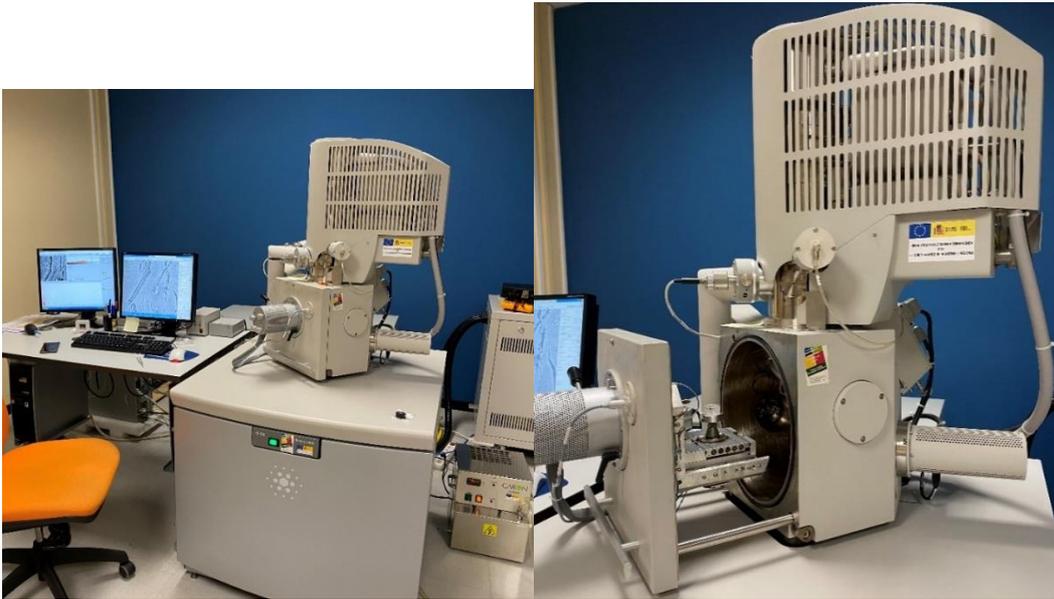
Los ácidos utilizados en este ataque han sido dos puesto que el primero no era lo suficientemente eficaz:

1. El reactivo de Krohll que se prepara diluyendo en 100 mL de agua 6 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y 3 mL de ácido fluorhídrico (HF). Este reactivo necesita intervalos de tiempo muy largos para atacar las muestras y no resulta práctico.
2. El reactivo que se prepara diluyendo en 100 mL de agua, 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y 10 mL de ácido fluorhídrico (HF), con esto se consigue un ataque mucho más rápido, en apenas un par de segundos la muestra se ataca, además los bordes de grano y las agujas que forma la fase  $\alpha$  presente se ven mucho más claramente. [10]

Con este proceso de ataque se queman los bordes de grano y la fase acicular, pero no la matriz, de forma que se puede ver el tamaño de grano y analizar las fases presentes en la muestra, observándola con el microscopio óptico.

#### 4.2.12. Caracterización Microestructural. Ensayo de SEM con EDX: Microscopía electrónica de barrido

En el laboratorio de Técnicas Instrumentales de la Universidad de Valladolid se realizó la observación de las muestras mediante microscopía electrónica de barrido con el microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) FEI-Quanta 200FEG, figura 24, que además es capaz de realizar un microanálisis elemental, es decir, permite conocer los elementos químicos presentes en las diferentes partes de una muestra en un volumen tan pequeño de un micrómetro cúbico y, en muchos casos, cuantificarlos de modo aproximado. También permite ver su distribución sobre la muestra.



*Fig. 24. SEM con EDX de laboratorio de técnicas instrumentales de la Universidad de Valladolid*

El análisis de rayos X de energía dispersiva (EDX o EDS) es una técnica muy utilizada por los científicos de materiales actuales, y utilizado junto con un microscopio electrónico de barrido (SEM), un detector EDX puede generar más información sobre una muestra que un SEM por sí solo.

Con el EDX, los investigadores pueden obtener rápidamente información sobre la composición química de una muestra, incluidos los elementos presentes, así como su distribución y concentración.

Con un SEM, una serie de señales ofrecen información diferente sobre una muestra determinada. Por ejemplo, los electrones retrodispersados producen imágenes con contraste que llevan información sobre las diferencias en el número atómico, mientras que los electrones secundarios producen información topográfica sobre la muestra. Sin embargo, cuando el SEM se une a un detector EDX, los rayos X también pueden utilizarse como señal para producir información química semicuantitativa.

Para entender cómo se generan estos rayos X, es importante tener en cuenta que cada átomo tiene un número único de electrones que residen en niveles de energía específicos. En condiciones normales, estas posiciones pertenecen a determinadas capas, que tienen energías diferentes y discretas.

La forma en que funciona el análisis EDX es por medio de un haz de electrones que golpea la capa interna de un átomo, desprendiendo de esta un electrón y dejando un agujero de electrón cargado positivamente. Cuando el electrón se desplaza, atrae a otro electrón de la capa exterior para llenar la vacante, que,

al moverse desde la capa exterior de mayor energía a la interior de menor energía, puede liberar esta diferencia de energía en forma de rayos X. La energía de estos rayos X es única para el elemento y la transición en cuestión.

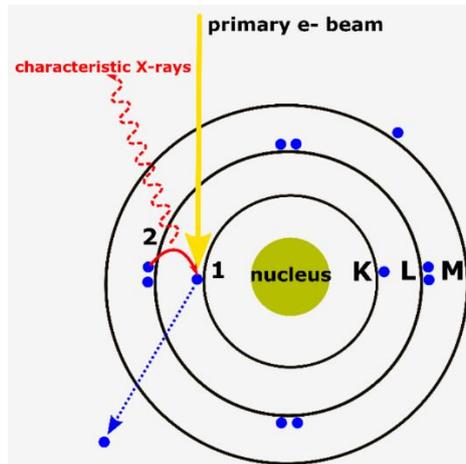


Fig. 25. Representación gráfica de rayos X generados por EDX

Los rayos X emitidos durante el proceso son recogidos por un detector de silicio, que mide la señal y la interpreta mediante un software. En esencia, la información química puede visualizarse de varias formas, como el mapeo elemental y los escaneos de líneas. De este modo, los rayos X pueden utilizarse para identificar cada elemento que existe en una muestra.

El EDX puede utilizarse para el análisis cualitativo y cuantitativo, lo que permite a los usuarios identificar tanto el tipo de elementos que están presentes como el porcentaje de concentración de cada elemento en la muestra. Y, al igual que el SEM tradicional, la técnica requiere poca o ninguna preparación de la muestra y no es destructiva, lo que significa que no daña la muestra [11].

#### 4.2.13. Caracterización Microestructural. Ensayo de DRX: difracción de rayos X

Este ensayo se realizó también en el laboratorio de técnicas instrumentales de la Universidad de Valladolid.

La técnica se basa en que la radiación procedente de un tubo de rayos X de longitud de onda  $\lambda$  incide sobre la muestra con un espaciado interplanar, de la estructura cristalina.

Este haz sale reflejado con un ángulo  $\theta$  de acuerdo con la ley de Bragg ( $\text{sen } \theta = n\lambda/2d$ ). Un detector se mueve, variando el ángulo que forma con la muestra y va registrando dicho haz reflejado. El resultado de intensidad en función del ángulo proporciona información sobre la estructura cristalina de las fases y microconstituyentes que forman parte de la muestra estudiada, lo que favorece su identificación [12].

4.2.14. Ensayos de corrosión: acondicionado, impedancias, OCP y polarización anódica.

Para llevar a cabo todos los ensayos de corrosión se utilizaron el potenciostato-galvanostato y el analizador de impedancias de la figura 26.

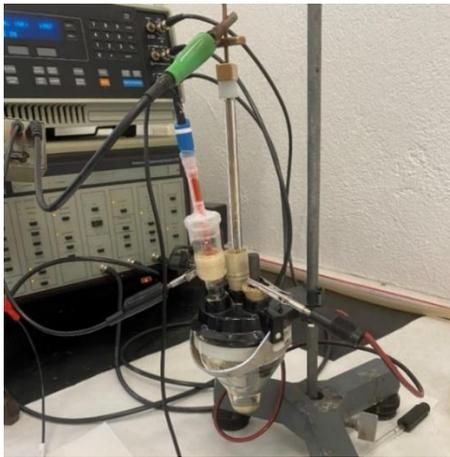


Fig. 26. Montaje de la celda electrolytica

Para estos ensayos se va a trabajar con un medio de saliva artificial para simular condiciones fisiológicas, y su composición es la indicada en la tabla 1. Los reactivos utilizados se muestran en la figura 27.

Composición de 5 L de saliva artificial	
2 g de NaCl	1,54 g de NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
2 g de KCl	5 g de urea
3,95 g de CaCl <sub>2</sub>	0,005 g de Na <sub>2</sub> S

Tabla 1. Saliva artificial



Fig. 27. Componentes de la saliva artificial

Se prepara la celda electroquímica con la típica configuración de tres electrodos. El electrodo de trabajo es la probeta metálica, como electrodo de referencia se utilizará el electrodo de calomelanos, basado en la reacción entre mercurio y cloruro de mercurio (I). La fase acuosa en contacto con el mercurio y el cloruro de mercurio (I), ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , "calomelano"), es una disolución saturada de cloruro de potasio en agua. El electrodo está conectado por medio de un puente salino a la disolución. Finalmente, como contraelectrodo se utilizan dos electrodos de grafito situados simétricamente para conseguir una distribución más homogénea de la corriente.

Hay que asegurarse de que el electrodo de calomelanos está lleno de cloruro y no hay burbujas de aire, además deben quedar cristallitos precipitados al fondo del electrodo, una vez relleno el electrodo, este se cierra con Parafilm. **El electrodo de calomelanos es el de referencia.**

En el **electrodo de trabajo** se enrosca la probeta de trabajo, en este caso, cada una de las distintas muestras de las aleaciones de titanio que se estudian. Es preciso asegurarse de que la muestra está perfectamente fija y se sellada con la goma de la celda, de tal manera que no sea posible la entrada del medio de trabajo (saliva) por el orificio del taladro, ya que esto provocaría una adulteración de los resultados. También hay que comprobar que efectivamente existe contacto entre la muestra y la varilla de conexión que se ha enroscado dentro, para ello se utiliza un multímetro que mide si hay paso de corriente.

Se coloca la celda con saliva artificial y se procede a hacer todas las conexiones necesarias al aparato de medida. Antes de comenzar se deja un cierto tiempo para que el voltaje se estabilice. El experimento de acondicionado para la corrosión dura 30 minutos, se realiza en circuito abierto, el resultado es una gráfica que muestra un voltaje en función del tiempo, en el caso de estos experimentos, el potencial muestra una tendencia ligeramente creciente pero estabilizado en líneas generales.

El experimento de espectroscopía de impedancias se realiza como mínimo dos veces para asegurar que las mediciones son correctas. Como resultado de este ensayo que realiza un barrido de frecuencias a potencial abierto con una variación de frecuencia de 100000 Hz hasta 0,01 Hz, se obtienen dos gráficos que se comentan a continuación:

- **Diagrama de Bode:** es una representación gráfica que sirve para caracterizar la respuesta en frecuencia de un sistema. Se analiza el módulo de impedancia y el ángulo de desfase en función de la frecuencia. Cuanto mayor sea el módulo de impedancias y más cercano a  $-90^\circ$  sea el desfase, mayor será la resistencia a la corrosión.

- **Diagrama de Nyquist (impedancia)** Se representa la parte imaginaria frente a la parte real de la impedancia del sistema a lo largo del barrido de frecuencias. Usualmente la morfología de este diagrama tiene forma semicircular. La resistencia que tiene el material a la corrosión será mayor cuanto más grande sea el semicírculo obtenido en este diagrama.

Los experimentos hechos sobre el mismo material se superponen gráficamente para poder ver si son parecidos y si se pueden tomar los valores como válidos.

El ensayo de OCP (Open Circuit Potential) mide el potencial de reposo entre el electrodo de referencia y el de trabajo:

$$E_{OCP} = E_{WKG} - E_{REF}$$

Lo que hace que el OCP sea único es que se trata de una medición puramente electrolítica, desde el punto de vista termodinámico.

Se utiliza para saber si un sistema electroquímico es estable o no. Un OCP constante (generalmente,  $\pm 5$  mV o menos) durante largos periodos de tiempo (minutos) indica que el sistema puede ser estable o al menos lo suficientemente estable, termodinámicamente. Hay una certeza analítica mucho mayor en la medición basada en una línea de base plana que en una línea de base inclinada, especialmente si la línea de base inclinada no está bien definida, modelada o es constante [13].

Los ensayos de polarización anódica son ensayos potenciodinámicos en los que se impone un cambio del potencial de un electrodo en la dirección positiva y se va registrando la intensidad de corriente. La polarización del material es causada por la corriente que fluye a través de una interfaz electrodo-electrolito, como la polarización del electrodo asociada a una oxidación electroquímica o reacción anódica. En otras palabras, el cambio en el potencial anódico inicial resulta de los efectos del flujo de corriente en la superficie del ánodo o cerca de ella.

La polarización es el cambio de potencial desde un estado estabilizado como resultado del paso de la corriente. También se refiere al cambio en el potencial de un electrodo durante la electrólisis, de manera que el potencial de un ánodo se vuelve más noble, y el de un cátodo más activo, que sus respectivos potenciales reversibles.

La polarización anódica se utiliza para medir y proteger contra la corrosión. Puede utilizarse para determinar las regiones de potencial en las que los materiales son susceptibles de sufrir una rápida corrosión.

La polarización de un ánodo, es decir, la disminución del potencial anódico inicial resultante del flujo de corriente, es evidente en la superficie del ánodo o cerca de ella. El potencial se vuelve más noble (más positivo) debido a la polarización anódica. El cambio de potencial de un ánodo es causado por el flujo de corriente.

En el contexto de la corrosión, la polarización se refiere al desplazamiento del potencial desde el potencial de circuito abierto (potencial libre de corrosión) de un sistema que se corroe. Si el potencial se desplaza en dirección positiva, se trata de una polarización anódica. Si el potencial se desplaza en dirección negativa, se trata de una polarización catódica.

Se ha demostrado que la exposición a largo plazo de las aleaciones a potenciales anódicos va acompañada de un rápido fallo, una notable disminución de la resistencia a la tracción, una importante pérdida de plasticidad y una sustancial corrosión uniforme o de la capa intergranular de la superficie [14].

#### 4.2.15. Ensayo de desgaste con el tribómetro (pin-on-disk)

El tribómetro, figura 28, realiza una prueba de desgaste en la que se aplica una carga que realiza una huella circular sobre la parte metálica de la probeta (disk), con una bolita de alúmina (pin) que se sitúa en la punta de la máquina, máquina que hay que equilibrar y sobre la que se colocan pesas para aplicar la carga deseada. Este ensayo sirve para ver el coeficiente de fricción y la penetración que hay en la probeta, así como para calcular la tasa de desgaste. En este ensayo no es necesario tener empastillada la muestra.

La huella que marca el tribómetro sobre la muestra hay medirla para los cálculos posteriores respecto a la resistencia al desgaste, es también necesario pesar la muestra antes y después de que se haya desgastado para conocer igualmente la tasa de desgaste.

Durante el ensayo la bola de alúmina permanece fija, mientras que el disco al que se sujeta la muestra gira describiendo una trayectoria circular, el ensayo se hace a una velocidad de 60 rpm y durante una distancia de 150 m.

Durante el ensayo se registran por medio de sensores los valores que va adoptando el coeficiente de rozamiento en cada momento tomando como referencias la fuerza de rozamiento y el peso aplicado.



Fig. 28. Tribómetro realizando un ensayo de desgaste

La fórmula exacta para calcular la pérdida de volumen del disco a partir de la huella generada, es decir, el desgaste es:

$$Disk\ volume\ loss = 2\pi R \left[ r^2 \cdot \arcsen\left(\frac{d}{2r}\right) - \frac{d}{4} \cdot (4r^2 - d^2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Donde **R** es el radio de la circunferencia que se indica en el software del tribómetro, es decir, el radio que se va a dibujar; **r** es el radio de la bolita de alúmina y **d** la anchura de la corona impresa.

Se puede utilizar un cálculo menos complejo que nos dará la pérdida de volumen de forma aproximada:

$$Disk\ volume\ loss = \frac{\pi R[mm] \cdot d[mm]^3}{6r[mm]}$$

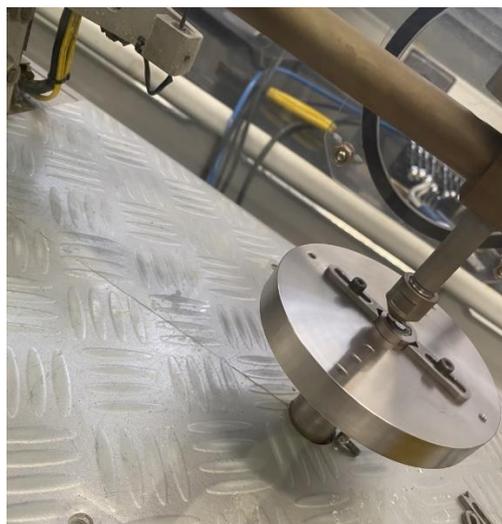


Fig. 29. Huella impresa por el tribómetro en la muestra

### *Análisis de imagen con la lupa*

La lupa, figura 30, se emplea para medir secciones más grandes que no entran en el campo de visión del microscopio como la huella de desgaste impresa por el tribómetro y el área de las superficies expuestas al medio de ensayo en los ensayos de corrosión. Su método de empleo es el siguiente:

1. **Encendido:** se enciende la luz y se coloca el aro de luz en la lente. Una vez se le ha puesto una lente a la lupa, que las dos disponible en el laboratorio son de x0,5 y x0,27, se procede al calibrado.
2. **Calibrado:** se coloca sobre la superficie de medida, es decir, la mesa, un cristal con una regla graduada. Se ajusta para poder verla nítidamente en la pantalla del ordenador y en posición horizontal. Ahora con el programa Picsara se añade este nuevo cristal siguiendo los subsecuentes comandos: Ajustes - Machine setup - Añadir: Lupa x0,5 ó 0,27. Y se calibra: Fuente de imagen - Ajustar aumentos - Lupa x0,5 ó 0,27 - Calibrar magnificación y se selecciona un tramo en la pantalla que nos dé una medida conocida (que se lea en la regla) y se introduce en el programa: long xxx mm.
3. **Toma de medidas:** se retira el cristal graduado y se van colocando bajo la lupa una a una las muestras encuadrando las coronas circulares que ha dibujado el tribómetro dentro del campo de la lupa. Con la herramienta de medir del Picsara se toman unas 11 medidas del grosor de la corona.

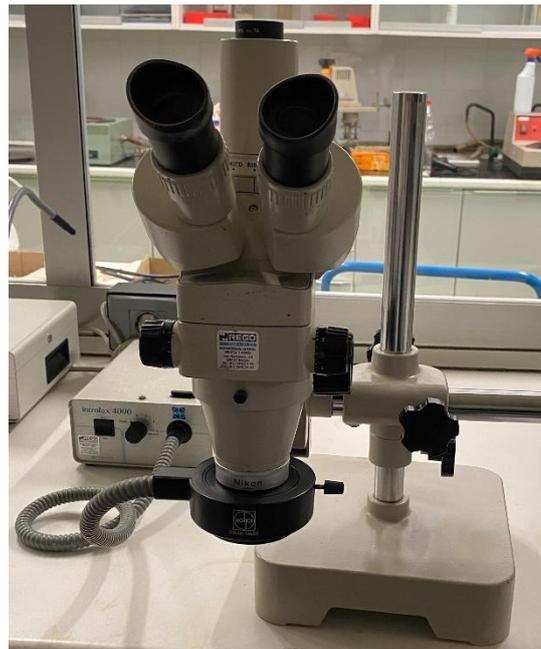


Fig. 30. Lupa

#### 4.2.16. Ensayo de tribocorrosión

Este ensayo aúna el ensayo de corrosión y el de desgaste, se trata de conocer el efecto sinérgico entre la corrosión y el desgaste. Se prepara la celda electroquímica en el tribómetro, para ello se sustituye el disco de desgaste por un recipiente dentro del cual se puede verter el medio de trabajo, que sigue siendo la saliva artificial y la probeta debe fijarse a la celda de trabajo con unos tornillos al fondo del recipiente para evitar que esta se desplace y poder marcar sobre ella la huella que se genera al girar el tribómetro.

Del mismo modo que en el ensayo convencional de corrosión se necesitan electrodos de referencia, contraelectrodo (grafito) y el de trabajo, que será la muestra objeto de estudio. El ensayo se realiza con una carga de 2 N.

El ensayo dura dos horas y se realiza a circuito abierto, durante este tiempo se procede de la siguiente manera:

La primera media hora, el brazo del tribómetro permanece levantado, es decir, no estará generando ninguna huella, pero la celda sí estará girando y el potencial se está registrando.

Transcurrida esta media hora se baja el brazo y se deja de esta forma durante una hora, en estas condiciones se está registrando el potencial a la vez que se genera la huella, para finalmente levantarlo y registrar los datos de otra media hora sin aplicar carga con objeto de conocer la capacidad de recuperación de la aleación.

## **5. Resultados y discusión**



## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Caracterización microestructural del material

#### 5.1.1. Densidad

Para el cálculo de las densidades se utilizó un picnómetro (del griego puknos, que significa "densidad", también llamado picnómetro o frasco de gravedad específica).

El picnómetro es un matraz con un tapón de vidrio esmerilado ajustado, con un fino orificio que lo atraviesa, de modo que se pueda definir con precisión un volumen determinado.

Esto permite medir con exactitud la densidad de un fluido, tomando como referencia un fluido de trabajo adecuado, como el agua o el mercurio, utilizando una balanza analítica, figura 31.



Fig. 31. Picnómetro y balanza analítica para medir la densidad

La densidad se calcula como:

$$\rho = \frac{M}{(A - A_g)} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

Donde:

$\rho$  = es la densidad de la muestra.

$M$  = la masa de la muestra.

$A = (P_p + A) - P_p$  = peso del agua sin la muestra.

$A_g = (P_p + M + A_g) - (P_p + M)$  = peso del agua con la probeta.

$P_p$  = peso del picnómetro.

El procedimiento a seguir para la toma datos es el siguiente:

1. Se pesa el picnómetro vacío y se anota este peso como  $P_p$ .
2. Se llena el picnómetro con el fluido de referencia, en este caso, se utilizó agua destilada, hasta la marca señalada, se enrasa con cuentagotas. El método adecuado de llenado es haciendo resbalar por la pared del recipiente el agua para evitar la formación de burbujas que falsearían el resultado. El picnómetro lleno de agua se pesa obteniendo  $P_p + A$ .
3. Se pesa la muestra, anotando su peso como  $M$ .
4. Finalmente se introduce la muestra dentro del picnómetro y este se vuelve a llenar de agua hasta la línea de enrasado, obteniendo así el dato  $P_p + M + A_g$ .

Datos generales	
$P_p$	48,5300 g
$P_p + A$	98,4580 g

Tabla 2. Pesos del picnómetro con agua y sin agua

Muestra de la aleación Ti-30Nb	
$M_{Ti-30Nb}$	0,9805 g
$P_p + M_{Ti-30Nb} + A_g$	99,2187 g
$\rho_{Ti-30Nb}$	4,461 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 3. Aleación Ti-30Nb

Muestra de la aleación Ti-30Nb-2Sn	
$M_{Ti-30Nb-2Sn}$	0,8351 g
$P_p + M_{Ti-30Nb-2Sn} + A_g$	99,0978 g
$\rho_{Ti-30Nb-2Sn}$	4,276 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 4. Aleación Ti-30Nb-2Sn

Muestra de la aleación Ti-30Nb-4Sn	
$M_{Ti-30Nb-4Sn}$	0,8467 g
$P_p + M_{Ti-30Nb-4Sn} + A_g$	99,1402 g
$\rho_{Ti-30Nb-4Sn}$	5,147 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 5. Aleación Ti-30Nb-4Sn

Muestra de la aleación Ti-35Nb-2Sn	
$M_{Ti-35Nb-2Sn}$	0,9886 g
$P_p + M_{Ti-35Nb-2Sn} + A_g$	99,2574 g
$\rho_{Ti-35Nb-2Sn}$	5,225 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 6. Aleación Ti-35Nb-2Sn

Los resultados obtenidos, que se recogen en las tablas de la 2 a la 6, indican un claro aumento de densidad para las aleaciones Ti-30Nb-4Sn y Ti-35Nb-4Sn, que pone de manifiesto el incremento de densidad al aumentar el contenido en estaño.

### 5.1.2. Porosidad por análisis de imagen

Mediante el análisis de la porosidad se pretende cuantificar el número de poros y el tamaño de los mismos para poder comparar en este aspecto las aleaciones objeto de estudio.

Para este análisis se ha utilizado el programa Picsara Premium Edition de Optilia que es capaz de identificar el área ocupada por poros y compararla con el área total de la sección observada.

El programa trabaja a partir de imágenes tomadas con el microscopio en las que se selecciona el tamaño mínimo y máximo de los poros que deberá reconocer. Una vez identificados estos poros, se han de seleccionar aquellos que se hayan identificado como poros y no lo sean; inclusiones no metálicas, rayas o defectos impresos en la muestra en los procesos de desbaste y pulido.

Se recogen como datos:

- El área de cada uno de los poros identificados.
- El área total de la sección.
- El diámetro medio de los poros.
- El diámetro esférico de los poros.
- Esfericidad de los poros.

A continuación, se muestra un ejemplo del trabajo que desempeña el programa, donde se ven resaltadas en rojo en la imagen de la derecha, de la figura 32, las zonas que se han identificado como poros.

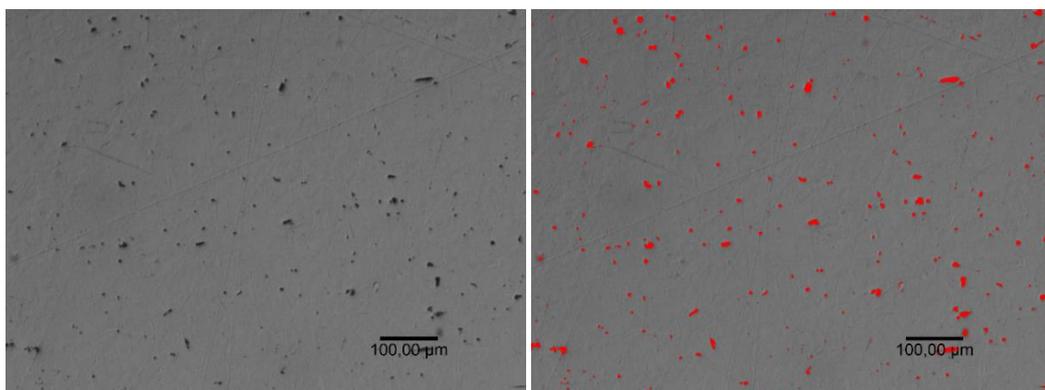


Fig. 32. Porosidad de la muestra de Ti-30Nb con aumento de x50

Los datos y fotografías microscópicas se encuentran en el anexo 1. Datos sobre la porosidad de las muestras.

Para calcular la porosidad se utiliza el siguiente cálculo:

$$Porosidad = \frac{\text{área ocupada por los poros}}{\text{área total estudiada}} \cdot 100$$

Porosidad de distintas aleaciones de titanio		
Ti-Nb30	Muestra 1	1,11 %
	Muestra 2	0,56%
Ti-30Nb-2Sn	Muestra 3	0,77%
	Muestra 4	0,34%
Ti-30Nb-4Sn	Muestra 5	1,42%
	Muestra 6	0,95%
Ti-35Nb-4Sn	Muestra 7	0,07%
	Muestra 8	0,09%

Tabla 7. Porcentaje de área ocupada por poros en las muestras

Los resultados de la tabla 7 indican que, en todos los casos el porcentaje de porosidad es muy bajo, aunque hay diferencias significativas en función del campo y de la muestra seleccionada, la muestra que presenta menor porosidad es claramente la más rica en niobio, confirmando el efecto beneficioso de la adición de niobio. Con respecto al efecto del estaño, se observa que la adición de un 2% de estaño sí parece originar una ligera disminución de la porosidad, pero al aumentar la cantidad de estaño hasta un 4% se observa que la porosidad aumenta de forma muy notable.

Como conclusión podría decirse que la muestra de Ti-35Nb-4Sn, figura 33, es la que presenta valores de porosidad más bajos, y esto coincide con una mayor densidad tal y como se ha observado en el apartado anterior.

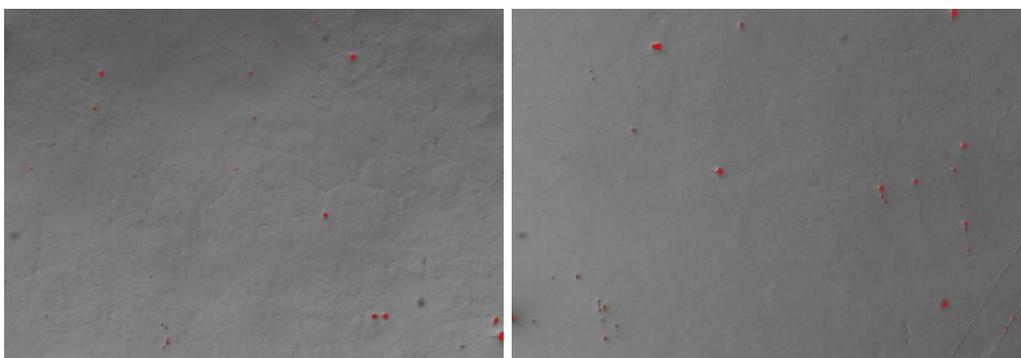


Fig. 33. Porosidad aumentos de x50 (izquierda) y x100 (derecha) de la muestra de Ti-35Nb-4Sn

Se han recogido también los datos del diámetro medio de los poros y de su esfericidad, los datos se muestran en la tabla 8. Observándola se constata que los poros de mayor tamaño son los que aparecen en la muestra de Ti-30Nb-2Sn, mientras que la esfericidad es prácticamente igual para todas las muestras. Como conclusión se puede decir que todas las muestras presentan poros de pequeño tamaño y alto grado de esfericidad, lo que indica que las condiciones utilizadas para el conformado son adecuadas.

		Diámetro medio	Diámetro esférico	Esfericidad
Ti-Nb30	Muestra 1	8,720 $\mu\text{m}$	9,328 $\mu\text{m}$	0,695
	Muestra 2	5,932 $\mu\text{m}$	5,914 $\mu\text{m}$	0,648
Ti-30Nb-2Sn	Muestra 3	10,970 $\mu\text{m}$	11,726 $\mu\text{m}$	0,699
	Muestra 4	3,937 $\mu\text{m}$	4,221 $\mu\text{m}$	0,673
Ti-30Nb-4Sn	Muestra 5	7,213 $\mu\text{m}$	7,427 $\mu\text{m}$	0,667
	Muestra 6	3,964 $\mu\text{m}$	4,071 $\mu\text{m}$	0,660
Ti-35Nb-4Sn	Muestra 7	7,403 $\mu\text{m}$	8,107 $\mu\text{m}$	0,703
	Muestra 8	4,380 $\mu\text{m}$	4,496 $\mu\text{m}$	0,642

*Tabla 8. Valores promedio de diámetro, diámetro esférico y esfericidad de los poros*

### 5.1.3. Microscopía óptica. Fases y microconstituyentes

En primer término, se debe recordar que la muestra objeto de estudio es una aleación con base de titanio, y como tal, los componentes no se encuentran en su forma pura, de tal manera que, para el caso específico de estas muestras, no aparecen ni titanio, ni niobio, ni estaño puros, sino que se forman soluciones sólidas, donde el estaño y el niobio están insertados en la red estructural del titanio formando fases y microconstituyentes que se tratará de identificar.

Para la identificación de las fases y los microconstituyentes se han realizado ensayos de microscopía óptica, microscopía electrónica y difracción de rayos X.

### 5.1.3.1. Caracterización por Microscopía Óptica

La microscopía óptica es una técnica empleada para observar de cerca una muestra mediante el aumento de una lente con luz visible. Se trata de la forma tradicional de microscopía, que se inventó antes del siglo XVIII y se sigue utilizando en la actualidad.

Un microscopio óptico, también conocido a veces como microscopio de luz, utiliza una o una serie de lentes para ampliar las imágenes de pequeñas muestras con luz visible. Las lentes se colocan entre la muestra y el ojo del observador para ampliar la imagen y poder examinarla con mayor detalle.

Los microscopios metalográficos funcionan por reflexión lo que precisa que las muestras estén perfectamente pulidas para la reflexión de la luz, en estado de pulido se ha realizado el estudio de la porosidad anteriormente comentado, pero, para poder observar los granos que constituyen la microestructura del material se ha atacado las muestras con diferentes reactivos químicos y se les ha tomado fotos a distintos aumentos. Además, se ha llevado a cabo un proceso de medida de tamaño de grano que consiste en:

1. Tomar una micrografía y dibujar dos líneas que unan las esquinas enfrentadas (en la figura 34 aparecen en rojo).
2. Se marcan las intersecciones entre del borde de grano con las diagonales dibujadas (en la figura 34 aparecen en verde estas intersecciones).
3. Se mide sobre la diagonal roja la distancia entre las líneas verdes, descartando los granos que están en las cuatro esquinas, de esta forma se tiene el valor promedio de la medida de los granos.

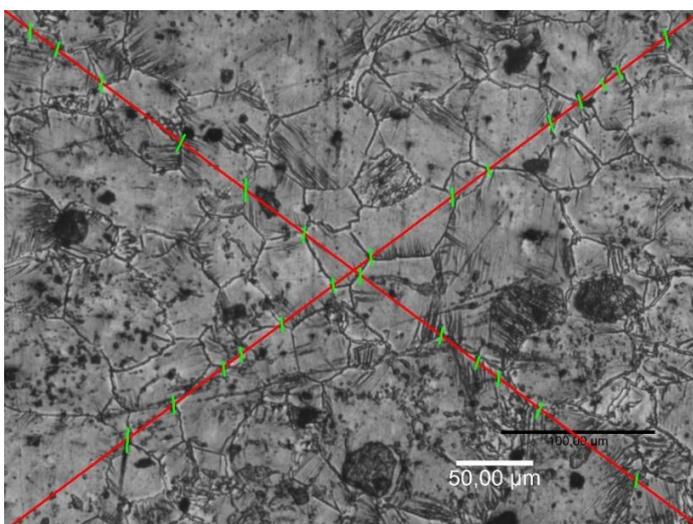
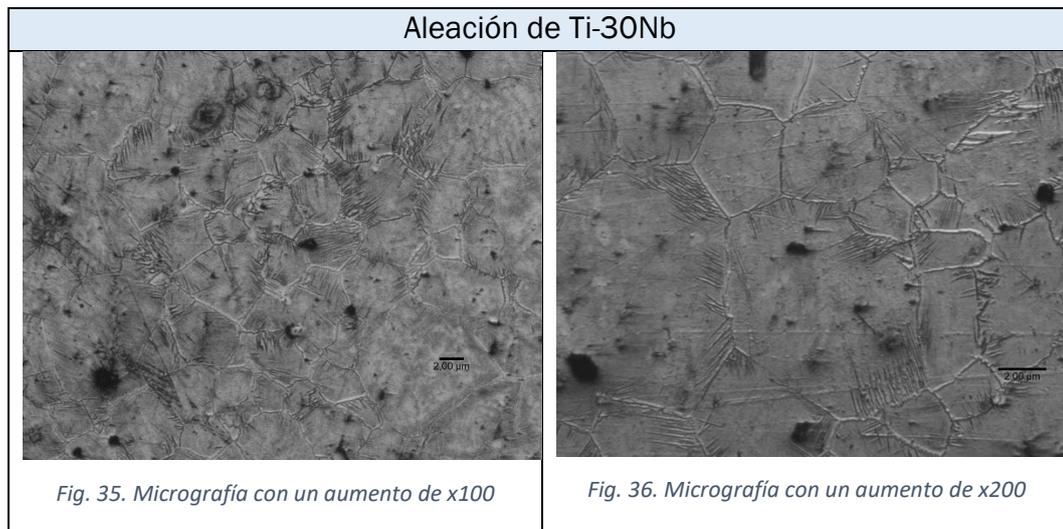


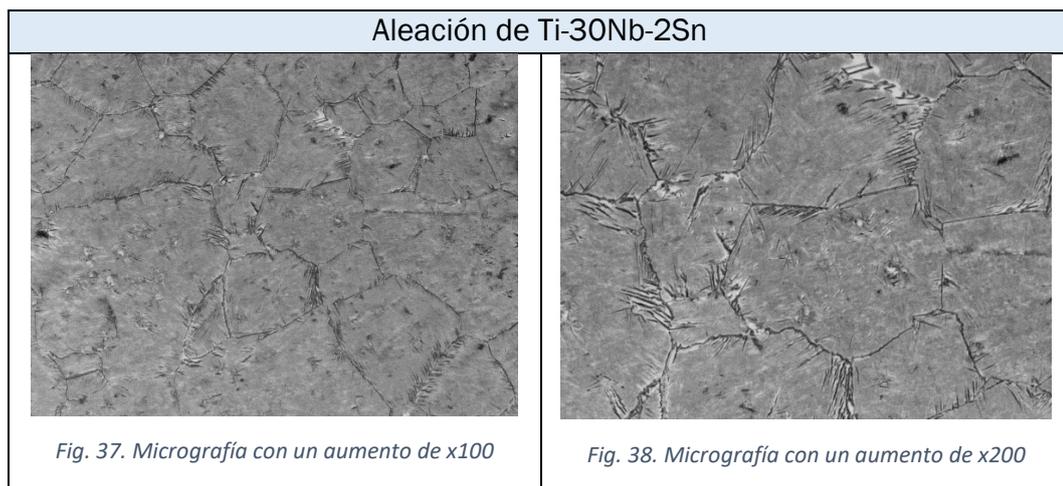
Fig. 34. Micrografía con aumento de x100 de Ti-30Nb



En las figuras 35 y 36 correspondientes a las micrografías de la muestra de Ti-30Nb, se observa claramente la existencia de dos fases; la fase de la matriz y otra nueva fase acicular, en menor proporción, con origen en los bordes de grano de la fase matriz y que crece al interior del grano en forma de agujas y placas muy finas.

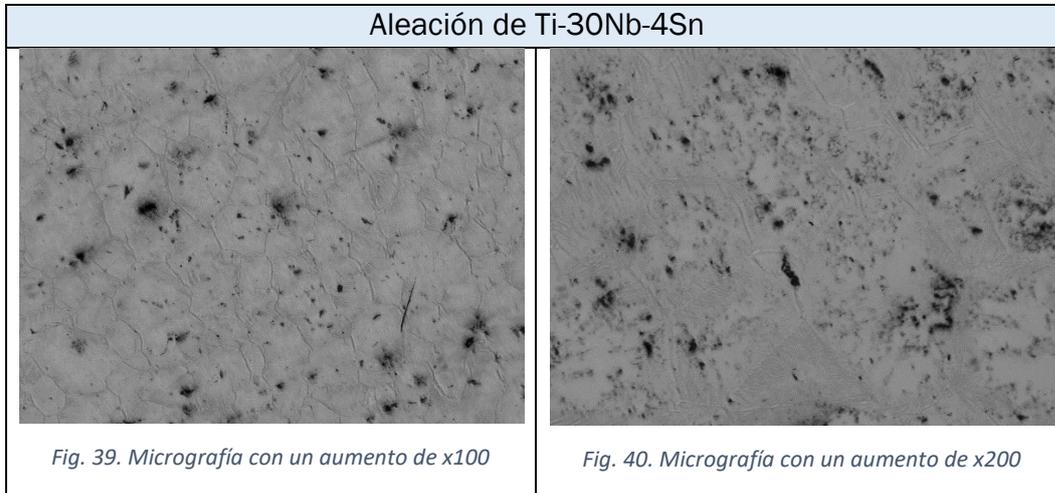
El tamaño medio de los granos de Ti-30Nb se corresponde con una longitud media de intersección de 77,112  $\mu\text{m}$ , que corresponde con un tamaño de grano ASTM E-112 igual a 4.

En las figuras 37 y 38 se observa la microestructura de la muestra Ti-30Nb-2Sn.



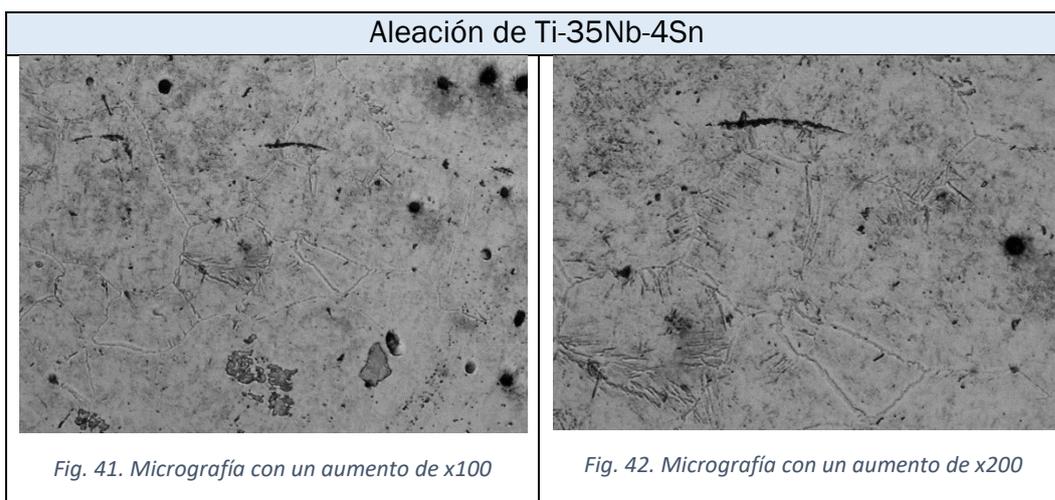
Se puede observar en las micrografías que el tamaño de grano comparado con el de las aleaciones de Ti-30Nb es mayor, además la cantidad de fase acicular que aparece en el borde de grano se ve ligeramente reducido al añadir estaño, aunque persiste la estructura bifásica.

La longitud media de intersección determinada para los granos de Ti-30Nb-2Sn es de 133,403  $\mu\text{m}$ , lo que se corresponde con un tamaño de grano ASTM según la norma E122 de 3.



Las figuras 39 y 40 corresponden a la aleación Ti-30Nb-4Sn, que presenta una estructura muy similar a la comentada anteriormente. La longitud media de intersección de los granos de la aleación de Ti-30Nb-4Sn es de 102,914  $\mu\text{m}$ , es ligeramente inferior al tamaño de grano de la aleación de Ti-30Nb-2Sn, lo que se correspondería con un valor de 3,25 según ASTM E-112.

Finalmente, en las figuras 41 y 42 se observa la microestructura de la aleación Ti-35Nb-4Sn en la que siguen siendo visibles las agujas de la fase intergranular pero más finas y en menor proporción que en las muestras anteriores.



El tamaño medio de grano de la aleación de Ti-35Nb-4Sn es el más grande, alcanza un valor de 2,5 que corresponde a una longitud de intersección de 144,57  $\mu\text{m}$ .

Analizando todas las micrografías en su conjunto se puede decir que todas las muestras presentan una estructura bifásica con un tamaño de grano bastante grueso que aumenta al incrementar la presencia de aleantes, de hecho, la aleación de Ti-30Nb es la que tiene un tamaño de grano menor, más alejado de los valores de las otras muestras y la Ti-35Nb-4Sn la de grano más grueso.

#### 5.1.3.2. Difracción de Rayos X

Para poder llevar a cabo estos ensayos, las muestras se preparaban desbastando su superficie para lograr una cara lisa, libre de imperfecciones sobre la que incide la radiación.

La difracción de rayos X es una potente técnica no destructiva para caracterizar materiales cristalinos. Proporciona información sobre las estructuras cristalinas de las fases, las orientaciones cristalinas preferibles (textura) y otros parámetros estructurales, como el tamaño medio del grano, la cristalinidad, la deformación y los defectos del cristal.

Los picos de la DRX (difracción de rayos X) se producen por la interferencia constructiva de un haz monocromático de rayos X dispersados en ángulos específicos desde cada conjunto de planos de red en una muestra. Las intensidades de los picos están determinadas por las posiciones atómicas dentro de los planos de la red. Por consiguiente, el patrón de DRX es la huella digital de las disposiciones atómicas periódicas en un material determinado. Tener una base de datos estándar para los patrones de difracción de rayos X permite una rápida identificación de fase para una gran variedad de muestras [15].

Para analizar las gráficas obtenidas con el análisis de difracción de rayos X hay que tener en cuenta que las fases no corresponden a titanio puro, sino que se trata de una solución sólida y por tanto hay un cierto desplazamiento de los picos respecto a las posiciones de los picos ideales; este desplazamiento es mucho más evidente cuanto mayor es el valor del ángulo de difracción. Este fenómeno se debe a las inserciones de niobio y estaño que hay presentes en la aleación que originan un desplazamiento de los picos de las fases  $\alpha$  y  $\beta$  que componen la aleación.

A continuación, se presentan los espectros de difracción de rayos X de las cuatro muestras.

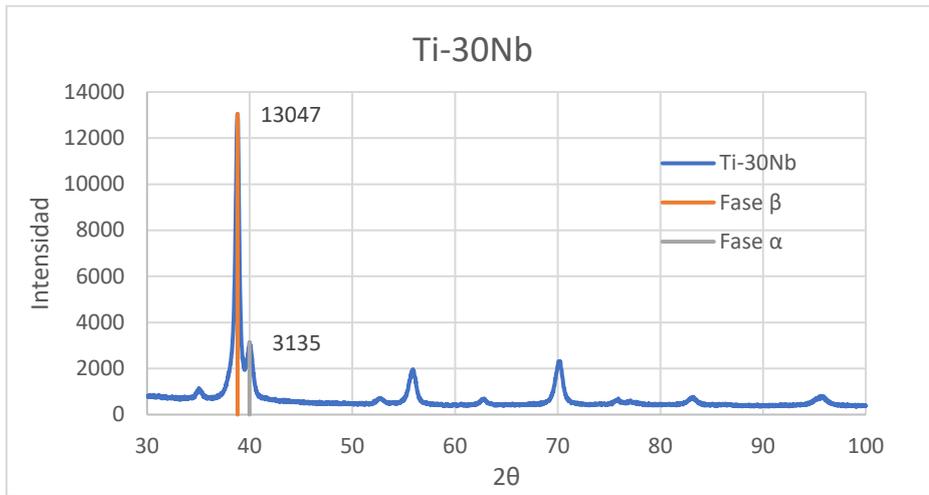


Fig. 43. Difracción de rayos X Ti-30Nb

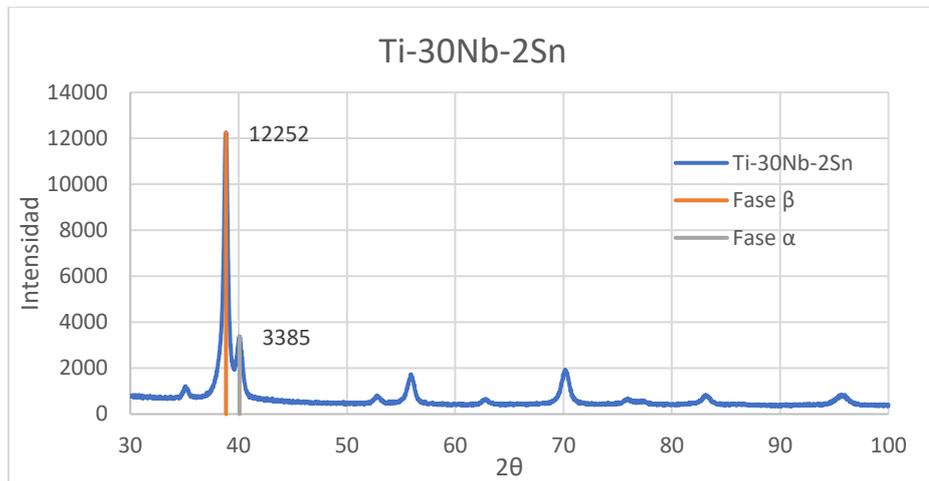


Fig. 44. Difracción de rayos X Ti-30Nb-2Sn

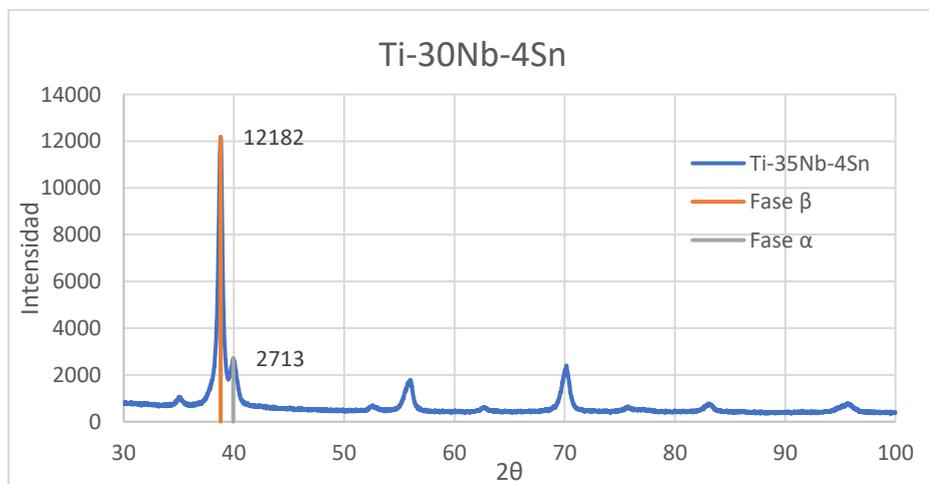


Fig. 45. Difracción de rayos X Ti-30Nb-4Sn

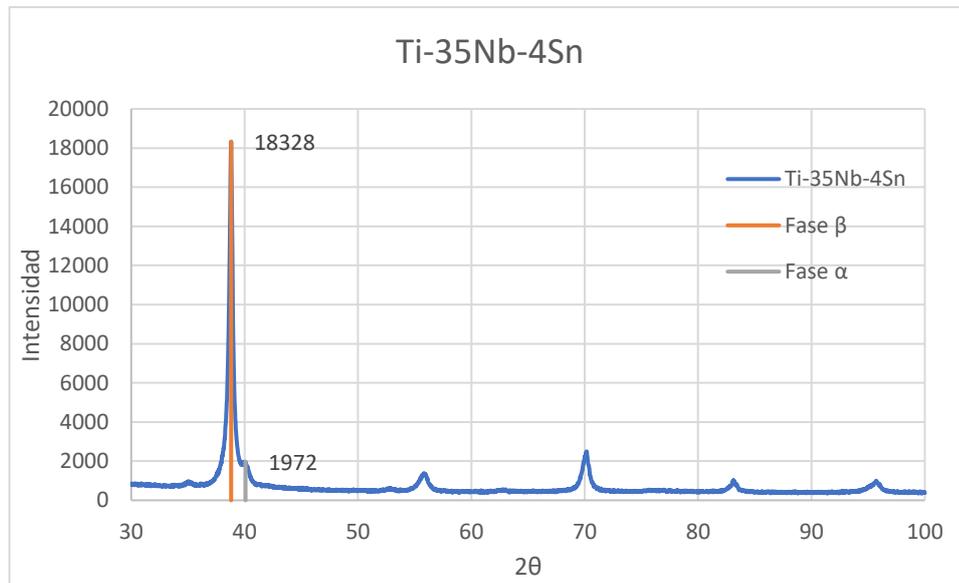


Fig. 46. Difracción de rayos X Ti-35Nb-4Sn

En todos los casos se observan los picos correspondientes a las dos fases típicas de las aleaciones de titanio, la fase  $\beta$  es claramente mayoritaria en todas las aleaciones tal y como se había comprobado mediante el análisis por microscopía óptica, se puede, por tanto, concluir que los granos corresponden a la fase  $\beta$  mayoritaria, con lo que se puede decir que se trata en todos los casos de aleaciones tipo  $\beta$  tal y como se pretendía conseguir con estas composiciones. En todas las muestras aparece igualmente el pico asociado a la fase  $\alpha$  si bien es cierto que las intensidades son significativamente menores para las muestras con mayor contenido en estaño y niobio, esta fase se distribuye en forma de finas placas con morfología acicular como se ha comprobado por las micrografías expuestas en el apartado anterior. Es la típica estructura bifásica de tipo laminar anteriormente descrita.

