

Les remito la justificación económica y la memoria final correspondiente al proyecto de innovación docente

ID2015/0131. Preparación de ácido nítrico a partir del aire

ATENTAMENTE

Emilio Rodríguez Fernández

PTU del Departamento de Química Inorgánica

Universidad de Salamanca

Vicerrectorado de Docencia

## **Memoria del Proyecto ID2015/0131**

### **Título: Preparación de ácido nítrico a partir del aire**

#### **Participantes:**

**Elena Pérez Bernal, Miguel Ángel Vicente Rodríguez, Vicente Sánchez Escribano, María Villa García y Emilio Rodríguez-Fernández**

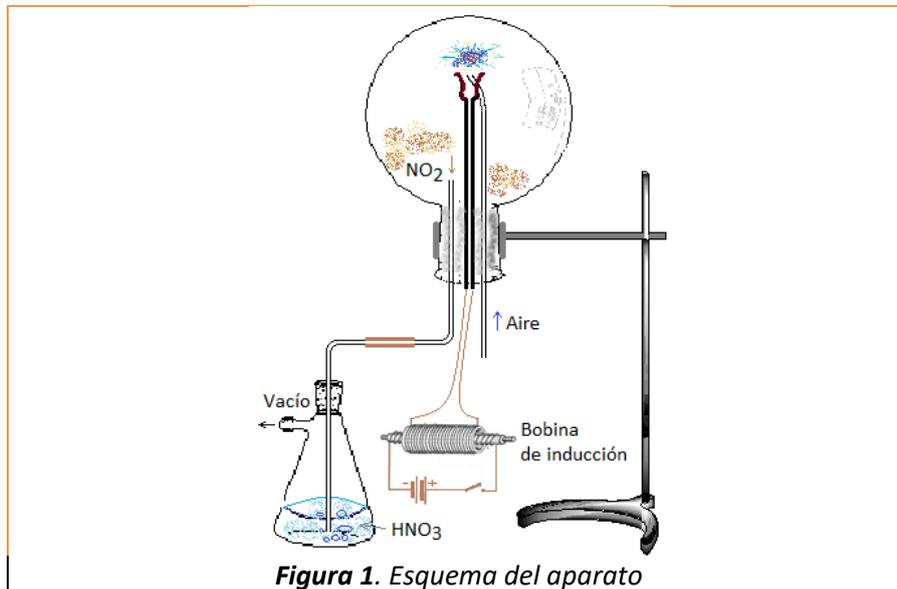
#### ***Introducción***

La práctica consiste en la preparación de ácido nítrico a partir del aire mediante la formación de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno utilizando una descarga eléctrica o arco eléctrico. Sería una imitación de lo que ocurre en una descarga eléctrica durante una tormenta, y que contribuye a la nitrificación de los suelos. También se produce ozono en la descarga.

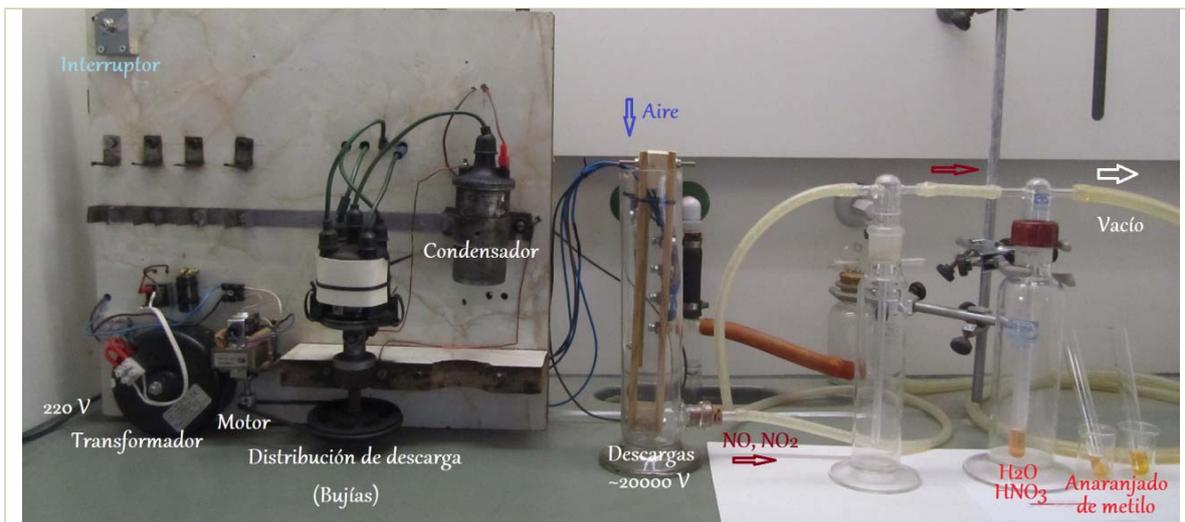
#### ***Descripción del aparato***

El experimento reseñado en diversas publicaciones [1] se lleva a cabo en el aparato que aparece en la Figura 1, inspirado en el diseño de H. Olsson [2]. Brevemente, consta de un matraz de unos 500 mL en el cual van alojados dos electrodos de cobre curvados convenientemente para facilitar el arco eléctrico (mejor electrodos de platino si es posible), una bobina conectada a la tensión habitual de 220 V y a los electrodos, un tubo por donde llega el aire hasta la altura de dichos electrodos y otro tubo de salida de gases ricos en óxidos de nitrógeno situado en la parte inferior para recoger el  $\text{NO}_2$ , el gas de mayor densidad; este último tubo va conectado a una trompa de vacío y lleva los gases ricos en  $\text{NO}_2$  hasta un matraz con agua destilada (100 mL), a la vez que renueva el aire entre los electrodos. En este último matraz el dióxido de nitrógeno origina ácido nítrico en contacto con el agua. La

formación del  $\text{NO}_2$  se manifiesta por la aparición de un gas pardo-marrón color típico de este óxido. Las descargas tendrán una duración de dos horas con desconexiones cada cierto tiempo para facilitar el enfriamiento de los gases.

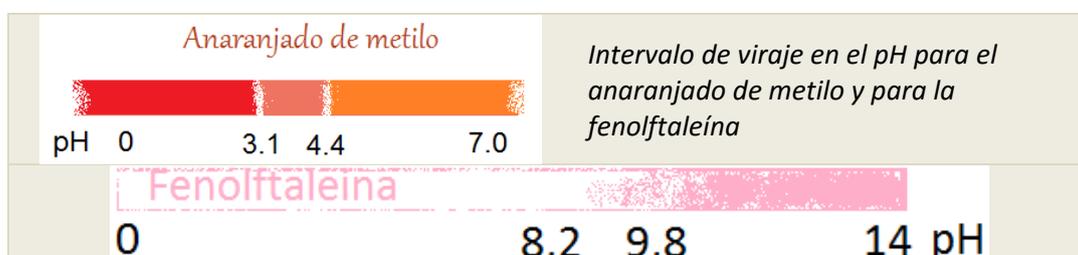


Alternativamente también hemos utilizado el aparato cuyo montaje aparece en la Figura 2 en el cual el alto voltaje producido se distribuye en cuatro descargas con lo que se aumenta el rendimiento. Este es el dispositivo con el cual hemos llevado a cabo las experiencias.



**Figura 2.** El dispositivo consta de un generador de alto voltaje que distribuye la descarga en cuatro arcos eléctricos. Mediante el vacío se introduce aire que pasa por las descargas produciendo óxidos de nitrógeno y ozono. El  $\text{NO}_2$  generado origina  $\text{HNO}_3$  en el agua de un tubo de ensayo que contiene tres gotas de anaranjado de metilo. Al cabo de tres o cuatro minutos de funcionamiento del equipo se observa el cambio de color de naranja a rojo en el tubo de ensayo.

Si se utiliza un tubo de ensayo con 3-4 mL de agua y tres gotas de anaranjado de metilo; se puede ver el enrojecimiento de la disolución como consecuencia de la formación de ácido nítrico al cabo de varios minutos de funcionamiento del aparato y como consecuencia de la disminución del pH. Se puede usar también una disolución alcalina (carbonato sódico), con unas gotas de fenolftaleína y observar como desaparece el color rosa del indicador como consecuencia de la neutralización con el ácido nítrico producido. Una disolución de yoduro potásico y almidón tomará coloración azul intenso cuando se forma en ella el ácido nítrico; el yodo formado por la oxidación del yoduro, produce esa intensa coloración en presencia de almidón. El funcionamiento y descripción del dispositivo puede verse en <https://youtu.be/sBvxARzvY5Q>



### Metodología

Previamente a la realización experimental los alumnos deberán hacer un estudio bibliográfico referente a las propiedades y métodos de preparación de los óxidos de nitrógeno y del ácido nítrico. Se repasarán los distintos estados de oxidación del nitrógeno, propiedades termodinámicas y, con ayuda del diagrama de *Frost*, se ilustrará la dismutación de valencia conducente a la formación de ácido nítrico y los equilibrios presentes.