Haciendo un análisis de los gráficos obtenidos se puede establecer que:

- El contenido de fase  $\beta$  es mayor en la aleación de Ti-35Nb-4Sn.
- El contenido en fase  $\alpha$  es mayor en la aleación de Ti-30Nb-2Sn.

Una mayor intensidad del pico se traduce en una mayor cantidad de la fase estudiada.

En las tablas 9 y 10 aparecen ordenadas las aleaciones de mayor a menor cantidad de fase  $\beta$ , en la primera tabla, y  $\alpha$  en la segunda tabla.



Pico más representativo de la fase $\beta$			
	Aleación	Ángulo de difracción $2\theta$	Intensidad
1°	Ti-35Nb-4Sn	38,8132	<b>18328</b>
2°	Ti-30Nb	38,8132	<b>13047</b>
3°	Ti-30Nb-2Sn	38,8337	<b>12252</b>
4°	Ti-30Nb-4Sn	38,7928	<b>12182</b>

Tabla 9. Pico más representativo de la fase  $\beta$

Pico más representativo de la fase $\alpha$			
	Aleación	Ángulo de difracción $2\theta$	Intensidad
1°	Ti-30Nb-2Sn	40,081	<b>3385</b>
2°	Ti-30Nb	39,9788	<b>3135</b>
3°	Ti-30Nb-4Sn	39,9379	<b>2713</b>
4°	Ti-35Nb-4Sn	40,081	<b>1972</b>

Tabla 10. Pico más representativo de la fase  $\alpha$

Es posible comparar también la diferencia de altura de los picos de cada fase correspondientes a cada una de las aleaciones, como se muestra en la tabla 11:

Diferencia de intensidades entre $\beta$ y $\alpha$		
	Aleación	$I_{\beta} - I_{\alpha}$
1°	Ti-35Nb-4Sn	<b>16356</b>
2°	Ti-30Nb	<b>9912</b>
3°	Ti-30Nb-4Sn	<b>9469</b>
4°	Ti-30Nb-2Sn	<b>8867</b>

Tabla 11. Diferencia de intensidades entre las fases  $\beta$  y  $\alpha$

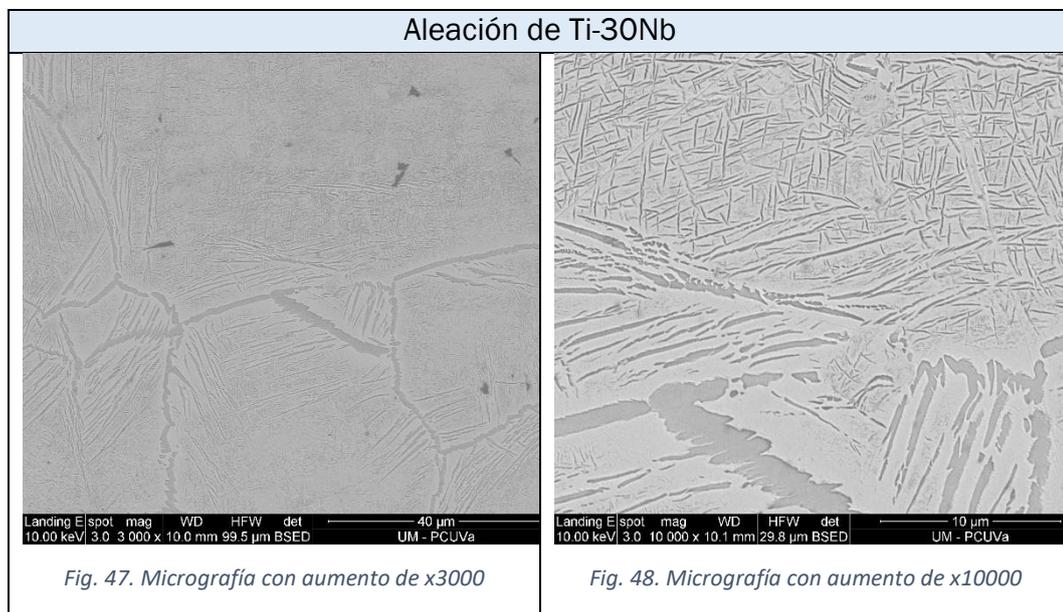
Finalmente, y como conclusión podemos decir que el incremento del porcentaje de niobio en un 5% da lugar a un significativo aumento del contenido en fase  $\beta$ , quedando una cantidad de fase  $\alpha$  prácticamente residual. En el caso de las aleaciones con un 30% de niobio, la adición de estaño tiene un efecto diferente en la relación fase  $\beta$  / fase  $\alpha$  en función del contenido añadido, en el caso de la aleación con un 2% de estaño la relación anterior disminuye y se observa un

claro incremento de la fase  $\alpha$  mientras que para un contenido del 4% la relación aumenta y se incrementa el contenido de fase  $\beta$ . Cabe destacar que el estaño en principio no estabiliza ninguna de las dos fases, sino que lo que facilita es la homogeneidad y la puesta en solución sólida del resto de aleantes, por ello no es descartable que influya de forma diferente en función del contenido añadido.

#### 5.1.3.3. Microscopía Electrónica de Barrido con EDS

Para completar el estudio microestructural se han analizado las cuatro muestras mediante un análisis de microscopía electrónica de rastreo SEM (Scanning Electron Microscopy) con EDS (Energy Dispersive X-ray spectroscopy). Es una técnica en la que el barrido de una muestra con un haz de electrones posibilita la obtención de imágenes, de alta resolución, en blanco y negro y por encima de 100.000 aumentos, que permiten estudiar al detalle la morfología de la pieza, obteniendo también el análisis elemental de la superficie lo que nos permitirá obtener un estudio semicuantitativo de las dos fases que integran la microestructura de las aleaciones.

Las figuras 47 y 48 muestran las micrografías obtenidas mediante SEM para la aleación Ti-30Nb.



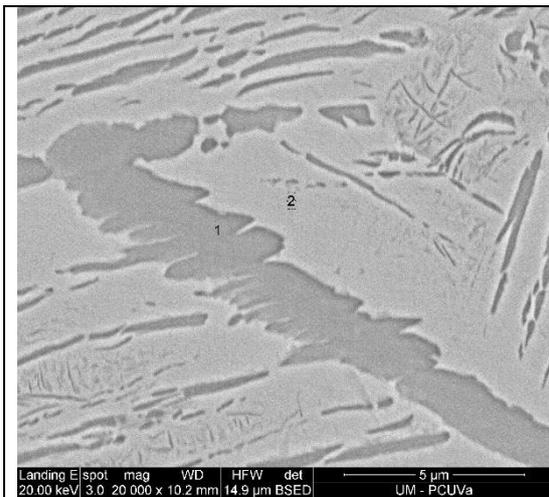


Fig. 49. Micrografía con aumento de x20000

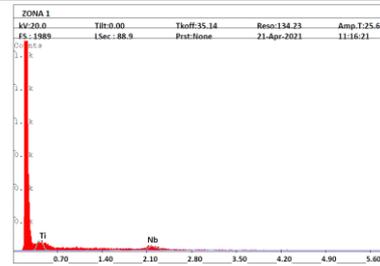


Fig. 50. Composición elemental de la zona 1 de la micrografía a x20000

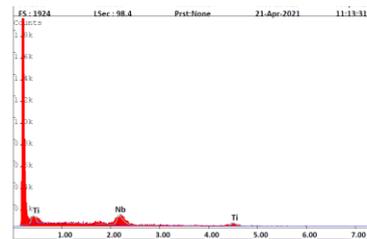


Fig. 51. Composición elemental de la zona 2 de la micrografía a x20000

Tabla 12. Micrografías y espectros de la aleación de Ti-30Nb

Las micrografías de las figuras anteriores y la mostrada en la tabla 12 revelan con mayor detalle la estructura bifásica observada por microscopía óptica para esta aleación. Se observa una matriz de grano equiáxico en cuyos bordes se ha desarrollado una segunda fase con formas alargadas tipo placa que crecen a partir de los bordes de grano. A mayores aumentos es posible distinguir en el interior del grano una importante precipitación de esa segunda fase con morfología claramente acicular y mucho más fina que la desarrollada en el borde de grano. Estas agujas no se disponen aleatoriamente en la matriz, sino que se orientan siguiendo direcciones preferenciales de crecimiento. El grado de finura de estas agujas es tan elevado que impide su observación por microscopía óptica.

Se ha realizado un microanálisis en el interior de una de las placas, zona 1 de la micrografía de la figura 49 y sobre la matriz correspondiente al interior de grano, zona 2. Los resultados de los espectros indican que el contenido en niobio es claramente superior en la zona 2. El mayor contenido en niobio de la zona 2, permite la identificación de esta zona como fase  $\beta$ , mientras que la fase precipitada en el borde de grano a partir de la fase  $\beta$  sería la fase  $\alpha$  observada en el estudio de difracción de rayos X.

El mismo estudio microestructural y con los mismos aumentos se realizó en la aleación Ti-30Nb-2Sn, las figuras 52, 53, 54 y 55 muestran los resultados obtenidos.

Aleación de Ti-30Nb-2Sn

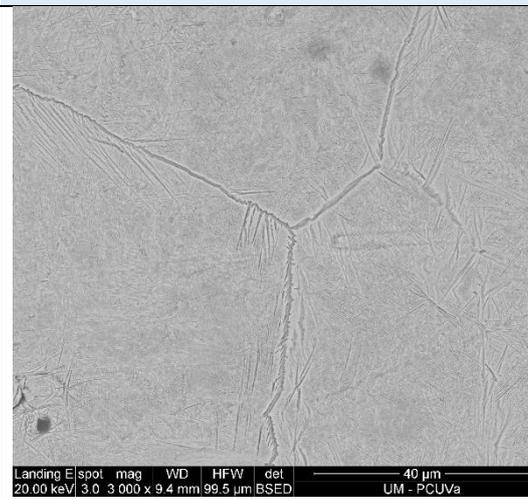


Fig. 52. Micrografía con aumento de x3000

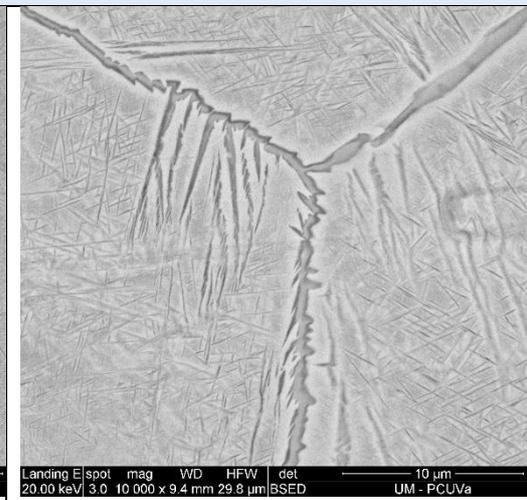


Fig. 53. Micrografía con aumento de x10000

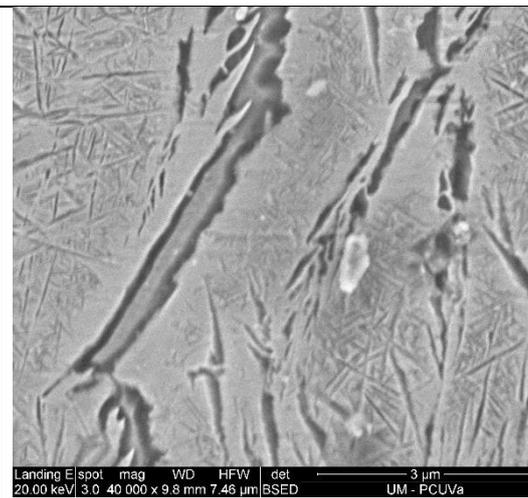


Fig. 54. Micrografía con aumento de x40000

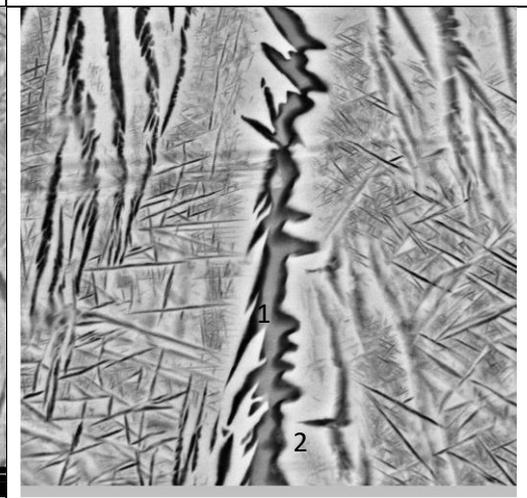


Fig. 55. Micrografía con aumento de x20000

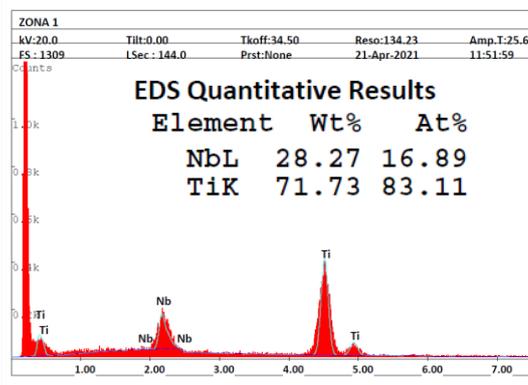


Fig. 56. Composición elemental de la zona 1 de la micrografía a x20000

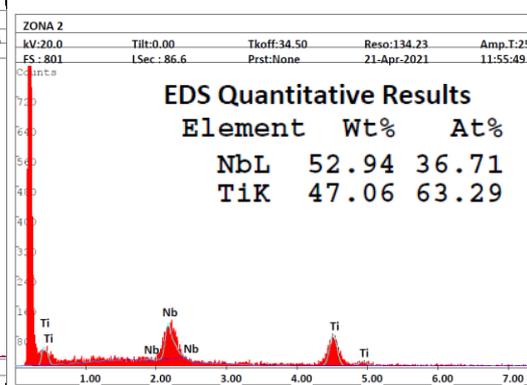
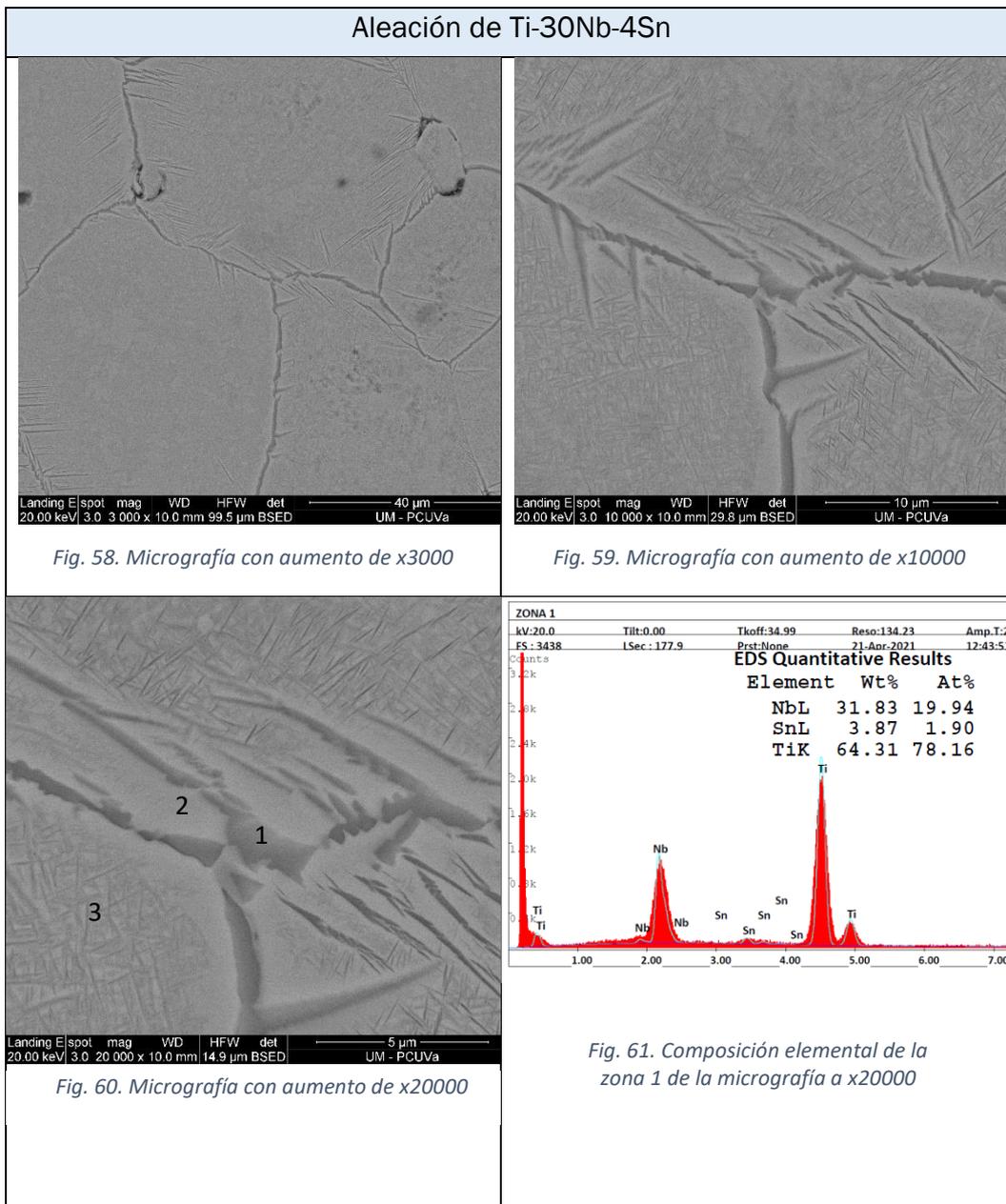


Fig. 57. Composición elemental de la zona 2 de la micrografía a x20000

Tabla 13. Micrografías y espectros de la aleación de Ti-30Nb-2Sn

Las micrografías obtenidas para la muestra aleada con un 2% de estaño y los espectros de difracción de la tabla 13, permiten observar como en el caso anterior, una estructura dúplex en la que la matriz de tonalidad clara corresponde a la fase mayoritaria y la fase más oscura se dispone en los límites de grano y en el interior. Las diferencias más notables tras la adición de estaño son el incremento de la cantidad de agujas finas especialmente en el interior de los granos y la disminución del grosor de las placas de la fase intergranular. El estudio de EDS indica que el contenido en niobio de la matriz, zona 2, es más elevado que las agujas dispuestas en los bordes de grano.



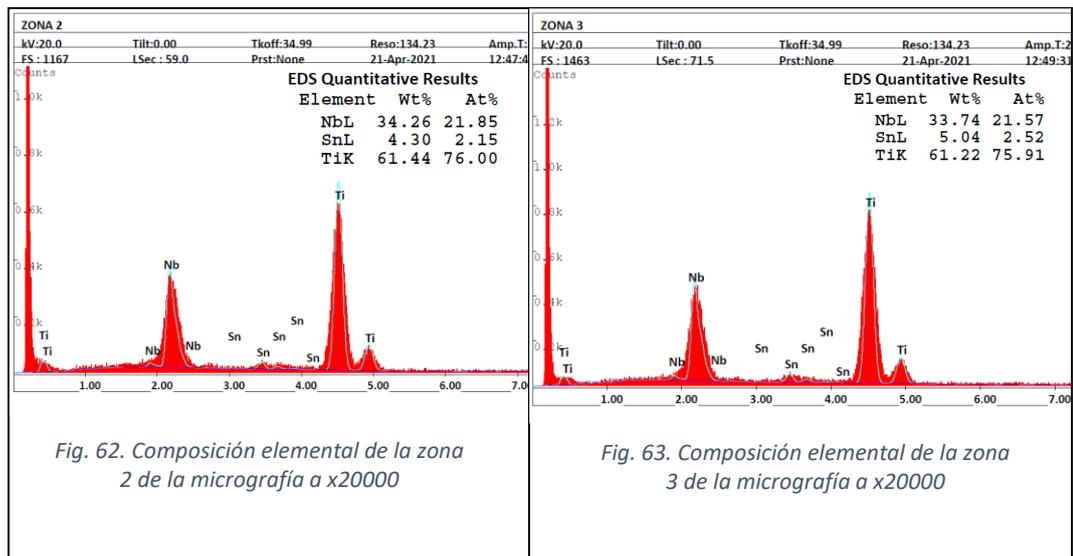


Tabla 14. Micrografías y espectros de la aleación de Ti-30Nb-4Sn

Las figuras 58, 59 y 60 así como los espectros de difracción de la tabla 14 corresponden al estudio mediante SEM de la aleación con un 4% de estaño. Se observa claramente que el aumento de estaño hace que disminuya sensiblemente el espesor de la fase precipitada intergranularmente, si bien esta fase sigue delimitando la totalidad de los granos. El espectro EDS incluye un nuevo elemento: estaño, que no se observaba en el caso de las dos muestras anteriores, lo que coincide con la mayor adición de estaño en esta composición. Se observa que las diferencias entre las tres zonas analizadas son menores que en los casos anteriores, si bien, la matriz sigue presentando un mayor contenido en niobio que los precipitados intergranulares, zona 1, y que los precipitados transgranulares, zona 3. La presencia de estos precipitados tan finos dificulta que el análisis pueda realizarse con precisión, esto podría justificar las menores diferencias registradas en el estudio semicuantitativo.

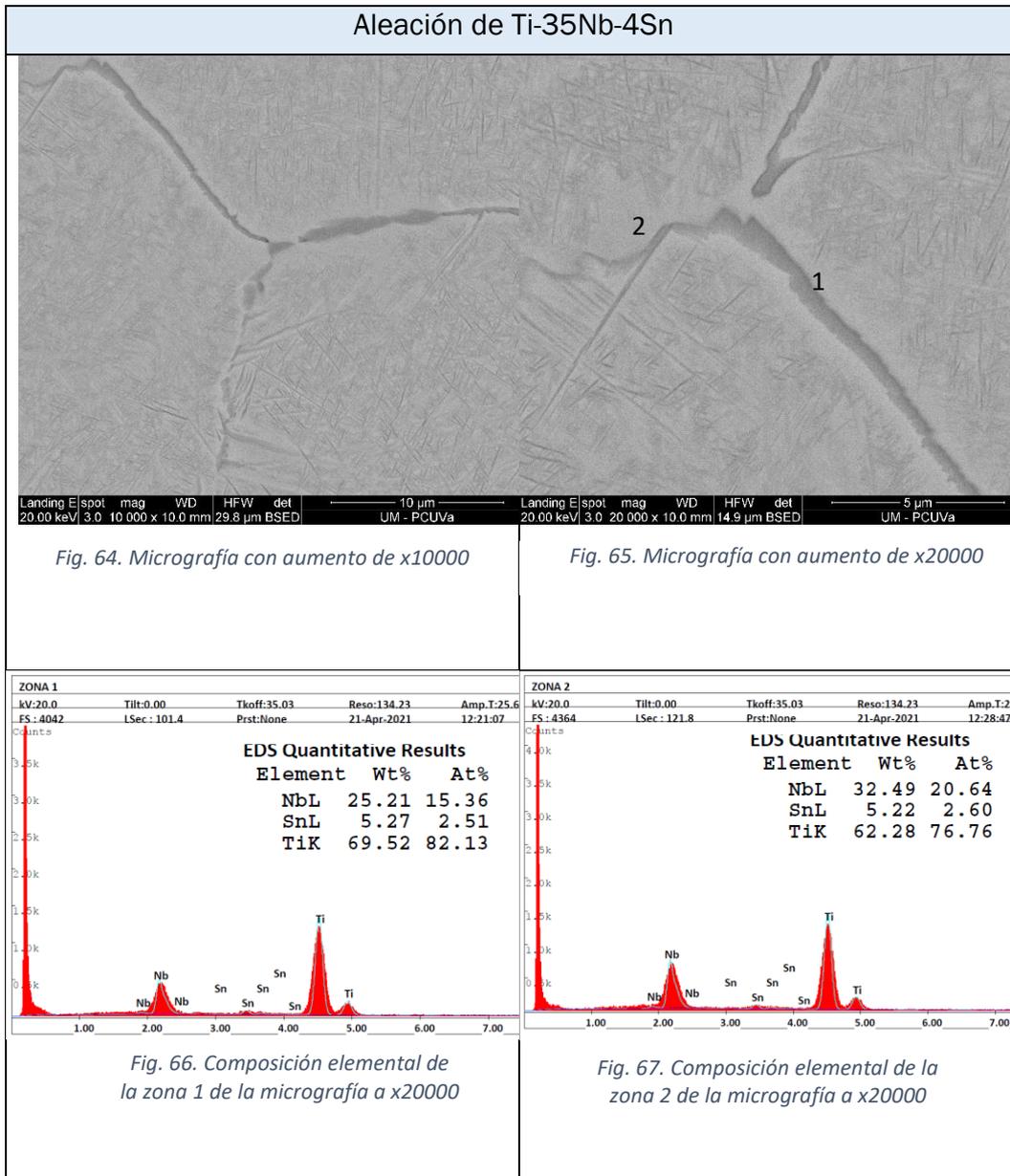


Tabla 15. Micrografías y espectros de la aleación de Ti-35Nb-4Sn

Las micrografías de las figuras 64 y 65 y los espectros de la tabla 15 corresponden a la aleación más rica en niobio, comparando con las muestras anteriores se sigue observando la presencia de fase alfa intergranular y transgranular, si bien, disminuye claramente el tamaño, tanto de las partículas dispuestas en el borde de grano como el de las agujas precipitadas en el interior de los granos. El reducido espesor de los precipitados de la zona 1 hace difícil su análisis mediante difracción de rayos X si bien, como en los casos anteriores, las fases precipitadas tienen contenidos en niobio inferiores a la matriz.

Como conclusión de este apartado se puede decir que las cuatro aleaciones presentan un bajo grado de porosidad con poros pequeños y esféricos. Igualmente, todas las aleaciones presentan una estructura bifásica integrada por granos de fase  $\beta$ , mayoritaria, y fase  $\alpha$  precipitada intergranular en forma de placas y agujas que crecen hacia el interior del grano. El tamaño de grano crece al aumentar el contenido en niobio y estaño a la vez que disminuye el contenido en fase  $\alpha$  intergranular y transgranular.

## 5.2. Características mecánicas

Las características mecánicas del titanio como de cualquier otro metal dependen de su composición. El valor de algunas de las propiedades mecánicas del titanio puro, se listan a continuación:

Propiedades	Valores
Resistencia	240 MPa
Límite elástico	170 MPa
Elongamiento	50%
Dureza	70 HR <sub>b</sub> = 85 HV

Tabla 16. Propiedades mecánicas del titanio puro

La resistencia y el límite elástico son valores bajos, pero se pueden ver muy mejorados al añadir elementos de aleación. Al aumentar el límite elástico y disminuir la plasticidad se consiguen materiales mucho más resistentes mecánicamente que el titanio como elemento puro.

Se tienen también por bibliografía los datos del módulo elástico de las aleaciones que se estudian. Se recogen en la tabla 17.

Aleación	Módulo elástico (GPa)
Ti-30Nb	78,68 ± 4,89
Ti-30Nb-2Sn	73,47 ± 2,09
Ti-30Nb-4Sn	72,92 ± 2,32
Ti-35Nb-4Sn	42

Tabla 17. Módulo elástico [18] y [19]

Una de las grandes ventajas de las aleaciones en estudio es la disminución del límite elástico que como se puede observar disminuye notablemente respecto al titanio puro y a las aleaciones  $\alpha+\beta$  tipo Ti-Al-V. Esta característica supone una gran ventaja en la utilización de estas aleaciones como implantes, la mayor similitud entre el módulo elástico del implante y del hueso evita el apantallamiento de tensiones que es responsable de mucho de los fallos en servicio asociado a los biomateriales.

#### 5.2.1. Ensayos de dureza

Se han realizado dos ensayos de dureza para cada aleación; con objeto de detectar el posible efecto de la porosidad se han realizado ensayos de macrodureza, en los que no es posible evitar los poros inherentes al proceso de conformado y ensayos de microdureza, en los que se realiza una selección adecuada de la zona para evitar los poros en la zona de ensayo.

##### 5.2.1.1. Macrodureza Vickers

Como se explicó, el penetrador hace cuatro huellas, cuyos diámetros se miden posteriormente para obtener la media de la dureza calculada y la desviación típica para tener una variabilidad estadística acotada.

A continuación, se presentan en tablas 18, 19, 20 y 21 (Ti-30Nb, Ti-30Nb-2Sn, Ti-30Nb-4Sn, Ti-35Nb-4Sn respectivamente) los resultados y datos tomados para cada muestra siendo D1 el diámetro uno de la pirámide que marca el penetrador; D2 el diámetro dos; I la diagonal promedio de la huella y HV la dureza Vickers calculada.

El peso aplicado para realizar las huellas es de 31,25 N.

Ensayo de macrodureza muestra de Ti-30Nb				
	D1 ( $\mu\text{m}$ )	D2 ( $\mu\text{m}$ )	I ( $\mu\text{m}$ )	HV
1	475,39	456,75	466,07	266,779
2	466,71	457,79	462,25	271,206
3	467,93	447,25	457,59	276,758
4	455,57	439,61	447,59	289,263
			<b>HV media</b>	271,581
			<b>HV centro</b>	289,263
			<b><math>\sigma</math></b>	17,682

Tabla 18. Ensayo de macrodureza muestra de Ti-30Nb

Ensayo de macrodureza de Ti-30Nb-2Sn				
	D1 (μm)	D2 (μm)	I (μm)	HV
1	455,26	438,78	447,02	290,001
2	442,37	447,44	444,91	292,765
3	446,51	461,75	454,13	280,991
4	452,97	464,32	458,65	275,486
<b>HV media</b>				287,919
<b>HV centro</b>				275,486
<b>σ</b>				12,433

Tabla 19. Ensayo de macrodureza muestra de Ti-30Nb-2Sn

Ensayo de macrodureza de Ti-30Nb-4Sn				
	D1 (μm)	D2 (μm)	I (μm)	HV
1	467,18	462,89	465,04	267,968
2	476,32	461,13	468,73	263,765
3	456,73	468,88	462,81	270,556
4	463,04	463,26	463,15	270,153
<b>HV media</b>				267,430
<b>HV centro</b>				270,153
<b>σ</b>				2,724

Tabla 20. Ensayo de macrodureza muestra de Ti-30Nb-4Sn

Ensayo de macrodureza de Ti-35Nb-4Sn				
	D1 (μm)	D2 (μm)	I (μm)	HV
1	493,94	488,50	491,22	240,160
2	501,11	481,87	491,49	239,897
3	470,33	486,40	478,37	253,241
4	479,31	481,10	480,21	251,304
<b>HV media</b>				244,433
<b>HV centro</b>				251,304
<b>σ</b>				6,872

Tabla 21. Ensayo de macrodureza muestra de Ti-35Nb-4Sn

Analizando todos los resultados se observa que cómo era de esperar los valores obtenidos son sensiblemente más elevados que los típicos del titanio, como ya se ha comentado la presencia de aleantes aumenta la dureza del material. En todos los casos los valores de macrodureza están dentro del mismo orden si

bien podemos apreciar algunas diferencias entre los datos obtenidos para las diferentes aleaciones en estudio. Como norma general y teniendo en cuenta el estudio microestructural comentado anteriormente se puede decir que los valores de macrodurezas son menores al aumentar el contenido en fase  $\beta$ , así se puede ver que cuanto más fase  $\beta$  esté presente en la microestructura de la aleación, más blanda será esta. Por tanto, la aleación de Ti-30Nb que es la que menos contenido de fase  $\beta$  presenta es la más dura con aproximadamente 280 HV. Le sigue en dureza la aleación de Ti-30Nb-2Sn (la siguiente muestra con menos cantidad de fase  $\beta$ ) con una dureza de aproximadamente 275 HV. Estas son las dos aleaciones donde un claro mayor porcentaje de fase  $\alpha$  dispuesta intergranularmente como se ha observado microestructuralmente.

La siguiente aleación en cuanto al contenido en  $\beta$  es la de Ti-30Nb-4Sn con una dureza menor que las anteriores de en torno a 269 HV.

Finalmente, la muestra con mayor contenido en fase  $\beta$  y por tanto la más blanda es la de Ti-35Nb-4Sn siendo su dureza de unos 248 HV. Es en esta aleación en la que las diferencias son más notables. Esto coincide con una fuerte disminución del módulo elástico comentada anteriormente.

Las diferencias observadas podrían también ser consecuencia de la porosidad si bien los datos son similares en todas las aleaciones, de cualquier manera, para evitar el efecto de la porosidad se realizó un ensayo de microdureza Vickers cuyos resultados se muestran a continuación.

#### 5.2.1.2. *Microdureza Vickers*

En las tablas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de microdureza para las diferentes aleaciones y para las dos secciones en estudio (superficial y transversal), donde D1 y D2 son de nuevo los dos diámetros de la huella piramidal dibujada por el penetrador, figura 68.

Para cada ensayo se han tomado doce medidas de las que se descartan las dos menores, ya que muy posiblemente estén tomándose sobre un poro y por tanto las medidas recogidas no serán las de dureza del material; sino las del material con poros.

Los valores de microdureza son ligeramente superiores a los obtenidos con macrodureza, esto es debido a que en este ensayo se minimiza el efecto de la porosidad, causante de la disminución de dureza.

El peso aplicado para realizar este ensayo es de 200 gf, teniendo en cuenta que un gramo-fuerza es aproximadamente 0,0098 newtons, 200 gf se traducen en 1,96133 N. Los ensayos se han realizado sobre las dos secciones

superficial y transversal de las muestras por si existieran diferencias importantes al respecto.

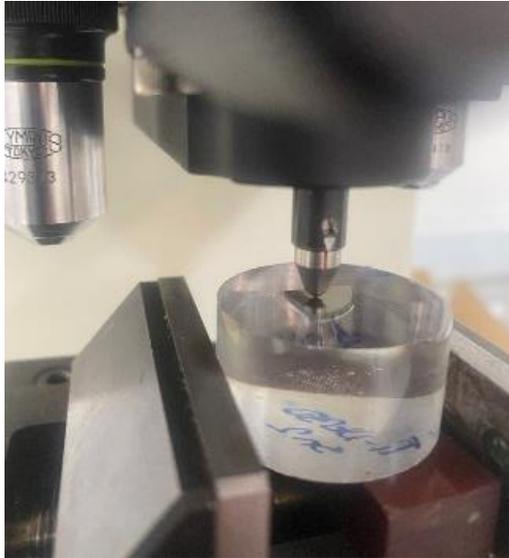


Fig. 68. Penetrador en el ensayo de microdureza Vickers

Ensayo de microdureza transversal Ti-Nb30 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	39,9	40,5	229,4
2	38,9	38,5	247,6
3	36,4	36,7	277,6
4	39,7	38,7	241,3
5	37,2	36,0	276,8
6	41,1	42,0	214,8
7	36,7	38,0	265,8
8	38,2	38,7	250,8
9	39,5	40,4	232,3
10	42,3	41,9	209,2
11	39,5	39,2	239,5
12	37,8	37,3	263,0
		<b>HV media</b>	252,4
		<b>σ</b>	17,55

Tabla 22. Microdureza transversal Ti-30Nb

Ensayo de microdureza superficial Ti-Nb30 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	36,9	35,5	283,0
2	37,2	36,9	270,1
3	38,2	37,7	257,5
4	39,1	39,0	243,2
5	37,6	38,2	258,1
6	39,6	38,4	243,8
7	38,6	38,2	251,5
8	40,2	41,5	222,2
9	42,7	42,1	206,3
10	41,3	42,3	212,2
11	38,4	38,4	251,5
12	36,1	35,1	292,6
		<b>HV media</b>	257,4
		<b>σ</b>	20,42

Tabla 23. Microdureza superficial Ti-30Nb

Ensayo de microdureza transversal Ti-Nb30-Sn2 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	48,3	46,9	163,6
2	40,8	40,4	224,9
3	42,0	40,8	216,3
4	40,3	40,6	226,6
5	37,6	36,5	271,6
6	37,2	33,8	294,2
7	38,8	36,1	264,4
8	38,5	34,9	275,3
9	39,0	37,6	252,8
10	39,6	36,8	254,1
11	36,0	35,3	291,8
12	37,3	34,9	284,5
	HV media		264
	σ		24,5894

Tabla 24. Microdureza transversal Ti-30Nb-2Sn

Ensayo de microdureza superficial Ti-Nb30-Sn2 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	38,9	35,7	266,5
2	40,8	39,0	232,9
3	38,3	37,0	261,6
4	39,1	38,4	246,9
5	37,9	37,3	262,3
6	36,5	34,7	292,6
7	36,5	35,5	286,1
8	36,6	35,5	285,3
9	42,2	34,5	252,1
10	40,9	40,0	226,6
11	40,9	37,8	240,1
12	37,8	36,8	266,5
	HV media		266
	σ		17,4688

Tabla 25. Microdureza superficial Ti-30Nb-2Sn

En las figuras 69 y 70 se puede ver la diferencia de tamaños de las huellas, notándose claramente que las huellas más grandes se corresponden con durezas más pequeñas.

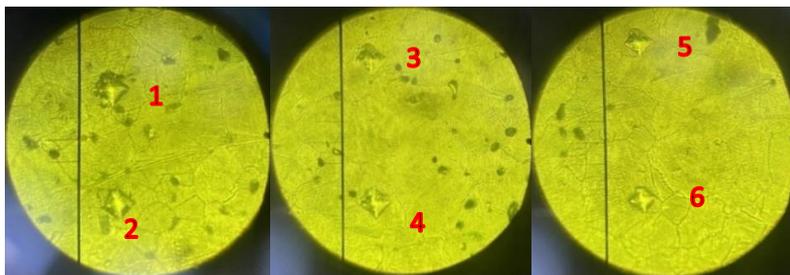


Fig. 69. Imágenes del ensayo de microdureza transversal Ti-30Nb-2Sn

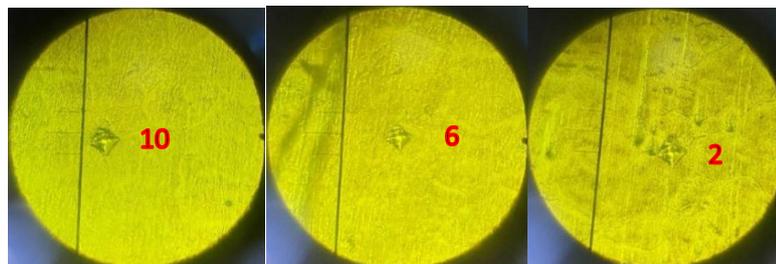


Fig. 70. Imágenes del ensayo de microdureza superficial Ti-30Nb-2Sn

Ensayo de microdureza transversal Ti-Nb30-Sn4 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	41,6	41,1	216,9
2	38,6	38,3	250,8
3	39,7	38,3	243,8
4	39,8	40,7	228,9
5	33,1	34,0	329,4
6	40,3	39,8	231,2
7	42,3	41,4	211,7
8	38,8	37,3	256,1
9	33,3	34,2	325,6
10	36,8	36,6	275,3
11	39,7	40,1	232,9
12	39,2	35,4	266,5
		HV media	264,05
		σ	36,70511

Tabla 26. Microdureza transversal Ti-30Nb-4Sn

Ensayo de microdureza superficial Ti-Nb30-Sn4 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	39,2	38,5	245,7
2	37,0	36,1	277,6
3	35,4	35,6	294,2
4	38,8	36,6	260,9
5	37,3	36,7	270,9
6	45,3	42,6	192,0
7	40,0	38,5	240,7
8	37,6	36,0	273,8
9	38,9	37,1	256,8
10	38,4	38,2	252,8
11	40,0	40,0	231,8
12	38,3	37,7	256,8
		HV media	263
		σ	16,15053

Tabla 27. Microdureza superficial Ti-30Nb-4Sn

Ensayo de microdureza transversal Ti-Nb35-Sn4 muestra 1 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	37,4	37,8	262,3
2	37,6	37,3	264,4
3	41,0	40,1	225,5
4	37,2	36,1	276,1
5	45,0	43,3	190,2
6	52,2	54,3	130,7
7	39,5	39,0	240,7
8	36,8	35,3	285,3
9	38,4	38,1	253,4
10	40,7	39,6	230,0
11	36,4	37,8	269,4
12	45,1	42,9	191,5
		HV media	249,9
		σ	28,2502

Tabla 28. Microdureza transversal 1. Ti-35Nb-4Sn

Ensayo de microdureza superficial Ti-Nb35-Sn4 muestra 1 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	46,9	38,4	203,8
2	36,8	35,4	284,5
3	42,2	39,7	222,2
4	37,3	35,4	280,6
5	35,6	36,8	283,0
6	36,2	35,8	286,1
7	34,5	34,7	309,7
8	43,5	37,9	223,8
9	40,0	37,6	246,3
10	31,9	33,3	348,9
11	37,7	37,2	264,4
12	37,1	36,0	277,6
		HV media	280,49
		σ	33,72597

Tabla 29. Microdureza superficial 1. Ti-35Nb-4Sn

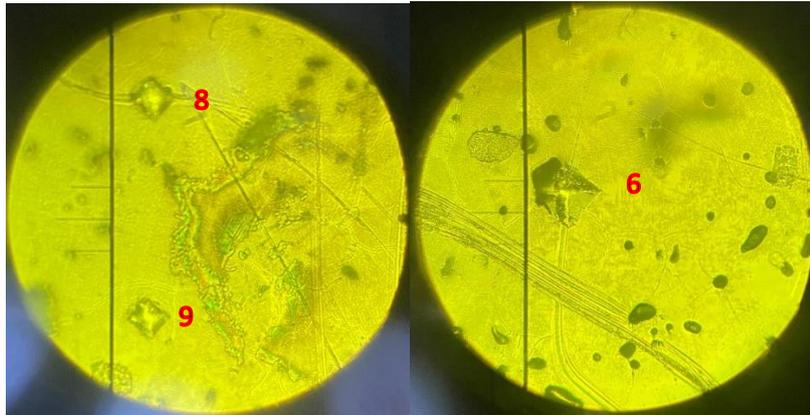


Fig. 71. Imágenes del ensayo de microdureza transversal muestra 1 del Ti-35Nb-4Sn

Ensayo de microdureza transversal Ti-Nb35-Sn4 muestra 2 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	40,2	39,0	236,5
2	37,5	35,0	282,2
3	38,3	36,8	263,0
4	38,6	35,5	270,0
5	43,7	44,2	192,0
6	36,6	34,3	295,1
7	36,7	35,4	285,3
8	39,8	37,2	250,2
9	40,1	38,6	239,5
10	36,6	33,9	298,4
11	38,9	36,5	260,9
12	37,7	37,2	264,4
		<b>HV media</b>	270,9
		<b>σ</b>	19,13943

Tabla 30. Microdureza transversal 2. Ti-35Nb-4Sn

Ensayo de microdureza superficial Ti-Nb35-Sn4 muestra 2 carga 200 gf			
	D1 (μm)	D2 (μm)	HV
1	39,0	37,8	251,5
2	37,1	37,7	265,1
3	48,7	48,4	157,3
4	38,3	37,5	258,1
5	41,3	40,5	221,7
6	41,1	39,8	226,6
7	39,2	38,8	243,8
8	37,7	36,8	267,2
9	38,5	38,2	252,1
10	38,8	37,7	253,4
11	40,8	41,3	220,0
12	37,5	37,7	262,3
		<b>HV media</b>	250,2
		<b>σ</b>	15,43998

Tabla 31. Microdureza superficial 2. Ti-35Nb-4Sn

Cabe destacar que en los ensayos de microdureza la variabilidad en los datos de dureza registrados es mucho mayor que la registrada en los ensayos de macrodureza, esta diferencia se relaciona con la precisión con la que se han medido las diagonales, figura 71.

De la misma manera que ocurría con los valores de macrodureza, estos disminuyen ligeramente a medida que aumenta el contenido en fase β de la

aleación, siendo la aleación la de mayor contenido en aleantes y mayor cantidad de fase  $\beta$  la de menor dureza. No se detectan importantes diferencias entre la sección superficial y la transversal pese a que la sección superficial tiene mayor porcentaje de porosidad.

Analizando los datos de macrodureza y microdureza medios, se puede concluir que la dureza de cada una de las aleaciones se corresponde con la que aparece en la tabla 32:

		Macrodureza	Microdureza
1°	Ti-30Nb	280 HV	257 HV
2°	Ti-30Nb-2Sn	275 HV	265 HV
3°	Ti-30Nb-4Sn	269 HV	264 HV
4°	Ti-35Nb-4Sn	248 HV	250 HV

Tabla 32. Valores de dureza Vickers

La desviación producida en los datos viene motivada por el hecho de que las aleaciones objeto de estudio son estructuras bifásicas, y las dos fases  $\alpha$  y  $\beta$  que integran estas aleaciones presentan distintas durezas y dependiendo de las zonas de análisis las durezas pueden variar significativamente incluso dentro de las mismas muestras.

Una vez analizadas todas las durezas se puede concluir que todas las muestras a nivel de macro y microdureza tienen valores próximos a los 250-300 HV, y sensiblemente superiores al titanio sin alear y que, por tanto, poseen características mecánicas aptas para la mayoría de las aplicaciones en los campos biológico e industrial. Las diferencias entre macro y microdureza son poco relevantes lo que indica que la porosidad no es significativa en el comportamiento mecánico de la aleación.

### 5.3. Ensayos de corrosión

El estudio del comportamiento frente a la corrosión de las aleaciones de Ti-Nb y Ti-Nb-Sn se ha realizado sobre dos secciones de cada muestra; sección transversal y sección superficial, mediante tres ensayos electroquímicos: ensayo de potencial a circuito abierto, ensayo de polarización anódica y ensayo de espectroscopía de impedancias.

#### 5.3.1. Ensayo de potencial a circuito abierto (OCP)

El potencial de circuito abierto (OCP) es el que se establece entre el electrodo de trabajo (la superficie metálica a estudiar) y el medio de ensayo con respecto a un electrodo de referencia, que se colocará en la celda sumergida en el

mismo electrolito cerca del electrodo de trabajo. Los ensayos se han hecho en un medio de saliva artificial.

Los resultados del ensayo de OCP correspondientes a las secciones transversal y superficial se recogen respectivamente en las figuras 72 y 73. En ellas se muestra el potencial en función del tiempo, en todos los casos se observa el desplazamiento del potencial hacia valores más negativos en las primeras fases del ensayo lo que indica que el material se disuelve y que se forma una capa pasiva, en ese momento el potencial se estabiliza y prácticamente queda constante durante el resto del ensayo, lo que sugiere la formación de una capa pasiva estable [16].

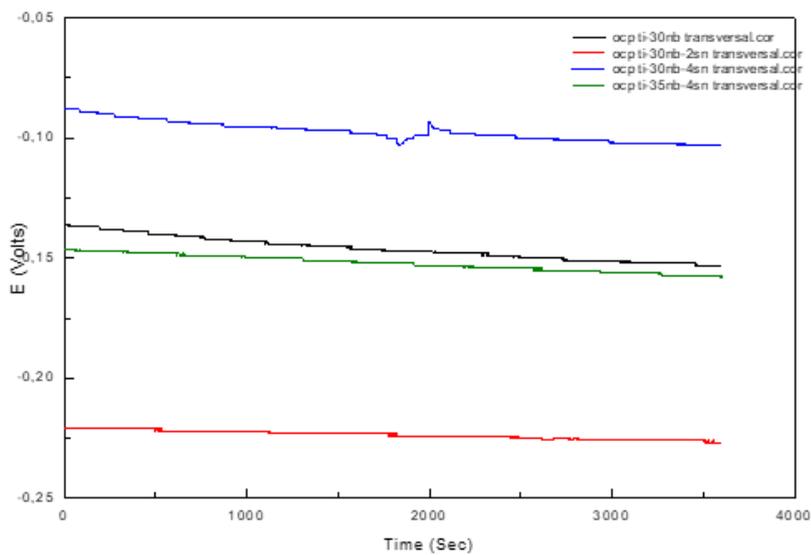


Fig. 72. Secciones transversales bajo el efecto del potencial a circuito abierto (OCP)

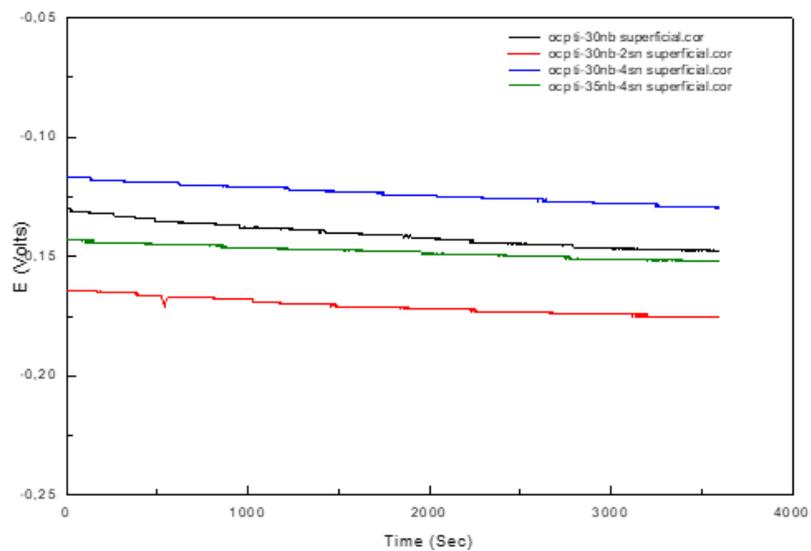


Fig. 73. Secciones superficiales bajo el efecto del potencial a circuito abierto (OCP)

Las diferencias del potencial a circuito abierto entre las cuatro aleaciones en estudio son escasas, si bien son más significativas en el caso de la sección transversal; en ambas secciones se observa la misma secuencia. La adición de un 2% de estaño provoca una ligera disminución del potencial, pero la aleación con un 4% de estaño supone un desplazamiento del potencial hacia valores más nobles; finalmente un mayor contenido en niobio hace que de nuevo el potencial se desplace hacia valores más negativos. Como resultado de ello se observa que, para ambas secciones, el potencial más noble lo presenta la muestra de Ti-30Nb-4Sn y por el contrario la muestra Ti-30Nb-2Sn es la que muestra los valores más negativos.

Respecto a la influencia de la sección de estudio, se observa que la sección superficial presenta un potencial ligeramente mayor que la transversal, aunque las diferencias son muy pequeñas siendo ligeramente más acusadas en el caso de la muestra Ti-30Nb-2Sn, figura 74.

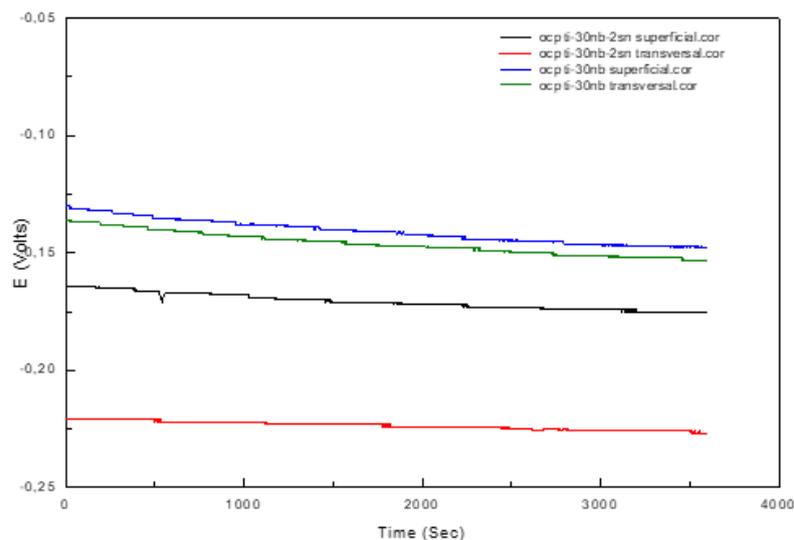


Fig. 74. Comparación del OCP de las muestras de Ti-30Nb y Ti-30Nb-2Sn superficial y transversal

### 5.3.2. Ensayo de Polarización anódica

Las curvas de polarización anódica obtenidas para las dos secciones transversal y superficial de cada una de las cuatro aleaciones se muestran en las figuras 75 y 76 respectivamente.

El medio de trabajo es nuevamente saliva artificial. Los ensayos se han realizado varias veces sobre distintas muestras para analizar posibles diferencias.

Todas las gráficas de polarización tienen una morfología semejante:

- Una zona donde la densidad de corriente disminuye, que es el tramo de polarización catódica, en la que el material funciona como cátodo.
- Otra zona donde la densidad de corriente cambia de signo a un potencial concreto conocido como potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ). En este punto se produce la transición catódica-anódica. A partir del potencial de corrosión, la densidad de corriente aumenta hasta llegar un máximo, esto es característico del comportamiento anódico del titanio. La existencia de este punto máximo indica que se forma una capa pasiva.
- A continuación, hay otra zona de pasividad casi estable en la que la densidad de corriente es más baja y crece ligeramente, en ninguna de las cuatro aleaciones se observa, incluso a los potenciales más altos, un aumento repentino de la densidad de corriente, indicador de la rotura de la película pasiva debido a la corrosión localizada.

La figura 75 muestra algunas de las curvas de polarización registradas en las secciones superficiales. Se observa que en todos los casos las diferencias en el potencial de corrosión son escasas y mucho más significativas en la densidad de corriente. Se observa claramente que la muestra con mayor porcentaje en niobio y por tanto mayor cantidad de fase  $\beta$ , esto es la aleación de Ti-35Nb-4Sn es la que presenta densidades de corriente más altas de lo que confirman los datos de la bibliografía obtenidos en otros medios de ensayo [17], si bien la aleación sigue mostrando densidades de corriente muy bajas indicativas de su buen comportamiento frente a la corrosión. No se observa potencial de rotura de capa pasiva en ninguna de las cuatro aleaciones.

Con respecto al efecto del estaño, se observa un desplazamiento de la curva hacia potenciales más nobles y menores densidades de corriente en las aleaciones con estaño siendo una vez más la aleación Ti-30Nb-4Sn la que presenta el potencial de corrosión más noble, la menor densidad de corrosión y la menor densidad de corriente durante todo el rango de pasividad. Lo anterior indicaría un efecto positivo en la resistencia a la corrosión como consecuencia de la adicción de estaño, que facilita la homogeneidad de la microestructura.

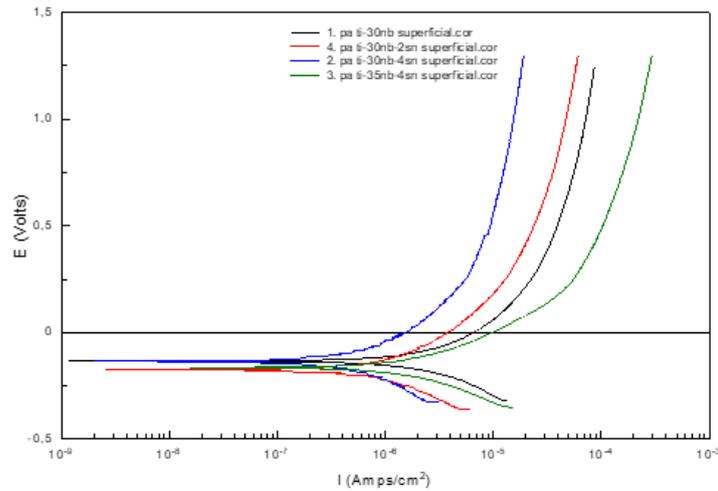


Fig. 75. Curvas de polarización de la sección superficial de las aleaciones

Finalmente decir que en cuanto a la reproducibilidad del ensayo se observa que el general la morfología de las curvas es similar para cada par de muestras de la misma aleación. Un ejemplo de ello se puede observar en la figura 76 donde se muestran los dos ensayos obtenidos para las muestras aleadas con niobio y estaño.

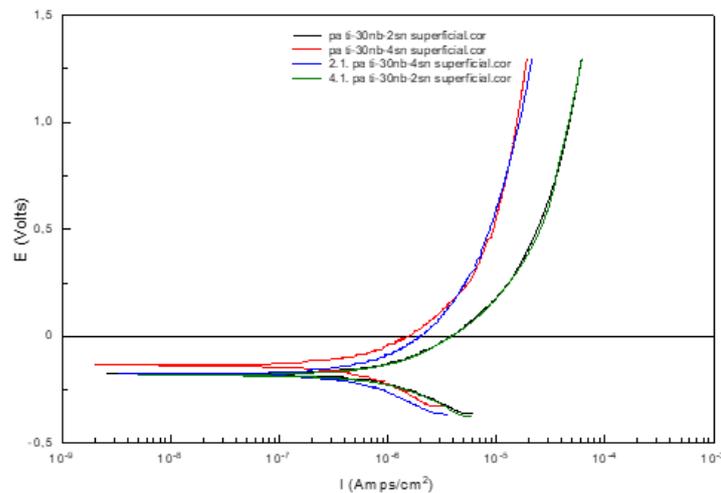


Fig. 76. Polarización de la sección superficial en muestras de Ti-30Nb-2Sn y Ti-30Nb-4Sn

Para el caso de las secciones transversales de las muestras, en la figura 77 se observan mayores diferencias entre las cuatro composiciones, especialmente en los potenciales de corrosión, se observa que la adición de estaño, así como el mayor contenido en niobio desplaza las curvas de polarización anódica hacia potenciales más nobles. En lo relativo a la densidad de corriente, cabe destacar que los menores valores de densidad de corriente pasiva corresponden a las muestras aleadas con estaño. También se observa un pequeño cambio en la

morfología de la zona pasiva como la que se puede observar en la primera muestra de Ti-30Nb-2Sn y una zona de pasividad más estable. En el extremo opuesto, la muestra con mayor contenido en niobio y mayor cantidad de fase  $\beta$  tiene una densidad de corriente ligeramente más elevada.

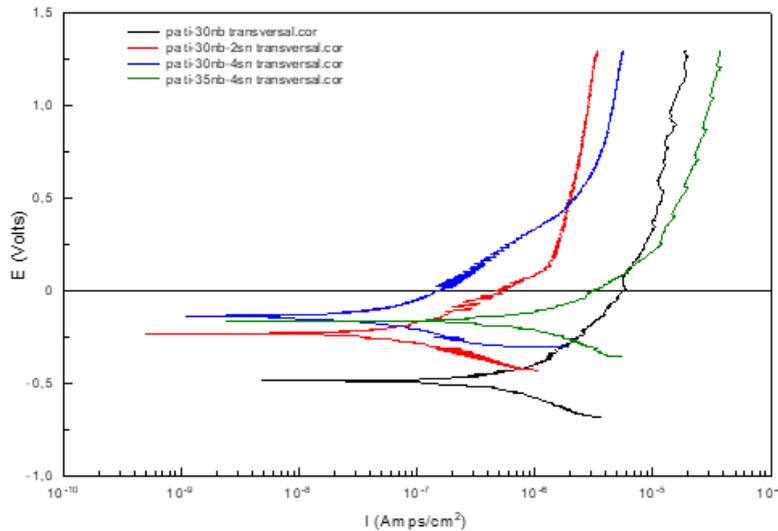


Fig. 77. Polarización de las secciones transversales de las muestras

En lo que respecta a la influencia de la sección de estudio, la figura 78 muestra como ejemplo el comportamiento de las aleaciones aleadas con estaño, en todos los casos los barridos anódicos están claramente desplazados hacia potenciales más nobles y menores densidades de corriente en las secciones transversales, lo cual es lógico si se tiene en cuenta que la mayor cantidad de poros e irregularidades se encuentran en la superficie de la pieza.

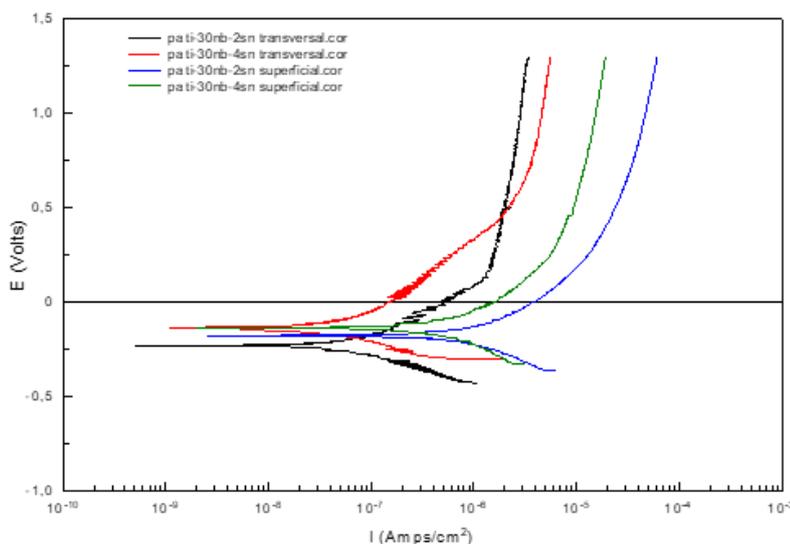


Fig. 78. Comparación de las polarizaciones de Ti-30Nb-2Sn y Ti-30Nb-4Sn entre las secciones superficiales y transversales

Para completar el estudio de los ensayos de polarización anódica se ha realizado un análisis de Tafel con objeto de obtener datos cuantitativos del potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ) de la densidad de corrosión ( $I_{\text{corr}}$ ) y finalmente se ha calculado la resistencia a la polarización ( $R_{\text{polarización}}$ ) mediante el método de Stern-Geary, teniendo la pendiente de la línea anódica ( $\beta_{\text{anódica}}$ ) y la pendiente de la línea catódica ( $\beta_{\text{catódica}}$ ).

Muestra	Sección	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$\beta_{\text{anódica}}$	$\beta_{\text{catódica}}$	$I_{\text{corr}}$ (A/cm <sup>2</sup> ) 10 <sup>-8</sup>	$R_{\text{polarización}}$ ( $\Omega$ /cm <sup>2</sup> ) 10 <sup>5</sup>
Ti-30Nb	Superficial	-132	28,72	32,44	9,89	1,93
	Transversal	-482	229,75	242,28	63,6	0,81
Ti-30Nb- 2Sn	Superficial	-176	230,63	175,73	128	0,48
	Transversal	-230	49,21	55,37	1,98	4,69
Ti-30Nb- 4Sn	Superficial	-134	110,57	104,37	29,1	0,86
	Transversal	-139	61,33	49,54	0,89	8,55
Ti-35Nb- 4Sn	Superficial	-164	76,73	68,86	65,5	0,23
	Transversal	-161	289,22	131,42	83,1	0,48

Tabla 33. Análisis de Tafel

Los resultados del análisis de Tafel confirman el efecto beneficioso de la adición del estaño, la muestra Ti-30Nb-4Sn es la que presenta los mayores valores de resistencia a la polarización y los datos de intensidad de corrosión más bajos con valores nobles para el potencial de corrosión. Por el contrario, la muestra Ti-35Nb-4Sn es la que presenta mayores valores de densidad de corriente.

Con respecto a la sección de estudio, por lo general las secciones transversales dan lugar a valores más altos de resistencia, menores valores de intensidad de corriente y por tanto menor velocidad de corrosión que en las secciones superficiales. La excepción a este comportamiento se observa en la muestra Ti-30Nb en la que la sección transversal presenta una resistencia a la corrosión muy inferior a la sección superficial lo cual puede estar asociado a la factible existencia de heterogeneidades en esta composición.

### 5.3.3. Ensayo espectroscopía de impedancias

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de espectroscopía de impedancias, como ya se expuso al inicio, del ensayo de impedancias se pueden obtener los resultados mediante tres diagramas diferentes:

- El diagrama de Nyquist que representa en el eje de abscisas la componente resistiva de la impedancia, es decir, la parte real y en el eje de ordenadas la reactancia, es decir, la parte imaginaria de la impedancia.  
La representación final debería ser un semicírculo donde se van tomando los valores de las impedancias a diferentes frecuencias, la realidad para los experimentos realizados es que se va a obtener un semicírculo incompleto.  
El tamaño del semicírculo es proporcional a la resistencia que tiene el material frente a la corrosión, cuanto mayor es el semicírculo, mayor es la resistencia. Es posible observar líneas adicionales al semicírculo cuando además hay un proceso de difusión.
- El diagrama de Bode tiene dos gráficas:
  - Una representa el módulo de la impedancia,  $|Z|$ , en ordenadas frente a la frecuencia en abscisas.
  - Otra representa el ángulo de fase, *theta*, en ordenadas frente a la frecuencia en abscisas.

Los ensayos de impedancias se han realizado en el medio de saliva artificial como el resto de los ensayos electroquímicos.

Previo a la realización del ensayo de impedancias se realiza una etapa de acondicionamiento, cuyo objetivo es alcanzar un potencial estable a partir del cual poder comenzar a hacer los experimentos de impedancias. El periodo de acondicionamiento consiste en 30 minutos a circuito abierto.

Para el experimento de impedancias se utiliza una perturbación sinusoidal, y se hace un barrido de frecuencias de entre  $1 \cdot 10^5$  y 0,01 Hz. Se trabaja a circuito abierto.

Los equipos necesarios para llevar a cabo las pruebas son un analizador de impedancias y un potencióstato/galvanostato.

En este apartado se presentan las gráficas obtenidas mediante el ensayo de espectroscopía de impedancias. Se han realizado varios ensayos con cada una de las aleaciones tomando distintas muestras para poder comparar los resultados y obtener un resultado final fiable, los resultados que se muestran corresponden a uno de los ensayos, siendo este de fiabilidad contrastada.

Como en el resto de los ensayos se han realizado ensayos tanto sobre una sección superficial de las muestras como sobre la sección transversal.

### Aleación de Ti-30Nb

Como paso previo a la realización del ensayo de impedancias es necesaria una etapa de acondicionamiento de 1800 segundos en la que se registra el potencial a circuito abierto con el objetivo de lograr que se estabilice para poder partir de un valor estable y comenzar desde ahí el experimento de impedancias.

En la figura 79 se recogen los registros de potencial a circuito abierto de las distintas muestras de la aleación Ti-30Nb correspondiente a las dos secciones de estudio. En esta gráfica se pueden observar la estabilidad del sistema y la evolución del potencial en el medio de ensayo, es decir, en saliva artificial.

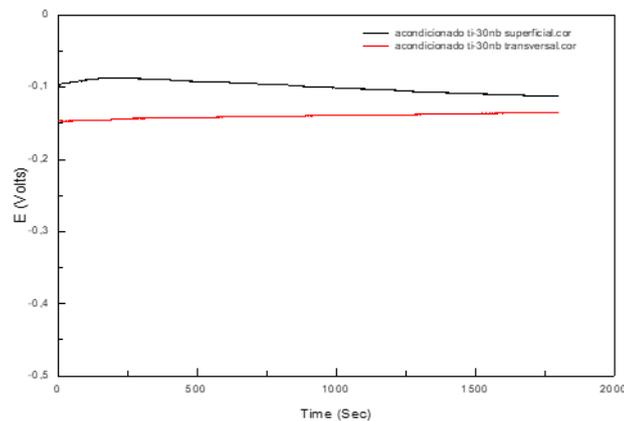


Fig. 79. Acondicionado de Ti-30Nb

Analizando la gráfica se puede observar que el potencial en el que se estabiliza el ensayo es de aproximadamente -0,11 V y ligeramente superior en el caso de la muestra superficial como también se había observado en el ensayo a circuito abierto.

Los resultados mostrados indican que al transcurrir el tiempo en el que la muestra se encuentra sumergida en el medio, el potencial experimenta pequeñas variaciones, pero el potencial es lo suficientemente estable como para llevar a cabo el barrido de frecuencias.

En la figura 80 se muestra el diagrama de Nyquist de la aleación de Ti-30Nb en el que se han seleccionado dos barridos representativos para cada una de las secciones de estudio.

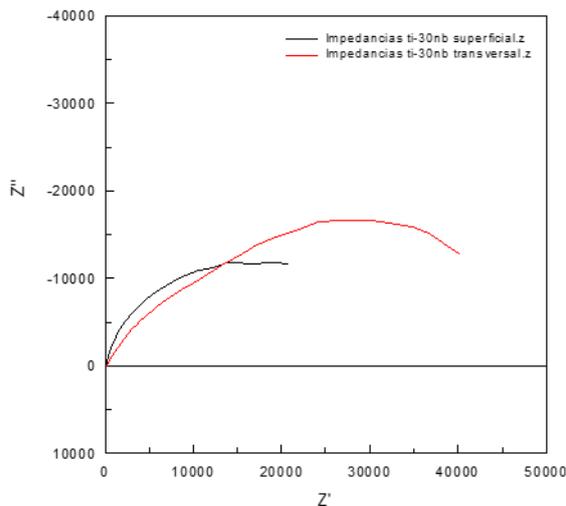


Fig. 80. Diagrama de Nyquist Ti-30Nb

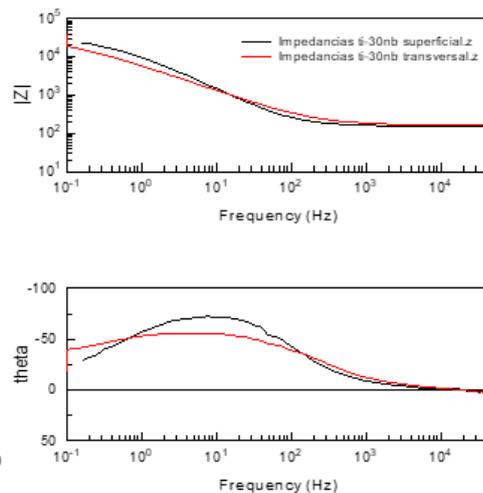


Fig. 81. Diagrama de Bode de Ti-30Nb

En el diagrama de Nyquist se observan para ambas secciones un semicírculo incompleto y achatado. La diferencia más importante se centra en los valores de los radios de estos semicírculos, como ya se ha dicho, el aumento del radio implica una mayor resistencia a la transferencia electrónica, o lo que es lo mismo, una mayor resistencia a la corrosión, de acuerdo con la información suministrada por el diagrama, la sección transversal tiene un radio de semicírculo mayor con lo que la resistencia sería ligeramente más elevada.

En el diagrama de Bode, figura 81, se observa que en el módulo de impedancias apenas hay diferencias en la zona de altas frecuencias del diagrama de impedancias ya que corresponde a la resistencia de la solución y es a partir de una frecuencia de en torno a 10Hz cuando el módulo de impedancias es ligeramente superior en la sección superficial, no obstante, las diferencias son escasas.

Finalmente, el diagrama de desfase la curva representada sigue un trazado similar en todos los casos, observándose un punto máximo que se traduce en la existencia de una constante de tiempo en ambos procesos si bien el ángulo de desfase se acerca más a  $-90^\circ$  en el paso de la sección superficial lo que se relaciona con el comportamiento típico de un condensador.

### Aleación de Ti-30Nb-2Sn

El acondicionamiento previo a la realización del ensayo de impedancias que se realizó sobre la probeta se muestra en la figura 82, se puede observar que el potencial a circuito abierto en el que se estabiliza esta aleación es de aproximadamente  $-0,13V$ , es decir, muy similar al de la probeta de Ti-30Nb. Cabe destacar que se observa que en este caso las diferencias entre las dos

secciones son escasas si bien la sección superficial comienza con un potencial ligeramente superior que disminuye ligeramente con el tiempo de ensayo mientras que en el caso de la probeta transversal el potencial tras un ligero incremento inicial permanece constante. En cualquier caso, se consigue en ambas secciones estabilidad suficiente para realizar el ensayo de espectroscopía de impedancias.

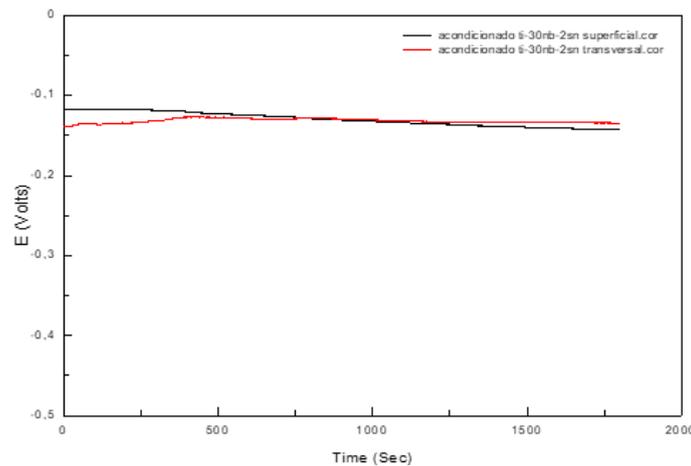


Fig. 82. Acondicionado Ti-30Nb-2Sn

En la figura 83 se muestra el diagrama de Nyquist correspondiente a ambas secciones en el que podemos claramente apreciar un importante incremento del radio del semicírculo en la sección transversal que indica que las diferencias entre el interior y la superficie de la muestra son significativas. En el estudio comparativo con los resultados observados en la muestra de Ti-30Nb en el caso de la sección transversal hay un notable incremento del radio del semicírculo, en el caso de la sección superficial las diferencias son más reducidas.

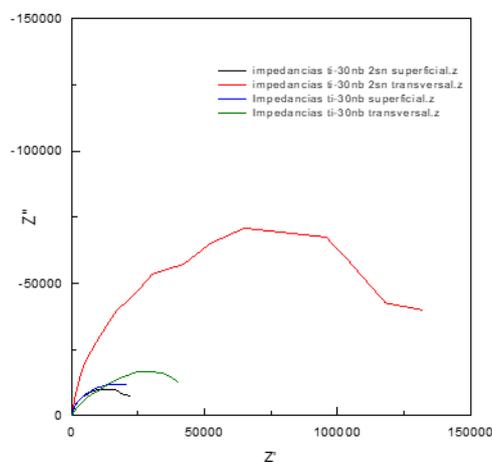


Fig. 83. Diagrama de Nyquist Ti-30Nb-2Sn

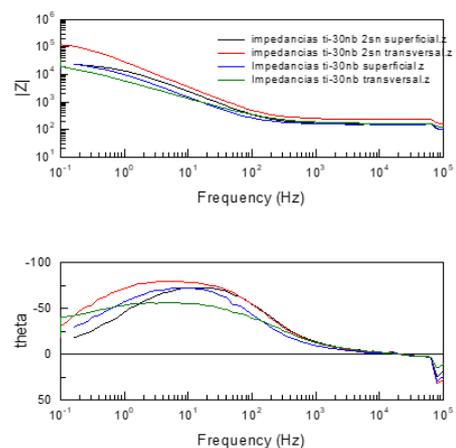


Fig. 84. Diagrama de Bode Ti-30Nb-2Sn

En el diagrama de Bode, se observa un importante incremento del módulo de impedancias especialmente a elevadas frecuencias para la sección transversal de la muestra aleada con estaño, en el caso de la sección superficial las diferencias entre las dos muestras son menos notables, aunque también se observa un aumento del módulo de impedancias a durante todo el barrido en el diagrama de Bode en la muestra aleada con estaño, figura 84.

En el caso del desfase también el ángulo correspondiente al punto máximo se desplaza claramente a valores más negativos en la muestra de Ti-30Nb-2Sn. Esto confirma el mejor comportamiento anódico observado en esta muestra en el ensayo de polarización anódica.

### Aleación de Ti-30Nb-4Sn

En el acondicionamiento previo (figura 85) al ensayo de impedancias se observa para ambas secciones un potencial de estabilización similar el de la muestra Ti-30Nb-2Sn y ligeramente superior al del Ti-30Nb. Como en el resto de los ensayos la estabilización es suficiente para llevar a cabo el ensayo de impedancias.

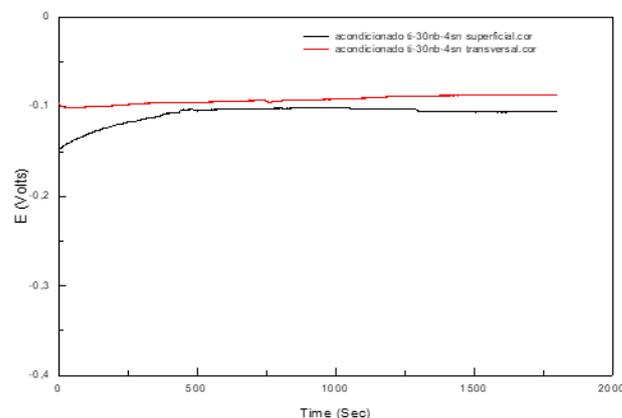


Fig. 85. Acondicionamiento de Ti-30Nb-4Sn

En el diagrama de Nyquist, figura 86, se observa que, como ocurría con la muestra de Ti-30Nb-2Sn, hay grandes diferencias entre las dos secciones de estudio y la sección transversal presenta claramente una resistencia a la polarización mucho mayor, también se constata que los radios del semicírculo tienden a ser mayores que los de la aleación de Ti-30Nb-2Sn, especialmente para la sección transversal. Los valores alcanzados en el diagrama de Bode, figura 87, muestran claramente las diferencias entre las dos secciones de estudio sin embargo los valores del módulo y del desfase son muy similares en los de las aleaciones aleadas con estaño, aunque cabe destacar que para ambas secciones el módulo es mayor en la muestra aleada con 4% de estaño.

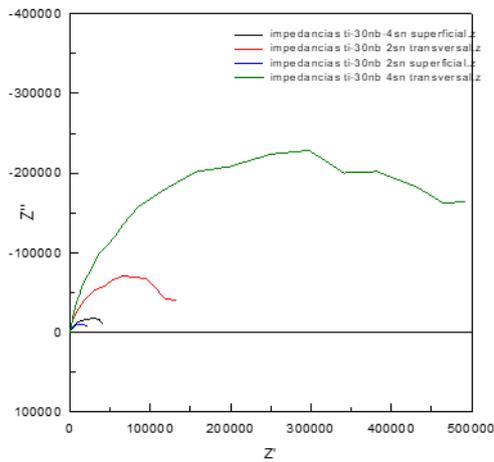


Fig. 86. Diagrama de Nyquist de Ti-30Nb-4Sn

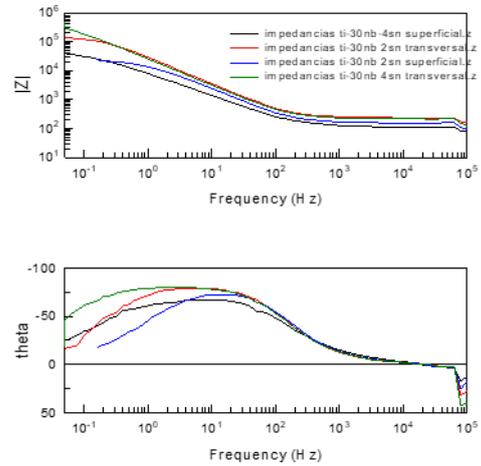


Fig. 87. Diagrama de Bode de Ti-30Nb-4Sn

### Aleación de Ti-35Nb-4Sn

En la figura 88 se muestra el potencial a lo largo del periodo de acondicionamiento, aparece reflejado que a lo largo del experimento el potencial disminuye ligeramente, por consiguiente, implica una progresiva disolución de la aleación. El valor en el que se estabiliza este potencial es de en torno al -0,15V, que es aparentemente el más negativo de todos los ensayos realizados, esto es acorde con el registro de potencial a circuito abierto que se ha analizado anteriormente. La mayor cantidad de fase  $\beta$  puede explicar esta variación de potencial.

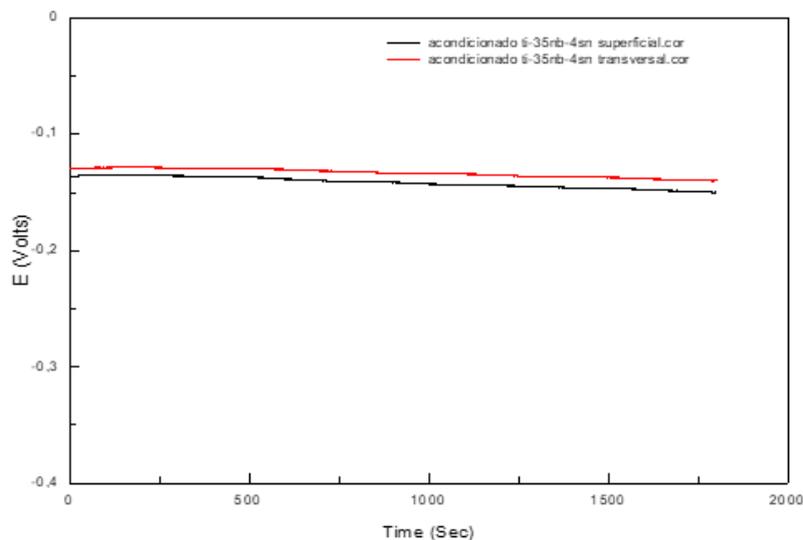


Fig. 88. Acondicionamiento de Ti-35Nb-4Sn

Sobre el diagrama de Nyquist, figura 89, se puede ver como persisten las diferencias entre las dos secciones de estudio y es el interior de la probeta, con

menor cantidad de heterogeneidades, el que presenta una mayor resistencia. Con respecto a las otras aleaciones se observa que claramente los radios de los semicírculos que aparecen dibujados son los menores de entre los ensayos realizados sobre las muestras con menor contenido en niobio. En el diagrama de Bode, figura 90, se observa una importante disminución del módulo de impedancias a frecuencias bajas con la adición del niobio tanto en la sección superficial como en la transversal, que es prácticamente igual a los anteriores con un pico en el desfase a aproximadamente  $-75^\circ$ .

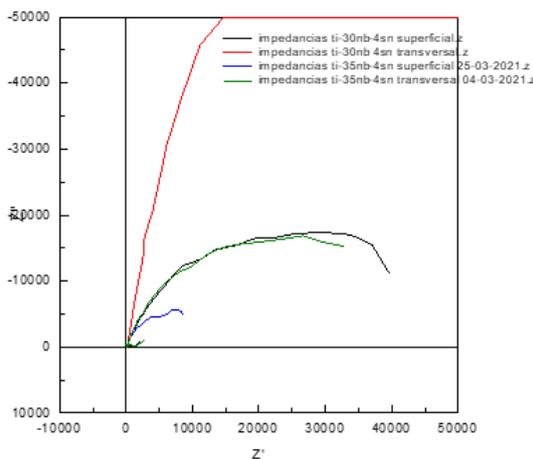


Fig. 89. Diagrama de Nyquist de Ti-35Nb-4Sn

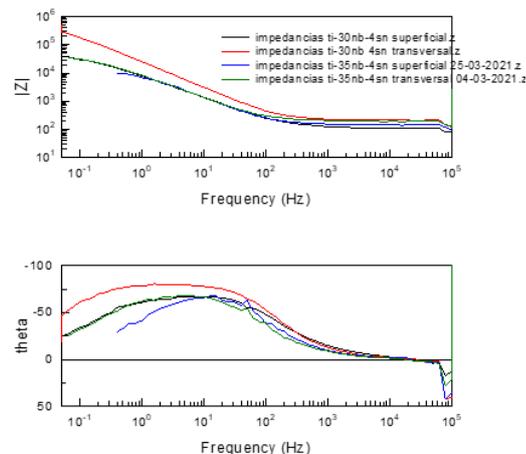


Fig. 90. Diagrama de Bode de Ti-35Nb-4Sn

Los resultados del ensayo de EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) confirman el buen comportamiento de las muestras aleadas con estaño que ya se había constatado en el ensayo de polarización anódica y el efecto negativo que tiene la adición de una mayor cantidad de niobio. La mayor homogeneidad estructural que proporciona el estaño puede explicar el primer efecto y la mayor cantidad de fase  $\beta$  que presenta la aleación con un 35% Nb de menor resistencia a la corrosión, puede explicar el segundo efecto.

#### 5.3.4. Estudio de la influencia del tiempo (OCP, PA, Impedancias)

En el apartado anterior se ha observado el comportamiento frente a la corrosión en medio biológico de las cuatro aleaciones en estudio, sin embargo, es también interesante conocer el comportamiento de estas aleaciones tras un periodo suficientemente largo de inmersión en el electrolito, que permita predecir su comportamiento en servicio. Para analizar el efecto del tiempo sobre cada una de las aleaciones se sumergieron las probetas en cuatro vasos distintos, uno por muestra, que contenían la disolución de ensayo, es decir saliva artificial. Y se taparon con papel de aluminio (fig. 91); a los quince días se realizó a cada una de las muestras un ensayo de impedancias con

acondicionamiento previo y se volvieron a introducir en los vasos hasta que pasaron otros 17 días, es decir, 32 días en total.



Fig. 91. Vasos con saliva artificial para el estudio del comportamiento en el tiempo de las aleaciones

El día 32 se realizaron los mismos tres ensayos de corrosión expuestos en el apartado anterior: ensayos de impedancias, con acondicionamiento previo, OCP y polarización anódica. Los resultados de estos ensayos se compararán con los obtenidos el día cero para analizar el efecto del tiempo.

#### 5.3.4.1. Ensayo de OCP

A continuación, se muestran los registros obtenidos en el ensayo del potencial a circuito abierto para cada una de las muestras, en negro aparece la gráfica que se registró de cada una de las muestras justo antes de introducirlas en los vasos de saliva artificial y en rojo las gráficas registradas tras el paso de 32 días sumergidas en saliva artificial, señalar que la sección superficial, que había mostrado una mayor susceptibilidad a la corrosión es la que se ha utilizado para analizar el efecto del tiempo.

El medio en el que se han hecho todos los estudios de corrosión es en saliva artificial.

La figura 92 muestra la evolución del potencial correspondientes a las secciones superficiales de la muestra de Ti-30Nb el día 0 y tras 32 días de ensayo. El potencial de partida tras el periodo de inmersión en el electrolito ha descendido ligeramente respecto al ensayo inicial sin embargo se mantiene más constante durante todo el ensayo que el anterior.

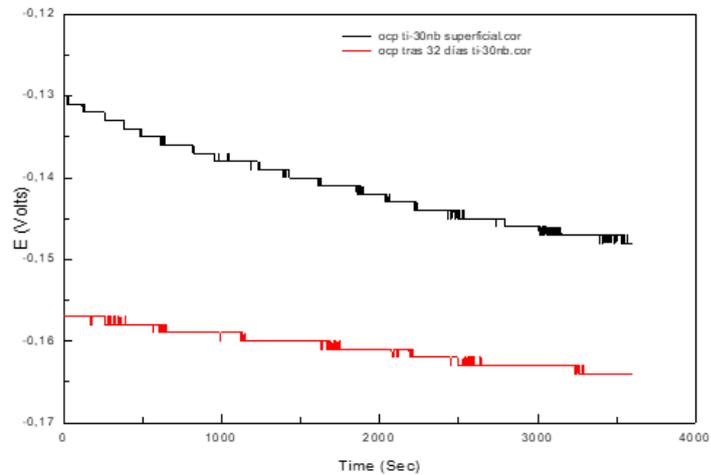


Fig. 92. OCP día 0 y día 32 de Ti-30Nb sumergido en saliva artificial

En el caso de la muestra Ti-30Nb-2Sn en la figura 93 se observa un comportamiento diferente, en este caso el potencial de partida tras 32 días de ensayo es ligeramente más noble que el de referencia y su evolución con el tiempo sigue una cinética similar.

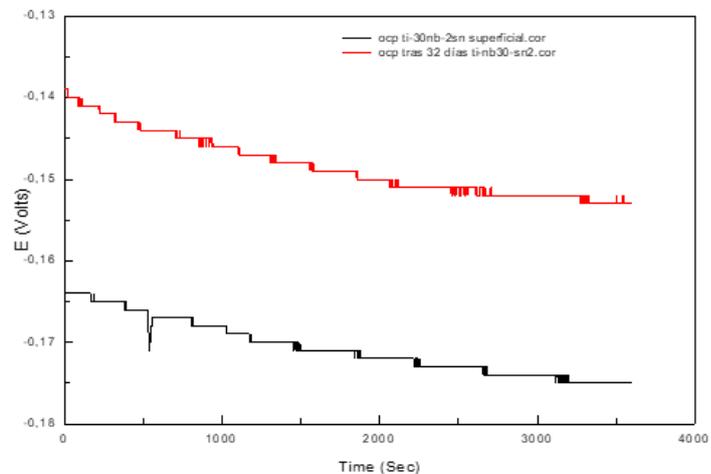


Fig. 93. OCP día 0 y día 32 de Ti-30Nb-2Sn sumergido en saliva artificial

En la figura 94 se muestra la evolución del potencial de la muestra de Ti-30Nb-4Sn el día 0 y tras 32 días de inmersión, una vez más se constata que no hay diferencias apreciables de potencial, en este caso la muestra sumergida en el medio de ensayo presenta un potencial ligeramente más negativo, pero más estable que la muestra en su estado inicial.

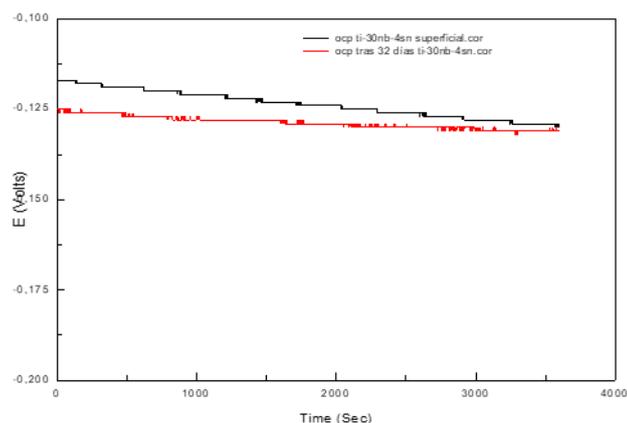


Fig. 94. OCP día 0 y día 32 de Ti-30Nb-4Sn sumergido en saliva artificial

Finalmente, en la figura 95 se muestra la evolución del potencial de la muestra de Ti-35Nb-4Sn, en este caso la disminución del potencial tras la exposición al medio de ensayo es más evidente que en los casos anteriores. Esto podría explicarse por la menor resistencia que esta aleación muestra al medio de ensayo en función de su mayor contenido en fase  $\beta$ .

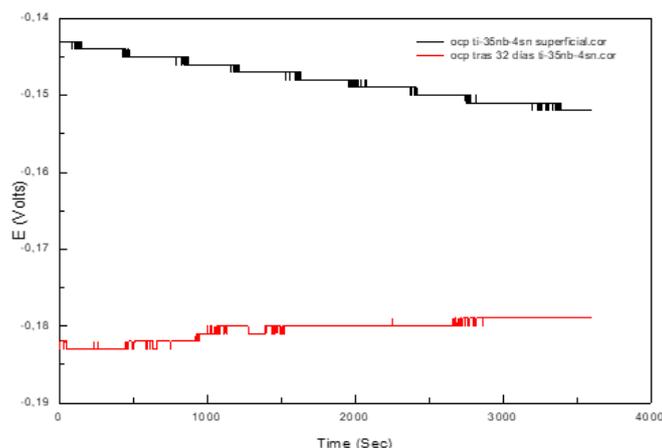


Fig. 95. OCP día 0 y día 32 de Ti-35Nb-4Sn sumergido en saliva artificial

En conclusión, se puede decir que en general la exposición al medio de ensayo hace que el potencial a circuito abierto se desplace ligeramente a valores más negativos lo que indicaría una disminución de la resistencia a la corrosión desde el punto de vista termodinámico, las diferencias más notables se aprecian en la aleación de Ti-30Nb y Ti-35Nb-4Sn mientras que la diferencia más pequeña es la encontrada en la aleación de Ti-30Nb-4Sn.

### 5.3.4.2. Ensayo de Polarización anódica

Al igual que para el ensayo de OCP en este ensayo también se compara la polarización de cada una de las muestras antes de sumergirlas en saliva y 32 días después de haber estado sumergidas en el medio de ensayo. Este estudio se ha realizado también sobre la sección superficial de las muestras.

Para poder comparar los gráficos de las distintas muestras hay que tener en cuenta que la polarización depende de la superficie y por tanto deben contrastarse unas muestras con otras tomando siempre la misma referencia.

En la figura 96 se observan los barridos obtenidos para la aleación Ti-30Nb de similar morfología, se observa que tras la inmersión el potencial de corrosión se desplaza ligeramente hacia valores más negativos, como ocurría con el potencial a circuito abierto, sin embargo, la densidad de corriente disminuye claramente lo que indica terminantemente que la permanencia en el medio de ensayo hace que disminuya la velocidad de corrosión.

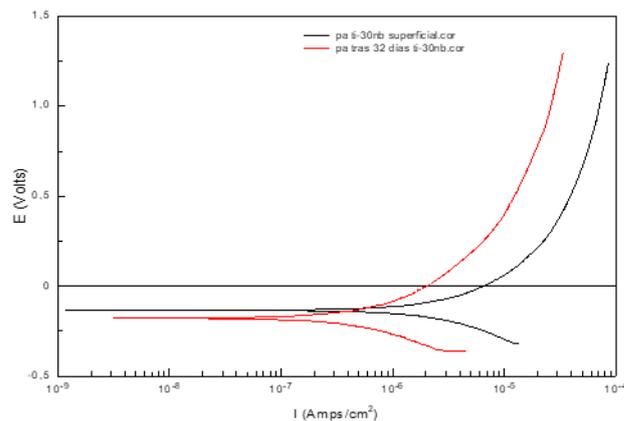


Fig. 96. Polarización anódica día 0 y día 32 de Ti-30Nb sumergido en saliva artificial

En las figuras 97 y 98 se observa que tanto en la muestra Ti-30Nb-2Sn como en la Ti-30Nb-4Sn tampoco hay cambio de forma en la curva de polarización anódica tras los 32 días de exposición. Para estas aleaciones, de igual manera, no hay variación en el potencial de corrosión con la exposición al medio, pero se observa, como en la aleación sin estaño, un importante desplazamiento de la curva potenciodinámica hacia la izquierda, es decir una mejora en su comportamiento cinético.

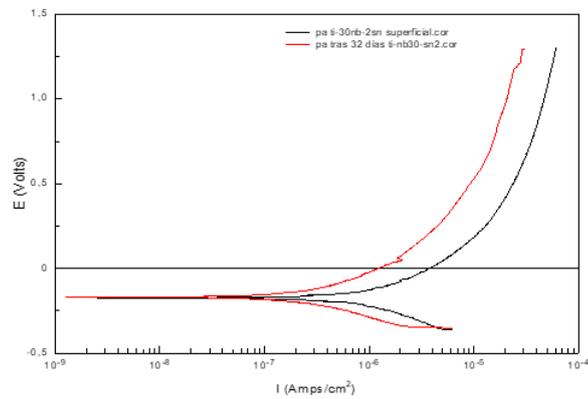


Fig. 97. Polarización anódica día 0 y día 32 de Ti-30Nb-2Sn sumergido en saliva artificial

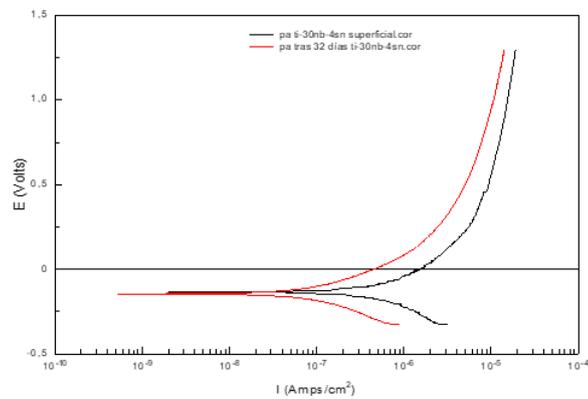


Fig. 98. Polarización anódica día 0 y día 32 de Ti-30Nb-4Sn sumergido en saliva artificial

Finalmente, en la figura 99, se puede constatar el efecto beneficioso de la exposición al medio también para la aleación Ti-35Nb-4Sn, en este caso la disminución de la densidad de corriente durante todo el barrido anódico es más evidente y en la zona pasiva es de más de un orden de magnitud más pequeña tras la exposición al medio.