Los alumnos trabajaran en parejas y el aparato ya se les proporciona total o parcialmente montado. Toda la experiencia estará supervisada por el profesor teniendo especialmente cuidado en el alto voltaje en los electrodos a pesar de que están aislados dentro del matraz.

Los alumnos valorarán el ácido obtenido con una disolución de hidróxido sódico. Todas las muestras preparadas deben ser neutralizadas con bicarbonato sódico y pueden ser recicladas utilizándolas como abono nitrogenado para una planta cerca del laboratorio.

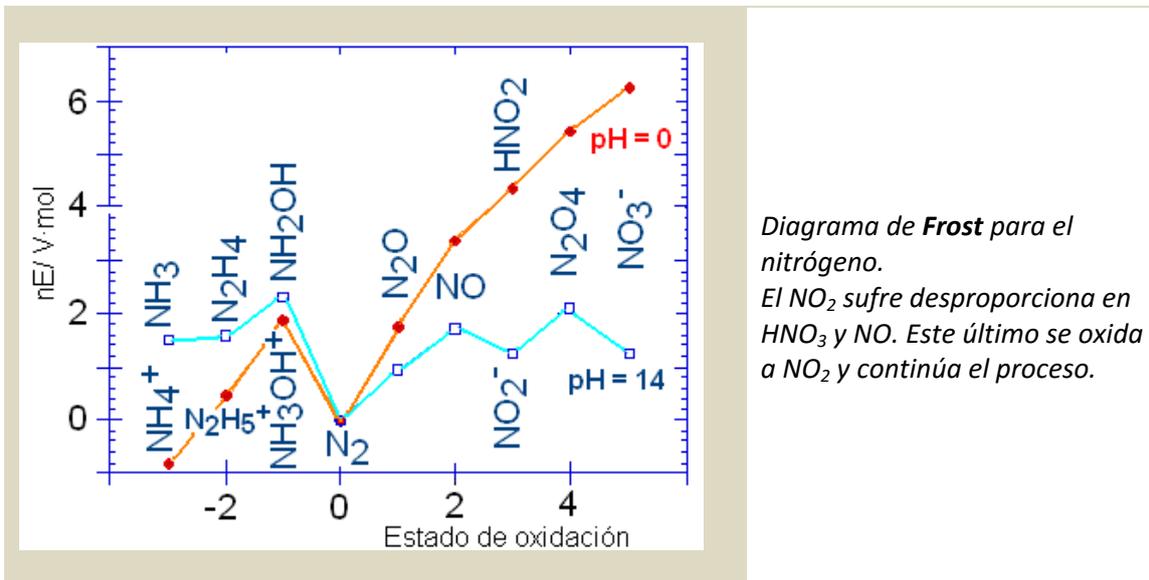
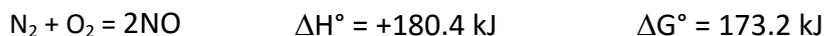


Diagrama de Frost para el nitrógeno.  
El  $\text{NO}_2$  sufre desproporción en  $\text{HNO}_3$  y  $\text{NO}$ . Este último se oxida a  $\text{NO}_2$  y continúa el proceso.

### Reacciones

Mediante la descarga eléctrica de alto voltaje se produce la reacción del nitrógeno y oxígeno para dar óxido nítrico. La reacción es endotérmica y la energía libre es positiva por lo que el equilibrio se desplaza hacia la izquierda descomponiéndose el óxido formado.