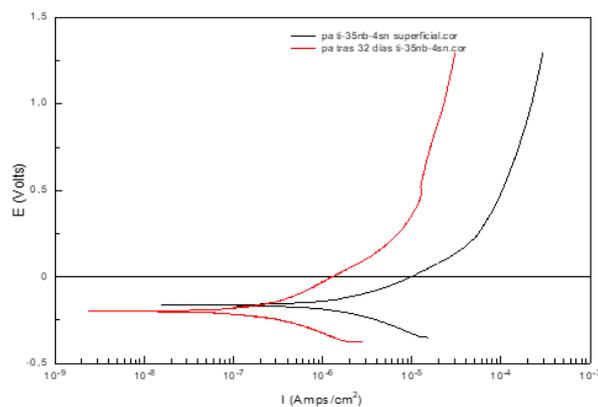


Fig. 99. Polarización anódica día 0 y día 32 de Ti-35Nb-4Sn sumergido en saliva artificial

Los resultados del ensayo potenciodinámico muestran un buen comportamiento de estas aleaciones en el medio de ensayo, tras su exposición al medio de servicio se observa una importante reducción de la densidad de corriente durante todo el barrido anódico, pero es más evidente en la zona pasiva. Esta disminución es más acusada en la muestra Ti-35Nb-4Sn que era la que había mostrado unas densidades de corriente superiores en el estado de partida. Como consecuencia de lo anterior, en la figura 100 se recogen las curvas de polarización de las cuatro muestras en estudio tras los 32 días de exposición, y se puede observar que las diferencias entre las cuatro aleaciones se reducen, aunque la muestra Ti-30Nb-4Sn sigue mostrando el mejor comportamiento.

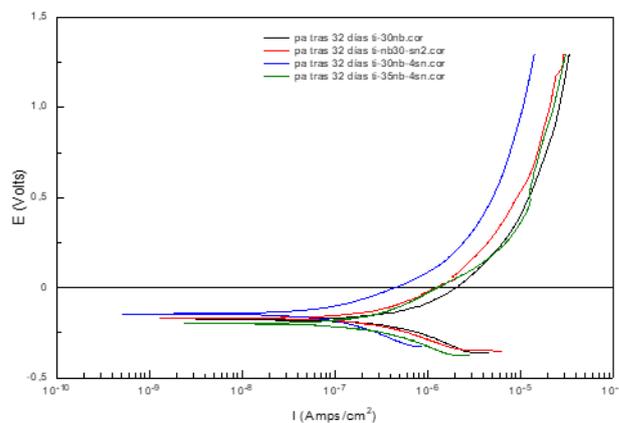


Fig. 100. Polarización anódica tras 32 días de las cuatro aleaciones

#### 5.3.4.3. Ensayo de Impedancias

En este apartado se analizará el efecto de la inmersión de las muestras en el electrolito mediante el ensayo EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy), dado que este ensayo no origina ningún tipo de deterioro ni cambio en el metal se ha realizado en dos tiempos diferentes, uno a los 15 días de inmersión en el medio y otro a los 32 días, como tiempo final de ensayo al igual que en los ensayos anteriores. Los ensayos de 15 y 32 días se han realizado sobre la misma muestra sin ningún tipo preparación.

Como siempre, antes del ensayo de impedancias se realiza un acondicionamiento para comprobar que se cumplen las condiciones de estabilización del potencial, y este lo que muestra son resultados similares a los recogidos en el ensayo de OCP puesto que se trata del mismo ensayo, aunque con finalidades distintas; el acondicionado es para conseguir un potencial de partida estable en el ensayo de impedancias y el OCP para hacer un estudio del propio potencial y su evolución en el tiempo.

En todos los acondicionamientos realizados a las muestras donde se observó que el potencial con el tiempo disminuía, como cabía esperar. A modo de ejemplo se incluye en la figura 101 los acondicionamientos de la muestra Ti-30Nb de partida sin inmersión previa en el medio, los de la muestra tras 15 días de inmersión y tras 32 días de ensayo.

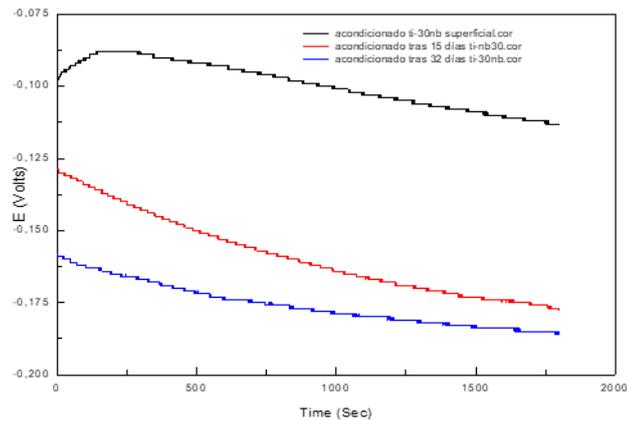


Fig. 101. Acondicionamiento de la muestra de Ti-30Nb

En todos los casos se observa que el potencial disminuye ligeramente con el tiempo y que los valores de potencial a los 15 días de ensayo son intermedios entre el ensayo inicial sin inmersión previa y el ensayo final tras 32 días de inmersión en el electrolito.

Con respecto al ensayo de impedancias, en la figura 102 se puede observar el efecto del ensayo de inmersión en la muestra Ti-30Nb.

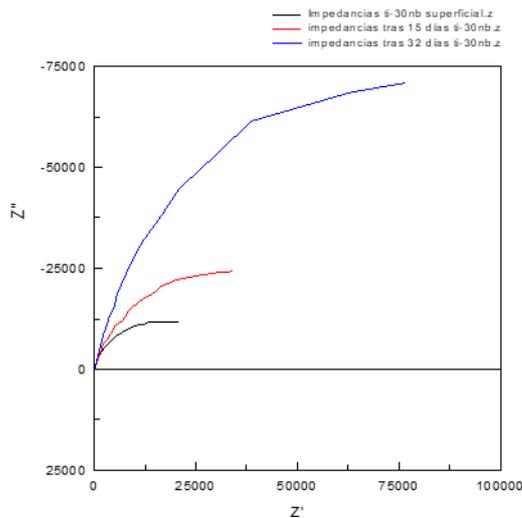


Fig. 102. Diagrama de Nyquist Ti-30Nb en el tiempo

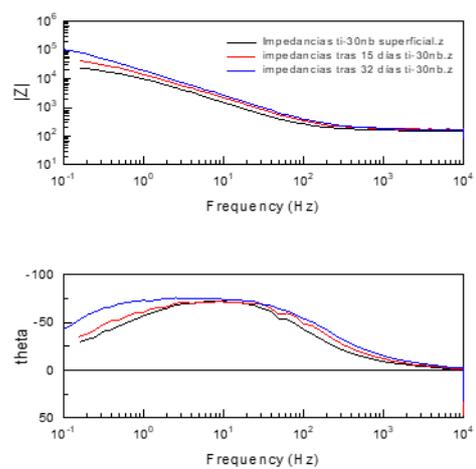


Fig. 103. Diagrama de Bode Ti-30Nb en el tiempo

En el diagrama de Nyquist de la aleación de Ti-30Nb se observa que el radio aumenta con el tiempo y por tanto aumenta la resistencia a la corrosión con el tiempo, esto indica un buen comportamiento de material en servicio, a medida que está en contacto con el medio se forma una capa pasiva que lo protege de un ulterior ataque.

Este mismo comportamiento es el que se observa en la muestra Ti-35N-4Sn, a medida que aumenta el tiempo de ensayo se observa un incremento en el tamaño del semicírculo del diagrama de Nyquist y un aumento del módulo de impedancias respecto al ensayo de partida, también hay un desplazamiento del ángulo de desfase a valores más negativos, figura 105.

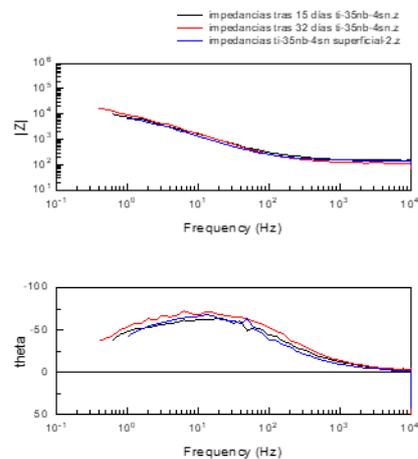
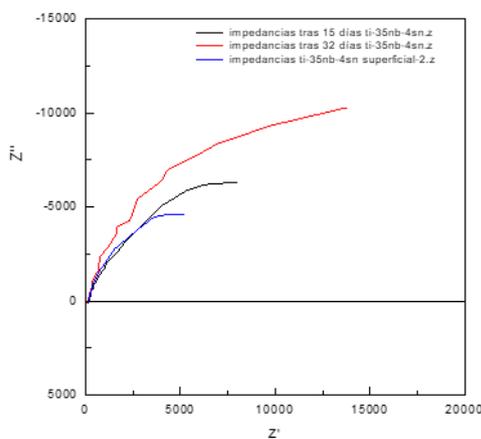


Fig. 104. Diagrama de Nyquist Ti-35Nb-4Sn en tiempo      Fig. 105. Diagrama de Bode Ti-35Nb-4Sn en tiempo

Por el contrario, en el caso de las aleaciones de Ti-30Nb-4Sn, figuras 106 y 107, que había mostrado una mayor resistencia a la corrosión en el medio de ensayo en los ensayos iniciales se observa que, tras ser sometidos al medio de ensayo, en el diagrama de Nyquist una ligera disminución en el radio del semicírculo con el paso del tiempo y una ligera disminución del módulo de impedancias a elevadas frecuencias indicando un cierto deterioro en el material y una pérdida de su resistencia la corrosión. El mismo comportamiento se ha observado para la aleación Ti-30Nb-2Sn de menor contenido en estaño.

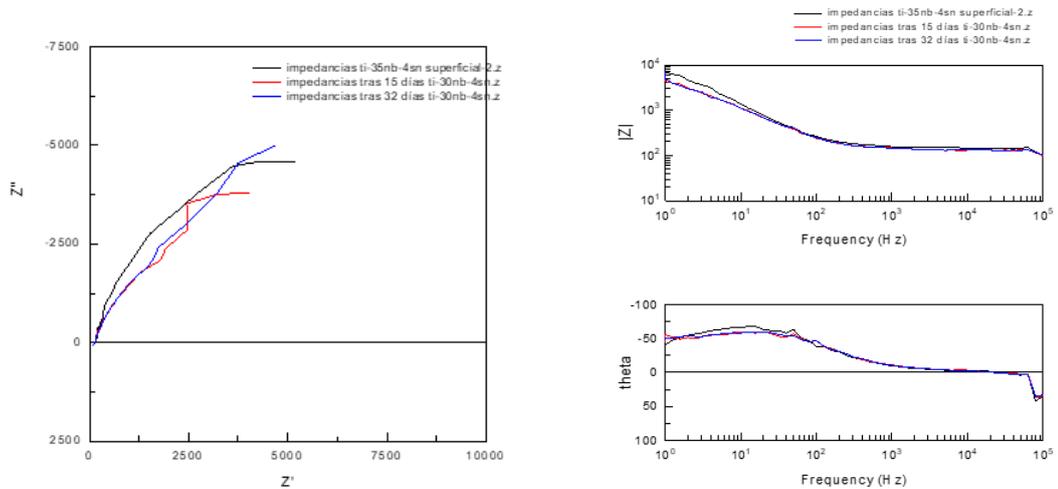


Fig. 106. Diagrama de Nyquist Ti-30Nb-4Sn en tiempo      Fig. 107. Diagrama de Bode Ti-30Nb-4Sn en tiempo

### 5.3.5. Ensayo de Espectroscopía de Masas, Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

Se ha realizado un estudio mediante ICP del electrolito en el que se ha llevado el ensayo de inmersión de las muestras para detectar la presencia de iones Ti, Sn y Nb con objeto de determinar cuantitativamente la tasa de disolución de las muestras.

Las muestras de electrolito correspondientes a las cuatro aleaciones se midieron tras ser filtradas con un filtro de 0,22 micrómetros salvo para el blanco, la solución de saliva artificial, que no necesita de filtrado al no tener impurezas.

Se adicionó online Y como patrón interno. Los elementos se determinaron en un ICP-OES Agilent 5110 SVDV.



Muestra	Analito	Long. de onda	Concentración	Unidades	SD	%RSD
Blanco	Nb	313.078	<0,10	mg/L	----	----
Blanco	Sn	189.925	<0,10	mg/L	----	----
Blanco	Ti	336.122	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb	Nb	313.078	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb	Sn	189.925	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb	Ti	336.122	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 2 Sn	Nb	313.078	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 2 Sn	Sn	189.925	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 2 Sn	Ti	336.122	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 4 Sn	Nb	313.078	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 4 Sn	Sn	189.925	<0,10	mg/L	----	----
Ti 30 Nb 4 Sn	Ti	336.122	<0,10	mg/L	----	----
Ti 35 Nb 4 Sn	Nb	313.078	<0,10	mg/L	----	----
Ti 35 Nb 4 Sn	Sn	189.925	<0,10	mg/L	----	----
Ti 35 Nb 4 Sn	Ti	336.122	<0,10	mg/L	----	----

Nota: Se realizó un análisis de la muestra Ti 35 Nb 4 Sn sin filtrar para confirmar que no se hubiesen perdido los analitos en el filtrado, siendo confirmados los resultados arriba descritos, por lo que se entiende que no hubo pérdida en el filtrado.

Tabla 34. Resultados del análisis de ICP

Los resultados de la tabla 34 indican que en todas las disoluciones la cantidad de iones era mínima y por tanto podemos concluir un buen comportamiento de las cuatro aleaciones tras la exposición de un tiempo de más de 30 días a la solución de ensayo sin el peligro que los iones pudieran suponer para la salud del paciente en caso de utilizarse como biomaterial como ocurre con las aleaciones de Ti-Al-V.

#### 5.4. Ensayos de desgaste

Uno de los mayores inconvenientes que presenta el titanio es su baja resistencia al desgaste, haciendo que no pueda utilizarse como biomaterial protésico en articulaciones y zonas donde vaya a haber fricción. Sin embargo, la resistencia al desgaste puede mejorarse añadiendo elementos de aleación que aumenten el límite elástico y disminuyan la plasticidad, el objetivo de este apartado es conocer el comportamiento de las aleaciones ricas en niobio respecto a la fricción y el desgaste.

La tribología estudia el fenómeno de fricción entre dos cuerpos cuando hay movimiento entre ellos y el desgaste que se produce.

El método de ensayo utilizado para conocer el desgaste de las muestras ha sido el método de desgaste circular tipo pin-on-disk.

Los valores seleccionados para realizar los ensayos se recogen a continuación:

Parámetros de desgaste	
radio (mm)	5
velocidad angular (rpm)	60
distancia (m)	150

Tabla 35. Parámetros de desgaste

Antes y después de cada ensayo se debe pesar la muestra para cuantificar la pérdida de masa además con la medida de la huella cuantificaremos la pérdida de volumen. Los dos datos se utilizarán para conocer la resistencia al desgaste.

El cálculo de la pérdida de volumen del disco se realiza como:

$$Disk\ volume\ loss = \frac{\pi R[mm] \cdot d[mm]^3}{6r[mm]}$$

Donde **R** es el radio de la circunferencia que se va a dibujar; **r** es el radio de la bolita de alúmina y **d** la anchura de la corona impresa.

### Ti-30Nb

Se realizaron dos ensayos de desgaste para la muestra de Ti-30Nb, cambiando el pin que en este caso se trata de una bolita de alúmina, utilizando bolas de diámetro 3 y 6 mm respectivamente y utilizando cargas de 5 y 2 N respectivamente por conocer la influencia de los parámetros de ensayo en los resultados obtenidos. Esto mismo se realizó sobre las cuatro aleaciones en estudio. Las tablas 36 y 37 muestran los resultados obtenidos de pérdida de masa obtenidos a partir de la medida de la pista de desgaste. Las pérdidas de peso son muy pequeñas lo que dificulta la evaluación de la resistencia al desgaste a partir de ellas, por ello se cuantificará mediante la pérdida de volumen.

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30 03/03/2021			
Peso (N)	5	Masa inicial (g)	5,6102
Diámetro pin (mm)	6	Masa final (g)	5,6071

Tabla 36. Ensayo 1 de desgaste superficial Ti-30Nb

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30 08/04/2021			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	5,6548
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	5,647

Tabla 37. Ensayo 2 de desgaste superficial Ti-30Nb

En la tabla 38 se recogen las medias de los espesores la corona impresa (d) de cada una de las huellas generadas en los dos ensayos, la desviación de las mediciones y la pérdida de volumen del disco en cada caso.

Ensayos de desgaste superficial de la aleación Ti-30Nb					
Fecha de ensayo	Peso	Diámetro pin	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
3 marzo 2021	5 N	6 mm	2,1915	0,120	9,185 mm <sup>3</sup>
8 abril 2021	2 N	3 mm	1,10	0,047	2,336 mm <sup>3</sup>

Tabla 38. Pérdida de volumen por desgaste aleación de Ti-30Nb

### Ti-30Nb-2Sn

Se realizaron dos ensayos de desgaste de la aleación de Ti-30Nb-2Sn con distinto peso y distinto radio del pin como en el caso de la aleación anterior. Las tablas 39 y 40 muestran los resultados de pérdida de masa y la tabla 41 recoge los resultados de pérdida de volumen respectivamente:

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30-2Sn 02/03/2021			
Peso (N)	5	Masa inicial (g)	5,9593
Diámetro pin (mm)	6	Masa final (g)	5,9567

Tabla 39. Ensayo 1 de desgaste superficial Ti-30Nb-2Sn

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30-2Sn 24/03/2021			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	5,9216
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	5,9190

Tabla 40. Ensayo 2 de desgaste superficial Ti-30Nb-2Sn

Ensayos de desgaste superficial de la aleación Ti-30Nb-2Sn					
Fecha de ensayo	Peso	Diámetro pin	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
2 marzo 2021	5 N	6 mm	2,144	0,086	8,600 mm <sup>3</sup>
24 marzo 2021	2 N	3 mm	1,06	0,065	2,093 mm <sup>3</sup>

Tabla 41. Pérdida de volumen por desgaste aleación de Ti-30Nb-2Sn

### Ti-30Nb-4Sn

Los ensayos de las tablas 42, 43 y 44 muestran los resultados obtenidos para los dos ensayos de desgaste de la aleación de Ti-30Nb-4Sn con distinto peso y distinto radio del pin.

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30-4Sn 26/02/2021			
Peso (N)	5	Masa inicial (g)	6,2154
Diámetro pin (mm)	6	Masa final (g)	6,2084

*Tabla 42. Ensayo 1 de desgaste superficial Ti-30Nb-4Sn*

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb30-4Sn 24/03/2021			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	5,5365
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	5,5317

*Tabla 43. Ensayo 2 de desgaste superficial Ti-30Nb-4Sn*

Ensayos de desgaste superficial de la aleación Ti-30Nb-4Sn					
Fecha de ensayo	Peso	Diámetro pin	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
26 febrero 2021	5 N	6 mm	2,17	0,217	5,945 mm <sup>3</sup>
24 marzo 2021	2 N	3 mm	1,12	0,080	1,628 mm <sup>3</sup>

*Tabla 44. Pérdida de volumen por desgaste aleación de Ti-30Nb-4Sn*

### **Ti-35Nb-4Sn**

Finalmente, las tablas 45, 46 y 47 recogen los resultados de los ensayos de desgaste de la aleación de Ti-35Nb-4Sn con distinto peso y distinto radio del pin.

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb35-4Sn 05/03/2021			
Peso (N)	5	Masa inicial (g)	8,7563
Diámetro pin (mm)	6	Masa final (g)	8,7482

*Tabla 45. Ensayo 1 de desgaste superficial Ti-35Nb-4Sn*

Ensayo de desgaste superficial Ti-Nb35-4Sn 24/03/2021			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	8,7003
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	8,6971

*Tabla 46. Ensayo 2 de desgaste superficial Ti-35Nb-4Sn*

Ensayos de desgaste superficial de la aleación Ti-35Nb-4Sn					
Fecha de ensayo	Peso	Diámetro pin	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
5 marzo 2021	5 N	6 mm	2,61	0,072	15,542 mm <sup>3</sup>
24 marzo 2021	2 N	3 mm	1,24	0,062	3,364 mm <sup>3</sup>

Tabla 47. Pérdida de volumen por desgaste aleación de Ti-35Nb-4Sn

Comparando las pérdidas de volumen de las cuatro aleaciones se observa el efecto negativo de la adicción de niobio, la aleación más rica en niobio que cuenta con más cantidad de fase  $\beta$  y que es la más blanda, es la que presenta menor resistencia al desgaste, tal y como se puede comprobar en las tablas 48 y 49 correspondientes a las dos condiciones de ensayo.

Ensayos de desgaste superficial con carga 5 N y diámetro del pin 6 mm		
	Aleación	Pérdida de volumen
1°	Ti-30Nb	9,185 mm <sup>3</sup>
2°	Ti-30Nb-2Sn	8,600 mm <sup>3</sup>
3°	Ti-30Nb-4Sn	5,944 mm <sup>3</sup>
4°	Ti-35Nb-4Sn	15,542 mm <sup>3</sup>

Tabla 48. Ensayos de desgaste superficial con carga 5 N y diámetro del pin 6 mm

Ensayos de desgaste superficial con carga 2 N y diámetro del pin 3 mm		
	Aleación	Pérdida de volumen
1°	Ti-30Nb	2,336 mm <sup>3</sup>
2°	Ti-30Nb-2Sn	2,093 mm <sup>3</sup>
3°	Ti-30Nb-4Sn	1,628 mm <sup>3</sup>
4°	Ti-35Nb-4Sn	3,364 mm <sup>3</sup>

Tabla 49. Ensayos de desgaste superficial con carga 2 N y diámetro del pin 3 mm

Se observa un incremento de la resistencia al desgaste al añadir más cantidad de estaño, que actúa en estas aleaciones como homogeneizador estructural, como contrapartida, el uso de una mayor cantidad de niobio que es estabilizador de la fase  $\beta$ , es decir, disminuye la temperatura  $\beta$ -transus, de tal manera que se consigue fase  $\beta$  a temperaturas más bajas, pudiendo tener esta fase como mayoritaria a temperatura ambiente, esta fase es más blanda como se ha comentado anteriormente y da lugar a mayores pérdidas por desgaste abrasivo y adhesivo.

En las figuras 108 y 109 se presentan gráficamente la pérdida de volumen para cada una de las aleaciones para poder observar más fácilmente de las diferencias anteriormente comentadas.

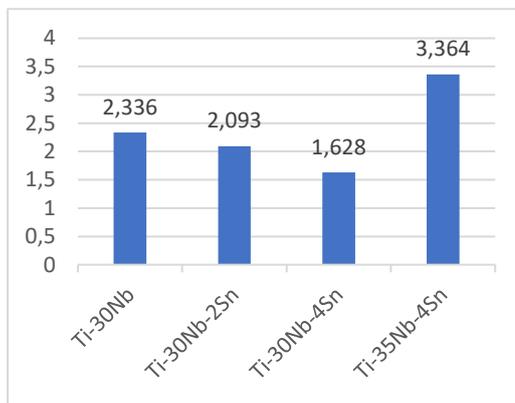


Fig. 109. Pérdida de volumen al aplicar 2N con diámetro del pin de 3 mm

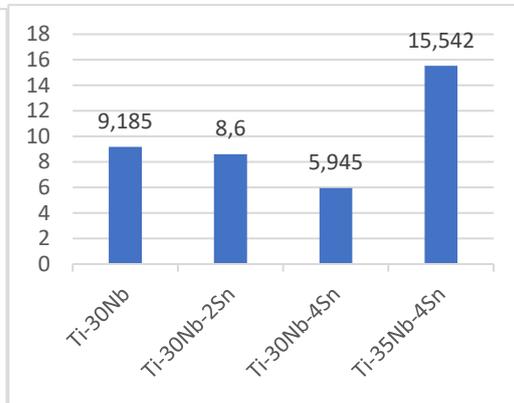


Fig. 108. Pérdida de volumen al aplicar 5N con diámetro del pin de 6 mm

A continuación, se presenta la gráfica comparativa de la masa perdida en los ensayos de desgaste de cada una de las muestras que coinciden en señalar una mayor pérdida de masa para la aleación más rica en niobio.

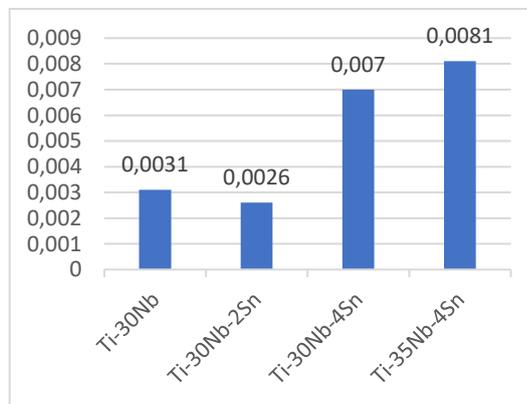


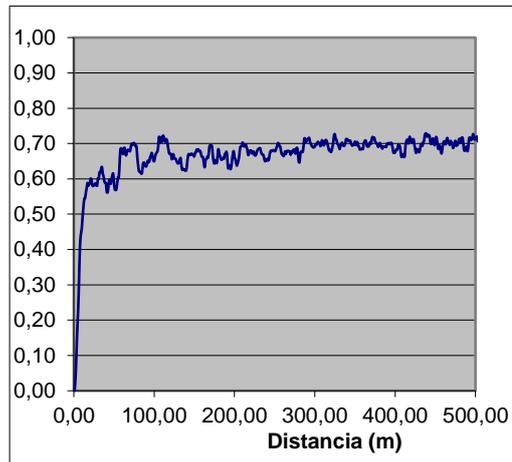
Fig. 110. Pérdida de masa al aplicar 5N con diámetro del pin de 6mm

La pérdida de masa es tan pequeña (del orden de las milésimas) que es complicado hacer una comparación precisa a partir de los datos obtenidos, puesto que las medidas pueden ir acompañadas de errores ya que parte del detritus puede quedar atrapada en los poros y falsear las medidas.

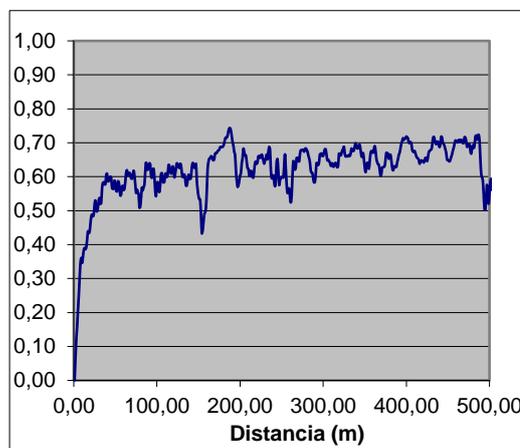
Por último, se analizan los coeficientes de fricción en función de la distancia para cada una de las aleaciones con objeto de conocer la resistencia a la fricción de las cuatro aleaciones en estudio. En la tabla 50 se muestran algunos

de los registros recogidos para el tribómetro para cada una de las cuatro aleaciones.

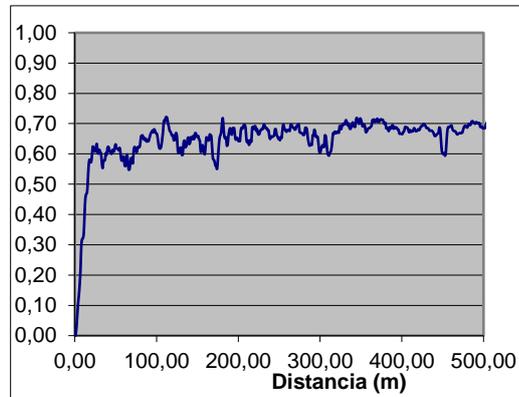
### Coefficiente de fricción de la aleación de Ti-30Nb



### Coefficiente de fricción de la aleación de Ti-30Nb-2Sn



**Coeficiente de fricción de la aleación de Ti-30Nb-4Sn**



**Coeficiente de fricción de la aleación de Ti-35Nb-4Sn**

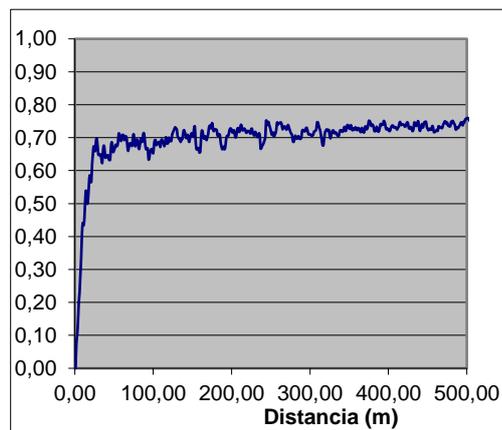


Tabla 50. Coeficiente de fricción frente a la distancia recorrida en ensayo de desgaste superficial

Observando las gráficas se ve que no existen apenas diferencias en el coeficiente de fricción y que todos los valores se sitúan en el entorno de 0,7 al final del ensayo, ligeramente por encima de este límite en el caso de la aleación más rica en niobio.

### 5.5. Tribocorrosión

Una vez conocido el comportamiento de las aleaciones frente a la corrosión y frente al desgaste se analiza en este último apartado su comportamiento frente a los procesos combinados de corrosión y desgaste. El ensayo de tribocorrosión consiste en un ensayo a circuito abierto donde se analiza el potencial en función del tiempo, teniendo la muestra sumergida en un medio, en este caso,

en saliva artificial, antes, durante y después del desgaste originado con un pin de alúmina sobre un disco de la aleación en estudio.

Antes de la fricción con el pin de alúmina el material estará en estado pasivo. Durante la fricción se rompe la capa pasiva y, se genera un par galvánico entre la zona desgastada mecánicamente (ánodo a un potencial  $E_a$ ) y la zona no afectada mecánicamente (cátodo a un potencial  $E_c$ ) [17], tal y como se muestra en la figura 111 esto dará lugar a un cambio de potencial que se registrará en el potencióstato. Una vez eliminada la fricción se analizará la capacidad de pasividad del material.

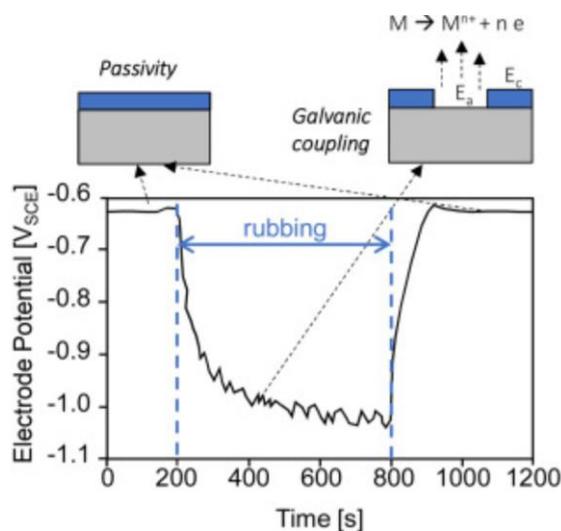


Fig. 111. Evolución del OCP con el tiempo en un ensayo de tribocorrosión

En un ensayo de tribocorrosión en el OCP, el potencial del electrodo del material ensayado se monitoriza con el tiempo durante el frotamiento contra una contraparte no conductora (por ejemplo, una bola de alúmina).

Al inicio de la fricción, el OCP desciende hacia valores más bajos como consecuencia de la eliminación mecánica de la capa pasiva formada espontáneamente en la superficie metálica. Este proceso de despasivación genera dos zonas diferentes, la desgastada y la no desgastada, que se encuentran a dos potenciales diferentes ( $E_a$  y  $E_c$ , respectivamente) que son los que generan la pila galvánica generada durante la fricción.

La zona desgastada sufre una disolución activa (la película pasiva ha sido eliminada mecánicamente) y muestra un potencial más bajo, mientras que la zona no desgastada, todavía pasiva, muestra un potencial más alto. Por lo tanto, se genera un acoplamiento galvánico entre estas dos zonas, experimentando el ánodo (pista de desgaste) un aumento de la velocidad de corrosión [18].

Se han realizado varios ensayos de tribocorrosión para cada una de las aleaciones, variando las condiciones de ensayo, si bien en la figura 112 se muestra la gráfica de la evolución del OCP en el tiempo de uno de los ensayos realizados para cada una de las cuatro muestras realizados con los mismos parámetros de ensayo en todas las muestras.

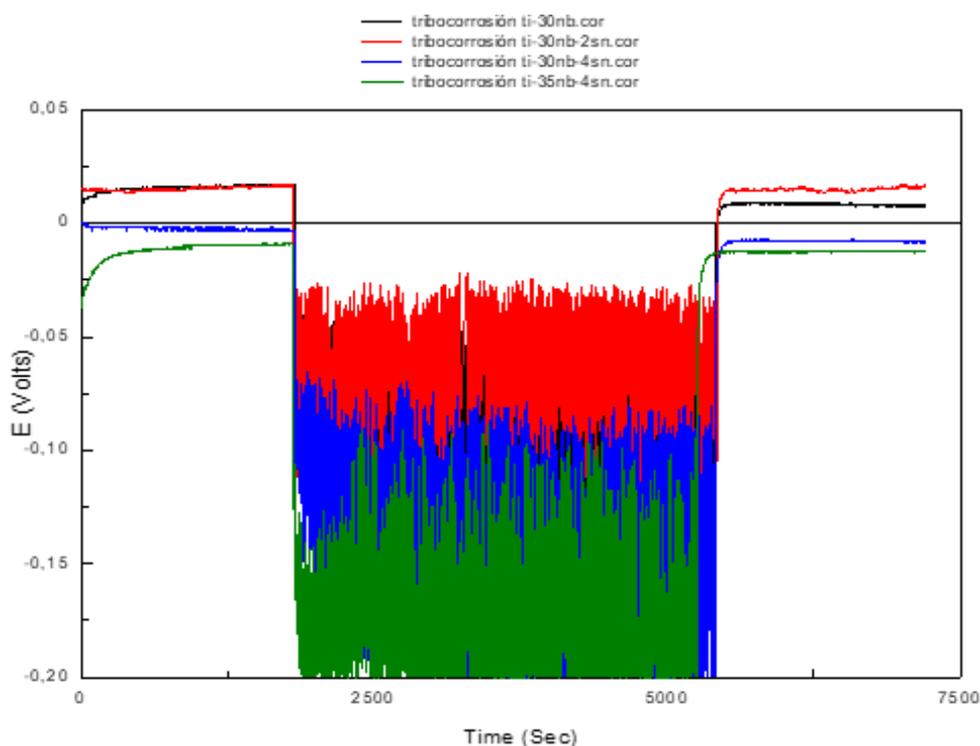


Fig. 112. Comparativa de las tribocorrosiones de las cuatro muestras

En todos los casos se observa un comportamiento del potencial similar para todas las muestras, el potencial de partida es más noble como corresponde a la presencia de una capa pasiva estable y disminuye bruscamente desde los primeros instantes de aplicación de la carga, durante todo el tramo de ensayo de desgaste este oscila ampliamente como consecuencia de la rotura de la capa pasiva y en la última fase del ensayo en todas la muestras se observa repasivación de modo que el potencial alcanza valores similares a los de partida.

En lo relativo a las diferencias entre las cuatro aleaciones se observa que sin la aplicación del desgaste las muestras con menores contenidos en niobio y estaño son las que tienen mejor comportamiento y por el contrario la muestra Ti-35Nb-4Sn es la que presenta valores de potencial claramente más negativos durante todo el ensayo y especialmente en el tramo en el que se está aplicando la carga de modo que la secuencia observada de mayor a menor potencial es la siguiente:

$$E_{Ti-30Nb} = E_{Ti-30Nb-2Sn} > E_{Ti-30Nb-4Sn} > E_{Ti-35Nb-4Sn}$$

Las variaciones de potencial que aparecen durante el periodo de desgaste se deben posiblemente a la acumulación de polvo procedente del desgaste de la aleación que se acumula en la trayectoria del pin y hace que se produzcan diferencias importantes en el potencial entre el material activo y pasivo.

Como en el ensayo de desgaste seco, aquí también se han recogido en las tablas de la 51 a la 62 junto con los resultados del desgaste expresados como pérdida de la masa y de volumen en función de los parámetros de ensayo utilizados: carga soportada, diámetro del pin, radio de la circunferencia que recorre el pin, velocidad angular del proceso y distancia recorrida. Donde la velocidad angular es igual para todos los ensayos de 60 rpm.

Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,6008
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,5994
Radio circunferencia (mm)	5	Distancia (m)	227

*Tabla 51. Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb*

Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-30Nb			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,4925
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,4923
Radio circunferencia (mm)	4	Distancia (m)	182

*Tabla 52. Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-30Nb*

Ensayos de tribocorrosión de la aleación Ti-30Nb				
Ensayo	Radio circunferencia	d (μm)	σ	Pérdida de volumen
1	5 mm	92,81	27,086	0,001 mm <sup>3</sup>
2	4 mm	580,00	67,064	0,275 mm <sup>3</sup>

*Tabla 53. Pérdida de volumen por tribocorrosión aleación de Ti-30Nb*

Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb-2Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	8,1096
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	8,0814
Radio circunferencia (mm)	5	Distancia (m)	227

*Tabla 54. Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb-2Sn*

Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-30Nb-2Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,8890
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,8842
Radio circunferencia (mm)	4	Distancia (m)	182

*Tabla 55. Ensayo 2 de tribocorrosión de Ti-30Nb-2Sn*

Ensayos de tribocorrosión de la aleación Ti-30Nb-2Sn				
Ensayo	Radio circunferencia	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
1	5 mm	0,19	0,034	0,012 mm <sup>3</sup>
2	4 mm	0,50	0,043	0,179 mm <sup>3</sup>

*Tabla 56. Pérdida de volumen por tribocorrosión aleación de Ti-30Nb-2Sn*

Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb-4Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,9795
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,9716
Radio circunferencia (mm)	5	Distancia (m)	227

*Tabla 57. Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-30Nb-4Sn*

Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-30Nb-4Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,95404
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,9539
Radio circunferencia (mm)	4	Distancia (m)	182

*Tabla 58. Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-30Nb-2Sn*

Ensayos de tribocorrosión de la aleación Ti-30Nb-4Sn				
Ensayo	Radio circunferencia	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
1	5 mm	0,23	0,047	0,015 mm <sup>3</sup>
2	4 mm	0,69	0,059	0,299 mm <sup>3</sup>

*Tabla 59. Pérdida de volumen por tribocorrosión aleación de Ti-30Nb-4Sn*

Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-35Nb-4Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,8182
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,8106
Radio circunferencia (mm)	5	Distancia (m)	227

*Tabla 60. Ensayo 1 de tribocorrosión Ti-35Nb-4Sn*

Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-35Nb-4Sn			
Peso (N)	2	Masa inicial (g)	7,5180
Diámetro pin (mm)	3	Masa final (g)	7,4996
Radio circunferencia (mm)	4	Distancia (m)	182

Tabla 61. Ensayo 2 de tribocorrosión Ti-35Nb-4Sn

Ensayos de tribocorrosión de la aleación Ti-35Nb-4Sn				
Ensayo	Radio circunferencia	d (mm)	$\sigma$	Pérdida de volumen
1	5 mm	0,20	0,024	0,015 mm <sup>3</sup>
2	4 mm	0,59	0,0301	0,289 mm <sup>3</sup>

Tabla 62. Pérdida de volumen por tribocorrosión aleación de Ti-35Nb-4Sn

En general, el análisis de los resultados del desgaste originado en las cuatro aleaciones sigue la siguiente secuencia de mayor pérdida de volumen a menor de la siguiente manera:

$$VP_{Ti-30Nb-4Sn} = VE_{Ti-35Nb-4Sn} > VE_{Ti-30Nb} > VE_{Ti-30Nb-2Sn}$$

Existen ligeras diferencias entre las dos metodologías de ensayo, tal y como se puede observar en la figura 113 donde VP es volumen perdido, el ensayo realizado con un radio menor nos permite observar mejor las diferencias entre las cuatro aleaciones. En buena correlación con los resultados registrados en el potencial a circuito abierto se observa que las muestras con menores porcentajes de niobio y estaño son las más resistentes a tribocorrosión.

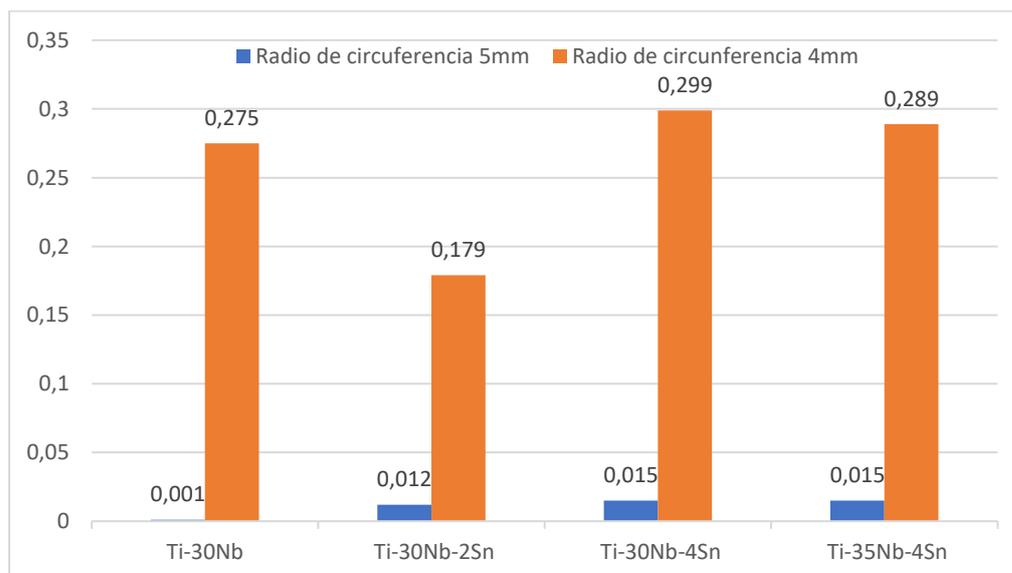
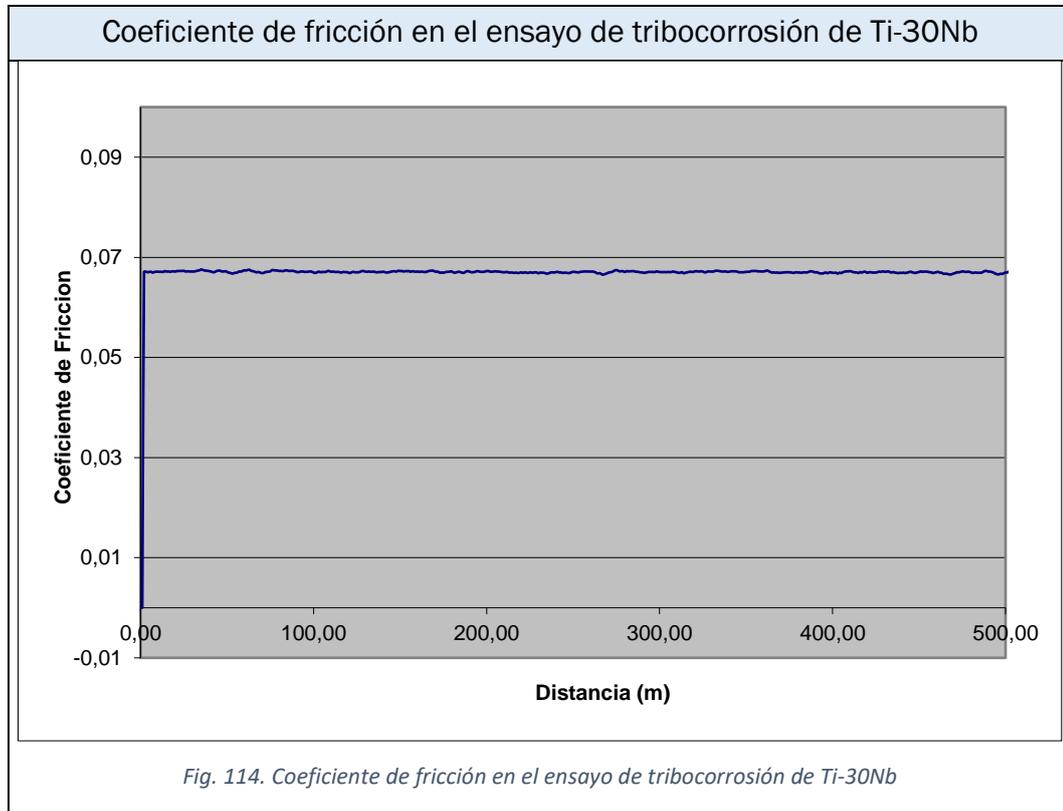
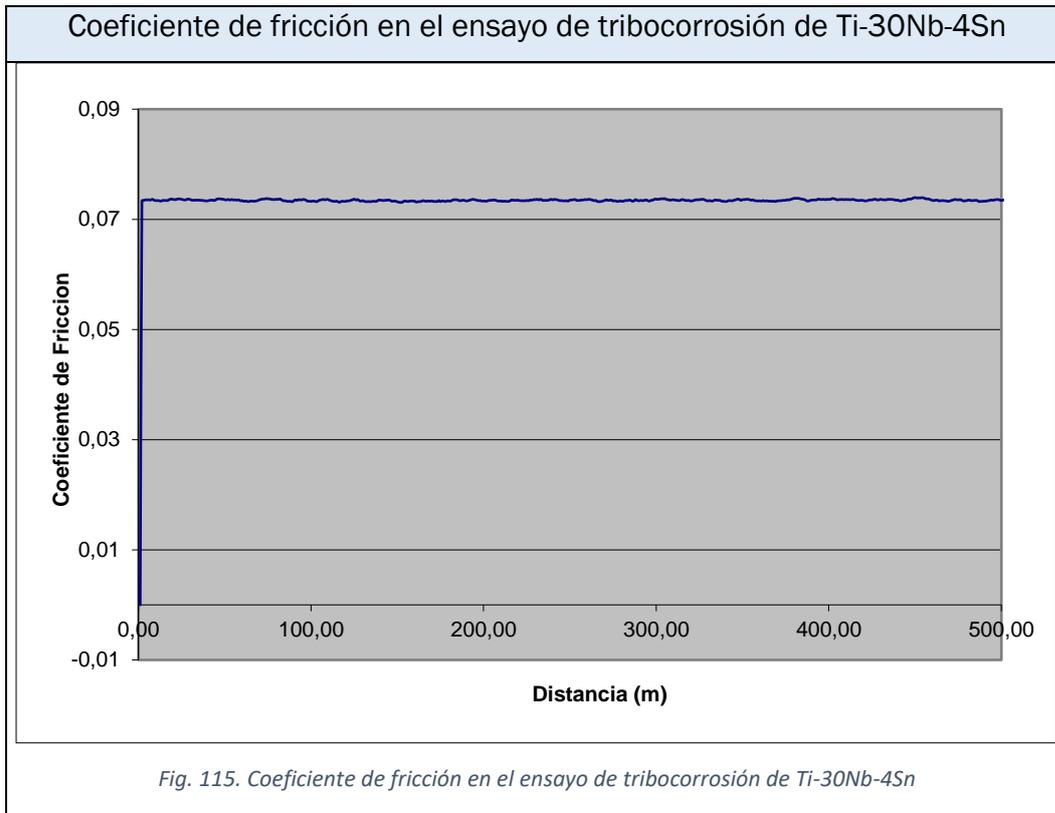


Fig. 113. Pérdida de volumen con el ensayo de tribocorrosión

Por último, a modo de ejemplo se muestran en las figuras 114 y 115 la variación de los coeficientes de fricción con la distancia para dos de las aleaciones:





Se puede ver analizando los gráficos de coeficiente de fricción que los resultados obtenidos son muy bajos en relación con los obtenidos en el ensayo de desgaste seco como consecuencia del efecto de lubricación del medio de ensayo sin que existan diferencias entre las diferentes muestras.

Finalmente, y como conclusión señalar que la muestra más aleada es la que también presenta un peor comportamiento no sólo ante desgaste seco sino también frente a los fenómenos combinados de corrosión y desgaste siendo recomendable utilizar la aleación con un 30% de niobio y pequeñas adiciones de estaño.

## 6. Conclusiones



## 6. Conclusiones

1. En las aleaciones de titanio, niobio y estaño, al aumentar el contenido en estaño aumenta ligeramente la densidad del material.
2. La porosidad de las aleaciones de titanio, niobio y estaño obtenidas por pulvimetalurgia es baja, característica que las hace atractivas para usos donde estén sometidas a esfuerzos, puesto que una baja porosidad supone un buen comportamiento mecánico. Destaca la muestra de Ti-35Nb-4Sn con una porosidad ínfima, que no llega al 0,1%.
3. La microestructura de las aleaciones de titanio, niobio y estaño es mayormente bifásica, se distinguen muy bien una fase  $\alpha$  precipitada intergranular en forma de placas y agujas que crecen hacia el interior del grano y una fase  $\beta$  mayoritaria.
  - Un aumento en contenido de niobio supone un incremento notable de fase  $\beta$ , mientras que con el contenido en fase  $\alpha$  ocurre todo lo contrario y al añadir más niobio, esta fase prácticamente desaparece.
  - Si se aumenta el contenido en estaño no hay un comportamiento uniforme en relación a las fases, sino que depende de la cantidad añadida; con un 2% de estaño se observa un claro incremento de fase  $\alpha$ , y esto supone que la proporción de fase  $\alpha$  y fase  $\beta$  presente en la muestra sea similar; sin embargo, si se añade un 4% de estaño aumenta el contenido en fase  $\beta$  y con ello la relación fase  $\beta$  / fase  $\alpha$ .

Por otro lado, es destacable que el tamaño de grano de estas aleaciones es grueso y se ve incrementado con la presencia de aleantes a la vez que disminuye el contenido en fase  $\alpha$  intergranular y transgranular.

4. La dureza de estas aleaciones es superior a la del titanio puro, la presencia de aleantes la aumenta. Además, cuanto más fase  $\beta$  haya presente en la microestructura de la aleación, más blanda será esta. Por tanto, la aleación de Ti-30Nb que es la que menos contenido de fase  $\beta$  presenta es la más dura.

No se detectan importantes diferencias en la dureza entre la sección superficial y la transversal pese a que la sección superficial tiene mayor porcentaje de porosidad. Los ensayos de microdureza confirman estos resultados.



5. Por medio de los ensayos de potencial a circuito abierto se ha observado que la adición de un 2% de estaño provoca una ligera disminución del potencial, pero la aleación con un 4% de estaño supone un desplazamiento del potencial hacia valores más nobles; finalmente un mayor contenido en niobio hace que de nuevo el potencial se desplace hacia valores más negativos. Como resultado de ello el potencial más noble lo presenta la muestra de Ti-30Nb-4Sn y por el contrario la muestra Ti-30Nb-2Sn es la que muestra los valores más negativos.
6. Con los ensayos de polarización anódica se observa que las diferencias entre las cuatro aleaciones objeto de estudio en cuanto al potencial de corrosión son escasas, pero mucho más significativas en la densidad de corriente. No se observa potencial de rotura de capa pasiva en ninguna de las cuatro aleaciones, lo cual es deseable a la hora de trabajar en medios biológicos. La adición de estaño tiene un efecto beneficioso, la muestra Ti-30Nb-4Sn es la que presenta los mayores valores de resistencia a la polarización y los datos de intensidad de corrosión más bajos con valores más nobles para el potencial de corrosión.
7. Los resultados del ensayo de espectroscopía de impedancias confirman el buen comportamiento de las muestras aleadas con estaño que ya se había constatado en el ensayo de polarización anódica y el efecto negativo que tiene la adición de una mayor cantidad de niobio sin embargo el efecto homogeneizador del estaño tiene un efecto positivo.
8. Todas las aleaciones muestran un buen comportamiento en los ensayos de inmersión, el comportamiento frente a la corrosión de todas las aleaciones y muy especialmente de la aleación más rica en niobio mejora con el tiempo.
9. Los ensayos de desgaste confirman lo ya observado con los ensayos de dureza; el efecto negativo de la adición de niobio, la aleación más rica en niobio que cuenta con más cantidad de fase  $\beta$  y que es la más blanda, es la que presenta menor resistencia al desgaste.
10. Finalmente, señalar que la muestra más aleada es también la que presenta un peor comportamiento no sólo ante desgaste seco sino también frente a los fenómenos combinados de corrosión y desgaste siendo recomendable utilizar la aleación con un 30% de niobio y pequeñas adiciones de estaño.

## 7. Bibliografía



## 7. Bibliografía

- [1] H. M. King, «Uses of Titanium Metal and Titanium Dioxide,» *Geoscience News and Information*, [En línea]. Available: <https://geology.com/articles/titanium/>. [Último acceso: 31 05 2021].
- [2] M. N. Bruno Leandro Pereira, «SciELO Brasil,» 10 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.scielo.br/j/mr/a/zkyrPcsCkbCys8N4ZQzjBvb/?lang=en>. [Último acceso: 31 05 2021].
- [3] R. Storer-Adam, «Double Stone Steel Ltd.,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.doublestonesteel.com/blog/metal-blog/titanium-ti-part-of-a-series-on-metals-commonly-alloyed-with-stainless-steel-to-form-varying-grades-of-material/>.
- [4] L. J. J. M. J. Fojt, «Corrosion behaviour of porous Ti–39Nb alloy for biomedical applications,» *ScienceDirect*, 2013.
- [5] J. W. M. N. L. Z. P. C. C. Torres-Sánchez, «Addition of Sn to TiNb alloys to improve mechanical performance and,» *Elsevier*, 2020.
- [6] D. P. R. C. Dan Gheorghe, «ResearchGate,» enero 2019. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/331833950\\_Microstructure\\_development\\_in\\_titanium\\_and\\_its\\_alloys\\_used\\_for\\_medical\\_applications/link/5e7e302c299bf1a91b82695a/download](https://www.researchgate.net/publication/331833950_Microstructure_development_in_titanium_and_its_alloys_used_for_medical_applications/link/5e7e302c299bf1a91b82695a/download). [Último acceso: 1 junio 2021].
- [7] A. P. M. C. T. W. M. Z. W. S. J. M. Bonisch, «Thermal stability and latent heat of Nb-rich martensitic Ti-Nb alloys,» *Journal of Alloys and Compounds. Elsevier* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.108>, 2016.
- [8] J. D. P. P. S. Zhigang Zak Fang, «Powder metallurgy of titanium-past, present and future,» Taylor & Francis Online, 28 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1080/09506608.2017.1366003>. [Último acceso: 1 junio 2021].
- [9] J. R. Sin, «Investigation of the Corrosion and Tribocorrosión Behaviour of Metallic Biomaterials,» *Tesis de doctorado*, 2015 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:990196/FULLTEXT01.pdf>.
- [10] Asm International Handbook Committee & Davis, J. R., «Metals Handbook,» 1999.
- [11] A. Nanakoudis, «Thermo Fisher Scientific,» 28 noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.thermofisher.com/blog/microscopy/edx-analysis-with-sem-how-does-it-work/>. [Último acceso: 19 junio 2021].



- 
- [12] Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA, [En línea]. Available: <https://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/difractometra-de-rayos-x-polvo>. [Último acceso: 19 junio 2021].
- [13] A. Peroff, «PINEResearch,» 2 febrero 2021. [En línea]. Available: [https://pineresearch.com/shop/kb/software/methods-and-techniques/basic-methods/open-circuit-potential-ocp/#:~:text=Open%20Circuit%20Potential%20\(OCP\)%20is,which%20other%20experiments%20are%20based..](https://pineresearch.com/shop/kb/software/methods-and-techniques/basic-methods/open-circuit-potential-ocp/#:~:text=Open%20Circuit%20Potential%20(OCP)%20is,which%20other%20experiments%20are%20based..) [Último acceso: 2 junio 2021].
- [14] Corrosionpedia, 5 enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.corrosionpedia.com/definition/96/anodic-polarization#:~:text=Anodic%20polarization%20refers%20to%20the,electrochemical%20oxidation%20or%20anodic%20reaction..> [Último acceso: 2 junio 2021].
- [15] K. M. Rajiv Kohli, «Chapter 3 - Methods for Assessing Surface Cleanliness <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816081-7.00003-6>,» *Elsevier*, vol. 12, 2019.
- [16] PalmSens Compact Electrochemical Interfaces, «Corrosion Potential,» [En línea]. Available: <https://www.palmsenscorrosion.com/knowledgebase/corrosion-potential/>. [Último acceso: 5 junio 2021].
- [17] A. Vieira, L. Rocha, N. Papageorgiou y S. Mischeler, «Mechanical and Electrochemical Deterioratio Mechanisms in the Tribocorrosion of Alloys in NaCl and in NaNO<sub>3</sub> Solutions,» 2012, pp. 26-35.
- [18] A. M. S. Mischeler, «Tribocorrosion,» *Encyclopedia of Intergacial Chemistry, Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13424-9>*, 2018.

## 8. Anexos



## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1. Datos sobre la porosidad de las muestras

Área total estudiada de las aleaciones de titanio		
Ti-Nb30	Muestra 1	1222850,94 $\mu\text{m}^2$
	Muestra 2	307982,479 $\mu\text{m}^2$
Ti-30Nb-2Sn	Muestra 3	894580,29 $\mu\text{m}^2$
	Muestra 4	448964,249 $\mu\text{m}^2$
Ti-30Nb-4Sn	Muestra 5	1222850,94 $\mu\text{m}^2$
	Muestra 6	307982,479 $\mu\text{m}^2$
Ti-35Nb-4Sn	Muestra 7	12287892,2 $\mu\text{m}^2$
	Muestra 8	6166941,48 $\mu\text{m}^2$

Poros de la muestra 1 de la aleación de Ti-Nb30							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,87072901	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
2	223,521959	$\mu\text{m}^2$	27,5782919	$\mu\text{m}$	29,2202881	$\mu\text{m}$	0,621317
3	92,1299211	$\mu\text{m}^2$	15,8082049	$\mu\text{m}$	18,7596517	$\mu\text{m}$	0,859348
5	13,9944192	$\mu\text{m}^2$	6,34587573	$\mu\text{m}$	7,31142124	$\mu\text{m}$	0,792018
6	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
7	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	6,24626443	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,682015
8	46,2593266	$\mu\text{m}^2$	11,2899685	$\mu\text{m}$	13,2930317	$\mu\text{m}$	0,855904
9	31,8761753	$\mu\text{m}^2$	10,1173015	$\mu\text{m}$	11,0346235	$\mu\text{m}$	0,699368
10	24,8789657	$\mu\text{m}^2$	8,56728568	$\mu\text{m}$	9,74856166	$\mu\text{m}$	0,778467
11	17,493022	$\mu\text{m}^2$	7,38670178	$\mu\text{m}$	8,17441712	$\mu\text{m}$	0,72649
12	118,175089	$\mu\text{m}^2$	18,0632367	$\mu\text{m}$	21,2464997	$\mu\text{m}$	0,863155
13	93,6848555	$\mu\text{m}^2$	16,8812846	$\mu\text{m}$	18,9172975	$\mu\text{m}$	0,752114
14	162,879481	$\mu\text{m}^2$	21,6680235	$\mu\text{m}$	24,943511	$\mu\text{m}$	0,742963
16	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
17	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,04304197	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,779838
18	12,8282169	$\mu\text{m}^2$	6,19880305	$\mu\text{m}$	7,00015394	$\mu\text{m}$	0,740986
19	98,3496625	$\mu\text{m}^2$	17,272933	$\mu\text{m}$	19,3825463	$\mu\text{m}$	0,73658
20	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,91261034	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
21	16,7155558	$\mu\text{m}^2$	8,36415064	$\mu\text{m}$	7,99070028	$\mu\text{m}$	0,523033
22	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
23	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,06925236	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,845069
24	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,502655
25	43,1494559	$\mu\text{m}^2$	12,6678167	$\mu\text{m}$	12,8384341	$\mu\text{m}$	0,589889
26	244,124854	$\mu\text{m}^2$	28,5507501	$\mu\text{m}$	30,5372835	$\mu\text{m}$	0,490743
27	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
28	32,2649094	$\mu\text{m}^2$	10,0056028	$\mu\text{m}$	11,1017031	$\mu\text{m}$	0,730008



30	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
31	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,71426668	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,765838
32	29,5437728	$\mu\text{m}^2$	9,67707755	$\mu\text{m}$	10,6232489	$\mu\text{m}$	0,731132
33	102,625736	$\mu\text{m}^2$	17,6027205	$\mu\text{m}$	19,7994236	$\mu\text{m}$	0,749582
34	38,0959167	$\mu\text{m}^2$	12,0597538	$\mu\text{m}$	12,0632302	$\mu\text{m}$	0,608947
35	30,709973	$\mu\text{m}^2$	10,0327999	$\mu\text{m}$	10,8308904	$\mu\text{m}$	0,713017
36	36,9297145	$\mu\text{m}^2$	14,2335463	$\mu\text{m}$	11,8771531	$\mu\text{m}$	0,380112
37	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
38	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
39	13,216951	$\mu\text{m}^2$	7,7695032	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,505553
40	62,1974143	$\mu\text{m}^2$	13,2038615	$\mu\text{m}$	15,4138302	$\mu\text{m}$	0,822043
41	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
42	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
43	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
44	42,7607238	$\mu\text{m}^2$	15,5020942	$\mu\text{m}$	12,7804735	$\mu\text{m}$	0,395586
45	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	5,17356477	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,634681
46	143,831523	$\mu\text{m}^2$	22,1346725	$\mu\text{m}$	23,4396665	$\mu\text{m}$	0,491574
48	171,042891	$\mu\text{m}^2$	25,5049427	$\mu\text{m}$	25,5609451	$\mu\text{m}$	0,436343
49	9,71834623	$\mu\text{m}^2$	5,43990698	$\mu\text{m}$	6,09285103	$\mu\text{m}$	0,766682
50	27,2113682	$\mu\text{m}^2$	9,16741774	$\mu\text{m}$	10,1952903	$\mu\text{m}$	0,729374
52	89,4087845	$\mu\text{m}^2$	15,7899969	$\mu\text{m}$	18,480534	$\mu\text{m}$	0,795298
53	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
54	91,741187	$\mu\text{m}^2$	18,6196718	$\mu\text{m}$	18,7200312	$\mu\text{m}$	0,538895
55	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,26759602	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,714476
56	15,1606195	$\mu\text{m}^2$	6,78688775	$\mu\text{m}$	7,6099691	$\mu\text{m}$	0,730621
57	185,814777	$\mu\text{m}^2$	24,9537922	$\mu\text{m}$	26,6418596	$\mu\text{m}$	0,621301
60	9,71834623	$\mu\text{m}^2$	5,27552034	$\mu\text{m}$	6,09285103	$\mu\text{m}$	0,813059
61	56,755141	$\mu\text{m}^2$	13,8980283	$\mu\text{m}$	14,72404	$\mu\text{m}$	0,662428
62	52,0903359	$\mu\text{m}^2$	13,0045249	$\mu\text{m}$	14,1059699	$\mu\text{m}$	0,650714
63	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,21779037	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,714476
65	26,4339021	$\mu\text{m}^2$	9,35685923	$\mu\text{m}$	10,0485877	$\mu\text{m}$	0,685223
66	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,30947735	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,687235
67	20,2141606	$\mu\text{m}^2$	8,50476459	$\mu\text{m}$	8,78723462	$\mu\text{m}$	0,632505
68	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,48178831	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,798721
69	20,9916268	$\mu\text{m}^2$	7,70086141	$\mu\text{m}$	8,95462561	$\mu\text{m}$	0,822234
70	31,8761753	$\mu\text{m}^2$	10,5934095	$\mu\text{m}$	11,0346235	$\mu\text{m}$	0,639474
71	21,769095	$\mu\text{m}^2$	9,36775447	$\mu\text{m}$	9,11894425	$\mu\text{m}$	0,538729
72	445,877718	$\mu\text{m}^2$	47,2628444	$\mu\text{m}$	41,2697927	$\mu\text{m}$	0,417606
74	103,403202	$\mu\text{m}^2$	17,8975479	$\mu\text{m}$	19,8742801	$\mu\text{m}$	0,694915
75	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,56006802	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,775535
76	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
77	49,3691973	$\mu\text{m}^2$	11,8511341	$\mu\text{m}$	13,7325895	$\mu\text{m}$	0,801328
78	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805

79	106,513072	μm <sup>2</sup>	18,524251	μm	20,1709277	μm	0,72085
80	76,9693016	μm <sup>2</sup>	15,7197409	μm	17,1468027	μm	0,717937
81	325,370227	μm <sup>2</sup>	31,3487055	μm	35,2543985	μm	0,719447
82	6,60847552	μm <sup>2</sup>	4,56484973	μm	5,02429384	μm	0,685223
83	32,6536435	μm <sup>2</sup>	11,1190531	μm	11,1683807	μm	0,594369
84	7,77467778	μm <sup>2</sup>	4,84713375	μm	5,44961208	μm	0,735509
85	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,23677569	μm	2,43714041	μm	0,644916
86	8,94087805	μm <sup>2</sup>	5,04304197	μm	5,84405682	μm	0,815285
87	3,4986048	μm <sup>2</sup>	3,63590637	μm	3,65571062	μm	0,557534
88	6,9972096	μm <sup>2</sup>	4,6827471	μm	5,16995636	μm	0,705994
89	27,6001023	μm <sup>2</sup>	8,79419141	μm	10,2678566	μm	0,832974
90	85,9101797	μm <sup>2</sup>	16,5652788	μm	18,1153486	μm	0,684453
91	2,72113662	μm <sup>2</sup>	2,79802934	μm	3,22403366	μm	0,7502
92	15,9380877	μm <sup>2</sup>	6,86298238	μm	7,80265696	μm	0,804048
93	5,05353916	μm <sup>2</sup>	4,79697406	μm	4,39361831	μm	0,449162
95	30,321239	μm <sup>2</sup>	11,8605412	μm	10,7621206	μm	0,505333
96	24,8789657	μm <sup>2</sup>	8,44713205	μm	9,74856166	μm	0,820202
97	9,32961214	μm <sup>2</sup>	5,38775706	μm	5,96975107	μm	0,718683
98	63,7523506	μm <sup>2</sup>	19,8933903	μm	15,6053139	μm	0,358303
99	1,16620227	μm <sup>2</sup>	1,83991068	μm	2,11062538	μm	0,685805
100	6,21974143	μm <sup>2</sup>	4,31740167	μm	4,87428083	μm	0,762108
101	3,4986048	μm <sup>2</sup>	3,30947735	μm	3,65571062	μm	0,687235
102	6,21974143	μm <sup>2</sup>	4,31740167	μm	4,87428083	μm	0,762108
103	7,38594369	μm <sup>2</sup>	4,71426668	μm	5,31162443	μm	0,765838
104	5,44227325	μm <sup>2</sup>	4,23607644	μm	4,55947312	μm	0,647359
105	23,3240313	μm <sup>2</sup>	8,76806645	μm	9,43900455	μm	0,669594
106	8,55214396	μm <sup>2</sup>	5,22337042	μm	5,71560025	μm	0,69815
107	14,7718854	μm <sup>2</sup>	6,90963767	μm	7,51177196	μm	0,711887
108	169,487957	μm <sup>2</sup>	25,8433391	μm	25,4444938	μm	0,378424
109	64,9185529	μm <sup>2</sup>	13,6567949	μm	15,747398	μm	0,792605
110	119,730023	μm <sup>2</sup>	19,3553192	μm	21,3858215	μm	0,712596
111	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
112	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
113	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
114	19,0479584	μm <sup>2</sup>	7,41857739	μm	8,52999145	μm	0,791067
115	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
116	38,4846508	μm <sup>2</sup>	10,6234449	μm	12,1246211	μm	0,741142
117	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,42737272	μm	3,85345705	μm	0,735509
118	17,493022	μm <sup>2</sup>	7,04234072	μm	8,17441712	μm	0,806145
119	4,66480707	μm <sup>2</sup>	3,70634236	μm	4,22125076	μm	0,743379
120	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
121	34,986046	μm <sup>2</sup>	11,2906406	μm	11,5603731	μm	0,636824
122	4,66480707	μm <sup>2</sup>	3,75614801	μm	4,22125076	μm	0,743379



123	15,5493536	$\mu\text{m}^2$	8,22260859	$\mu\text{m}$	7,7069161	$\mu\text{m}$	0,504773
124	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
125	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
126	25,6564339	$\mu\text{m}^2$	9,05957151	$\mu\text{m}$	9,8997108	$\mu\text{m}$	0,711496
127	40,4283193	$\mu\text{m}^2$	10,7230562	$\mu\text{m}$	12,4270274	$\mu\text{m}$	0,801323
128	18,6592243	$\mu\text{m}^2$	7,38705582	$\mu\text{m}$	8,44250353	$\mu\text{m}$	0,761618
129	66,4734872	$\mu\text{m}^2$	13,9800816	$\mu\text{m}$	15,9348733	$\mu\text{m}$	0,768752
130	31,8761753	$\mu\text{m}^2$	10,2614138	$\mu\text{m}$	11,0346235	$\mu\text{m}$	0,699368
131	26,045168	$\mu\text{m}^2$	8,72848396	$\mu\text{m}$	9,97442727	$\mu\text{m}$	0,786046
132	27,9888364	$\mu\text{m}^2$	9,10565074	$\mu\text{m}$	10,3399107	$\mu\text{m}$	0,803513
133	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
134	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,87072901	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,685805
135	29,1550387	$\mu\text{m}^2$	9,49920137	$\mu\text{m}$	10,5531289	$\mu\text{m}$	0,755761
136	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,28884701	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,610876
137	152,772401	$\mu\text{m}^2$	21,5316581	$\mu\text{m}$	24,1572138	$\mu\text{m}$	0,722631
139	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	7,28592635	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,507745
140	43,1494559	$\mu\text{m}^2$	10,9263592	$\mu\text{m}$	12,8384341	$\mu\text{m}$	0,821221
141	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,68805629	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,76937
142	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	6,65254851	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,519802
143	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
144	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	5,04304197	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,449177
146	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
147	25,6564339	$\mu\text{m}^2$	10,1313431	$\mu\text{m}$	9,8997108	$\mu\text{m}$	0,508532
148	31,4874412	$\mu\text{m}^2$	10,2466081	$\mu\text{m}$	10,9671319	$\mu\text{m}$	0,703358
149	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	3,03050771	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,554879
150	43,53819	$\mu\text{m}^2$	11,2377686	$\mu\text{m}$	12,8961346	$\mu\text{m}$	0,796285
151	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
152	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
153	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,31740167	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,762108
154	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
155	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,87072901	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
156	13,9944192	$\mu\text{m}^2$	6,34822	$\mu\text{m}$	7,31142124	$\mu\text{m}$	0,808348
157	28,3775705	$\mu\text{m}^2$	9,04495585	$\mu\text{m}$	10,4114688	$\mu\text{m}$	0,803018
158	10,8845485	$\mu\text{m}^2$	5,6225797	$\mu\text{m}$	6,44806732	$\mu\text{m}$	0,792492
159	36,1522483	$\mu\text{m}^2$	10,6109835	$\mu\text{m}$	11,7514668	$\mu\text{m}$	0,737817
160	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	5,83677199	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,803786
161	51,7016019	$\mu\text{m}^2$	11,9634589	$\mu\text{m}$	14,0532379	$\mu\text{m}$	0,839186
162	61,8086802	$\mu\text{m}^2$	13,3202447	$\mu\text{m}$	15,3655867	$\mu\text{m}$	0,79021
163	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	7,57915361	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,758866
164	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,61465538	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,644916
165	151,994933	$\mu\text{m}^2$	22,5224364	$\mu\text{m}$	24,0956669	$\mu\text{m}$	0,678263
166	17,493022	$\mu\text{m}^2$	7,2123	$\mu\text{m}$	8,17441712	$\mu\text{m}$	0,757986
167	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,771628

168	45,0931263	$\mu\text{m}^2$	11,7624001	$\mu\text{m}$	13,1244045	$\mu\text{m}$	0,751521
169	118,175089	$\mu\text{m}^2$	21,8371187	$\mu\text{m}$	21,2464997	$\mu\text{m}$	0,531623
172	181,149972	$\mu\text{m}^2$	25,0058141	$\mu\text{m}$	26,3053175	$\mu\text{m}$	0,642114
173	68,8058898	$\mu\text{m}^2$	14,0053364	$\mu\text{m}$	16,2120227	$\mu\text{m}$	0,80308
174	25,2676998	$\mu\text{m}^2$	8,70015275	$\mu\text{m}$	9,82442826	$\mu\text{m}$	0,751399
175	24,1014975	$\mu\text{m}^2$	8,40064078	$\mu\text{m}$	9,59503224	$\mu\text{m}$	0,812276
176	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,754575
177	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
178	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,48108707	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,775535
179	13,9944192	$\mu\text{m}^2$	6,8366934	$\mu\text{m}$	7,31142124	$\mu\text{m}$	0,674419
180	85,1327115	$\mu\text{m}^2$	16,170192	$\mu\text{m}$	18,0331933	$\mu\text{m}$	0,748714
181	31,0987071	$\mu\text{m}^2$	10,4827189	$\mu\text{m}$	10,8992242	$\mu\text{m}$	0,653785
182	59,8650117	$\mu\text{m}^2$	14,4259462	$\mu\text{m}$	15,1220591	$\mu\text{m}$	0,642776
183	68,8058898	$\mu\text{m}^2$	14,3226984	$\mu\text{m}$	16,2120227	$\mu\text{m}$	0,768484
184	232,462839	$\mu\text{m}^2$	26,6326206	$\mu\text{m}$	29,7989637	$\mu\text{m}$	0,657447
185	74,248165	$\mu\text{m}^2$	14,9412046	$\mu\text{m}$	16,8409761	$\mu\text{m}$	0,757651
186	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	4,94674505	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,735509
187	60,2537458	$\mu\text{m}^2$	12,9046736	$\mu\text{m}$	15,1710767	$\mu\text{m}$	0,823719
188	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,46925406	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,673765
189	49,3691973	$\mu\text{m}^2$	12,0470403	$\mu\text{m}$	13,7325895	$\mu\text{m}$	0,789145
190	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	4,95228167	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,449162
191	86,2989138	$\mu\text{m}^2$	16,9170867	$\mu\text{m}$	18,1562872	$\mu\text{m}$	0,658008
192	42,3719897	$\mu\text{m}^2$	10,7934902	$\mu\text{m}$	12,7222469	$\mu\text{m}$	0,839849
193	50,1466655	$\mu\text{m}^2$	12,0169909	$\mu\text{m}$	13,8402977	$\mu\text{m}$	0,792992
194	15,1606195	$\mu\text{m}^2$	7,26210565	$\mu\text{m}$	7,6099691	$\mu\text{m}$	0,656921
195	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,71426668	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,765838
196	27,9888364	$\mu\text{m}^2$	9,02432551	$\mu\text{m}$	10,3399107	$\mu\text{m}$	0,792018
197	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
198	37,7071826	$\mu\text{m}^2$	10,5085078	$\mu\text{m}$	12,0015252	$\mu\text{m}$	0,779021
199	58,3100774	$\mu\text{m}^2$	13,1304152	$\mu\text{m}$	14,9243767	$\mu\text{m}$	0,73541
200	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
201	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
202	40,8170534	$\mu\text{m}^2$	11,3538857	$\mu\text{m}$	12,4866302	$\mu\text{m}$	0,742961
203	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,666414
204	40,4283193	$\mu\text{m}^2$	10,695371	$\mu\text{m}$	12,4270274	$\mu\text{m}$	0,825086
205	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
206	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
207	241,403717	$\mu\text{m}^2$	29,5401924	$\mu\text{m}$	30,3666141	$\mu\text{m}$	0,560615
208	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,75614801	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,805327
209	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
210	55,9776728	$\mu\text{m}^2$	12,7657359	$\mu\text{m}$	14,6228425	$\mu\text{m}$	0,803513
211	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,51260664	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,791137
212	58,6988095	$\mu\text{m}^2$	12,8384281	$\mu\text{m}$	14,9740423	$\mu\text{m}$	0,822151



213	24,4902316	$\mu\text{m}^2$	8,43207234	$\mu\text{m}$	9,67210098	$\mu\text{m}$	0,795018
214	29,9325069	$\mu\text{m}^2$	9,50805238	$\mu\text{m}$	10,6929108	$\mu\text{m}$	0,765361
215	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,24400076	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,761618
216	27,6001023	$\mu\text{m}^2$	9,27554001	$\mu\text{m}$	10,2678566	$\mu\text{m}$	0,683031
217	47,0367948	$\mu\text{m}^2$	11,5894784	$\mu\text{m}$	13,4042723	$\mu\text{m}$	0,792624
218	54,8114726	$\mu\text{m}^2$	12,8017719	$\mu\text{m}$	14,4697211	$\mu\text{m}$	0,778789
219	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
220	22,5465632	$\mu\text{m}^2$	8,00377577	$\mu\text{m}$	9,28035455	$\mu\text{m}$	0,834327
221	24,4902316	$\mu\text{m}^2$	9,18148734	$\mu\text{m}$	9,67210098	$\mu\text{m}$	0,656437
222	95,6285259	$\mu\text{m}^2$	18,2568186	$\mu\text{m}$	19,1125277	$\mu\text{m}$	0,603036
223	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
224	24,8789657	$\mu\text{m}^2$	9,45821272	$\mu\text{m}$	9,74856166	$\mu\text{m}$	0,596207
225	15,9380877	$\mu\text{m}^2$	6,99253507	$\mu\text{m}$	7,80265696	$\mu\text{m}$	0,734488
226	14,7718854	$\mu\text{m}^2$	6,82580416	$\mu\text{m}$	7,51177196	$\mu\text{m}$	0,698733
227	96,7947262	$\mu\text{m}^2$	16,4144657	$\mu\text{m}$	19,2287149	$\mu\text{m}$	0,844504
228	248,400927	$\mu\text{m}^2$	28,4324267	$\mu\text{m}$	30,8035677	$\mu\text{m}$	0,624465
229	195,921857	$\mu\text{m}^2$	26,2489331	$\mu\text{m}$	27,3568347	$\mu\text{m}$	0,649223
230	37,7071826	$\mu\text{m}^2$	10,5957237	$\mu\text{m}$	12,0015252	$\mu\text{m}$	0,726169
231	37,7071826	$\mu\text{m}^2$	10,3374204	$\mu\text{m}$	12,0015252	$\mu\text{m}$	0,81694
233	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,47944405	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,733056
235	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502
236	35,3747801	$\mu\text{m}^2$	11,1333247	$\mu\text{m}$	11,6244204	$\mu\text{m}$	0,551002
238	54,8114726	$\mu\text{m}^2$	13,7011659	$\mu\text{m}$	14,4697211	$\mu\text{m}$	0,675562
239	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,93882073	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,719226
240	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,18697004	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,483687
241	43,1494559	$\mu\text{m}^2$	11,3022399	$\mu\text{m}$	12,8384341	$\mu\text{m}$	0,755424
242	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012
243	30,709973	$\mu\text{m}^2$	10,6741746	$\mu\text{m}$	10,8308904	$\mu\text{m}$	0,608698
244	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,12610339	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,682969
245	60,6424799	$\mu\text{m}^2$	16,9891569	$\mu\text{m}$	15,2199382	$\mu\text{m}$	0,18423
246	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	5,80525242	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,786073
250	41,9832556	$\mu\text{m}^2$	10,8676746	$\mu\text{m}$	12,6637543	$\mu\text{m}$	0,832144
251	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
252	73,4706968	$\mu\text{m}^2$	14,4592359	$\mu\text{m}$	16,752572	$\mu\text{m}$	0,805979
253	36,1522483	$\mu\text{m}^2$	11,3465249	$\mu\text{m}$	11,7514668	$\mu\text{m}$	0,658051
254	33,0423776	$\mu\text{m}^2$	9,75222207	$\mu\text{m}$	11,2346622	$\mu\text{m}$	0,781478
255	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
256	146,163926	$\mu\text{m}^2$	21,0352078	$\mu\text{m}$	23,6289539	$\mu\text{m}$	0,734894
257	44,3156582	$\mu\text{m}^2$	11,0866654	$\mu\text{m}$	13,0107696	$\mu\text{m}$	0,853436
258	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	7,72149175	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,83746
259	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
260	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
261	30,321239	$\mu\text{m}^2$	9,54891901	$\mu\text{m}$	10,7621206	$\mu\text{m}$	0,750372

262	15,9380877	μm <sup>2</sup>	6,74508701	μm	7,80265696	μm	0,819687
263	239,071315	μm <sup>2</sup>	28,9891119	μm	30,2195594	μm	0,656161
264	10,1070803	μm <sup>2</sup>	5,5229684	μm	6,21351272	μm	0,735885
265	33,4311097	μm <sup>2</sup>	13,0617634	μm	11,3005557	μm	0,431564
266	69,1946239	μm <sup>2</sup>	17,4141131	μm	16,2577559	μm	0,514419
267	15,9380877	μm <sup>2</sup>	7,16249435	μm	7,80265696	μm	0,690609
268	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,23677569	μm	2,43714041	μm	0,644916
269	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,11062538	μm	0,589049
270	71,9157605	μm <sup>2</sup>	14,3134254	μm	16,5743478	μm	0,796021
271	172,597828	μm <sup>2</sup>	22,5845135	μm	25,6768682	μm	0,741068
272	12,8282169	μm <sup>2</sup>	6,51026238	μm	7,00015394	μm	0,691693
273	70,3608261	μm <sup>2</sup>	14,4850949	μm	16,3941874	μm	0,77881
274	55,9776728	μm <sup>2</sup>	16,5526614	μm	14,6228425	μm	0,455746
275	44,3156582	μm <sup>2</sup>	11,2866921	μm	13,0107696	μm	0,788382
276	5,83100734	μm <sup>2</sup>	4,15301302	μm	4,71950327	μm	0,768939
277	50,9241337	μm <sup>2</sup>	11,867682	μm	13,9471739	μm	0,85813
278	28,3775705	μm <sup>2</sup>	8,94352035	μm	10,4114688	μm	0,814673
279	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,43714041	μm	0,785398
280	25,6564339	μm <sup>2</sup>	8,5119074	μm	9,8997108	μm	0,815054
281	166,378086	μm <sup>2</sup>	23,0898508	μm	25,2099772	μm	0,710384
283	39,262119	μm <sup>2</sup>	11,6130331	μm	12,246479	μm	0,644263
284	3,4986048	μm <sup>2</sup>	3,12680263	μm	3,65571062	μm	0,785398
285	1,94366845	μm <sup>2</sup>	2,40116233	μm	2,72480504	μm	0,708944
286	14,7718854	μm <sup>2</sup>	8,40578736	μm	7,51177196	μm	0,469273
287	115,842685	μm <sup>2</sup>	19,3480324	μm	21,0357838	μm	0,674217
288	16,7155558	μm <sup>2</sup>	6,99019081	μm	7,99070028	μm	0,756394
289	19,8254265	μm <sup>2</sup>	7,74500642	μm	8,70233299	μm	0,745828
290	147,330128	μm <sup>2</sup>	27,6761069	μm	23,7230306	μm	0,41557
291	22,5465632	μm <sup>2</sup>	8,06855111	μm	9,28035455	μm	0,802213
292	18,6592243	μm <sup>2</sup>	7,41857739	μm	8,44250353	μm	0,774923
293	232,074105	μm <sup>2</sup>	29,7343244	μm	29,7740389	μm	0,512801
296	50,9241337	μm <sup>2</sup>	12,6816003	μm	13,9471739	μm	0,713256
297	4,27607298	μm <sup>2</sup>	3,52366964	μm	4,04154038	μm	0,768196
298	14,3831513	μm <sup>2</sup>	6,60421503	μm	7,41227268	μm	0,739718
299	23,7127654	μm <sup>2</sup>	8,43207234	μm	9,51733743	μm	0,769779
300	13,9944192	μm <sup>2</sup>	6,31670042	μm	7,31142124	μm	0,792018
301	9,32961214	μm <sup>2</sup>	5,22571469	μm	5,96975107	μm	0,780536
302	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
303	77,7467678	μm <sup>2</sup>	17,3259831	μm	17,2331865	μm	0,544471
304	153,161135	μm <sup>2</sup>	21,5089455	μm	24,1879293	μm	0,675739
305	31,8761753	μm <sup>2</sup>	9,38462038	μm	11,0346235	μm	0,85441
306	23,7127654	μm <sup>2</sup>	8,18313211	μm	9,51733743	μm	0,811845
307	4,27607298	μm <sup>2</sup>	3,59176137	μm	4,04154038	μm	0,741142

308	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,359283	μm	3,85345705	μm	0,763595
309	22,1578291	μm <sup>2</sup>	8,2977151	μm	9,20000344	μm	0,730492
310	48,9804652	μm <sup>2</sup>	11,6760223	μm	13,6784174	μm	0,834598
311	185,814777	μm <sup>2</sup>	28,8059631	μm	26,6418596	μm	0,476078
312	7,77467778	μm <sup>2</sup>	4,96171674	μm	5,44961208	μm	0,691019
313	32,2649094	μm <sup>2</sup>	9,51748745	μm	11,1017031	μm	0,824999
314	6,21974143	μm <sup>2</sup>	4,84713375	μm	4,87428083	μm	0,588407
315	7,77467778	μm <sup>2</sup>	4,9119111	μm	5,44961208	μm	0,691019
316	128,670902	μm <sup>2</sup>	20,5120844	μm	22,1699425	μm	0,474794
317	78,1355019	μm <sup>2</sup>	15,6610122	μm	17,2762154	μm	0,732347
318	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
319	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
320	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
321	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,67552203	μm	1,72331945	μm	0,539012
322	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,46925406	μm	2,11062538	μm	0,404259
323	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
324	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
325	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,67552203	μm	1,72331945	μm	0,539012
326	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,18697004	μm	2,11062538	μm	0,483687
327	1,94366845	μm <sup>2</sup>	3,75631203	μm	2,72480504	μm	0,299451
328	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,67552203	μm	1,72331945	μm	0,539012
329	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
330	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
331	111,177879	μm <sup>2</sup>	20,9563068	μm	20,6078933	μm	0,431583
332	3,10987071	μm <sup>2</sup>	3,14508871	μm	3,44663691	μm	0,670733
333	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,11062538	μm	0,589049
334	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
335	244,124854	μm <sup>2</sup>	29,7625176	μm	30,5372835	μm	0,4818
336	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,11062538	μm	0,589049
337	82,800309	μm <sup>2</sup>	21,1231997	μm	17,7844471	μm	0,268743
339	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,56555098	μm	2,43714041	μm	0,502655
340	175,707698	μm <sup>2</sup>	27,3399068	μm	25,9071603	μm	0,462083
341	9,32961214	μm <sup>2</sup>	5,24400076	μm	5,96975107	μm	0,761618
345	10,8845485	μm <sup>2</sup>	16,020823	μm	6,44806732	μm	0,094651
346	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
347	5,44227325	μm <sup>2</sup>	7,69735901	μm	4,55947312	μm	0,211688
348	5,05353916	μm <sup>2</sup>	3,75614801	μm	4,39361831	μm	0,805327
349	11,2732806	μm <sup>2</sup>	5,95692562	μm	6,56220227	μm	0,720794
350	2,72113662	μm <sup>2</sup>	4,24930995	μm	3,22403366	μm	0,343612
351	8,55214396	μm <sup>2</sup>	4,87865332	μm	5,71560025	μm	0,830725
352	27,9888364	μm <sup>2</sup>	15,8309175	μm	10,3399107	μm	0,241464
353	1,16620227	μm <sup>2</sup>	1,83991068	μm	2,11062538	μm	0,685805
354	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,11062538	μm	0,589049

355	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502
356	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
357	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	3,75631203	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,299451
358	70,7495602	$\mu\text{m}^2$	15,2281531	$\mu\text{m}$	16,4394125	$\mu\text{m}$	0,698697
359	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
360	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
361	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
362	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012
363	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
364	17,1042899	$\mu\text{m}^2$	7,04234072	$\mu\text{m}$	8,08308076	$\mu\text{m}$	0,788231
365	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
366	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,589049
367	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,87072901	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
368	33,0423776	$\mu\text{m}^2$	9,67098486	$\mu\text{m}$	11,2346622	$\mu\text{m}$	0,806844
369	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,619482
370	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,38217701	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,709975
371	15,5493536	$\mu\text{m}^2$	6,71356543	$\mu\text{m}$	7,7069161	$\mu\text{m}$	0,784437
372	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
373	92,5186552	$\mu\text{m}^2$	22,174445	$\mu\text{m}$	18,7991862	$\mu\text{m}$	0,398161
374	23,3240313	$\mu\text{m}^2$	8,49127706	$\mu\text{m}$	9,43900455	$\mu\text{m}$	0,740958
375	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,01152239	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,760121
376	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
377	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	6,21708913	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,682015
378	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,03773078	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,778467
379	34,2085778	$\mu\text{m}^2$	10,0810854	$\mu\text{m}$	11,4312025	$\mu\text{m}$	0,794247
380	38,8733849	$\mu\text{m}^2$	10,6084732	$\mu\text{m}$	12,1857021	$\mu\text{m}$	0,770503
381	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,39802565	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,830802
382	35,3747801	$\mu\text{m}^2$	10,2882449	$\mu\text{m}$	11,6244204	$\mu\text{m}$	0,766408
383	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,59106012	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,746888
384	62,5861483	$\mu\text{m}^2$	13,6899127	$\mu\text{m}$	15,4619236	$\mu\text{m}$	0,740105
385	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,11113169	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,794672
387	12,8282169	$\mu\text{m}^2$	6,16320301	$\mu\text{m}$	7,00015394	$\mu\text{m}$	0,779091
388	19,4366925	$\mu\text{m}^2$	8,1971657	$\mu\text{m}$	8,61659327	$\mu\text{m}$	0,630967
389	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
390	76,5805676	$\mu\text{m}^2$	26,7385066	$\mu\text{m}$	17,1034498	$\mu\text{m}$	0,241658
393	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,49937314	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,76039
394	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,54988003	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,819298
395	24,4902316	$\mu\text{m}^2$	8,45975748	$\mu\text{m}$	9,67210098	$\mu\text{m}$	0,766304
396	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
397	31,8761753	$\mu\text{m}^2$	9,42353679	$\mu\text{m}$	11,0346235	$\mu\text{m}$	0,842594
398	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
399	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,26689477	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,748017
400	9,71834623	$\mu\text{m}^2$	5,27552034	$\mu\text{m}$	6,09285103	$\mu\text{m}$	0,813059



401	70,3608261	$\mu\text{m}^2$	16,9068395	$\mu\text{m}$	16,3941874	$\mu\text{m}$	0,504986
402	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	5,94901072	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,770504
403	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,54195572	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142

Poros de la muestra 2 de la aleación de Ti-Nb30							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	5,09106052	$\mu\text{m}^2$	4,45397055	$\mu\text{m}$	4,41014664	$\mu\text{m}$	0,560573
2	9,59469029	$\mu\text{m}^2$	6,34997302	$\mu\text{m}$	6,0543062	$\mu\text{m}$	0,539012
3	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	2,09183273	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,571581
4	185,627868	$\mu\text{m}^2$	39,8068779	$\mu\text{m}$	26,6299561	$\mu\text{m}$	0,250098
8	20,3642381	$\mu\text{m}^2$	7,65705041	$\mu\text{m}$	8,82029129	$\mu\text{m}$	0,815117
9	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,40427735	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,643029
10	3,32877026	$\mu\text{m}^2$	3,37502872	$\mu\text{m}$	3,56607789	$\mu\text{m}$	0,666772
11	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,5151864	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,72557
12	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
13	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
14	31,231692	$\mu\text{m}^2$	10,3347075	$\mu\text{m}$	10,9231185	$\mu\text{m}$	0,628858
16	153,12341	$\mu\text{m}^2$	24,4405653	$\mu\text{m}$	24,1863118	$\mu\text{m}$	0,533567
18	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
19	6,75544465	$\mu\text{m}^2$	4,52182988	$\mu\text{m}$	5,08014205	$\mu\text{m}$	0,743837
20	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	2,00181639	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,719226
21	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,88513802	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,743379
22	9,59469029	$\mu\text{m}^2$	7,73461394	$\mu\text{m}$	6,0543062	$\mu\text{m}$	0,351236
23	6,07010978	$\mu\text{m}^2$	4,77573926	$\mu\text{m}$	4,81556426	$\mu\text{m}$	0,59645
24	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,40427735	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,7502
25	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
26	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
27	36,4206567	$\mu\text{m}^2$	11,7809384	$\mu\text{m}$	11,7956737	$\mu\text{m}$	0,590002
28	9,00725954	$\mu\text{m}^2$	5,2617671	$\mu\text{m}$	5,86604166	$\mu\text{m}$	0,748014
29	10,8674539	$\mu\text{m}^2$	6,31509914	$\mu\text{m}$	6,44336613	$\mu\text{m}$	0,57593
30	5,58058515	$\mu\text{m}^2$	4,15577516	$\mu\text{m}$	4,61730746	$\mu\text{m}$	0,746769
31	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	3,00522515	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,58385
32	1,95810051	$\mu\text{m}^2$	2,42350769	$\mu\text{m}$	2,73505609	$\mu\text{m}$	0,755204
33	6,26592003	$\mu\text{m}^2$	4,27362779	$\mu\text{m}$	4,89261768	$\mu\text{m}$	0,807637
34	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,83514672	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,68143
35	3,72038877	$\mu\text{m}^2$	3,60118183	$\mu\text{m}$	3,77001398	$\mu\text{m}$	0,628854
36	28,3924484	$\mu\text{m}^2$	9,50130519	$\mu\text{m}$	10,4147836	$\mu\text{m}$	0,444276
37	45,0362977	$\mu\text{m}^2$	13,5169707	$\mu\text{m}$	13,1168703	$\mu\text{m}$	0,483011
38	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,12259569	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,644916
39	10,4758334	$\mu\text{m}^2$	5,8618147	$\mu\text{m}$	6,32620365	$\mu\text{m}$	0,675134
40	4,50362977	$\mu\text{m}^2$	3,82956544	$\mu\text{m}$	4,14791738	$\mu\text{m}$	0,700421
41	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	2,71436742	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,718683

42	1,56648001	$\mu\text{m}^2$	2,17599775	$\mu\text{m}$	2,44630884	$\mu\text{m}$	0,739839
43	11,5527888	$\mu\text{m}^2$	8,06700305	$\mu\text{m}$	6,64342934	$\mu\text{m}$	0,398888
44	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,52095372	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,647359
45	2,44762514	$\mu\text{m}^2$	3,05784304	$\mu\text{m}$	3,05788505	$\mu\text{m}$	0,590221
46	8,51773491	$\mu\text{m}^2$	5,7639886	$\mu\text{m}$	5,70441313	$\mu\text{m}$	0,534809
47	5,67848927	$\mu\text{m}^2$	4,17347916	$\mu\text{m}$	4,65763257	$\mu\text{m}$	0,754963
48	19,8747135	$\mu\text{m}^2$	7,53421265	$\mu\text{m}$	8,71363318	$\mu\text{m}$	0,822279
49	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,3792817	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,643029
50	22,7139591	$\mu\text{m}^2$	9,34854667	$\mu\text{m}$	9,31526514	$\mu\text{m}$	0,559524
51	17,1333739	$\mu\text{m}^2$	7,40337108	$\mu\text{m}$	8,09040634	$\mu\text{m}$	0,694183
52	4,89525027	$\mu\text{m}^2$	3,90777911	$\mu\text{m}$	4,32450329	$\mu\text{m}$	0,731204
53	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,22315041	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,646815
54	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
55	32,4065535	$\mu\text{m}^2$	15,2607868	$\mu\text{m}$	11,1266725	$\mu\text{m}$	0,294661
57	1,56648001	$\mu\text{m}^2$	2,34100504	$\mu\text{m}$	2,44630884	$\mu\text{m}$	0,644916
58	23,399294	$\mu\text{m}^2$	8,23708549	$\mu\text{m}$	9,45475467	$\mu\text{m}$	0,797817
59	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
60	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
61	75,7784651	$\mu\text{m}^2$	18,2374375	$\mu\text{m}$	17,0146011	$\mu\text{m}$	0,505815
62	7,14706516	$\mu\text{m}^2$	4,68187605	$\mu\text{m}$	5,22531686	$\mu\text{m}$	0,750114
64	29,7631181	$\mu\text{m}^2$	10,2101154	$\mu\text{m}$	10,6632118	$\mu\text{m}$	0,632788
65	35,2457972	$\mu\text{m}^2$	17,4148396	$\mu\text{m}$	11,6038603	$\mu\text{m}$	0,239639
66	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
67	7,63658978	$\mu\text{m}^2$	5,56125078	$\mu\text{m}$	5,40130263	$\mu\text{m}$	0,551914
68	12,4339339	$\mu\text{m}^2$	6,15814567	$\mu\text{m}$	6,89212554	$\mu\text{m}$	0,760855
70	11,0632642	$\mu\text{m}^2$	5,6321288	$\mu\text{m}$	6,50115519	$\mu\text{m}$	0,81275
71	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,3792817	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,535857
72	6,5596344	$\mu\text{m}^2$	4,79242103	$\mu\text{m}$	5,00597529	$\mu\text{m}$	0,644551
73	5,18896465	$\mu\text{m}^2$	3,99810553	$\mu\text{m}$	4,45234818	$\mu\text{m}$	0,733057
74	18,6019478	$\mu\text{m}^2$	7,56043257	$\mu\text{m}$	8,43000909	$\mu\text{m}$	0,723261
75	1,86019438	$\mu\text{m}^2$	2,31600739	$\mu\text{m}$	2,66580244	$\mu\text{m}$	0,765838
76	85,9605841	$\mu\text{m}^2$	15,76168	$\mu\text{m}$	18,1216833	$\mu\text{m}$	0,76642
77	25,1615842	$\mu\text{m}^2$	9,03701426	$\mu\text{m}$	9,80432767	$\mu\text{m}$	0,687734
78	8,02821028	$\mu\text{m}^2$	5,09250085	$\mu\text{m}$	5,53806754	$\mu\text{m}$	0,699368
79	29,665214	$\mu\text{m}^2$	9,20100132	$\mu\text{m}$	10,6456598	$\mu\text{m}$	0,791576
80	23,9867227	$\mu\text{m}^2$	8,90008932	$\mu\text{m}$	9,57269732	$\mu\text{m}$	0,671766
81	18,8956642	$\mu\text{m}^2$	7,73416583	$\mu\text{m}$	8,49630207	$\mu\text{m}$	0,705612
82	33,3856028	$\mu\text{m}^2$	14,11585	$\mu\text{m}$	11,2934982	$\mu\text{m}$	0,315356
83	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
84	19,483093	$\mu\text{m}^2$	7,38275042	$\mu\text{m}$	8,62735769	$\mu\text{m}$	0,848623
85	23,2034837	$\mu\text{m}^2$	8,30120998	$\mu\text{m}$	9,41511171	$\mu\text{m}$	0,776247
86	6,1680139	$\mu\text{m}^2$	4,81628643	$\mu\text{m}$	4,854243	$\mu\text{m}$	0,60607
87	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,771628

88	14,9794632	$\mu\text{m}^2$	6,72152099	$\mu\text{m}$	7,56479156	$\mu\text{m}$	0,767783
89	5,28686877	$\mu\text{m}^2$	5,13001333	$\mu\text{m}$	4,49415563	$\mu\text{m}$	0,439052
90	17,916613	$\mu\text{m}^2$	7,94593369	$\mu\text{m}$	8,27326366	$\mu\text{m}$	0,562471
91	27,7071135	$\mu\text{m}^2$	9,61132205	$\mu\text{m}$	10,288321	$\mu\text{m}$	0,594314
92	3,52458052	$\mu\text{m}^2$	3,43517831	$\mu\text{m}$	3,66946326	$\mu\text{m}$	0,674419
93	5,97220365	$\mu\text{m}^2$	4,26043281	$\mu\text{m}$	4,77657145	$\mu\text{m}$	0,741977
94	5,97220365	$\mu\text{m}^2$	4,20410408	$\mu\text{m}$	4,77657145	$\mu\text{m}$	0,781755
95	74,2119851	$\mu\text{m}^2$	19,2038058	$\mu\text{m}$	16,8378212	$\mu\text{m}$	0,413466
97	2,64343539	$\mu\text{m}^2$	2,90716499	$\mu\text{m}$	3,17784816	$\mu\text{m}$	0,707466
98	6,85334878	$\mu\text{m}^2$	5,94395127	$\mu\text{m}$	5,11682234	$\mu\text{m}$	0,404599
100	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,09759804	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,483687
101	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	1,88513802	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,805327
102	7,63658978	$\mu\text{m}^2$	5,05312395	$\mu\text{m}$	5,40130263	$\mu\text{m}$	0,703992
103	23,399294	$\mu\text{m}^2$	8,55979842	$\mu\text{m}$	9,45475467	$\mu\text{m}$	0,685654
104	6,07010978	$\mu\text{m}^2$	4,28543046	$\mu\text{m}$	4,81556426	$\mu\text{m}$	0,75414
105	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,2085091	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,646815
106	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
107	2,64343539	$\mu\text{m}^2$	2,84686136	$\mu\text{m}$	3,17784816	$\mu\text{m}$	0,764189
108	17,7208047	$\mu\text{m}^2$	8,35198745	$\mu\text{m}$	8,22792942	$\mu\text{m}$	0,461759
110	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,589049
111	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
112	7,93030416	$\mu\text{m}^2$	5,45786342	$\mu\text{m}$	5,50419389	$\mu\text{m}$	0,613635
113	9,30097392	$\mu\text{m}^2$	6,67753705	$\mu\text{m}$	5,9609171	$\mu\text{m}$	0,45951
114	89,4851646	$\mu\text{m}^2$	21,5303576	$\mu\text{m}$	18,4894664	$\mu\text{m}$	0,405656
118	10,2800252	$\mu\text{m}^2$	5,76209017	$\mu\text{m}$	6,26680223	$\mu\text{m}$	0,687814
119	3,72038877	$\mu\text{m}^2$	3,27773073	$\mu\text{m}$	3,77001398	$\mu\text{m}$	0,796495
120	3,62248464	$\mu\text{m}^2$	3,3395267	$\mu\text{m}$	3,7200787	$\mu\text{m}$	0,739718
121	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	2,14182403	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,621228
122	15,2731796	$\mu\text{m}^2$	9,07105196	$\mu\text{m}$	7,63859624	$\mu\text{m}$	0,399597
123	5,48267902	$\mu\text{m}^2$	4,13195377	$\mu\text{m}$	4,57662427	$\mu\text{m}$	0,745301
124	17,6228986	$\mu\text{m}^2$	7,47894216	$\mu\text{m}$	8,20516828	$\mu\text{m}$	0,714017
125	14,9794632	$\mu\text{m}^2$	6,5428106	$\mu\text{m}$	7,56479156	$\mu\text{m}$	0,813091
126	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,77763973	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,673765
127	67,162826	$\mu\text{m}^2$	15,81514	$\mu\text{m}$	16,0181859	$\mu\text{m}$	0,511808
129	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	2,08431903	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,717677

Poros de la muestra 3 de la aleación de Ti-Nb30-Sn2							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	212,968942	$\mu\text{m}^2$	32,1559871	$\mu\text{m}$	33,3404278	$\mu\text{m}$	0,571562
2	13,9325463	$\mu\text{m}^2$	9,76471271	$\mu\text{m}$	8,52762967	$\mu\text{m}$	0,405446
3	12,7951971	$\mu\text{m}^2$	7,08783762	$\mu\text{m}$	8,1721537	$\mu\text{m}$	0,791575
4	126,814619	$\mu\text{m}^2$	27,7872893	$\mu\text{m}$	25,7275058	$\mu\text{m}$	0,505895

5	6,53976787	$\mu\text{m}^2$	5,04164314	$\mu\text{m}$	5,84243774	$\mu\text{m}$	0,815285
6	34,1205246	$\mu\text{m}^2$	11,4925304	$\mu\text{m}$	13,3450707	$\mu\text{m}$	0,786073
7	0,28433868	$\mu\text{m}^2$	0,88154695	$\mu\text{m}$	1,21823281	$\mu\text{m}$	0,785398
8	86,7230008	$\mu\text{m}^2$	37,4016867	$\mu\text{m}$	21,2755194	$\mu\text{m}$	0,166993
9	0,28433868	$\mu\text{m}^2$	0,88154695	$\mu\text{m}$	1,21823281	$\mu\text{m}$	0,785398
11	13,9325463	$\mu\text{m}^2$	7,50521844	$\mu\text{m}$	8,52762967	$\mu\text{m}$	0,777485
12	22,4626795	$\mu\text{m}^2$	9,28243702	$\mu\text{m}$	10,8278882	$\mu\text{m}$	0,823151
13	3,41205328	$\mu\text{m}^2$	3,70531555	$\mu\text{m}$	4,2200824	$\mu\text{m}$	0,743379
14	69,0940625	$\mu\text{m}^2$	19,4807871	$\mu\text{m}$	18,9903667	$\mu\text{m}$	0,548301
15	11,6578451	$\mu\text{m}^2$	6,69342582	$\mu\text{m}$	7,80049501	$\mu\text{m}$	0,819687
16	4,2650666	$\mu\text{m}^2$	4,10207235	$\mu\text{m}$	4,71819371	$\mu\text{m}$	0,768939
17	9,66748246	$\mu\text{m}^2$	6,37031256	$\mu\text{m}$	7,10345732	$\mu\text{m}$	0,733056
18	10,8048317	$\mu\text{m}^2$	7,18029313	$\mu\text{m}$	7,5096898	$\mu\text{m}$	0,602947
19	5,68675455	$\mu\text{m}^2$	4,77771802	$\mu\text{m}$	5,44810247	$\mu\text{m}$	0,755204
20	5,11807992	$\mu\text{m}^2$	4,54861815	$\mu\text{m}$	5,16852485	$\mu\text{m}$	0,776177
21	1,70602664	$\mu\text{m}^2$	2,74746302	$\mu\text{m}$	2,98404888	$\mu\text{m}$	0,643029
22	13,0795357	$\mu\text{m}^2$	7,20238756	$\mu\text{m}$	8,26245552	$\mu\text{m}$	0,77483
23	43,2193324	$\mu\text{m}^2$	13,2316276	$\mu\text{m}$	15,0193823	$\mu\text{m}$	0,745216
24	54,3085028	$\mu\text{m}^2$	15,2077015	$\mu\text{m}$	16,8363102	$\mu\text{m}$	0,748496
25	16,2072503	$\mu\text{m}^2$	8,08982435	$\mu\text{m}$	9,19745382	$\mu\text{m}$	0,75861
26	19,3349649	$\mu\text{m}^2$	9,02939787	$\mu\text{m}$	10,0458045	$\mu\text{m}$	0,743588
27	9,66748246	$\mu\text{m}^2$	6,06756914	$\mu\text{m}$	7,10345732	$\mu\text{m}$	0,845069
28	32,6988366	$\mu\text{m}^2$	11,2080687	$\mu\text{m}$	13,064091	$\mu\text{m}$	0,804429
29	3,69638923	$\mu\text{m}^2$	3,93773069	$\mu\text{m}$	4,39239927	$\mu\text{m}$	0,719226
30	10,5204958	$\mu\text{m}^2$	6,64694936	$\mu\text{m}$	7,41022114	$\mu\text{m}$	0,76039
31	17,3445996	$\mu\text{m}^2$	8,1625851	$\mu\text{m}$	9,51470184	$\mu\text{m}$	0,82482
32	65,1133346	$\mu\text{m}^2$	16,0051617	$\mu\text{m}$	18,4352046	$\mu\text{m}$	0,79184
33	11,6578451	$\mu\text{m}^2$	7,00852562	$\mu\text{m}$	7,80049501	$\mu\text{m}$	0,734488
34	106,057966	$\mu\text{m}^2$	26,2743266	$\mu\text{m}$	23,5279814	$\mu\text{m}$	0,451936
35	42,3663191	$\mu\text{m}^2$	13,4165933	$\mu\text{m}$	14,8704253	$\mu\text{m}$	0,74771
36	10,8048317	$\mu\text{m}^2$	6,62866761	$\mu\text{m}$	7,5096898	$\mu\text{m}$	0,796495
37	11,6578451	$\mu\text{m}^2$	7,17653511	$\mu\text{m}$	7,80049501	$\mu\text{m}$	0,708294
38	11,3735091	$\mu\text{m}^2$	6,66191584	$\mu\text{m}$	7,70477891	$\mu\text{m}$	0,784437
39	28,43377	$\mu\text{m}^2$	10,5262216	$\mu\text{m}$	12,1823281	$\mu\text{m}$	0,803114
40	15,354237	$\mu\text{m}^2$	7,70664015	$\mu\text{m}$	8,95214663	$\mu\text{m}$	0,822234
41	2,27470127	$\mu\text{m}^2$	3,14421709	$\mu\text{m}$	3,44568141	$\mu\text{m}$	0,670733
42	4,54940255	$\mu\text{m}^2$	4,33448476	$\mu\text{m}$	4,87293124	$\mu\text{m}$	0,739839
43	4,83374123	$\mu\text{m}^2$	4,49882642	$\mu\text{m}$	5,02290223	$\mu\text{m}$	0,733056
44	5,9710905	$\mu\text{m}^2$	5,01013316	$\mu\text{m}$	5,58264234	$\mu\text{m}$	0,72557
45	30,4241353	$\mu\text{m}^2$	10,7722203	$\mu\text{m}$	12,6014964	$\mu\text{m}$	0,834435
46	154,679711	$\mu\text{m}^2$	33,6802157	$\mu\text{m}$	28,4138238	$\mu\text{m}$	0,398024
47	17,3445996	$\mu\text{m}^2$	8,11610863	$\mu\text{m}$	9,51470184	$\mu\text{m}$	0,843707
48	3,12771459	$\mu\text{m}^2$	3,65552383	$\mu\text{m}$	4,04042168	$\mu\text{m}$	0,68143



49	9,66748246	$\mu\text{m}^2$	7,49575096	$\mu\text{m}$	7,10345732	$\mu\text{m}$	0,489088
50	3,69638923	$\mu\text{m}^2$	3,86965722	$\mu\text{m}$	4,39239927	$\mu\text{m}$	0,742956
51	13,9325463	$\mu\text{m}^2$	7,2728033	$\mu\text{m}$	8,52762967	$\mu\text{m}$	0,825362
52	81,6049208	$\mu\text{m}^2$	18,372477	$\mu\text{m}$	20,63817	$\mu\text{m}$	0,708335
53	7,10844251	$\mu\text{m}^2$	5,40688996	$\mu\text{m}$	6,09116405	$\mu\text{m}$	0,748628
54	55,4458521	$\mu\text{m}^2$	14,9195939	$\mu\text{m}$	17,0116936	$\mu\text{m}$	0,773518
55	82,7422728	$\mu\text{m}^2$	20,0688613	$\mu\text{m}$	20,7814913	$\mu\text{m}$	0,638158
56	32,9831753	$\mu\text{m}^2$	11,6609772	$\mu\text{m}$	13,1207674	$\mu\text{m}$	0,739946
57	47,4843963	$\mu\text{m}^2$	13,45847	$\mu\text{m}$	15,743035	$\mu\text{m}$	0,838037
58	28,1494341	$\mu\text{m}^2$	10,360497	$\mu\text{m}$	12,1212623	$\mu\text{m}$	0,855136
59	10,5204958	$\mu\text{m}^2$	6,62066508	$\mu\text{m}$	7,41022114	$\mu\text{m}$	0,725605
60	16,2072503	$\mu\text{m}^2$	8,04803516	$\mu\text{m}$	9,19745382	$\mu\text{m}$	0,80123
61	8,81446914	$\mu\text{m}^2$	6,44069278	$\mu\text{m}$	6,78283119	$\mu\text{m}$	0,649773
62	242,540064	$\mu\text{m}^2$	41,0259383	$\mu\text{m}$	35,5799021	$\mu\text{m}$	0,360364
63	62,2699586	$\mu\text{m}^2$	15,993792	$\mu\text{m}$	18,0281986	$\mu\text{m}$	0,751202
64	9,66748246	$\mu\text{m}^2$	6,20040083	$\mu\text{m}$	7,10345732	$\mu\text{m}$	0,786079
65	17,0602637	$\mu\text{m}^2$	8,29603173	$\mu\text{m}$	9,43639015	$\mu\text{m}$	0,786073
66	124,824253	$\mu\text{m}^2$	21,706041	$\mu\text{m}$	25,5248105	$\mu\text{m}$	0,828544
67	73,643465	$\mu\text{m}^2$	18,6473947	$\mu\text{m}$	19,6055998	$\mu\text{m}$	0,498901
68	135,06041	$\mu\text{m}^2$	22,6337638	$\mu\text{m}$	26,5507666	$\mu\text{m}$	0,837427
69	44,3566817	$\mu\text{m}^2$	13,7540499	$\mu\text{m}$	15,2157205	$\mu\text{m}$	0,737514
70	16,4915863	$\mu\text{m}^2$	9,62698876	$\mu\text{m}$	9,27778254	$\mu\text{m}$	0,550552
71	24,1687062	$\mu\text{m}^2$	9,72889536	$\mu\text{m}$	11,2315516	$\mu\text{m}$	0,781478
72	2,27470127	$\mu\text{m}^2$	2,96159641	$\mu\text{m}$	3,44568141	$\mu\text{m}$	0,771628
73	148,139946	$\mu\text{m}^2$	24,7663107	$\mu\text{m}$	27,806678	$\mu\text{m}$	0,683926
74	56,2988654	$\mu\text{m}^2$	15,4379439	$\mu\text{m}$	17,1420546	$\mu\text{m}$	0,738577
75	24,1687062	$\mu\text{m}^2$	9,65002612	$\mu\text{m}$	11,2315516	$\mu\text{m}$	0,817713
76	1,99036259	$\mu\text{m}^2$	2,91180468	$\mu\text{m}$	3,22314099	$\mu\text{m}$	0,675174
77	42,3663191	$\mu\text{m}^2$	13,2259564	$\mu\text{m}$	14,8704253	$\mu\text{m}$	0,758071
78	36,1108899	$\mu\text{m}^2$	12,656604	$\mu\text{m}$	13,7287851	$\mu\text{m}$	0,674918
79	25,8747301	$\mu\text{m}^2$	11,534131	$\mu\text{m}$	11,6211996	$\mu\text{m}$	0,619312
80	77,339857	$\mu\text{m}^2$	20,9030544	$\mu\text{m}$	20,0916089	$\mu\text{m}$	0,546118
81	9,95181841	$\mu\text{m}^2$	6,23191081	$\mu\text{m}$	7,20716229	$\mu\text{m}$	0,826309
82	29,571122	$\mu\text{m}^2$	10,6882183	$\mu\text{m}$	12,4235848	$\mu\text{m}$	0,801323
83	20,4723142	$\mu\text{m}^2$	9,1292519	$\mu\text{m}$	10,337047	$\mu\text{m}$	0,750213
84	19,9036396	$\mu\text{m}^2$	8,72925363	$\mu\text{m}$	10,1924657	$\mu\text{m}$	0,821242
85	11,3735091	$\mu\text{m}^2$	6,57887588	$\mu\text{m}$	7,70477891	$\mu\text{m}$	0,838416
86	11,3735091	$\mu\text{m}^2$	7,21737318	$\mu\text{m}$	7,70477891	$\mu\text{m}$	0,673765
87	40,3759538	$\mu\text{m}^2$	12,4972912	$\mu\text{m}$	14,5169172	$\mu\text{m}$	0,820759
88	8,24579451	$\mu\text{m}^2$	5,73557329	$\mu\text{m}$	6,56038369	$\mu\text{m}$	0,776993
89	60,563932	$\mu\text{m}^2$	17,00107	$\mu\text{m}$	17,7795215	$\mu\text{m}$	0,642847
90	7,67711714	$\mu\text{m}^2$	5,58951064	$\mu\text{m}$	6,33012224	$\mu\text{m}$	0,746888
91	21,3253275	$\mu\text{m}^2$	8,95609596	$\mu\text{m}$	10,5502046	$\mu\text{m}$	0,84923

92	1,42168795	$\mu\text{m}^2$	2,40049794	$\mu\text{m}$	2,72405123	$\mu\text{m}$	0,708944
93	4,83374123	$\mu\text{m}^2$	4,59275234	$\mu\text{m}$	5,02290223	$\mu\text{m}$	0,685223
94	42,0819804	$\mu\text{m}^2$	13,9938116	$\mu\text{m}$	14,8204395	$\mu\text{m}$	0,665353
95	72,5061157	$\mu\text{m}^2$	17,144826	$\mu\text{m}$	19,4536145	$\mu\text{m}$	0,769606
96	78,1928703	$\mu\text{m}^2$	22,0965335	$\mu\text{m}$	20,2021029	$\mu\text{m}$	0,471645
97	40,3759538	$\mu\text{m}^2$	12,8885135	$\mu\text{m}$	14,5169172	$\mu\text{m}$	0,773148
98	1,70602664	$\mu\text{m}^2$	2,56483961	$\mu\text{m}$	2,98404888	$\mu\text{m}$	0,753982
99	9,95181841	$\mu\text{m}^2$	6,98789886	$\mu\text{m}$	7,20716229	$\mu\text{m}$	0,627002
100	56,86754	$\mu\text{m}^2$	16,0908965	$\mu\text{m}$	17,2284125	$\mu\text{m}$	0,660223
101	7,96145582	$\mu\text{m}^2$	5,50647341	$\mu\text{m}$	6,44628198	$\mu\text{m}$	0,838463
102	29,0024474	$\mu\text{m}^2$	12,4387891	$\mu\text{m}$	12,3035468	$\mu\text{m}$	0,473269
103	41,5133058	$\mu\text{m}^2$	12,5358526	$\mu\text{m}$	14,7199624	$\mu\text{m}$	0,831594
104	2,55903996	$\mu\text{m}^2$	3,65552383	$\mu\text{m}$	3,65469843	$\mu\text{m}$	0,461364
105	92,6940913	$\mu\text{m}^2$	23,6565494	$\mu\text{m}$	21,9957639	$\mu\text{m}$	0,44693
106	58,5735667	$\mu\text{m}^2$	16,3735188	$\mu\text{m}$	17,4849282	$\mu\text{m}$	0,672528
107	10,5204958	$\mu\text{m}^2$	6,42950071	$\mu\text{m}$	7,41022114	$\mu\text{m}$	0,775535
108	4,54940255	$\mu\text{m}^2$	4,61337636	$\mu\text{m}$	4,87293124	$\mu\text{m}$	0,644916
109	0,85301332	$\mu\text{m}^2$	2,00374114	$\mu\text{m}$	2,11003984	$\mu\text{m}$	0,589049
110	5,9710905	$\mu\text{m}^2$	4,87730148	$\mu\text{m}$	5,58264234	$\mu\text{m}$	0,792965
111	226,048478	$\mu\text{m}^2$	28,9396816	$\mu\text{m}$	34,3489767	$\mu\text{m}$	0,836943
113	3,41205328	$\mu\text{m}^2$	4,07020707	$\mu\text{m}$	4,2200824	$\mu\text{m}$	0,615152
114	52,6024762	$\mu\text{m}^2$	16,5510969	$\mu\text{m}$	16,5697558	$\mu\text{m}$	0,534649
115	29,2867833	$\mu\text{m}^2$	11,8965928	$\mu\text{m}$	12,3637107	$\mu\text{m}$	0,649896
116	154,96405	$\mu\text{m}^2$	27,9106207	$\mu\text{m}$	28,4399277	$\mu\text{m}$	0,391721
117	17,0602637	$\mu\text{m}^2$	8,13107512	$\mu\text{m}$	9,43639015	$\mu\text{m}$	0,798536
119	1,99036259	$\mu\text{m}^2$	2,79725474	$\mu\text{m}$	3,22314099	$\mu\text{m}$	0,7502
120	11,3735091	$\mu\text{m}^2$	6,84271354	$\mu\text{m}$	7,70477891	$\mu\text{m}$	0,749354
121	21,8940022	$\mu\text{m}^2$	9,78660216	$\mu\text{m}$	10,6899484	$\mu\text{m}$	0,656724
122	21,8940022	$\mu\text{m}^2$	9,24055764	$\mu\text{m}$	10,6899484	$\mu\text{m}$	0,802311
123	3,12771459	$\mu\text{m}^2$	3,52269214	$\mu\text{m}$	4,04042168	$\mu\text{m}$	0,768196
124	2,27470127	$\mu\text{m}^2$	3,14421709	$\mu\text{m}$	3,44568141	$\mu\text{m}$	0,670733
125	16,4915863	$\mu\text{m}^2$	10,2426346	$\mu\text{m}$	9,27778254	$\mu\text{m}$	0,485948
126	22,1783408	$\mu\text{m}^2$	9,52188991	$\mu\text{m}$	10,7591397	$\mu\text{m}$	0,764826
127	23,0313542	$\mu\text{m}^2$	9,72184394	$\mu\text{m}$	10,9640953	$\mu\text{m}$	0,744702
128	40,6602924	$\mu\text{m}^2$	14,8150608	$\mu\text{m}$	14,5679443	$\mu\text{m}$	0,555621
129	11,0891704	$\mu\text{m}^2$	6,83182758	$\mu\text{m}$	7,60786023	$\mu\text{m}$	0,717121
130	25,3060554	$\mu\text{m}^2$	10,002206	$\mu\text{m}$	11,4927846	$\mu\text{m}$	0,792927
131	0,56867464	$\mu\text{m}^2$	1,44264541	$\mu\text{m}$	1,72284071	$\mu\text{m}$	0,698132
132	15,354237	$\mu\text{m}^2$	9,24912046	$\mu\text{m}$	8,95214663	$\mu\text{m}$	0,481102
133	32,130162	$\mu\text{m}^2$	11,3893092	$\mu\text{m}$	12,949992	$\mu\text{m}$	0,740219
134	51,4651242	$\mu\text{m}^2$	14,0872101	$\mu\text{m}$	16,3896442	$\mu\text{m}$	0,803248
135	17,9132742	$\mu\text{m}^2$	9,02970398	$\mu\text{m}$	9,66942297	$\mu\text{m}$	0,679155
136	0,56867464	$\mu\text{m}^2$	1,44264541	$\mu\text{m}$	1,72284071	$\mu\text{m}$	0,698132

137	8,24579451	μm <sup>2</sup>	6,08253563	μm	6,56038369	μm	0,638014
139	17,6289383	μm <sup>2</sup>	9,89809375	μm	9,59237398	μm	0,52879
140	51,1807882	μm <sup>2</sup>	14,6022612	μm	16,3443074	μm	0,741987
141	23,8843675	μm <sup>2</sup>	13,7422538	μm	11,1652874	μm	0,381123
142	18,4819516	μm <sup>2</sup>	8,48892342	μm	9,82170617	μm	0,762582
143	189,937588	μm <sup>2</sup>	27,5561314	μm	31,48607	μm	0,603044
145	18,7662876	μm <sup>2</sup>	8,60913362	μm	9,89696771	μm	0,815054
147	7,10844251	μm <sup>2</sup>	5,55851995	μm	6,09116405	μm	0,707582
148	44,3566817	μm <sup>2</sup>	13,2593031	μm	15,2157205	μm	0,782837
149	1,99036259	μm <sup>2</sup>	2,79725474	μm	3,22314099	μm	0,7502
150	39,8072791	μm <sup>2</sup>	12,8484434	μm	14,4143246	μm	0,686383
152	2,27470127	μm <sup>2</sup>	2,96159641	μm	3,44568141	μm	0,771628
153	42,650655	μm <sup>2</sup>	13,0548257	μm	14,9202416	μm	0,789252
154	34,1205246	μm <sup>2</sup>	11,4611051	μm	13,3450707	μm	0,807529
155	44,6410204	μm <sup>2</sup>	13,4824666	μm	15,2644108	μm	0,752221
157	4,54940255	μm <sup>2</sup>	4,26641402	μm	4,87293124	μm	0,762108
158	52,3181375	μm <sup>2</sup>	15,1327188	μm	16,524911	μm	0,714925
159	20,4723142	μm <sup>2</sup>	10,1938131	μm	10,337047	μm	0,595757
160	41,7976417	μm <sup>2</sup>	12,7930816	μm	14,770287	μm	0,675748
161	2,27470127	μm <sup>2</sup>	4,0024889	μm	3,44568141	μm	0,410101
162	6,53976787	μm <sup>2</sup>	6,56197709	μm	5,84243774	μm	0,430879
163	5,11807992	μm <sup>2</sup>	4,61337636	μm	5,16852485	μm	0,725531
164	32,4144979	μm <sup>2</sup>	11,5835702	μm	13,0071658	μm	0,746769
165	110,607368	μm <sup>2</sup>	24,0738236	μm	24,0273035	μm	0,44124
166	15,9229116	μm <sup>2</sup>	9,17457226	μm	9,11641723	μm	0,514856
167	37,8169138	μm <sup>2</sup>	13,1983384	μm	14,0493456	μm	0,652064
168	1,99036259	μm <sup>2</sup>	2,97987542	μm	3,22314099	μm	0,647359
169	73,0747904	μm <sup>2</sup>	18,8715477	μm	19,5297561	μm	0,495048
170	34,6891992	μm <sup>2</sup>	11,4305572	μm	13,4558188	μm	0,853395
172	45,209695	μm <sup>2</sup>	13,0213069	μm	15,3613294	μm	0,844976
173	29,855458	μm <sup>2</sup>	10,7018046	μm	12,4831693	μm	0,818838
174	63,9759853	μm <sup>2</sup>	18,3565594	μm	18,2734894	μm	0,434489
176	64,8289959	μm <sup>2</sup>	17,1780933	μm	18,3949104	μm	0,668725
177	40,9446311	μm <sup>2</sup>	12,5362079	μm	14,618791	μm	0,811793
178	4,83374123	μm <sup>2</sup>	4,4490347	μm	5,02290223	μm	0,733056
179	17,0602637	μm <sup>2</sup>	8,40354119	μm	9,43639015	μm	0,768939
180	22,4626795	μm <sup>2</sup>	9,1885111	μm	10,8278882	μm	0,851639
181	87,5760141	μm <sup>2</sup>	18,5888598	μm	21,3798967	μm	0,796735
182	38,3855912	μm <sup>2</sup>	15,656207	μm	14,1545839	μm	0,414938
183	20,1879782	μm <sup>2</sup>	9,14579812	μm	10,2650105	μm	0,739794
184	4,2650666	μm <sup>2</sup>	4,10207235	μm	4,71819371	μm	0,768939
185	36,1108899	μm <sup>2</sup>	11,9128602	μm	13,7287851	μm	0,801328
186	24,7373808	μm <sup>2</sup>	10,9468248	μm	11,3629183	μm	0,608568

187	17,0602637	$\mu\text{m}^2$	8,22795826	$\mu\text{m}$	9,43639015	$\mu\text{m}$	0,798536
188	241,118376	$\mu\text{m}^2$	32,267599	$\mu\text{m}$	35,4754701	$\mu\text{m}$	0,709329
189	56,86754	$\mu\text{m}^2$	20,0264735	$\mu\text{m}$	17,2284125	$\mu\text{m}$	0,357545
190	1,137352	$\mu\text{m}^2$	2,00374114	$\mu\text{m}$	2,43646562	$\mu\text{m}$	0,785398
191	42,0819804	$\mu\text{m}^2$	12,9409427	$\mu\text{m}$	14,8204395	$\mu\text{m}$	0,805816
192	38,9542658	$\mu\text{m}^2$	12,2057016	$\mu\text{m}$	14,2590486	$\mu\text{m}$	0,820765
193	7,67711714	$\mu\text{m}^2$	5,62102335	$\mu\text{m}$	6,33012224	$\mu\text{m}$	0,764189
194	4,54940255	$\mu\text{m}^2$	4,26641402	$\mu\text{m}$	4,87293124	$\mu\text{m}$	0,762108
195	90,135054	$\mu\text{m}^2$	24,2323875	$\mu\text{m}$	21,6900168	$\mu\text{m}$	0,377911
196	1,137352	$\mu\text{m}^2$	2,00374114	$\mu\text{m}$	2,43646562	$\mu\text{m}$	0,785398
197	56,5832041	$\mu\text{m}^2$	14,6191299	$\mu\text{m}$	17,1852869	$\mu\text{m}$	0,8306
198	22,1783408	$\mu\text{m}^2$	9,21202128	$\mu\text{m}$	10,7591397	$\mu\text{m}$	0,812731
199	52,8868121	$\mu\text{m}^2$	14,597153	$\mu\text{m}$	16,6144777	$\mu\text{m}$	0,783252
200	33,8361859	$\mu\text{m}^2$	12,1535649	$\mu\text{m}$	13,2893508	$\mu\text{m}$	0,611395
201	122,833891	$\mu\text{m}^2$	22,2367965	$\mu\text{m}$	25,3204917	$\mu\text{m}$	0,806538
202	25,0217195	$\mu\text{m}^2$	10,8024539	$\mu\text{m}$	11,4280346	$\mu\text{m}$	0,582894
203	51,7494629	$\mu\text{m}^2$	16,6969765	$\mu\text{m}$	16,4348579	$\mu\text{m}$	0,543491
205	14,5012237	$\mu\text{m}^2$	8,85025917	$\mu\text{m}$	8,69992194	$\mu\text{m}$	0,569155

Poros de la muestra 4 de la aleación de Ti-Nb30-Sn2							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	3,13942091	$\mu\text{m}^2$	2,9598216	$\mu\text{m}$	2,86770177	$\mu\text{m}$	0,412145
3	0,85620595	$\mu\text{m}^2$	1,28721961	$\mu\text{m}$	1,49760874	$\mu\text{m}$	0,753982
4	153,831634	$\mu\text{m}^2$	18,9449942	$\mu\text{m}$	20,0739137	$\mu\text{m}$	0,574633
6	1,14160748	$\mu\text{m}^2$	1,68546	$\mu\text{m}$	1,7292889	$\mu\text{m}$	0,610876
7	6,70694479	$\mu\text{m}^2$	3,99354055	$\mu\text{m}$	4,19152021	$\mu\text{m}$	0,593109
8	4,56643128	$\mu\text{m}^2$	2,99516124	$\mu\text{m}$	3,45857918	$\mu\text{m}$	0,795359
9	8,99015975	$\mu\text{m}^2$	4,24737315	$\mu\text{m}$	4,8528067	$\mu\text{m}$	0,795018
10	0,99890603	$\mu\text{m}^2$	1,40386211	$\mu\text{m}$	1,61760223	$\mu\text{m}$	0,7502
11	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
12	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,28721961	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,502655
13	5,85073884	$\mu\text{m}^2$	3,43416212	$\mu\text{m}$	3,91484523	$\mu\text{m}$	0,768088
14	5,56533731	$\mu\text{m}^2$	3,40257673	$\mu\text{m}$	3,81816735	$\mu\text{m}$	0,750372
15	12,4149836	$\mu\text{m}^2$	6,38979739	$\mu\text{m}$	5,70272355	$\mu\text{m}$	0,349355
17	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
18	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
19	13,1284881	$\mu\text{m}^2$	5,32498684	$\mu\text{m}$	5,86430601	$\mu\text{m}$	0,729884
20	9,8463657	$\mu\text{m}^2$	4,44649403	$\mu\text{m}$	5,07863807	$\mu\text{m}$	0,797639
21	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
22	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,84066358	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,539012
23	4,99453289	$\mu\text{m}^2$	3,10262867	$\mu\text{m}$	3,61706852	$\mu\text{m}$	0,826309
24	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,20474123	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,479122



26	1,427009	$\mu\text{m}^2$	2,20147591	$\mu\text{m}$	1,93340403	$\mu\text{m}$	0,403073
27	0,42810298	$\mu\text{m}^2$	0,92314196	$\mu\text{m}$	1,05896861	$\mu\text{m}$	0,685805
28	0,42810298	$\mu\text{m}^2$	0,92314196	$\mu\text{m}$	1,05896861	$\mu\text{m}$	0,685805
29	43,0956895	$\mu\text{m}^2$	10,8734403	$\mu\text{m}$	10,6249311	$\mu\text{m}$	0,439619
31	11,9868806	$\mu\text{m}^2$	5,24704731	$\mu\text{m}$	5,60353826	$\mu\text{m}$	0,674616
32	4,70913136	$\mu\text{m}^2$	3,06728902	$\mu\text{m}$	3,51220315	$\mu\text{m}$	0,779091
33	6,84964624	$\mu\text{m}^2$	3,82414371	$\mu\text{m}$	4,2358772	$\mu\text{m}$	0,690477
35	11,4160762	$\mu\text{m}^2$	5,11856457	$\mu\text{m}$	5,46849346	$\mu\text{m}$	0,670273
36	86,0486776	$\mu\text{m}^2$	17,1453374	$\mu\text{m}$	15,0134791	$\mu\text{m}$	0,419072
38	17,5522179	$\mu\text{m}^2$	6,05194466	$\mu\text{m}$	6,78071034	$\mu\text{m}$	0,772605
39	11,5587776	$\mu\text{m}^2$	5,21911055	$\mu\text{m}$	5,50256569	$\mu\text{m}$	0,58259
40	63,0738238	$\mu\text{m}^2$	12,4598549	$\mu\text{m}$	12,8538678	$\mu\text{m}$	0,4338
41	7,84855227	$\mu\text{m}^2$	4,10218487	$\mu\text{m}$	4,5342355	$\mu\text{m}$	0,74369
42	1,14160748	$\mu\text{m}^2$	1,57799258	$\mu\text{m}$	1,7292889	$\mu\text{m}$	0,670733
43	19,2646298	$\mu\text{m}^2$	6,2063821	$\mu\text{m}$	7,1037806	$\mu\text{m}$	0,800281
44	5,56533731	$\mu\text{m}^2$	3,358062	$\mu\text{m}$	3,81816735	$\mu\text{m}$	0,764826
45	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
46	23,8310597	$\mu\text{m}^2$	7,41648243	$\mu\text{m}$	7,90097878	$\mu\text{m}$	0,682388
47	5,42263586	$\mu\text{m}^2$	3,59086007	$\mu\text{m}$	3,76889842	$\mu\text{m}$	0,613481
48	8,13395517	$\mu\text{m}^2$	4,17595864	$\mu\text{m}$	4,61593889	$\mu\text{m}$	0,730492
49	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,84066358	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,539012
50	0,7135045	$\mu\text{m}^2$	1,35388403	$\mu\text{m}$	1,36712336	$\mu\text{m}$	0,535857
51	51,0869432	$\mu\text{m}^2$	12,6608426	$\mu\text{m}$	11,5681571	$\mu\text{m}$	0,457583
52	63,0738238	$\mu\text{m}^2$	13,4931816	$\mu\text{m}$	12,8538678	$\mu\text{m}$	0,518528
53	0,7135045	$\mu\text{m}^2$	1,20474123	$\mu\text{m}$	1,36712336	$\mu\text{m}$	0,708944
54	0,99890603	$\mu\text{m}^2$	1,40386211	$\mu\text{m}$	1,61760223	$\mu\text{m}$	0,7502
55	1,56971045	$\mu\text{m}^2$	1,88458089	$\mu\text{m}$	2,02777202	$\mu\text{m}$	0,608576
56	3,28212236	$\mu\text{m}^2$	2,65607402	$\mu\text{m}$	2,93215232	$\mu\text{m}$	0,672707
57	2,85401938	$\mu\text{m}^2$	2,7793115	$\mu\text{m}$	2,73424673	$\mu\text{m}$	0,566066
58	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
59	3,42482243	$\mu\text{m}^2$	2,62190989	$\mu\text{m}$	2,99521748	$\mu\text{m}$	0,780536
60	4,42372984	$\mu\text{m}^2$	3,69452934	$\mu\text{m}$	3,40410888	$\mu\text{m}$	0,491878
61	53,3701582	$\mu\text{m}^2$	10,962227	$\mu\text{m}$	11,8238387	$\mu\text{m}$	0,686025
62	8,56205814	$\mu\text{m}^2$	4,4031754	$\mu\text{m}$	4,73585419	$\mu\text{m}$	0,646815
63	0,42810298	$\mu\text{m}^2$	0,92314196	$\mu\text{m}$	1,05896861	$\mu\text{m}$	0,685805
64	20,8343403	$\mu\text{m}^2$	6,62178617	$\mu\text{m}$	7,3875279	$\mu\text{m}$	0,732656
65	1,14160748	$\mu\text{m}^2$	1,48634049	$\mu\text{m}$	1,7292889	$\mu\text{m}$	0,771628
66	45,3789045	$\mu\text{m}^2$	9,33000277	$\mu\text{m}$	10,9027542	$\mu\text{m}$	0,784845
67	6,84964624	$\mu\text{m}^2$	3,84275312	$\mu\text{m}$	4,2358772	$\mu\text{m}$	0,730874
68	50,9442418	$\mu\text{m}^2$	10,4861883	$\mu\text{m}$	11,5519892	$\mu\text{m}$	0,61722
69	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,00562034	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,785398
70	5,85073884	$\mu\text{m}^2$	3,83868476	$\mu\text{m}$	3,91484523	$\mu\text{m}$	0,613875
71	2,56861785	$\mu\text{m}^2$	2,25783225	$\mu\text{m}$	2,59393473	$\mu\text{m}$	0,776177

72	20,5489387	$\mu\text{m}^2$	6,26888762	$\mu\text{m}$	7,33675288	$\mu\text{m}$	0,832319
73	3,13942091	$\mu\text{m}^2$	2,69683312	$\mu\text{m}$	2,86770177	$\mu\text{m}$	0,658793
74	0,85620595	$\mu\text{m}^2$	1,28721961	$\mu\text{m}$	1,49760874	$\mu\text{m}$	0,753982
75	4,42372984	$\mu\text{m}^2$	2,98598753	$\mu\text{m}$	3,40410888	$\mu\text{m}$	0,787406
76	11,7014791	$\mu\text{m}^2$	5,61656773	$\mu\text{m}$	5,53642667	$\mu\text{m}$	0,509527
77	7,99125372	$\mu\text{m}^2$	4,01291262	$\mu\text{m}$	4,57526894	$\mu\text{m}$	0,774551
79	9,1328612	$\mu\text{m}^2$	4,68973598	$\mu\text{m}$	4,8911695	$\mu\text{m}$	0,644916
80	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
81	37,5303522	$\mu\text{m}^2$	9,35772006	$\mu\text{m}$	9,91517953	$\mu\text{m}$	0,454703
83	9,56096417	$\mu\text{m}^2$	4,91410515	$\mu\text{m}$	5,00449257	$\mu\text{m}$	0,607982
84	2,14051488	$\mu\text{m}^2$	2,05871273	$\mu\text{m}$	2,36792641	$\mu\text{m}$	0,768939
85	10,1317686	$\mu\text{m}^2$	5,93812367	$\mu\text{m}$	5,15171503	$\mu\text{m}$	0,452898
86	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
87	71,9212835	$\mu\text{m}^2$	11,7814761	$\mu\text{m}$	13,7258082	$\mu\text{m}$	0,790713
88	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,12226285	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,644916
89	11,4160762	$\mu\text{m}^2$	4,78986909	$\mu\text{m}$	5,46849346	$\mu\text{m}$	0,79518
90	7,99125372	$\mu\text{m}^2$	3,9933883	$\mu\text{m}$	4,57526894	$\mu\text{m}$	0,787173
91	0,7135045	$\mu\text{m}^2$	1,20474123	$\mu\text{m}$	1,36712336	$\mu\text{m}$	0,708944
92	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,17975219	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,567155
93	11,1306746	$\mu\text{m}^2$	4,78138807	$\mu\text{m}$	5,39970432	$\mu\text{m}$	0,750372
94	19,9781343	$\mu\text{m}^2$	6,37195062	$\mu\text{m}$	7,23413704	$\mu\text{m}$	0,770017
95	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
96	95,3242402	$\mu\text{m}^2$	14,16341	$\mu\text{m}$	15,8019576	$\mu\text{m}$	0,50942
99	20,5489387	$\mu\text{m}^2$	6,38659043	$\mu\text{m}$	7,33675288	$\mu\text{m}$	0,792018
100	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
101	0,42810298	$\mu\text{m}^2$	0,92314196	$\mu\text{m}$	1,05896861	$\mu\text{m}$	0,685805
102	1,56971045	$\mu\text{m}^2$	1,96588238	$\mu\text{m}$	2,02777202	$\mu\text{m}$	0,546809
103	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
104	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
105	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
106	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,84066358	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,539012
107	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
108	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
109	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
110	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,84066358	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,539012
111	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
112	16,6960119	$\mu\text{m}^2$	6,24201528	$\mu\text{m}$	6,61325989	$\mu\text{m}$	0,621775
113	0,14270145	$\mu\text{m}^2$	0,44242319	$\mu\text{m}$	0,61139619	$\mu\text{m}$	0,785398
114	3,28212236	$\mu\text{m}^2$	2,96454699	$\mu\text{m}$	2,93215232	$\mu\text{m}$	0,543003
115	3,99562686	$\mu\text{m}^2$	3,18580111	$\mu\text{m}$	3,23520446	$\mu\text{m}$	0,586891
116	1,14160748	$\mu\text{m}^2$	1,57799258	$\mu\text{m}$	1,7292889	$\mu\text{m}$	0,670733
117	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
118	20,6916388	$\mu\text{m}^2$	6,99840772	$\mu\text{m}$	7,36218359	$\mu\text{m}$	0,592493

120	0,28540153	$\mu\text{m}^2$	0,72402245	$\mu\text{m}$	0,86464445	$\mu\text{m}$	0,698132
121	2,56861785	$\mu\text{m}^2$	2,24865853	$\mu\text{m}$	2,59393473	$\mu\text{m}$	0,798721
122	18,5511253	$\mu\text{m}^2$	6,6134917	$\mu\text{m}$	6,97098808	$\mu\text{m}$	0,60885
123	9,8463657	$\mu\text{m}^2$	4,52730858	$\mu\text{m}$	5,07863807	$\mu\text{m}$	0,754523
124	8,27665525	$\mu\text{m}^2$	4,1738641	$\mu\text{m}$	4,65625357	$\mu\text{m}$	0,743308
125	5,42263586	$\mu\text{m}^2$	4,01408951	$\mu\text{m}$	3,76889842	$\mu\text{m}$	0,479535
126	79,0563312	$\mu\text{m}^2$	13,2727697	$\mu\text{m}$	14,3905554	$\mu\text{m}$	0,675786
127	3,85292541	$\mu\text{m}^2$	2,73855239	$\mu\text{m}$	3,17690721	$\mu\text{m}$	0,808518
128	1,14160748	$\mu\text{m}^2$	1,57799258	$\mu\text{m}$	1,7292889	$\mu\text{m}$	0,670733
129	1,427009	$\mu\text{m}^2$	1,68546	$\mu\text{m}$	1,93340403	$\mu\text{m}$	0,763595
130	0,57080442	$\mu\text{m}^2$	1,27140565	$\mu\text{m}$	1,22279237	$\mu\text{m}$	0,479122
131	106,169513	$\mu\text{m}^2$	14,2783159	$\mu\text{m}$	16,6766632	$\mu\text{m}$	0,81426

Poros de la muestra 5 de la aleación Ti-30Nb-4Sn							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	30,321239	$\mu\text{m}^2$	15,3020295	$\mu\text{m}$	10,7621206	$\mu\text{m}$	0,309865
2	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
3	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
4	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	6,56382645	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,428086
5	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	4,24930995	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,589049
6	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	4,20507693	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,619213
7	59,4762776	$\mu\text{m}^2$	22,704203	$\mu\text{m}$	15,0728815	$\mu\text{m}$	0,257648
8	17,493022	$\mu\text{m}^2$	7,55378873	$\mu\text{m}$	8,17441712	$\mu\text{m}$	0,696917
9	19,8254265	$\mu\text{m}^2$	7,98217332	$\mu\text{m}$	8,70233299	$\mu\text{m}$	0,689604
10	72,3044946	$\mu\text{m}^2$	14,4338951	$\mu\text{m}$	16,6190829	$\mu\text{m}$	0,800324
11	18,2704902	$\mu\text{m}^2$	8,26445733	$\mu\text{m}$	8,3540975	$\mu\text{m}$	0,635517
12	26,8226361	$\mu\text{m}^2$	8,74438576	$\mu\text{m}$	10,122204	$\mu\text{m}$	0,80951
13	26,045168	$\mu\text{m}^2$	9,43110965	$\mu\text{m}$	9,97442727	$\mu\text{m}$	0,684521
14	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	6,10068392	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,528012
16	17,8817561	$\mu\text{m}^2$	7,27481909	$\mu\text{m}$	8,26474536	$\mu\text{m}$	0,77483
17	64,1410847	$\mu\text{m}^2$	19,1271093	$\mu\text{m}$	15,6528193	$\mu\text{m}$	0,386825
18	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
19	15,1606195	$\mu\text{m}^2$	6,64547571	$\mu\text{m}$	7,6099691	$\mu\text{m}$	0,779702
21	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	8,91638727	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,592913
22	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,800106
23	13,216951	$\mu\text{m}^2$	7,24939221	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,5727
24	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,718683
25	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	5,28109097	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,602947
26	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,75614801	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,805327
27	26,8226361	$\mu\text{m}^2$	10,2005709	$\mu\text{m}$	10,122204	$\mu\text{m}$	0,57811
28	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	5,15762296	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,339639
30	64,1410847	$\mu\text{m}^2$	17,0014443	$\mu\text{m}$	15,6528193	$\mu\text{m}$	0,496433

31	43,1494559	$\mu\text{m}^2$	12,0781739	$\mu\text{m}$	12,8384341	$\mu\text{m}$	0,648309
33	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	6,1340277	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,731874
34	40,4283193	$\mu\text{m}^2$	11,0265666	$\mu\text{m}$	12,4270274	$\mu\text{m}$	0,748017
35	41,5945215	$\mu\text{m}^2$	11,5965933	$\mu\text{m}$	12,6049896	$\mu\text{m}$	0,728201
36	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,35858176	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,658793
37	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,718683
38	20,9916268	$\mu\text{m}^2$	8,33246104	$\mu\text{m}$	8,95462561	$\mu\text{m}$	0,582133
39	17,1042899	$\mu\text{m}^2$	7,13394711	$\mu\text{m}$	8,08308076	$\mu\text{m}$	0,741142
40	20,6028927	$\mu\text{m}^2$	9,10468063	$\mu\text{m}$	8,87132616	$\mu\text{m}$	0,4578
42	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	6,039633	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,637438
43	28,7663046	$\mu\text{m}^2$	9,52283405	$\mu\text{m}$	10,4825369	$\mu\text{m}$	0,659288
44	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
45	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,80525242	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,671084
46	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,75614801	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,805327
47	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,43198266	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,754348
48	26,4339021	$\mu\text{m}^2$	9,8847351	$\mu\text{m}$	10,0485877	$\mu\text{m}$	0,509067
49	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,718683
50	24,1014975	$\mu\text{m}^2$	9,94016539	$\mu\text{m}$	9,59503224	$\mu\text{m}$	0,464149
51	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
52	282,609505	$\mu\text{m}^2$	30,3116739	$\mu\text{m}$	32,8562345	$\mu\text{m}$	0,679137
53	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
54	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	6,39802565	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,830802
55	104,958138	$\mu\text{m}^2$	20,4059824	$\mu\text{m}$	20,023153	$\mu\text{m}$	0,538792
56	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,54988003	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,733056
57	47,814263	$\mu\text{m}^2$	16,0850763	$\mu\text{m}$	13,5145988	$\mu\text{m}$	0,404718
59	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	3,82649599	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,33195
60	276,389763	$\mu\text{m}^2$	42,6341534	$\mu\text{m}$	32,4926692	$\mu\text{m}$	0,136369
64	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	5,83677199	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,803786
65	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
66	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012
69	50,5353996	$\mu\text{m}^2$	12,9826445	$\mu\text{m}$	13,8938398	$\mu\text{m}$	0,684018
70	38,8733849	$\mu\text{m}^2$	13,0436854	$\mu\text{m}$	12,1857021	$\mu\text{m}$	0,511695
71	47,814263	$\mu\text{m}^2$	12,1645797	$\mu\text{m}$	13,5145988	$\mu\text{m}$	0,736891
72	130,225838	$\mu\text{m}^2$	28,2602512	$\mu\text{m}$	22,3034976	$\mu\text{m}$	0,317693
73	42,3719897	$\mu\text{m}^2$	10,8931015	$\mu\text{m}$	12,7222469	$\mu\text{m}$	0,839849
76	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
78	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,50007439	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,733056
79	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
80	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,18697004	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,483687
81	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
82	66,0847532	$\mu\text{m}^2$	14,8637458	$\mu\text{m}$	15,888212	$\mu\text{m}$	0,680201
83	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	4,05340173	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,666414
84	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805



85	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,5229684	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,764189
86	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
87	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
88	55,2002067	$\mu\text{m}^2$	14,1970542	$\mu\text{m}$	14,5209409	$\mu\text{m}$	0,597967
89	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
90	66,8622213	$\mu\text{m}^2$	15,2872858	$\mu\text{m}$	15,9813986	$\mu\text{m}$	0,64699
91	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,90482029	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,602602
92	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,66446103	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,765838
93	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,45819305	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,718683
94	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,9623374	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,461364
95	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
96	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
97	148,885062	$\mu\text{m}^2$	23,3041551	$\mu\text{m}$	23,8478908	$\mu\text{m}$	0,5634
99	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
100	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,22571469	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,780536
101	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
102	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,68805629	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,641141
103	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,479122
104	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
105	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,26759602	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,714476
106	12,8282169	$\mu\text{m}^2$	6,08422206	$\mu\text{m}$	7,00015394	$\mu\text{m}$	0,779091
107	79,6904383	$\mu\text{m}^2$	22,0836687	$\mu\text{m}$	17,4472708	$\mu\text{m}$	0,337586
108	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
109	15,1606195	$\mu\text{m}^2$	6,97756538	$\mu\text{m}$	7,6099691	$\mu\text{m}$	0,730621
110	186,980979	$\mu\text{m}^2$	28,5023987	$\mu\text{m}$	26,7253331	$\mu\text{m}$	0,247977
113	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,06132804	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,794672
114	37,3184486	$\mu\text{m}^2$	14,5312901	$\mu\text{m}$	11,9395021	$\mu\text{m}$	0,376208
115	14,7718854	$\mu\text{m}^2$	6,82814843	$\mu\text{m}$	7,51177196	$\mu\text{m}$	0,711887
118	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
119	41,9832556	$\mu\text{m}^2$	11,0682913	$\mu\text{m}$	12,6637543	$\mu\text{m}$	0,785885
120	27,9888364	$\mu\text{m}^2$	9,38072194	$\mu\text{m}$	10,3399107	$\mu\text{m}$	0,715662
121	136,056845	$\mu\text{m}^2$	21,4875971	$\mu\text{m}$	22,7973616	$\mu\text{m}$	0,633011
122	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
123	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
124	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,610876
125	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
126	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
127	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,30947735	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,687235
128	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
129	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,58383705	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,479122
130	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
131	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	4,99323632	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,779838
132	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502

133	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
134	28,7663046	$\mu\text{m}^2$	9,68187409	$\mu\text{m}$	10,4825369	$\mu\text{m}$	0,711892
135	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	9,16143907	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,57308
136	46,6480607	$\mu\text{m}^2$	13,5219456	$\mu\text{m}$	13,348768	$\mu\text{m}$	0,562016
137	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
138	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
139	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	4,94674505	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,772284
140	19,4366925	$\mu\text{m}^2$	7,65340003	$\mu\text{m}$	8,61659327	$\mu\text{m}$	0,774353
141	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,233639	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,8027
142	137,611782	$\mu\text{m}^2$	23,4142316	$\mu\text{m}$	22,9272623	$\mu\text{m}$	0,499978
143	24,8789657	$\mu\text{m}^2$	8,88814207	$\mu\text{m}$	9,74856166	$\mu\text{m}$	0,724676
144	58,3100774	$\mu\text{m}^2$	14,0681616	$\mu\text{m}$	14,9243767	$\mu\text{m}$	0,584885
145	18,6592243	$\mu\text{m}^2$	9,84877502	$\mu\text{m}$	8,44250353	$\mu\text{m}$	0,409386
146	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
147	12,8282169	$\mu\text{m}^2$	6,08422206	$\mu\text{m}$	7,00015394	$\mu\text{m}$	0,779091
148	96,7947262	$\mu\text{m}^2$	17,8889989	$\mu\text{m}$	19,2287149	$\mu\text{m}$	0,677866
150	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,52366964	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,628524
151	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
152	52,479068	$\mu\text{m}^2$	13,1408084	$\mu\text{m}$	14,1585078	$\mu\text{m}$	0,499391
154	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,754575
155	85,5214456	$\mu\text{m}^2$	19,5639689	$\mu\text{m}$	18,0743179	$\mu\text{m}$	0,30469
156	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	5,73716269	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,803786
157	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,50233806	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,679279
158	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,43756271	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,718683
159	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,743379
160	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
161	95,2397918	$\mu\text{m}^2$	16,4495857	$\mu\text{m}$	19,0736413	$\mu\text{m}$	0,793632
162	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,46925406	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,673765
165	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
167	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,50305
169	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,91261034	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,50305
170	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,93089641	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,554879
171	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
172	153,549869	$\mu\text{m}^2$	22,845029	$\mu\text{m}$	24,2186048	$\mu\text{m}$	0,581052
174	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,754575
175	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	5,04304197	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,673497
176	45,0931263	$\mu\text{m}^2$	12,070055	$\mu\text{m}$	13,1244045	$\mu\text{m}$	0,670479
177	54,0340044	$\mu\text{m}^2$	12,9565575	$\mu\text{m}$	14,3667314	$\mu\text{m}$	0,690813
178	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,90947365	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,649056
179	10,8845485	$\mu\text{m}^2$	5,89920507	$\mu\text{m}$	6,44806732	$\mu\text{m}$	0,695939
180	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	4,84713375	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,735509
181	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,743379
182	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398



183	83,1890431	$\mu\text{m}^2$	17,7171254	$\mu\text{m}$	17,8261458	$\mu\text{m}$	0,511241
184	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	5,12610339	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,617925
185	139,944184	$\mu\text{m}^2$	26,7459495	$\mu\text{m}$	23,1207463	$\mu\text{m}$	0,351188
186	230,907903	$\mu\text{m}^2$	38,6397964	$\mu\text{m}$	29,6991344	$\mu\text{m}$	0,200195
187	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
188	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
190	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	5,67238535	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,735885
191	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012
193	72,6932287	$\mu\text{m}^2$	15,1414553	$\mu\text{m}$	16,663698	$\mu\text{m}$	0,697545
194	51,7016019	$\mu\text{m}^2$	13,5055118	$\mu\text{m}$	14,0532379	$\mu\text{m}$	0,637232
195	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
196	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,26759602	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,762108
197	128,670902	$\mu\text{m}^2$	23,0884246	$\mu\text{m}$	22,1699425	$\mu\text{m}$	0,468906
199	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	4,39337228	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,403073
200	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,06359172	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,755483
201	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,86967572	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,637438
202	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	4,24696568	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,619213
203	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,37983275	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,514856
204	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
206	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
208	81,2453726	$\mu\text{m}^2$	18,3847231	$\mu\text{m}$	17,616666	$\mu\text{m}$	0,50746
209	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
211	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,71426668	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,725531
212	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,589049
213	15,9380877	$\mu\text{m}^2$	7,36877175	$\mu\text{m}$	7,80265696	$\mu\text{m}$	0,661913
214	24,4902316	$\mu\text{m}^2$	9,00603944	$\mu\text{m}$	9,67210098	$\mu\text{m}$	0,679155
215	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,20508435	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,682969
216	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	5,83677199	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,830579
217	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
218	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	8,32209187	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,605116
219	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
220	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	3,30947735	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,534516
221	14,3831513	$\mu\text{m}^2$	7,06027276	$\mu\text{m}$	7,41227268	$\mu\text{m}$	0,66283
222	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
223	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
224	19,4366925	$\mu\text{m}^2$	8,00045939	$\mu\text{m}$	8,61659327	$\mu\text{m}$	0,702833
225	11,2732806	$\mu\text{m}^2$	6,47273012	$\mu\text{m}$	6,56220227	$\mu\text{m}$	0,579779
226	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,05340173	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,717677
227	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	4,03277339	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,666414
228	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	5,73481643	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,681263
229	31,4874412	$\mu\text{m}^2$	9,82965085	$\mu\text{m}$	10,9671319	$\mu\text{m}$	0,721653
230	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,5229684	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,650975
231	14,7718854	$\mu\text{m}^2$	7,39794705	$\mu\text{m}$	7,51177196	$\mu\text{m}$	0,613481

232	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,42737272	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,661958
233	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
234	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
235	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,18383335	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,755483
236	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,26759602	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,762108
237	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,43198266	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,665601
238	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,8969394	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,698733
239	69,1946239	$\mu\text{m}^2$	15,2839955	$\mu\text{m}$	16,2577559	$\mu\text{m}$	0,555503
240	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,410101
241	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,643029
242	28,7663046	$\mu\text{m}^2$	9,68187409	$\mu\text{m}$	10,4825369	$\mu\text{m}$	0,689364
243	42,7607238	$\mu\text{m}^2$	11,07395	$\mu\text{m}$	12,7804735	$\mu\text{m}$	0,823491
244	18,6592243	$\mu\text{m}^2$	9,66362202	$\mu\text{m}$	8,44250353	$\mu\text{m}$	0,453123
245	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
246	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,54195572	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,539012
247	9,71834623	$\mu\text{m}^2$	5,73716269	$\mu\text{m}$	6,09285103	$\mu\text{m}$	0,669822
248	17,493022	$\mu\text{m}^2$	7,5720748	$\mu\text{m}$	8,17441712	$\mu\text{m}$	0,685195
249	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
250	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,589049
251	23,7127654	$\mu\text{m}^2$	8,46506208	$\mu\text{m}$	9,51733743	$\mu\text{m}$	0,781755
252	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
253	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
254	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,8879598	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,671084
255	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
256	25,2676998	$\mu\text{m}^2$	8,82353074	$\mu\text{m}$	9,82442826	$\mu\text{m}$	0,725394
257	17,1042899	$\mu\text{m}^2$	8,2950148	$\mu\text{m}$	8,08308076	$\mu\text{m}$	0,563889
258	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,06132804	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,72557
259	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,59402504	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,514856
260	225,076896	$\mu\text{m}^2$	35,8690582	$\mu\text{m}$	29,3217476	$\mu\text{m}$	0,303982
261	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,91261034	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,578721
262	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
263	26,8226361	$\mu\text{m}^2$	8,8937147	$\mu\text{m}$	10,122204	$\mu\text{m}$	0,770033
264	18,6592243	$\mu\text{m}^2$	7,55378873	$\mu\text{m}$	8,44250353	$\mu\text{m}$	0,743379
265	24,4902316	$\mu\text{m}^2$	8,77594534	$\mu\text{m}$	9,67210098	$\mu\text{m}$	0,728279
266	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,771628
267	115,453952	$\mu\text{m}^2$	22,0946179	$\mu\text{m}$	21,0004598	$\mu\text{m}$	0,527895
268	49,3691973	$\mu\text{m}^2$	13,3166363	$\mu\text{m}$	13,7325895	$\mu\text{m}$	0,589267
269	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,93882073	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,719226
270	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,69362892	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,557534
271	42,3719897	$\mu\text{m}^2$	12,1100975	$\mu\text{m}$	12,7222469	$\mu\text{m}$	0,659992
272	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
273	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
274	85,5214456	$\mu\text{m}^2$	18,7562553	$\mu\text{m}$	18,0743179	$\mu\text{m}$	0,508997



275	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
276	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,619482
277	74,248165	$\mu\text{m}^2$	14,4874151	$\mu\text{m}$	16,8409761	$\mu\text{m}$	0,821838
278	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
279	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
280	183,482374	$\mu\text{m}^2$	28,4504648	$\mu\text{m}$	26,4741226	$\mu\text{m}$	0,375149
281	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,66446103	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,725531
282	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,7482237	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,535857
283	30,709973	$\mu\text{m}^2$	10,5046974	$\mu\text{m}$	10,8308904	$\mu\text{m}$	0,63446
284	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
285	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	5,95135499	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,787406
286	25,6564339	$\mu\text{m}^2$	10,1454307	$\mu\text{m}$	9,8997108	$\mu\text{m}$	0,444141
287	33,8198438	$\mu\text{m}^2$	10,2839464	$\mu\text{m}$	11,3660671	$\mu\text{m}$	0,728921
288	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
289	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
290	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,66446103	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,625182
291	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
292	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,10320737	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,768939
293	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,27552034	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,780536
294	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
295	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	5,28814577	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,470263
296	94,4623237	$\mu\text{m}^2$	18,0681892	$\mu\text{m}$	18,9956304	$\mu\text{m}$	0,484913
298	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,68735704	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,723407
300	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,45026874	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,689935
301	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,718683
302	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
303	99,1271307	$\mu\text{m}^2$	20,138358	$\mu\text{m}$	19,459007	$\mu\text{m}$	0,289798
305	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,50007439	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,689935
306	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
307	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
308	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
309	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
311	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
312	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
313	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	8,21603384	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,704861
314	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	6,10250813	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,716719
315	120,507492	$\mu\text{m}^2$	19,5950884	$\mu\text{m}$	21,4551434	$\mu\text{m}$	0,623998
316	56,755141	$\mu\text{m}^2$	14,3212043	$\mu\text{m}$	14,72404	$\mu\text{m}$	0,589264
318	155,493538	$\mu\text{m}^2$	24,7292787	$\mu\text{m}$	24,3714061	$\mu\text{m}$	0,493613
320	13,216951	$\mu\text{m}^2$	7,18609703	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,583013
321	47,4255289	$\mu\text{m}^2$	11,9657151	$\mu\text{m}$	13,4595485	$\mu\text{m}$	0,749962
322	108,456743	$\mu\text{m}^2$	23,1627371	$\mu\text{m}$	20,3541365	$\mu\text{m}$	0,366248
323	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012

324	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
325	107,290541	$\mu\text{m}^2$	19,6570194	$\mu\text{m}$	20,2444101	$\mu\text{m}$	0,547413
328	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
329	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
330	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
331	13,6056851	$\mu\text{m}^2$	6,233639	$\mu\text{m}$	7,20915964	$\mu\text{m}$	0,826309
332	47,0367948	$\mu\text{m}^2$	15,0918277	$\mu\text{m}$	13,4042723	$\mu\text{m}$	0,468483
334	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,06132804	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,760121
335	27,6001023	$\mu\text{m}^2$	10,7037	$\mu\text{m}$	10,2678566	$\mu\text{m}$	0,537878
336	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
337	83,5777772	$\mu\text{m}^2$	17,554477	$\mu\text{m}$	17,8677485	$\mu\text{m}$	0,575342
338	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,35135668	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,567155
339	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	4,8969394	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,772284
340	38,4846508	$\mu\text{m}^2$	13,2477705	$\mu\text{m}$	12,1246211	$\mu\text{m}$	0,476198
341	23,7127654	$\mu\text{m}^2$	8,67629404	$\mu\text{m}$	9,51733743	$\mu\text{m}$	0,690707
343	9,32961214	$\mu\text{m}^2$	5,11113169	$\mu\text{m}$	5,96975107	$\mu\text{m}$	0,829223
344	22,1578291	$\mu\text{m}^2$	7,88587839	$\mu\text{m}$	9,20000344	$\mu\text{m}$	0,833572
345	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,45026874	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,689935
346	29,9325069	$\mu\text{m}^2$	12,1400089	$\mu\text{m}$	10,6929108	$\mu\text{m}$	0,488954
347	26,045168	$\mu\text{m}^2$	9,06847252	$\mu\text{m}$	9,97442727	$\mu\text{m}$	0,688461
348	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
349	13,6056851	$\mu\text{m}^2$	6,36650607	$\mu\text{m}$	7,20915964	$\mu\text{m}$	0,770017
350	105,346872	$\mu\text{m}^2$	18,3150032	$\mu\text{m}$	20,0601992	$\mu\text{m}$	0,696168
351	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
352	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	5,91983541	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,770504
353	64,1410847	$\mu\text{m}^2$	15,2241027	$\mu\text{m}$	15,6528193	$\mu\text{m}$	0,564099
354	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,12680263	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,698132
355	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,754575
356	61,031214	$\mu\text{m}^2$	14,0724041	$\mu\text{m}$	15,2686417	$\mu\text{m}$	0,69674
357	41,9832556	$\mu\text{m}^2$	14,7143049	$\mu\text{m}$	12,6637543	$\mu\text{m}$	0,437469
359	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	6,0317181	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,484011
360	10,4958144	$\mu\text{m}^2$	5,70528708	$\mu\text{m}$	6,33187614	$\mu\text{m}$	0,723407
361	36,5409804	$\mu\text{m}^2$	11,523943	$\mu\text{m}$	11,814478	$\mu\text{m}$	0,622637
362	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
363	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
364	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
365	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
366	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,19716003	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,666845
367	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,687235
368	28,7663046	$\mu\text{m}^2$	9,17608673	$\mu\text{m}$	10,4825369	$\mu\text{m}$	0,825833
369	47,0367948	$\mu\text{m}^2$	13,9449996	$\mu\text{m}$	13,4042723	$\mu\text{m}$	0,559265
370	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	5,45819305	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,778573
371	15,5493536	$\mu\text{m}^2$	6,76337108	$\mu\text{m}$	7,7069161	$\mu\text{m}$	0,784437

372	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
373	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,15301302	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,717677
374	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,91261034	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
375	66,4734872	$\mu\text{m}^2$	15,120809	$\mu\text{m}$	15,9348733	$\mu\text{m}$	0,645472
376	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,26759602	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,666845
378	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502
379	100,293331	$\mu\text{m}^2$	16,8074963	$\mu\text{m}$	19,5731359	$\mu\text{m}$	0,813947
380	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	6,4990191	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,649773
381	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	4,9410864	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,691019
382	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,50007439	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,733056
383	237,127644	$\mu\text{m}^2$	35,1827763	$\mu\text{m}$	30,0964655	$\mu\text{m}$	0,390631
384	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,610876
385	33,8198438	$\mu\text{m}^2$	10,9025925	$\mu\text{m}$	11,3660671	$\mu\text{m}$	0,633074
386	149,273796	$\mu\text{m}^2$	22,7592233	$\mu\text{m}$	23,8790023	$\mu\text{m}$	0,549149
387	27,2113682	$\mu\text{m}^2$	10,0535822	$\mu\text{m}$	10,1952903	$\mu\text{m}$	0,604641
389	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,41065108	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,670733
390	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,42631944	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,628847
391	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
392	15,5493536	$\mu\text{m}^2$	7,09214637	$\mu\text{m}$	7,7069161	$\mu\text{m}$	0,716573
393	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,42737272	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,735509
394	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
395	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,68805629	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,76937
396	302,823663	$\mu\text{m}^2$	33,6653342	$\mu\text{m}$	34,0109934	$\mu\text{m}$	0,343345
397	130,614572	$\mu\text{m}^2$	19,759329	$\mu\text{m}$	22,3367614	$\mu\text{m}$	0,710064
398	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,808518
399	39,262119	$\mu\text{m}^2$	12,4040688	$\mu\text{m}$	12,246479	$\mu\text{m}$	0,536746
400	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
402	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,48178831	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,798721
403	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,68143
404	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,77443409	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,658793
405	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,06132804	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,794672
407	17,493022	$\mu\text{m}^2$	7,86808238	$\mu\text{m}$	8,17441712	$\mu\text{m}$	0,622407
409	54,4227385	$\mu\text{m}^2$	13,0496481	$\mu\text{m}$	14,4183173	$\mu\text{m}$	0,736635
410	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,63590637	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,495586
411	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,54988003	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,776177
412	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	4,99323632	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,744391
413	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,471636
415	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	5,59894102	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,397679
416	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	3,45323366	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,371689
418	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
419	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,619482
420	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
421	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,54195572	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142

422	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
423	117,397621	$\mu\text{m}^2$	23,6796737	$\mu\text{m}$	21,1764938	$\mu\text{m}$	0,399578
424	111,955348	$\mu\text{m}^2$	26,0231735	$\mu\text{m}$	20,6798234	$\mu\text{m}$	0,350616
425	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,718683
426	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
430	82,4115749	$\mu\text{m}^2$	17,9322938	$\mu\text{m}$	17,7426503	$\mu\text{m}$	0,575435
431	66,4734872	$\mu\text{m}^2$	15,2558903	$\mu\text{m}$	15,9348733	$\mu\text{m}$	0,52394
434	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,12680263	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,698132
435	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
436	13,6056851	$\mu\text{m}^2$	6,31670042	$\mu\text{m}$	7,20915964	$\mu\text{m}$	0,770017
437	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
438	61,8086802	$\mu\text{m}^2$	13,2903274	$\mu\text{m}$	15,3655867	$\mu\text{m}$	0,805686
439	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
440	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
441	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,52366964	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,628524
442	13,9944192	$\mu\text{m}^2$	7,89469339	$\mu\text{m}$	7,31142124	$\mu\text{m}$	0,497925
443	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,47944405	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,689935
444	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,58383705	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,598902
445	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	8,03197897	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,700093
446	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
447	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
448	48,9804652	$\mu\text{m}^2$	12,4654718	$\mu\text{m}$	13,6784174	$\mu\text{m}$	0,710319
449	208,750074	$\mu\text{m}^2$	25,4689786	$\mu\text{m}$	28,2382467	$\mu\text{m}$	0,729425
451	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,69841805	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,535857
452	51,7016019	$\mu\text{m}^2$	12,3571935	$\mu\text{m}$	14,0532379	$\mu\text{m}$	0,768739
453	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
454	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
455	78,1355019	$\mu\text{m}^2$	18,5438612	$\mu\text{m}$	17,2762154	$\mu\text{m}$	0,387178
456	54,4227385	$\mu\text{m}^2$	13,7559542	$\mu\text{m}$	14,4183173	$\mu\text{m}$	0,641103
457	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
459	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
460	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
462	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	3,23904136	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,534516
463	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	5,5079987	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,778573
464	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,880919	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,533404
465	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
466	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,771628
467	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
468	11,2732806	$\mu\text{m}^2$	5,78696634	$\mu\text{m}$	6,56220227	$\mu\text{m}$	0,776993
469	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,31740167	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,80974
470	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
471	26,8226361	$\mu\text{m}^2$	9,84777091	$\mu\text{m}$	10,122204	$\mu\text{m}$	0,614741
472	139,166716	$\mu\text{m}^2$	24,0095971	$\mu\text{m}$	23,056431	$\mu\text{m}$	0,438795



474	5,44227325	$\mu\text{m}^2$	4,08257703	$\mu\text{m}$	4,55947312	$\mu\text{m}$	0,717677
475	12,0507488	$\mu\text{m}^2$	5,78696634	$\mu\text{m}$	6,7847115	$\mu\text{m}$	0,830579
476	24,1014975	$\mu\text{m}^2$	8,7491203	$\mu\text{m}$	9,59503224	$\mu\text{m}$	0,727386
477	20,9916268	$\mu\text{m}^2$	10,5151826	$\mu\text{m}$	8,95462561	$\mu\text{m}$	0,33195
481	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
482	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,12680263	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,698132
483	48,5917311	$\mu\text{m}^2$	11,8427052	$\mu\text{m}$	13,6240292	$\mu\text{m}$	0,768403
484	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502
485	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,7482237	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,535857
486	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
487	28,7663046	$\mu\text{m}^2$	9,05810135	$\mu\text{m}$	10,4825369	$\mu\text{m}$	0,797738
488	6,9972096	$\mu\text{m}^2$	4,54988003	$\mu\text{m}$	5,16995636	$\mu\text{m}$	0,776177
489	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
490	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	8,43583077	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,645261
491	34,2085778	$\mu\text{m}^2$	10,5285701	$\mu\text{m}$	11,4312025	$\mu\text{m}$	0,69815
493	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,23677569	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,644916
494	25,6564339	$\mu\text{m}^2$	8,71286619	$\mu\text{m}$	9,8997108	$\mu\text{m}$	0,762959
495	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,21779037	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,714476
496	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,52366964	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,628524
497	52,479068	$\mu\text{m}^2$	13,4695817	$\mu\text{m}$	14,1585078	$\mu\text{m}$	0,661869
498	9,71834623	$\mu\text{m}^2$	5,4083874	$\mu\text{m}$	6,09285103	$\mu\text{m}$	0,748628
499	15,9380877	$\mu\text{m}^2$	6,90947365	$\mu\text{m}$	7,80265696	$\mu\text{m}$	0,782685
500	136,834313	$\mu\text{m}^2$	21,8952793	$\mu\text{m}$	22,862405	$\mu\text{m}$	0,517798
501	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
502	20,9916268	$\mu\text{m}^2$	8,47329702	$\mu\text{m}$	8,95462561	$\mu\text{m}$	0,666862
503	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,31670042	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,704016
504	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
505	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,18697004	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,483687
506	42,7607238	$\mu\text{m}^2$	12,1795514	$\mu\text{m}$	12,7804735	$\mu\text{m}$	0,635799
507	6,60847552	$\mu\text{m}^2$	4,31740167	$\mu\text{m}$	5,02429384	$\mu\text{m}$	0,80974
508	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
509	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,571505
510	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,1340277	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,755483
511	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
512	15,9380877	$\mu\text{m}^2$	6,9610155	$\mu\text{m}$	7,80265696	$\mu\text{m}$	0,721213
513	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	7,27634126	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,505324
514	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,65653671	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,68143
515	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,12680263	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,785398
516	15,5493536	$\mu\text{m}^2$	6,85732374	$\mu\text{m}$	7,7069161	$\mu\text{m}$	0,749354
517	22,9352973	$\mu\text{m}^2$	8,06855111	$\mu\text{m}$	9,36001559	$\mu\text{m}$	0,816044
518	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,808518
519	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,75614801	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,608576
521	21,769095	$\mu\text{m}^2$	10,007169	$\mu\text{m}$	9,11894425	$\mu\text{m}$	0,431482

523	6,21974143	μm <sup>2</sup>	4,26759602	μm	4,87428083	μm	0,762108
524	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,359283	μm	3,85345705	μm	0,763595
525	33,8198438	μm <sup>2</sup>	12,4732247	μm	11,3660671	μm	0,436582
526	117,008887	μm <sup>2</sup>	23,0229432	μm	21,1414038	μm	0,44511
527	48,9804652	μm <sup>2</sup>	12,1253952	μm	13,6784174	μm	0,754864
528	11,2732806	μm <sup>2</sup>	5,75544677	μm	6,56220227	μm	0,759871
530	11,2732806	μm <sup>2</sup>	5,85174369	μm	6,56220227	μm	0,736606
532	4,27607298	μm <sup>2</sup>	3,54195572	μm	4,04154038	μm	0,741142
533	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,359283	μm	3,85345705	μm	0,763595
534	26,045168	μm <sup>2</sup>	8,79184715	μm	9,97442727	μm	0,774519
535	12,4394829	μm <sup>2</sup>	6,06925236	μm	6,89327382	μm	0,795359
536	5,05353916	μm <sup>2</sup>	3,75614801	μm	4,39361831	μm	0,805327
537	10,8845485	μm <sup>2</sup>	5,73716269	μm	6,44806732	μm	0,7502
538	43,1494559	μm <sup>2</sup>	12,1062851	μm	12,8384341	μm	0,648309
539	52,8678021	μm <sup>2</sup>	13,8521211	μm	14,2108498	μm	0,603545
540	5,05353916	μm <sup>2</sup>	3,92053466	μm	4,39361831	μm	0,742956
541	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
542	28,3775705	μm <sup>2</sup>	9,26056831	μm	10,4114688	μm	0,760633
543	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
544	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
545	10,1070803	μm <sup>2</sup>	5,4083874	μm	6,21351272	μm	0,778573
546	25,6564339	μm <sup>2</sup>	9,27786627	μm	9,8997108	μm	0,606795
547	35,7635142	μm <sup>2</sup>	12,766922	μm	11,6881156	μm	0,50389
548	10,8845485	μm <sup>2</sup>	6,65254851	μm	6,44806732	μm	0,559786
549	6,60847552	μm <sup>2</sup>	4,31740167	μm	5,02429384	μm	0,80974
550	61,8086802	μm <sup>2</sup>	14,3947666	μm	15,3655867	μm	0,649699
551	2,72113662	μm <sup>2</sup>	2,96241599	μm	3,22403366	μm	0,675174
552	7,38594369	μm <sup>2</sup>	5,04304197	μm	5,31162443	μm	0,673497
553	42,7607238	μm <sup>2</sup>	11,8795974	μm	12,7804735	μm	0,676195
554	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
555	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,49215007	μm	3,85345705	μm	0,673765
556	63,3636165	μm <sup>2</sup>	13,7540659	μm	15,5576645	μm	0,716815
558	49,3691973	μm <sup>2</sup>	12,5002617	μm	13,7325895	μm	0,608485
559	22,9352973	μm <sup>2</sup>	8,18313211	μm	9,36001559	μm	0,785227
560	15,9380877	μm <sup>2</sup>	6,92775973	μm	7,80265696	μm	0,768088
561	14,7718854	μm <sup>2</sup>	7,35048567	μm	7,51177196	μm	0,624292
562	7,38594369	μm <sup>2</sup>	4,66446103	μm	5,31162443	μm	0,765838
563	11,6620147	μm <sup>2</sup>	6,88641504	μm	6,67438499	μm	0,438722
565	4,27607298	μm <sup>2</sup>	4,00359608	μm	4,04154038	μm	0,563889
566	30,709973	μm <sup>2</sup>	10,3586108	μm	10,8308904	μm	0,673781
567	25,6564339	μm <sup>2</sup>	9,88337094	μm	9,8997108	μm	0,523612
568	9,32961214	μm <sup>2</sup>	5,6225797	μm	5,96975107	μm	0,679279
569	3,88733889	μm <sup>2</sup>	3,54195572	μm	3,85345705	μm	0,673765

570	107,290541	$\mu\text{m}^2$	20,7983769	$\mu\text{m}$	20,2444101	$\mu\text{m}$	0,408141
571	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,49215007	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,606389
572	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,72923638	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,604163
573	28,3775705	$\mu\text{m}^2$	9,07647543	$\mu\text{m}$	10,4114688	$\mu\text{m}$	0,814673
574	10,8845485	$\mu\text{m}^2$	6,16692944	$\mu\text{m}$	6,44806732	$\mu\text{m}$	0,628715
575	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,22571469	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,715492
576	21,3803609	$\mu\text{m}^2$	8,6335632	$\mu\text{m}$	9,03715897	$\mu\text{m}$	0,654937
578	14,7718854	$\mu\text{m}^2$	6,53089272	$\mu\text{m}$	7,51177196	$\mu\text{m}$	0,796495
579	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,96241599	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
580	26,8226361	$\mu\text{m}^2$	9,63441271	$\mu\text{m}$	10,122204	$\mu\text{m}$	0,672794
581	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
582	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,66446103	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,644916
583	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,03050771	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,739839
584	30,709973	$\mu\text{m}^2$	9,33481473	$\mu\text{m}$	10,8308904	$\mu\text{m}$	0,823151
585	59,8650117	$\mu\text{m}^2$	13,8892733	$\mu\text{m}$	15,1220591	$\mu\text{m}$	0,642776
586	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,77904203	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,717444
587	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,71426668	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,765838
588	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,75606742	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,551631
589	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
590	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,14403542	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,715492
591	350,249192	$\mu\text{m}^2$	45,3932264	$\mu\text{m}$	36,5774125	$\mu\text{m}$	0,230519
592	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,7482237	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,643029
593	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
594	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,54988003	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,819298
596	45,0931263	$\mu\text{m}^2$	12,3319987	$\mu\text{m}$	13,1244045	$\mu\text{m}$	0,647274
597	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	4,82884767	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,755204
598	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
599	7,77467778	$\mu\text{m}^2$	4,87630906	$\mu\text{m}$	5,44961208	$\mu\text{m}$	0,735509
600	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
601	24,1014975	$\mu\text{m}^2$	10,1322632	$\mu\text{m}$	9,59503224	$\mu\text{m}$	0,506684
603	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,68143
604	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,7502
605	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,40116233	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,708944
606	59,8650117	$\mu\text{m}^2$	13,9676182	$\mu\text{m}$	15,1220591	$\mu\text{m}$	0,707927
607	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	7,43686147	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,777485
608	1,94366845	$\mu\text{m}^2$	2,58383705	$\mu\text{m}$	2,72480504	$\mu\text{m}$	0,598902
609	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	7,8233593	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,71658
610	47,4255289	$\mu\text{m}^2$	11,841309	$\mu\text{m}$	13,4595485	$\mu\text{m}$	0,758077
611	73,8594309	$\mu\text{m}^2$	18,9868134	$\mu\text{m}$	16,7968331	$\mu\text{m}$	0,456958
612	100,293331	$\mu\text{m}^2$	17,6296035	$\mu\text{m}$	19,5731359	$\mu\text{m}$	0,683547
614	35,7635142	$\mu\text{m}^2$	10,0368504	$\mu\text{m}$	11,6881156	$\mu\text{m}$	0,819655
615	25,2676998	$\mu\text{m}^2$	9,69095912	$\mu\text{m}$	9,82442826	$\mu\text{m}$	0,605523
616	12,4394829	$\mu\text{m}^2$	6,81871336	$\mu\text{m}$	6,89327382	$\mu\text{m}$	0,599484

617	13,9944192	μm <sup>2</sup>	6,51026238	μm	7,31142124	μm	0,754575
618	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,79802934	μm	2,98487454	μm	0,643029
619	2,72113662	μm <sup>2</sup>	2,79802934	μm	3,22403366	μm	0,7502
620	4,27607298	μm <sup>2</sup>	3,52366964	μm	4,04154038	μm	0,768196
621	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
622	10,8845485	μm <sup>2</sup>	5,6225797	μm	6,44806732	μm	0,792492
623	92,1299211	μm <sup>2</sup>	21,39003	μm	18,7596517	μm	0,458134
624	57,1438751	μm <sup>2</sup>	18,6344435	μm	14,7743797	μm	0,379166
625	15,5493536	μm <sup>2</sup>	7,21557837	μm	7,7069161	μm	0,673765
626	18,2704902	μm <sup>2</sup>	7,40733212	μm	8,3540975	μm	0,758779
627	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
628	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,43714041	μm	0,785398
629	9,71834623	μm <sup>2</sup>	5,27552034	μm	6,09285103	μm	0,813059
630	41,9832556	μm <sup>2</sup>	13,0300678	μm	12,6637543	μm	0,494565
631	12,4394829	μm <sup>2</sup>	6,33316229	μm	6,89327382	μm	0,704016
632	13,216951	μm <sup>2</sup>	6,29607008	μm	7,10542388	μm	0,748017
633	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,93089641	μm	2,98487454	μm	0,554879
634	41,9832556	μm <sup>2</sup>	11,4960078	μm	12,6637543	μm	0,699692
635	4,66480707	μm <sup>2</sup>	4,21779037	μm	4,22125076	μm	0,571581
636	64,5298188	μm <sup>2</sup>	14,8291119	μm	15,7001807	μm	0,585317
637	8,16340987	μm <sup>2</sup>	5,24400076	μm	5,58419134	μm	0,666415
638	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
639	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
640	4,27607298	μm <sup>2</sup>	3,70634236	μm	4,04154038	μm	0,68143
641	6,60847552	μm <sup>2</sup>	4,43198266	μm	5,02429384	μm	0,754348
642	64,9185529	μm <sup>2</sup>	14,1755257	μm	15,747398	μm	0,741118
643	2,72113662	μm <sup>2</sup>	2,98070206	μm	3,22403366	μm	0,647359
644	7,38594369	μm <sup>2</sup>	4,82650341	μm	5,31162443	μm	0,698733
645	9,32961214	μm <sup>2</sup>	5,29380641	μm	5,96975107	μm	0,761618
646	6,9972096	μm <sup>2</sup>	4,48178831	μm	5,16995636	μm	0,798721
647	31,4874412	μm <sup>2</sup>	9,50154564	μm	10,9671319	μm	0,827555
648	8,16340987	μm <sup>2</sup>	5,55448797	μm	5,58419134	μm	0,608298
649	24,8789657	μm <sup>2</sup>	8,81212345	μm	9,74856166	μm	0,714234
650	15,9380877	μm <sup>2</sup>	6,82814843	μm	7,80265696	μm	0,768088
651	32,6536435	μm <sup>2</sup>	9,70763501	μm	11,1683807	μm	0,772284
652	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,43714041	μm	0,785398
653	127,115967	μm <sup>2</sup>	21,9156756	μm	22,0355792	μm	0,567243
654	11,2732806	μm <sup>2</sup>	5,80525242	μm	6,56220227	μm	0,759871
655	6,21974143	μm <sup>2</sup>	4,45026874	μm	4,87428083	μm	0,689935
656	26,4339021	μm <sup>2</sup>	8,76267184	μm	10,0485877	μm	0,786079
657	5,83100734	μm <sup>2</sup>	4,31740167	μm	4,71950327	μm	0,714476
658	38,8733849	μm <sup>2</sup>	10,9713303	μm	12,1857021	μm	0,599098
659	10,1070803	μm <sup>2</sup>	6,67465102	μm	6,21351272	μm	0,465773



660	8,55214396	$\mu\text{m}^2$	5,04304197	$\mu\text{m}$	5,71560025	$\mu\text{m}$	0,779838
661	297,38139	$\mu\text{m}^2$	28,972456	$\mu\text{m}$	33,7039886	$\mu\text{m}$	0,798253
662	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,15231378	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,786079
663	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,589049
664	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
665	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,10320737	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,768939
666	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,19384107	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,682969
667	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	7,18604902	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,251621
668	40,0395852	$\mu\text{m}^2$	12,2397322	$\mu\text{m}$	12,3671366	$\mu\text{m}$	0,534421
669	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	3,87072901	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,685805
670	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,6336427	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,428686
672	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
673	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,88422596	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,698733
674	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
675	6,21974143	$\mu\text{m}^2$	4,43198266	$\mu\text{m}$	4,87428083	$\mu\text{m}$	0,709975
676	20,2141606	$\mu\text{m}^2$	8,61059459	$\mu\text{m}$	8,78723462	$\mu\text{m}$	0,619213
677	80,4679064	$\mu\text{m}^2$	16,2430162	$\mu\text{m}$	17,5321725	$\mu\text{m}$	0,514382
678	59,0875435	$\mu\text{m}^2$	13,3813957	$\mu\text{m}$	15,0235439	$\mu\text{m}$	0,770216
679	44,3156582	$\mu\text{m}^2$	11,585362	$\mu\text{m}$	13,0107696	$\mu\text{m}$	0,763597
680	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
681	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,99253507	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,609087
682	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,56555098	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,753982
683	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,70634236	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,68143
684	7,38594369	$\mu\text{m}^2$	4,66446103	$\mu\text{m}$	5,31162443	$\mu\text{m}$	0,765838
685	66,0847532	$\mu\text{m}^2$	18,2946709	$\mu\text{m}$	15,888212	$\mu\text{m}$	0,456815
686	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,59176137	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
687	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
688	19,0479584	$\mu\text{m}^2$	7,56790633	$\mu\text{m}$	8,52999145	$\mu\text{m}$	0,746101
689	19,4366925	$\mu\text{m}^2$	8,31581116	$\mu\text{m}$	8,61659327	$\mu\text{m}$	0,608178
690	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
691	28,3775705	$\mu\text{m}^2$	9,839748	$\mu\text{m}$	10,4114688	$\mu\text{m}$	0,671152
692	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
693	10,8845485	$\mu\text{m}^2$	6,74611313	$\mu\text{m}$	6,44806732	$\mu\text{m}$	0,534516
694	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
695	104,18067	$\mu\text{m}^2$	23,2489428	$\mu\text{m}$	19,9488545	$\mu\text{m}$	0,440319
696	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
697	22,1578291	$\mu\text{m}^2$	8,33480531	$\mu\text{m}$	9,20000344	$\mu\text{m}$	0,730492
698	4,27607298	$\mu\text{m}^2$	3,54195572	$\mu\text{m}$	4,04154038	$\mu\text{m}$	0,741142
699	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,44304367	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,698132
700	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
701	124,394831	$\mu\text{m}^2$	22,4525665	$\mu\text{m}$	21,7984483	$\mu\text{m}$	0,424268
702	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,92053466	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,742956
703	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,754575

704	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,79802934	μm	2,98487454	μm	0,643029
705	6,9972096	μm <sup>2</sup>	4,61465538	μm	5,16995636	μm	0,725531
706	181,149972	μm <sup>2</sup>	27,06797	μm	26,3053175	μm	0,429168
707	1,16620227	μm <sup>2</sup>	1,83991068	μm	2,11062538	μm	0,685805
708	40,4283193	μm <sup>2</sup>	10,9221908	μm	12,4270274	μm	0,748017
709	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
710	11,6620147	μm <sup>2</sup>	6,65104634	μm	6,67438499	μm	0,456796
713	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
714	14,3831513	μm <sup>2</sup>	6,48108707	μm	7,41227268	μm	0,775535
715	1,16620227	μm <sup>2</sup>	1,83991068	μm	2,11062538	μm	0,685805
718	123,617362	μm <sup>2</sup>	23,5427982	μm	21,7302206	μm	0,465337
719	3,10987071	μm <sup>2</sup>	2,96241599	μm	3,44663691	μm	0,771628
720	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,6336427	μm	2,98487454	μm	0,718683
722	7,38594369	μm <sup>2</sup>	4,73255275	μm	5,31162443	μm	0,745216
723	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
724	7,77467778	μm <sup>2</sup>	4,77904203	μm	5,44961208	μm	0,755204
725	1,55493636	μm <sup>2</sup>	2,23677569	μm	2,43714041	μm	0,644916
726	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
727	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
728	20,6028927	μm <sup>2</sup>	8,19418736	μm	8,87132616	μm	0,705374
729	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
730	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
731	119,341289	μm <sup>2</sup>	21,0300632	μm	21,3510756	μm	0,484267
733	5,05353916	μm <sup>2</sup>	3,92053466	μm	4,39361831	μm	0,742956
735	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,6336427	μm	2,98487454	μm	0,718683
736	45,8705945	μm <sup>2</sup>	12,8130112	μm	13,2370613	μm	0,597931
737	13,6056851	μm <sup>2</sup>	6,18383335	μm	7,20915964	μm	0,826309
739	11,2732806	μm <sup>2</sup>	5,78696634	μm	6,56220227	μm	0,776993
740	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
741	6,60847552	μm <sup>2</sup>	4,64383069	μm	5,02429384	μm	0,685223
742	0,77746818	μm <sup>2</sup>	1,44304367	μm	1,72331945	μm	0,698132
743	230,130435	μm <sup>2</sup>	30,638993	μm	29,6490947	μm	0,377571
744	55,2002067	μm <sup>2</sup>	13,2777779	μm	14,5209409	μm	0,712583
745	29,1550387	μm <sup>2</sup>	12,4122618	μm	10,5531289	μm	0,442666
746	21,3803609	μm <sup>2</sup>	8,31417497	μm	9,03715897	μm	0,645261
747	1,16620227	μm <sup>2</sup>	2,00429732	μm	2,11062538	μm	0,589049
748	0,38873409	μm <sup>2</sup>	0,88179201	μm	1,21857021	μm	0,785398
749	2,33240253	μm <sup>2</sup>	2,56555098	μm	2,98487454	μm	0,753982
750	4,66480707	μm <sup>2</sup>	3,87072901	μm	4,22125076	μm	0,685805
751	8,55214396	μm <sup>2</sup>	4,99323632	μm	5,71560025	μm	0,779838
752	27,9888364	μm <sup>2</sup>	10,2757674	μm	10,3399107	μm	0,603245
753	4,66480707	μm <sup>2</sup>	3,75614801	μm	4,22125076	μm	0,743379
754	1,16620227	μm <sup>2</sup>	1,83991068	μm	2,11062538	μm	0,685805



755	21,769095	$\mu\text{m}^2$	9,81583729	$\mu\text{m}$	9,11894425	$\mu\text{m}$	0,50543
756	83,1890431	$\mu\text{m}^2$	18,4173228	$\mu\text{m}$	17,8261458	$\mu\text{m}$	0,549741
757	13,6056851	$\mu\text{m}^2$	6,46280099	$\mu\text{m}$	7,20915964	$\mu\text{m}$	0,748373
759	0,77746818	$\mu\text{m}^2$	1,67552203	$\mu\text{m}$	1,72331945	$\mu\text{m}$	0,539012
760	28,3775705	$\mu\text{m}^2$	10,6237069	$\mu\text{m}$	10,4114688	$\mu\text{m}$	0,546498
761	44,7043922	$\mu\text{m}^2$	14,2019187	$\mu\text{m}$	13,0677101	$\mu\text{m}$	0,488599
763	5,83100734	$\mu\text{m}^2$	4,15301302	$\mu\text{m}$	4,71950327	$\mu\text{m}$	0,768939
764	3,10987071	$\mu\text{m}^2$	3,19489436	$\mu\text{m}$	3,44663691	$\mu\text{m}$	0,670733
765	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,04304197	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,815285
766	79,6904383	$\mu\text{m}^2$	17,5592735	$\mu\text{m}$	17,4472708	$\mu\text{m}$	0,463807
768	3,4986048	$\mu\text{m}^2$	3,30947735	$\mu\text{m}$	3,65571062	$\mu\text{m}$	0,687235
769	16,3268217	$\mu\text{m}^2$	8,01484702	$\mu\text{m}$	7,89723768	$\mu\text{m}$	0,558975
770	8,94087805	$\mu\text{m}^2$	5,20742861	$\mu\text{m}$	5,84405682	$\mu\text{m}$	0,766828
771	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
772	19,8254265	$\mu\text{m}^2$	9,30314114	$\mu\text{m}$	8,70233299	$\mu\text{m}$	0,513917
773	29,9325069	$\mu\text{m}^2$	9,48648793	$\mu\text{m}$	10,6929108	$\mu\text{m}$	0,740752
774	125,561031	$\mu\text{m}^2$	31,1568057	$\mu\text{m}$	21,9003899	$\mu\text{m}$	0,298408
775	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,91261034	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,675174
776	61,031214	$\mu\text{m}^2$	24,2586754	$\mu\text{m}$	15,2686417	$\mu\text{m}$	0,238401
779	63,7523506	$\mu\text{m}^2$	14,6738483	$\mu\text{m}$	15,6053139	$\mu\text{m}$	0,601648
780	158,603408	$\mu\text{m}^2$	39,8139176	$\mu\text{m}$	24,6139136	$\mu\text{m}$	0,156652
781	8,16340987	$\mu\text{m}^2$	5,43990698	$\mu\text{m}$	5,58419134	$\mu\text{m}$	0,644013
782	33,0423776	$\mu\text{m}^2$	15,0117666	$\mu\text{m}$	11,2346622	$\mu\text{m}$	0,341832
784	4,66480707	$\mu\text{m}^2$	4,2357204	$\mu\text{m}$	4,22125076	$\mu\text{m}$	0,571581
785	2,72113662	$\mu\text{m}^2$	2,98070206	$\mu\text{m}$	3,22403366	$\mu\text{m}$	0,647359
786	1,55493636	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,43714041	$\mu\text{m}$	0,785398
787	46,2593266	$\mu\text{m}^2$	13,1005158	$\mu\text{m}$	13,2930317	$\mu\text{m}$	0,557332
788	11,6620147	$\mu\text{m}^2$	5,85505806	$\mu\text{m}$	6,67438499	$\mu\text{m}$	0,786073
789	5,05353916	$\mu\text{m}^2$	3,75614801	$\mu\text{m}$	4,39361831	$\mu\text{m}$	0,805327
790	10,1070803	$\mu\text{m}^2$	5,43990698	$\mu\text{m}$	6,21351272	$\mu\text{m}$	0,79735
791	3,88733889	$\mu\text{m}^2$	3,359283	$\mu\text{m}$	3,85345705	$\mu\text{m}$	0,763595
793	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	1,83991068	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,685805
794	13,216951	$\mu\text{m}^2$	6,233639	$\mu\text{m}$	7,10542388	$\mu\text{m}$	0,8027
795	0,38873409	$\mu\text{m}^2$	0,88179201	$\mu\text{m}$	1,21857021	$\mu\text{m}$	0,785398
796	2,33240253	$\mu\text{m}^2$	2,79802934	$\mu\text{m}$	2,98487454	$\mu\text{m}$	0,643029
797	1,16620227	$\mu\text{m}^2$	2,00429732	$\mu\text{m}$	2,11062538	$\mu\text{m}$	0,589049

Poros de la muestra 6 de la aleación Ti-30Nb-4Sn							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
2	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	3,2869088	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,414611
3	4,40572564	$\mu\text{m}^2$	4,12702266	$\mu\text{m}$	4,10258514	$\mu\text{m}$	0,576705

4	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,88513802	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,743379
5	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,763595
6	1,86019438	$\mu\text{m}^2$	2,52418644	$\mu\text{m}$	2,66580244	$\mu\text{m}$	0,656468
7	8,61563904	$\mu\text{m}^2$	5,31768174	$\mu\text{m}$	5,73710252	$\mu\text{m}$	0,643459
9	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
10	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
11	8,32192466	$\mu\text{m}^2$	5,25592578	$\mu\text{m}$	5,63846223	$\mu\text{m}$	0,654928
12	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
13	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
14	2,74133951	$\mu\text{m}^2$	3,12570437	$\mu\text{m}$	3,23616134	$\mu\text{m}$	0,628715
15	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
16	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
17	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,785398
18	10,2800252	$\mu\text{m}^2$	6,82500437	$\mu\text{m}$	6,26680223	$\mu\text{m}$	0,432826
19	3,13296001	$\mu\text{m}^2$	3,40056649	$\mu\text{m}$	3,45960383	$\mu\text{m}$	0,599484
20	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,3881557	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,566403
21	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
22	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
23	1,86019438	$\mu\text{m}^2$	2,42350769	$\mu\text{m}$	2,66580244	$\mu\text{m}$	0,717444
24	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,60345636	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,754575
25	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	2,05014531	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,740449
26	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,86014237	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,68143
27	5,7763954	$\mu\text{m}^2$	4,3891559	$\mu\text{m}$	4,69761361	$\mu\text{m}$	0,668061
28	62,0717655	$\mu\text{m}^2$	17,9892874	$\mu\text{m}$	15,39912	$\mu\text{m}$	0,260888
29	10,96536	$\mu\text{m}^2$	6,51107143	$\mu\text{m}$	6,47232467	$\mu\text{m}$	0,57543
30	11,1611683	$\mu\text{m}^2$	5,82156561	$\mu\text{m}$	6,52985767	$\mu\text{m}$	0,746769
31	8,02821028	$\mu\text{m}^2$	5,33879851	$\mu\text{m}$	5,53806754	$\mu\text{m}$	0,621211
32	5,58058515	$\mu\text{m}^2$	4,7033189	$\mu\text{m}$	4,61730746	$\mu\text{m}$	0,558912
33	56,2953721	$\mu\text{m}^2$	13,8794266	$\mu\text{m}$	14,6651061	$\mu\text{m}$	0,587385
34	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,86014237	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,743379
35	3,72038877	$\mu\text{m}^2$	3,8882467	$\mu\text{m}$	3,77001398	$\mu\text{m}$	0,56503
37	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,62151043	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,614211
38	119,639901	$\mu\text{m}^2$	20,8611524	$\mu\text{m}$	21,3789754	$\mu\text{m}$	0,487736
40	2,15391076	$\mu\text{m}^2$	2,5651797	$\mu\text{m}$	2,86855226	$\mu\text{m}$	0,760121
41	3,32877026	$\mu\text{m}^2$	3,19238744	$\mu\text{m}$	3,56607789	$\mu\text{m}$	0,712654
42	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
43	36,4206567	$\mu\text{m}^2$	10,9392902	$\mu\text{m}$	11,7956737	$\mu\text{m}$	0,571692
44	1,66438413	$\mu\text{m}^2$	2,30565305	$\mu\text{m}$	2,52159785	$\mu\text{m}$	0,685223
45	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,52095372	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,739839
46	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
47	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,771628
48	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,40427735	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,7502
49	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944



50	9,69259442	$\mu\text{m}^2$	6,62525323	$\mu\text{m}$	6,08511517	$\mu\text{m}$	0,494811
52	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
53	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,50483406	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,72557
54	6,46173028	$\mu\text{m}^2$	4,5413723	$\mu\text{m}$	4,96847682	$\mu\text{m}$	0,726016
55	3,23086414	$\mu\text{m}^2$	3,26173311	$\mu\text{m}$	3,51324395	$\mu\text{m}$	0,691693
56	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,675174
57	2,83924564	$\mu\text{m}^2$	2,98569473	$\mu\text{m}$	3,29344428	$\mu\text{m}$	0,720794
58	1,95810051	$\mu\text{m}^2$	2,36600069	$\mu\text{m}$	2,73505609	$\mu\text{m}$	0,806145
59	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,65948501	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,644013
60	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,09759804	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,483687
61	49,5399275	$\mu\text{m}^2$	12,0296466	$\mu\text{m}$	13,7570889	$\mu\text{m}$	0,757859
62	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
63	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
64	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
65	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,84978803	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,619482
66	43,5677218	$\mu\text{m}^2$	11,3969736	$\mu\text{m}$	12,9012355	$\mu\text{m}$	0,643024
68	23,7909125	$\mu\text{m}^2$	8,819017	$\mu\text{m}$	9,53354447	$\mu\text{m}$	0,584425
70	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	2,00181639	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,774551
71	1,56648001	$\mu\text{m}^2$	2,14182403	$\mu\text{m}$	2,44630884	$\mu\text{m}$	0,762108
72	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	2,6226867	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,780536
73	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
74	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,9664644	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,663901
75	45,5258223	$\mu\text{m}^2$	14,248638	$\mu\text{m}$	13,1879643	$\mu\text{m}$	0,450558
76	5,3847749	$\mu\text{m}^2$	4,09660379	$\mu\text{m}$	4,53557699	$\mu\text{m}$	0,731992
77	1,76229026	$\mu\text{m}^2$	2,40768811	$\mu\text{m}$	2,59470237	$\mu\text{m}$	0,661958
78	4,79734415	$\mu\text{m}^2$	4,78896625	$\mu\text{m}$	4,28103947	$\mu\text{m}$	0,465122
79	7,93030416	$\mu\text{m}^2$	4,94426735	$\mu\text{m}$	5,50419389	$\mu\text{m}$	0,712417
82	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,610876
83	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,76846165	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,768196
84	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
85	1,66438413	$\mu\text{m}^2$	2,63610973	$\mu\text{m}$	2,52159785	$\mu\text{m}$	0,445441
87	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
88	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
89	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,12259569	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,644916
90	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
91	5,28686877	$\mu\text{m}^2$	4,56229503	$\mu\text{m}$	4,49415563	$\mu\text{m}$	0,570606
92	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,12259569	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,644916
93	1,86019438	$\mu\text{m}^2$	2,53100598	$\mu\text{m}$	2,66580244	$\mu\text{m}$	0,673497
94	2,15391076	$\mu\text{m}^2$	2,86263692	$\mu\text{m}$	2,86855226	$\mu\text{m}$	0,589443
95	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,589049
96	3,03505389	$\mu\text{m}^2$	2,99604907	$\mu\text{m}$	3,40511752	$\mu\text{m}$	0,770504
97	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,55198472	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,487835
98	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398

99	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,687235
100	23,399294	$\mu\text{m}^2$	8,938518	$\mu\text{m}$	9,45475467	$\mu\text{m}$	0,561852
101	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,45129997	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,438722
103	4,20991539	$\mu\text{m}^2$	3,73714655	$\mu\text{m}$	4,0103803	$\mu\text{m}$	0,654742
105	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	1,96764267	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,742956
106	2,25181488	$\mu\text{m}^2$	2,70401308	$\mu\text{m}$	2,93302083	$\mu\text{m}$	0,688738
107	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
108	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,785398
109	15,9585144	$\mu\text{m}^2$	7,81044907	$\mu\text{m}$	7,80809454	$\mu\text{m}$	0,608021
110	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
111	3,62248464	$\mu\text{m}^2$	3,30272638	$\mu\text{m}$	3,7200787	$\mu\text{m}$	0,775535
112	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,3792817	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,643029
113	63,8340558	$\mu\text{m}^2$	14,6793654	$\mu\text{m}$	15,6161891	$\mu\text{m}$	0,443743
114	12,2381237	$\mu\text{m}^2$	6,30278036	$\mu\text{m}$	6,83764123	$\mu\text{m}$	0,687515
115	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,763595
116	13,5108893	$\mu\text{m}^2$	9,43439207	$\mu\text{m}$	7,18440559	$\mu\text{m}$	0,344296
119	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
121	3,23086414	$\mu\text{m}^2$	3,1598781	$\mu\text{m}$	3,51324395	$\mu\text{m}$	0,726016
122	3,32877026	$\mu\text{m}^2$	3,32503742	$\mu\text{m}$	3,56607789	$\mu\text{m}$	0,666772
123	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,12259569	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,644916
124	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
125	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,785398
126	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,12259569	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,644916
127	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
128	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,32177471	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,718683
129	164,186674	$\mu\text{m}^2$	34,3978415	$\mu\text{m}$	25,0448138	$\mu\text{m}$	0,172123
130	3,32877026	$\mu\text{m}^2$	3,63156269	$\mu\text{m}$	3,56607789	$\mu\text{m}$	0,583013
131	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
132	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,675174
133	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,589049
134	5,48267902	$\mu\text{m}^2$	4,16988035	$\mu\text{m}$	4,57662427	$\mu\text{m}$	0,706683
135	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,40427735	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,7502
137	32,1128371	$\mu\text{m}^2$	11,040405	$\mu\text{m}$	11,0761331	$\mu\text{m}$	0,581603
139	55,9037516	$\mu\text{m}^2$	16,2337847	$\mu\text{m}$	14,6140086	$\mu\text{m}$	0,364916
140	1,56648001	$\mu\text{m}^2$	2,14182403	$\mu\text{m}$	2,44630884	$\mu\text{m}$	0,762108
142	4,11200927	$\mu\text{m}^2$	3,88822269	$\mu\text{m}$	3,9634737	$\mu\text{m}$	0,624507
143	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,22432667	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,665601
146	5,7763954	$\mu\text{m}^2$	4,34970498	$\mu\text{m}$	4,69761361	$\mu\text{m}$	0,682039
147	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	2,20833106	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,576854
148	2,54552926	$\mu\text{m}^2$	2,97087338	$\mu\text{m}$	3,11844473	$\mu\text{m}$	0,660405
149	115,429988	$\mu\text{m}^2$	23,6570582	$\mu\text{m}$	20,9994616	$\mu\text{m}$	0,35173
150	5,7763954	$\mu\text{m}^2$	4,15052597	$\mu\text{m}$	4,69761361	$\mu\text{m}$	0,744541
151	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,05014531	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,793338



152	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,57846071	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,670733
153	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,66096336	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,687235
154	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
155	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,81914911	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,495586
156	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	2,08431903	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,666414
157	9,20306979	$\mu\text{m}^2$	5,42411379	$\mu\text{m}$	5,92945999	$\mu\text{m}$	0,70371
158	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,675174
159	29,0777833	$\mu\text{m}^2$	9,57343349	$\mu\text{m}$	10,5397299	$\mu\text{m}$	0,728056
160	1,27276563	$\mu\text{m}^2$	2,21112769	$\mu\text{m}$	2,20507232	$\mu\text{m}$	0,560573
161	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,60345636	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,754575
162	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,83514672	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,619482
163	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
164	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
165	3,13296001	$\mu\text{m}^2$	3,15070002	$\mu\text{m}$	3,45960383	$\mu\text{m}$	0,718532
166	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	2,39859406	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,414611
167	4,89525027	$\mu\text{m}^2$	3,92242242	$\mu\text{m}$	4,32450329	$\mu\text{m}$	0,731204
168	3,13296001	$\mu\text{m}^2$	3,11272544	$\mu\text{m}$	3,45960383	$\mu\text{m}$	0,704016
169	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
170	3,52458052	$\mu\text{m}^2$	3,82139559	$\mu\text{m}$	3,66946326	$\mu\text{m}$	0,517858
171	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,94264502	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,685805
172	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,40427735	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,7502
173	2,15391076	$\mu\text{m}^2$	2,44850333	$\mu\text{m}$	2,86855226	$\mu\text{m}$	0,830725
174	1,86019438	$\mu\text{m}^2$	2,53100598	$\mu\text{m}$	2,66580244	$\mu\text{m}$	0,673497
175	20,5600483	$\mu\text{m}^2$	7,87255711	$\mu\text{m}$	8,86259485	$\mu\text{m}$	0,75521
176	70,0999758	$\mu\text{m}^2$	15,5865224	$\mu\text{m}$	16,3646902	$\mu\text{m}$	0,5942
177	42,0012418	$\mu\text{m}^2$	12,0920447	$\mu\text{m}$	12,6671786	$\mu\text{m}$	0,513858
178	86,8417292	$\mu\text{m}^2$	20,8282269	$\mu\text{m}$	18,2143242	$\mu\text{m}$	0,279831
180	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
182	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,16682168	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,714476
184	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
185	1,95810051	$\mu\text{m}^2$	2,36600069	$\mu\text{m}$	2,73505609	$\mu\text{m}$	0,806145
186	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,83514672	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,619482
187	14,2941283	$\mu\text{m}^2$	6,28591455	$\mu\text{m}$	7,38971599	$\mu\text{m}$	0,843879
188	42,3928623	$\mu\text{m}^2$	14,2782947	$\mu\text{m}$	12,726096	$\mu\text{m}$	0,469991
190	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
191	11,4548847	$\mu\text{m}^2$	5,71643985	$\mu\text{m}$	6,61521896	$\mu\text{m}$	0,787341
192	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
193	23,1055776	$\mu\text{m}^2$	10,3095698	$\mu\text{m}$	9,39522722	$\mu\text{m}$	0,425378
194	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,60345636	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,534516
195	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,86014237	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,619482
197	60,9948101	$\mu\text{m}^2$	16,0499771	$\mu\text{m}$	15,2649477	$\mu\text{m}$	0,500615
198	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,88513802	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,743379
199	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132

200	0,58743075	μm <sup>2</sup>	1,28760098	μm	1,49805254	μm	0,753982
201	21,2453832	μm <sup>2</sup>	8,49790843	μm	9,00909395	μm	0,625222
203	21,832814	μm <sup>2</sup>	8,05977742	μm	9,13279591	μm	0,733757
204	5,3847749	μm <sup>2</sup>	4,45449066	μm	4,53557699	μm	0,613795
205	18,1124232	μm <sup>2</sup>	10,8266227	μm	8,31834985	μm	0,338522
206	0,58743075	μm <sup>2</sup>	1,46178435	μm	1,49805254	μm	0,578721
208	4,50362977	μm <sup>2</sup>	3,91677915	μm	4,14791738	μm	0,672707
209	3,42667439	μm <sup>2</sup>	3,25439746	μm	3,61813966	μm	0,754617
210	14,3920344	μm <sup>2</sup>	6,44462041	μm	7,4149797	μm	0,800372
211	88,0165888	μm <sup>2</sup>	17,0785616	μm	18,33712	μm	0,543866
214	37,497612	μm <sup>2</sup>	10,9070289	μm	11,9688008	μm	0,669775
215	1,95810051	μm <sup>2</sup>	2,42350769	μm	2,73505609	μm	0,755204
216	4,20991539	μm <sup>2</sup>	3,53441674	μm	4,0103803	μm	0,770316
217	2,54552926	μm <sup>2</sup>	2,83104378	μm	3,11844473	μm	0,719226
218	3,62248464	μm <sup>2</sup>	3,40056649	μm	3,7200787	μm	0,693153
219	1,27276563	μm <sup>2</sup>	2,00181639	μm	2,20507232	μm	0,719226
220	0,09790413	μm <sup>2</sup>	0,44255401	μm	0,61157621	μm	0,785398
221	0,3916205	μm <sup>2</sup>	1,12259569	μm	1,22315442	μm	0,644916
222	0,29371438	μm <sup>2</sup>	1,09759804	μm	1,05928339	μm	0,483687
223	1,86019438	μm <sup>2</sup>	2,28349804	μm	2,66580244	μm	0,819298
224	4,01410514	μm <sup>2</sup>	3,4665554	μm	3,91600497	μm	0,768088
225	2,64343539	μm <sup>2</sup>	2,96187535	μm	3,17784816	μm	0,685805
226	4,30781952	μm <sup>2</sup>	3,61574312	μm	4,05674478	μm	0,741142
227	1,76229026	μm <sup>2</sup>	2,54018405	μm	2,59470237	μm	0,571213
229	26,7280622	μm <sup>2</sup>	11,0376524	μm	10,1049136	μm	0,484079
230	9,79049854	μm <sup>2</sup>	5,66439809	μm	6,1157721	μm	0,707582
231	0,48952463	μm <sup>2</sup>	1,3792817	μm	1,36752905	μm	0,535857
232	2,25181488	μm <sup>2</sup>	2,78087245	μm	2,93302083	μm	0,650975
233	1,66438413	μm <sup>2</sup>	2,2585004	μm	2,52159785	μm	0,733056
234	0,09790413	μm <sup>2</sup>	0,44255401	μm	0,61157621	μm	0,785398
235	0,09790413	μm <sup>2</sup>	0,44255401	μm	0,61157621	μm	0,785398
236	0,68533488	μm <sup>2</sup>	1,55346307	μm	1,61808167	μm	0,586891
237	0,09790413	μm <sup>2</sup>	0,44255401	μm	0,61157621	μm	0,785398
238	2,25181488	μm <sup>2</sup>	2,61350862	μm	2,93302083	μm	0,766828
239	0,48952463	μm <sup>2</sup>	1,20509834	μm	1,36752905	μm	0,708944
240	1,66438413	μm <sup>2</sup>	2,30565305	μm	2,52159785	μm	0,685223
241	1,95810051	μm <sup>2</sup>	2,52982971	μm	2,73505609	μm	0,691019
242	0,09790413	μm <sup>2</sup>	0,44255401	μm	0,61157621	μm	0,785398
243	3,72038877	μm <sup>2</sup>	3,36941145	μm	3,77001398	μm	0,745216
244	4,30781952	μm <sup>2</sup>	3,87789436	μm	4,05674478	μm	0,654245
245	38,6724715	μm <sup>2</sup>	11,6374899	μm	12,1548569	μm	0,578013
246	5,97220365	μm <sup>2</sup>	5,41742228	μm	4,77657145	μm	0,449109
248	8,32192466	μm <sup>2</sup>	5,95759235	μm	5,63846223	μm	0,509234



249	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
250	10,2800252	$\mu\text{m}^2$	5,94795417	$\mu\text{m}$	6,26680223	$\mu\text{m}$	0,652443
251	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
252	10,96536	$\mu\text{m}^2$	6,64039065	$\mu\text{m}$	6,47232467	$\mu\text{m}$	0,559786
253	7,83240003	$\mu\text{m}^2$	5,52970165	$\mu\text{m}$	5,47011218	$\mu\text{m}$	0,582137
254	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
255	7,34287541	$\mu\text{m}^2$	5,38045992	$\mu\text{m}$	5,29641293	$\mu\text{m}$	0,568181
256	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
257	189,446163	$\mu\text{m}^2$	28,0595371	$\mu\text{m}$	26,9024456	$\mu\text{m}$	0,342756
258	1,76229026	$\mu\text{m}^2$	2,28349804	$\mu\text{m}$	2,59470237	$\mu\text{m}$	0,776177
259	64,6172948	$\mu\text{m}^2$	14,9765065	$\mu\text{m}$	15,7117027	$\mu\text{m}$	0,581791
261	40,3368577	$\mu\text{m}^2$	14,9206739	$\mu\text{m}$	12,4136613	$\mu\text{m}$	0,329784
262	2,83924564	$\mu\text{m}^2$	2,82186571	$\mu\text{m}$	3,29344428	$\mu\text{m}$	0,820795
264	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,771628
265	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,28760098	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,753982
266	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,32177471	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,718683
267	1,95810051	$\mu\text{m}^2$	2,36600069	$\mu\text{m}$	2,73505609	$\mu\text{m}$	0,806145
268	47,6797311	$\mu\text{m}^2$	12,5386256	$\mu\text{m}$	13,496332	$\mu\text{m}$	0,675899
269	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
270	6,07010978	$\mu\text{m}^2$	4,45532485	$\mu\text{m}$	4,81556426	$\mu\text{m}$	0,691914
271	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	2,59768905	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,780536
272	4,20991539	$\mu\text{m}^2$	4,14152794	$\mu\text{m}$	4,0103803	$\mu\text{m}$	0,559714
273	1,1748595	$\mu\text{m}^2$	1,88513802	$\mu\text{m}$	2,11856477	$\mu\text{m}$	0,743379
274	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,687235
275	9,49678417	$\mu\text{m}^2$	5,34137909	$\mu\text{m}$	6,02333721	$\mu\text{m}$	0,738488
276	5,28686877	$\mu\text{m}^2$	4,16875409	$\mu\text{m}$	4,49415563	$\mu\text{m}$	0,692045
277	36,714373	$\mu\text{m}^2$	13,3019001	$\mu\text{m}$	11,8431404	$\mu\text{m}$	0,466312
278	75,7784651	$\mu\text{m}^2$	17,8789684	$\mu\text{m}$	17,0146011	$\mu\text{m}$	0,50478
280	4,11200927	$\mu\text{m}^2$	3,70086435	$\mu\text{m}$	3,9634737	$\mu\text{m}$	0,678057
281	0,68533488	$\mu\text{m}^2$	1,48678	$\mu\text{m}$	1,61808167	$\mu\text{m}$	0,675174
282	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,743466	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,69836
284	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,76846165	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,768196
286	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,6448417	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,644013
287	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,82479238	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,495586
288	4,40572564	$\mu\text{m}^2$	4,23359074	$\mu\text{m}$	4,10258514	$\mu\text{m}$	0,535857
289	4,9931544	$\mu\text{m}^2$	3,99945983	$\mu\text{m}$	4,36753501	$\mu\text{m}$	0,705394
290	3,32877026	$\mu\text{m}^2$	3,31024008	$\mu\text{m}$	3,56607789	$\mu\text{m}$	0,67974
291	1,46857588	$\mu\text{m}^2$	2,11682838	$\mu\text{m}$	2,36862728	$\mu\text{m}$	0,714476
292	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
293	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,589049
294	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
295	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
296	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398

297	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,785398
298	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
299	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	2,70401308	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,718683
300	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,84091204	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,539012
301	0,09790413	$\mu\text{m}^2$	0,44255401	$\mu\text{m}$	0,61157621	$\mu\text{m}$	0,785398
302	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
303	21,832814	$\mu\text{m}^2$	8,27933504	$\mu\text{m}$	9,13279591	$\mu\text{m}$	0,716772
304	1,56648001	$\mu\text{m}^2$	2,31600739	$\mu\text{m}$	2,44630884	$\mu\text{m}$	0,644916
305	4,60153389	$\mu\text{m}^2$	3,76890173	$\mu\text{m}$	4,19276152	$\mu\text{m}$	0,715648
306	2,74133951	$\mu\text{m}^2$	2,96633436	$\mu\text{m}$	3,23616134	$\mu\text{m}$	0,681159
307	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
308	6,5596344	$\mu\text{m}^2$	4,65710445	$\mu\text{m}$	5,00597529	$\mu\text{m}$	0,675146
309	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
310	7,44077953	$\mu\text{m}^2$	4,60363837	$\mu\text{m}$	5,33160688	$\mu\text{m}$	0,831069
311	2,05600463	$\mu\text{m}^2$	2,59768905	$\mu\text{m}$	2,80259936	$\mu\text{m}$	0,682969
312	3,81829489	$\mu\text{m}^2$	3,34987903	$\mu\text{m}$	3,81929912	$\mu\text{m}$	0,779702
313	5,7763954	$\mu\text{m}^2$	4,03109698	$\mu\text{m}$	4,69761361	$\mu\text{m}$	0,842969
314	9,30097392	$\mu\text{m}^2$	7,84609913	$\mu\text{m}$	5,9609171	$\mu\text{m}$	0,3274
317	6,46173028	$\mu\text{m}^2$	4,48858237	$\mu\text{m}$	4,96847682	$\mu\text{m}$	0,736554
318	0,58743075	$\mu\text{m}^2$	1,32177471	$\mu\text{m}$	1,49805254	$\mu\text{m}$	0,718683
319	20,5600483	$\mu\text{m}^2$	9,09871621	$\mu\text{m}$	8,86259485	$\mu\text{m}$	0,490417
320	6,5596344	$\mu\text{m}^2$	4,44497051	$\mu\text{m}$	5,00597529	$\mu\text{m}$	0,747714
321	9,30097392	$\mu\text{m}^2$	5,22747135	$\mu\text{m}$	5,9609171	$\mu\text{m}$	0,77637
322	17,4270883	$\mu\text{m}^2$	7,81157333	$\mu\text{m}$	8,15945795	$\mu\text{m}$	0,576598
323	2,74133951	$\mu\text{m}^2$	2,929364	$\mu\text{m}$	3,23616134	$\mu\text{m}$	0,7502
324	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,60345636	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,754575
325	0,97904925	$\mu\text{m}^2$	1,83514672	$\mu\text{m}$	1,93397706	$\mu\text{m}$	0,619482
326	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,91764937	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,628655
327	2,83924564	$\mu\text{m}^2$	4,26633614	$\mu\text{m}$	3,29344428	$\mu\text{m}$	0,317118
329	4,01410514	$\mu\text{m}^2$	4,05902529	$\mu\text{m}$	3,91600497	$\mu\text{m}$	0,554387
330	5,87429953	$\mu\text{m}^2$	4,22345645	$\mu\text{m}$	4,73725657	$\mu\text{m}$	0,768939
331	0,783239	$\mu\text{m}^2$	1,65060902	$\mu\text{m}$	1,72980092	$\mu\text{m}$	0,610876
332	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	2,11682838	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,666845
333	6,46173028	$\mu\text{m}^2$	4,63256491	$\mu\text{m}$	4,96847682	$\mu\text{m}$	0,687696
334	24,0846289	$\mu\text{m}^2$	9,26830653	$\mu\text{m}$	9,59221373	$\mu\text{m}$	0,59164
335	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,80263538	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,741142
336	4,40572564	$\mu\text{m}^2$	3,50190739	$\mu\text{m}$	4,10258514	$\mu\text{m}$	0,843024
337	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
338	7,44077953	$\mu\text{m}^2$	5,24554743	$\mu\text{m}$	5,33160688	$\mu\text{m}$	0,610367
339	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	3,17687394	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,479817
340	26,0427274	$\mu\text{m}^2$	8,90484039	$\mu\text{m}$	9,97452213	$\mu\text{m}$	0,706804
342	13,0213647	$\mu\text{m}^2$	6,36397019	$\mu\text{m}$	7,05305191	$\mu\text{m}$	0,731516
343	0,88114513	$\mu\text{m}^2$	1,68595901	$\mu\text{m}$	1,83473063	$\mu\text{m}$	0,687235



344	1,66438413	$\mu\text{m}^2$	2,30565305	$\mu\text{m}$	2,52159785	$\mu\text{m}$	0,685223
345	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,80263538	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,741142
346	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,589049
347	1,95810051	$\mu\text{m}^2$	2,42350769	$\mu\text{m}$	2,73505609	$\mu\text{m}$	0,755204
348	2,34971901	$\mu\text{m}^2$	2,76549097	$\mu\text{m}$	2,99610309	$\mu\text{m}$	0,679279
349	98,5903283	$\mu\text{m}^2$	19,2523648	$\mu\text{m}$	19,4073398	$\mu\text{m}$	0,43474
350	3,52458052	$\mu\text{m}^2$	3,36023337	$\mu\text{m}$	3,66946326	$\mu\text{m}$	0,719725
351	0,19581025	$\mu\text{m}^2$	0,72423567	$\mu\text{m}$	0,86490146	$\mu\text{m}$	0,698132
352	0,48952463	$\mu\text{m}^2$	1,20509834	$\mu\text{m}$	1,36752905	$\mu\text{m}$	0,708944
353	14,1962242	$\mu\text{m}^2$	7,38202625	$\mu\text{m}$	7,36436426	$\mu\text{m}$	0,563392
354	15,5668939	$\mu\text{m}^2$	7,0441579	$\mu\text{m}$	7,71169476	$\mu\text{m}$	0,705616
355	0,29371438	$\mu\text{m}^2$	0,92341668	$\mu\text{m}$	1,05928339	$\mu\text{m}$	0,685805
356	4,01410514	$\mu\text{m}^2$	3,47690974	$\mu\text{m}$	3,91600497	$\mu\text{m}$	0,768088
357	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,27178141	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,479122
358	0,3916205	$\mu\text{m}^2$	1,00591933	$\mu\text{m}$	1,22315442	$\mu\text{m}$	0,785398
359	1,07695538	$\mu\text{m}^2$	1,76846165	$\mu\text{m}$	2,02837239	$\mu\text{m}$	0,768196
360	1,37066976	$\mu\text{m}^2$	3,30461281	$\mu\text{m}$	2,28831313	$\mu\text{m}$	0,28539

Poros de la muestra 7 de la aleación Ti-35Nb-4Sn							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
	226,560513	$\mu\text{m}^2$	10,1136921	$\mu\text{m}$	9,27931338	$\mu\text{m}$	0,494675
2	121,092688	$\mu\text{m}^2$	6,21639178	$\mu\text{m}$	6,78395073	$\mu\text{m}$	0,682015
3	105,467825	$\mu\text{m}^2$	5,50738032	$\mu\text{m}$	6,33116642	$\mu\text{m}$	0,808518
4	19,5310787	$\mu\text{m}^2$	2,40089374	$\mu\text{m}$	2,72450017	$\mu\text{m}$	0,708944
5	50,7808046	$\mu\text{m}^2$	4,10274768	$\mu\text{m}$	4,39312458	$\mu\text{m}$	0,666414
6	50,7808046	$\mu\text{m}^2$	3,87029523	$\mu\text{m}$	4,39312458	$\mu\text{m}$	0,742956
7	1023,42852	$\mu\text{m}^2$	16,9605777	$\mu\text{m}$	19,7220695	$\mu\text{m}$	0,762782
8	39,0621573	$\mu\text{m}^2$	3,70592636	$\mu\text{m}$	3,85302522	$\mu\text{m}$	0,619482
9	749,993421	$\mu\text{m}^2$	15,3346405	$\mu\text{m}$	16,8831102	$\mu\text{m}$	0,676993
10	265,62267	$\mu\text{m}^2$	8,6894363	$\mu\text{m}$	10,0474603	$\mu\text{m}$	0,797778
11	66,4056676	$\mu\text{m}^2$	4,82830654	$\mu\text{m}$	5,02373014	$\mu\text{m}$	0,641924
12	89,8429619	$\mu\text{m}^2$	5,57214917	$\mu\text{m}$	5,84340187	$\mu\text{m}$	0,650975
13	316,403474	$\mu\text{m}^2$	9,83480965	$\mu\text{m}$	10,9659018	$\mu\text{m}$	0,712417
14	136,717551	$\mu\text{m}^2$	6,24790802	$\mu\text{m}$	7,20835005	$\mu\text{m}$	0,785894
15	109,374041	$\mu\text{m}^2$	5,85440163	$\mu\text{m}$	6,44734428	$\mu\text{m}$	0,733668
16	97,6553934	$\mu\text{m}^2$	5,62194918	$\mu\text{m}$	6,09216768	$\mu\text{m}$	0,707582
17	101,561609	$\mu\text{m}^2$	5,64023295	$\mu\text{m}$	6,21281634	$\mu\text{m}$	0,719226
18	62,4994518	$\mu\text{m}^2$	4,26711655	$\mu\text{m}$	4,87373407	$\mu\text{m}$	0,762108
19	19,5310787	$\mu\text{m}^2$	2,40089374	$\mu\text{m}$	2,72450017	$\mu\text{m}$	0,708944
20	695,306401	$\mu\text{m}^2$	15,1118124	$\mu\text{m}$	16,2559308	$\mu\text{m}$	0,677581
21	19,5310787	$\mu\text{m}^2$	2,63334619	$\mu\text{m}$	2,72450017	$\mu\text{m}$	0,598902
22	27,3435101	$\mu\text{m}^2$	2,96208373	$\mu\text{m}$	3,22367204	$\mu\text{m}$	0,675174

23	11,7186472	$\mu\text{m}^2$	1,83970375	$\mu\text{m}$	2,11038887	$\mu\text{m}$	0,685805
24	808,586657	$\mu\text{m}^2$	17,098942	$\mu\text{m}$	17,5302058	$\mu\text{m}$	0,535468
25	847,648814	$\mu\text{m}^2$	15,5872414	$\mu\text{m}$	17,9486467	$\mu\text{m}$	0,780383
26	765,618284	$\mu\text{m}^2$	15,3959515	$\mu\text{m}$	17,0580694	$\mu\text{m}$	0,739839
27	46,8745888	$\mu\text{m}^2$	3,70592636	$\mu\text{m}$	4,22077754	$\mu\text{m}$	0,743379
28	15,6248629	$\mu\text{m}^2$	2,00407242	$\mu\text{m}$	2,43686703	$\mu\text{m}$	0,785398
29	1624,98575	$\mu\text{m}^2$	23,7732918	$\mu\text{m}$	24,8512654	$\mu\text{m}$	0,670713
30	89,8429619	$\mu\text{m}^2$	5,17532785	$\mu\text{m}$	5,84340187	$\mu\text{m}$	0,748014
31	199,217002	$\mu\text{m}^2$	7,60039649	$\mu\text{m}$	8,70135588	$\mu\text{m}$	0,776554
32	19,5310787	$\mu\text{m}^2$	2,40089374	$\mu\text{m}$	2,72450017	$\mu\text{m}$	0,708944
33	11,7186472	$\mu\text{m}^2$	1,83970375	$\mu\text{m}$	2,11038887	$\mu\text{m}$	0,685805

Poros de la muestra 8 de la aleación Ti-35Nb-4Sn							
	Área		Diámetro medio		Diámetro esférico		Esfericidad
1	713,592116	$\mu\text{m}^2$	13,4587156	$\mu\text{m}$	11,6666177	$\mu\text{m}$	0,428199
2	209,764715	$\mu\text{m}^2$	6,71410042	$\mu\text{m}$	6,3253733	$\mu\text{m}$	0,489986
3	1056,66525	$\mu\text{m}^2$	13,7197473	$\mu\text{m}$	14,196741	$\mu\text{m}$	0,533568
5	11,7625074	$\mu\text{m}^2$	1,40409313	$\mu\text{m}$	1,49785541	$\mu\text{m}$	0,643029
6	5,88125368	$\mu\text{m}^2$	0,92329467	$\mu\text{m}$	1,05914379	$\mu\text{m}$	0,685805
7	98,020895	$\mu\text{m}^2$	3,81839406	$\mu\text{m}$	4,32393623	$\mu\text{m}$	0,761327
8	276,418924	$\mu\text{m}^2$	6,41488047	$\mu\text{m}$	7,26112367	$\mu\text{m}$	0,767703
9	541,07534	$\mu\text{m}^2$	9,20033457	$\mu\text{m}$	10,1589498	$\mu\text{m}$	0,72104
10	162,714686	$\mu\text{m}^2$	4,97512776	$\mu\text{m}$	5,57100209	$\mu\text{m}$	0,730008
11	3,92083575	$\mu\text{m}^2$	0,7241414	$\mu\text{m}$	0,86478727	$\mu\text{m}$	0,698132
12	239,170984	$\mu\text{m}^2$	6,22735002	$\mu\text{m}$	6,75420428	$\mu\text{m}$	0,694893
13	364,637729	$\mu\text{m}^2$	7,65429017	$\mu\text{m}$	8,33970613	$\mu\text{m}$	0,708034
14	160,754268	$\mu\text{m}^2$	4,9160093	$\mu\text{m}$	5,53734017	$\mu\text{m}$	0,76389
15	84,2979697	$\mu\text{m}^2$	3,52526388	$\mu\text{m}$	4,00985352	$\mu\text{m}$	0,790672
16	7,8416716	$\mu\text{m}^2$	1,12244793	$\mu\text{m}$	1,22299383	$\mu\text{m}$	0,644916
17	229,368894	$\mu\text{m}^2$	6,37580635	$\mu\text{m}$	6,61435055	$\mu\text{m}$	0,650098
18	80,3771339	$\mu\text{m}^2$	3,52242375	$\mu\text{m}$	3,91549077	$\mu\text{m}$	0,721213
19	68,6146265	$\mu\text{m}^2$	3,9942178	$\mu\text{m}$	3,61766462	$\mu\text{m}$	0,495307
20	3,92083575	$\mu\text{m}^2$	0,84080264	$\mu\text{m}$	0,86478727	$\mu\text{m}$	0,539012
21	23,5250148	$\mu\text{m}^2$	1,88489159	$\mu\text{m}$	2,11828747	$\mu\text{m}$	0,743379
22	72,5354623	$\mu\text{m}^2$	3,25230748	$\mu\text{m}$	3,71959054	$\mu\text{m}$	0,775535
23	3,92083575	$\mu\text{m}^2$	0,84080264	$\mu\text{m}$	0,86478727	$\mu\text{m}$	0,539012
24	54,8917012	$\mu\text{m}^2$	2,96428227	$\mu\text{m}$	3,2357376	$\mu\text{m}$	0,695939
25	21,5645969	$\mu\text{m}^2$	2,20821852	$\mu\text{m}$	2,02810582	$\mu\text{m}$	0,474331
26	60,7729549	$\mu\text{m}^2$	4,99019177	$\mu\text{m}$	3,40467075	$\mu\text{m}$	0,264395
27	1,96041793	$\mu\text{m}^2$	0,4424961	$\mu\text{m}$	0,61149697	$\mu\text{m}$	0,785398
28	497,946147	$\mu\text{m}^2$	9,06241768	$\mu\text{m}$	9,74565729	$\mu\text{m}$	0,549944
31	147,031343	$\mu\text{m}^2$	5,71362085	$\mu\text{m}$	5,29571873	$\mu\text{m}$	0,536851

32	31,3666864	$\mu\text{m}^2$	2,24902882	$\mu\text{m}$	2,44598767	$\mu\text{m}$	0,709975
33	129,387581	$\mu\text{m}^2$	6,26640087	$\mu\text{m}$	4,96782447	$\mu\text{m}$	0,347271
34	135,268835	$\mu\text{m}^2$	4,82434117	$\mu\text{m}$	5,07947492	$\mu\text{m}$	0,672794
35	13,7229253	$\mu\text{m}^2$	1,40409313	$\mu\text{m}$	1,61786875	$\mu\text{m}$	0,7502
36	27,4458506	$\mu\text{m}^2$	2,04987556	$\mu\text{m}$	2,28801195	$\mu\text{m}$	0,740449
37	72,5354623	$\mu\text{m}^2$	3,911375	$\mu\text{m}$	3,71959054	$\mu\text{m}$	0,520096
38	39,208358	$\mu\text{m}^2$	2,51485692	$\mu\text{m}$	2,73469734	$\mu\text{m}$	0,691019
39	92,1396413	$\mu\text{m}^2$	3,58393908	$\mu\text{m}$	4,19221168	$\mu\text{m}$	0,841974

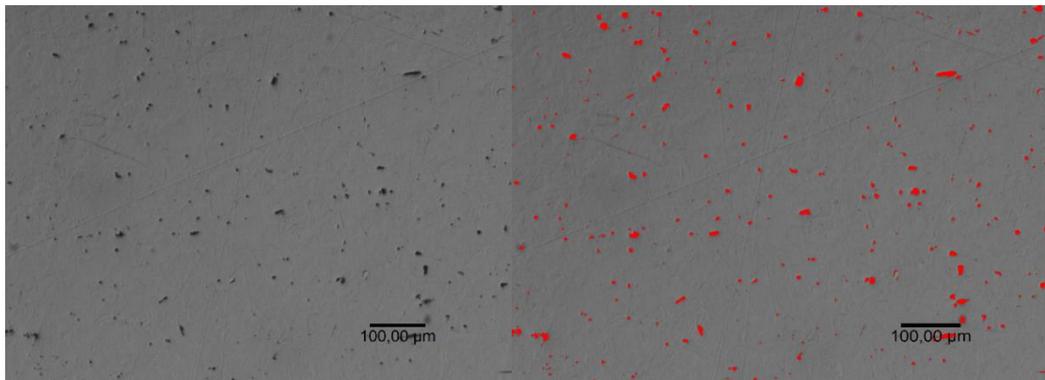


Fig. 116. Porosidad de la muestra 1 de Ti-30Nb con aumento de x50

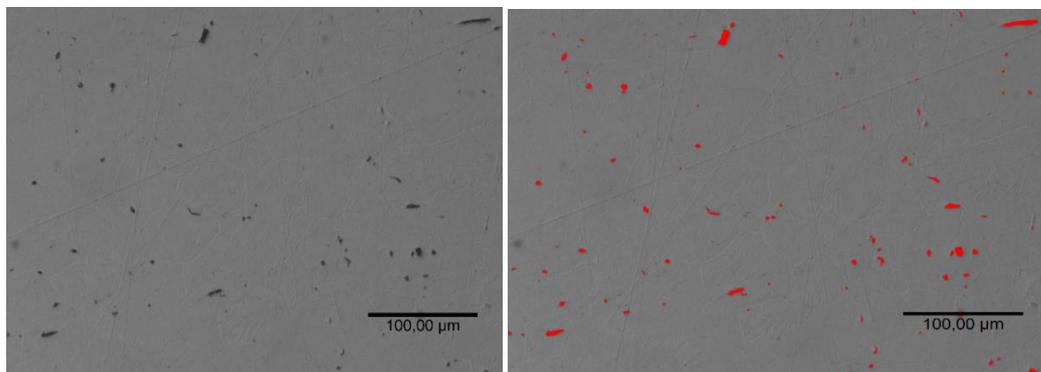


Fig. 117. Porosidad de la muestra 2 de Ti-30Nb con aumento de x100

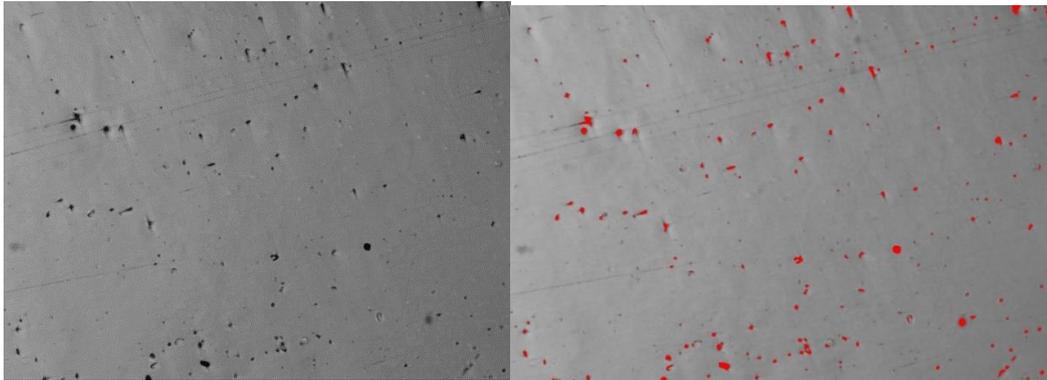


Fig. 118. Porosidad de la muestra 3 de Ti-30Nb-2Sn con aumento de x50

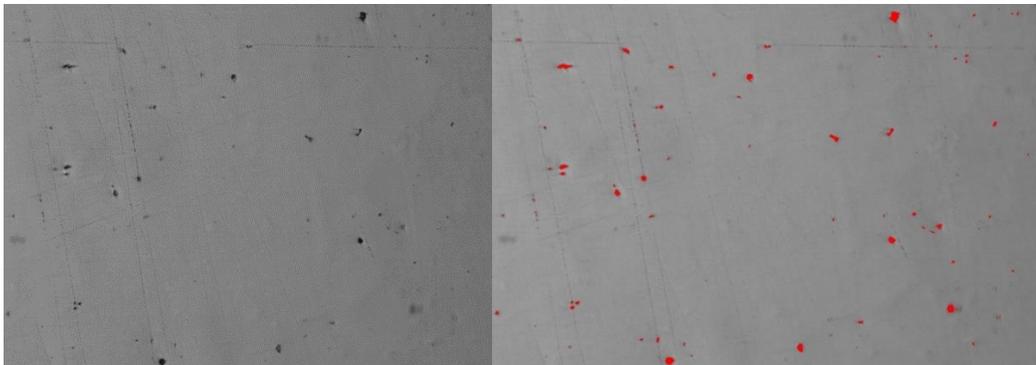


Fig. 119. Porosidad de la muestra 4 de Ti-30Nb-2Sn con aumento de x100

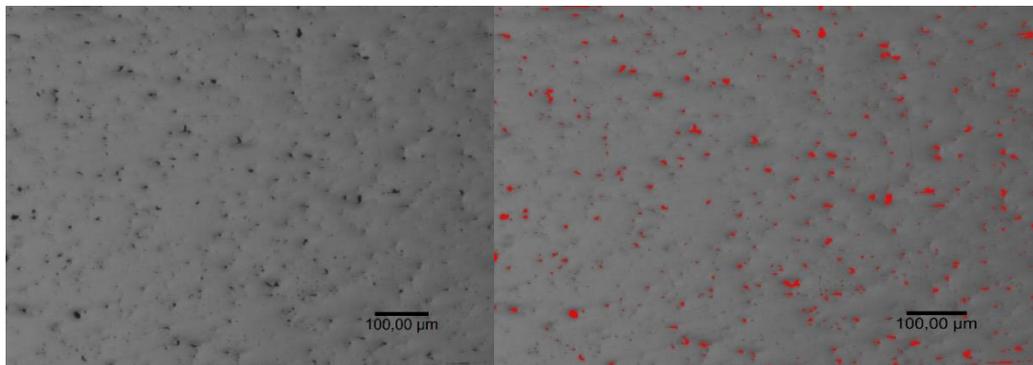
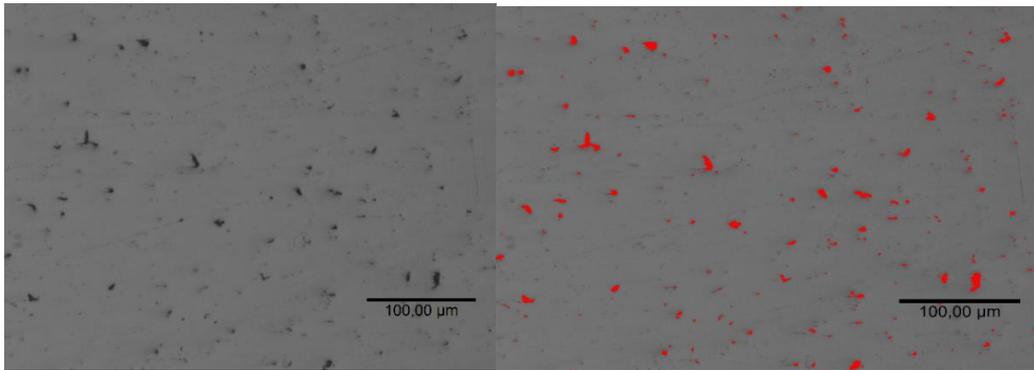
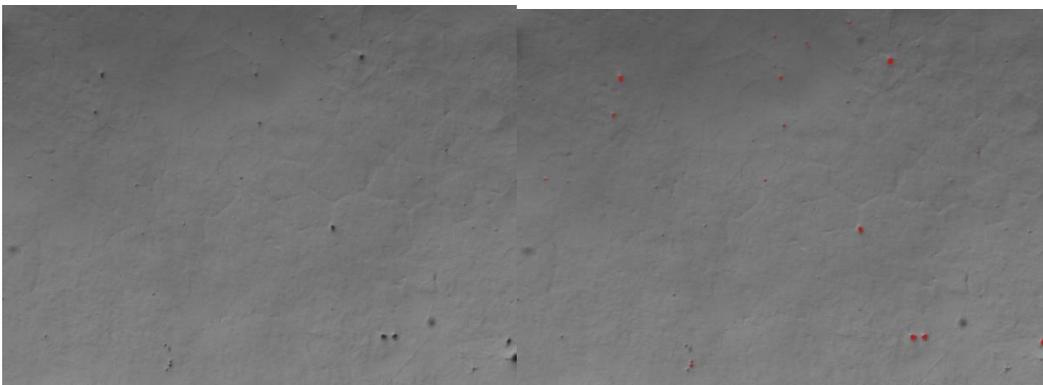


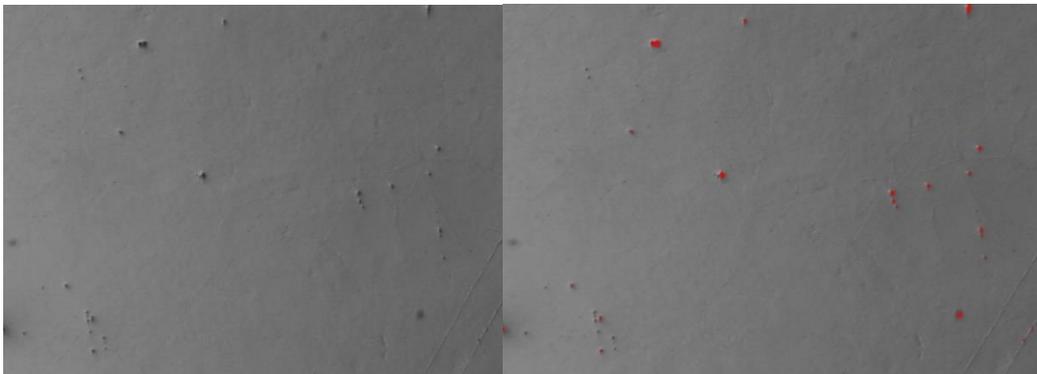
Fig. 120. Porosidad de la muestra 5 de Ti-30Nb-4Sn con aumento de x50



*Fig. 121. Porosidad de la muestra 6 de Ti-30Nb-4Sn con aumento de x100*



*Fig. 122. Porosidad de la muestra 7 de Ti-35Nb-4Sn con aumento de x50*



*Fig. 123. Porosidad de la muestra 8 de Ti-35Nb-4Sn con aumento de x100*