En el arco la temperatura puede alcanzar  $3000^\circ\text{C}$  y de acuerdo con *Le Châtelier* la formación de  $\text{NO}$  se verá favorecida al elevar la temperatura. En el equilibrio se obtiene 0,4% de  $\text{NO}$  a  $1500^\circ\text{C}$  y 5% a  $3000^\circ\text{C}$  [3,4]. Otras temperaturas:

T/K	1500	2000	2500	2900	3200	4200
%NO	0,1	0,6	1,8	3,2	4,4	10

El arco proporciona una apreciable concentración de  $\text{NO}$  que abandona rápidamente la zona del arco congelando el equilibrio de manera que la reacción reversa es muy lenta y no se descompone una cantidad apreciable del  $\text{NO}$  formado [4]. A las temperatura ordinaria el  $\text{NO}$  se comporta como un compuesto inerte y se descompone muy lentamente debido a que la energía de activación de la reacción de descomposición es muy alta y por lo tanto la velocidad de reacción es muy lenta a bajas temperaturas.

Como la cinética de descomposición de  $\text{NO}$  es lenta, el óxido formado se oxida a su vez a  $\text{NO}_2$  de color pardo.

Por debajo de 600 °C el NO formado se transforma rápidamente en NO<sub>2</sub> [5]



Al aumentar la temperatura aumenta la cantidad de NO<sub>2</sub> que se descompone. La reacción de descomposición es:



T/°C	130	184	279	495	620
%NO <sub>2</sub> desc.	0	5	13	56,5	100

A temperatura ordinaria se forma rápidamente el NO<sub>2</sub> en forma de gas pardo.

Este óxido reacciona con el agua dando ácido nítrico mediante una dismutación de valencia según se deduce del diagrama de Frost.



El NO formado vuelve a oxidarse otra vez y se puede reciclar.



El NO<sub>2</sub> existe en equilibrio con N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, estando el equilibrio desplazado hacia la formación de NO<sub>2</sub> a baja temperatura.



T/°C	27	50	100	135
%N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	20	40	89	99

### Referencias

- 1 K R Williams, "Nitrogen: It Always Needs a Fix". *Journal of Chemical Education*, 82 (2005) 194-195.
- 2 H Olsson. "A demonstration: Fixation of atmospheric nitrogen". *Journal of Chemical Education*, 9 (1932) 1829-30.
- 3 Sardul S. Pannu. "Nitric acid". *Journal of Chemical Education*, 61 (1984), 174-176.
- 4 Harry A. Curtis. "Nitrogen fixation". *Journal of Chemical Education*, april (1942), 161-165.
- 5 E. Gutiérrez Ríos. *Química Inorgánica*. Ed Reverté, p 492-500.



# PROSISA, S.L.

DIVISIÓN LABORATORIO

Pol. Ind. Castellanos de Moriscos, Nave 510.  
37439-CASTELLANOS DE MORISCOS.  
SALAMANCA  
Tel.923 36 15 27 Fax.923 36 14 38  
prosisa@prosisa.es  
B-37029881

F.CIENCIAS Q.SALAMANCA -Q. INORGÁNICA

UNI.SALAMANCA-DPTO.QUÍMICA INORGÁNICA

PLAZA MERCED, S/N

37008 SALAMANCA  
SALAMANCA  
Q-3718001-E

## FACTURA

FACTURA:	556	FECHA:	23/06/16	CLIENTE:	43014091	AGENTE:	001	Nº HOJA:	1
----------	-----	--------	----------	----------	----------	---------	-----	----------	---

Alb.	Código	Descripción	Cant.	Precio	Dto	IVA	Importe		
849	6804	PROYECTO ID 2015/0131 ***** PEDIDO 08/06/16 (JOSE LUIS) VASOS 250 ML ***** OFICINA CONTABLE: U01400001 UNIV.SALAMANCA  ÓRGANO GESTOR:U01400001 UNIV.SALAMANCA  UNIDAD TRAMITADORA:GE0002045 CENTRO DE FORMACION PERMANENTE  ÓRGANO PROPONENTE:18.0276 PYTOS. DE INNOVACIÓN DOCENTE	12	2.75		21	33.00		
<b>Bruto</b>		<b>%Dto.</b>	<b>Imp. Dto.</b>	<b>Base Imponible</b>	<b>%IVA</b>	<b>Imp. IVA</b>	<b>%Recgo.</b>	<b>Imp. Recgo.</b>	<b>TOTAL FACT.</b>
33.00				33.00	21.00	6.93			<b>39.93 eur</b>
									6,644 pta

€ Columna informativa aplicando 1EURO=166.386 PTS

FORMA DE PAGO: Transferencia	
BANCO: 01280264 08 0500004454 BANKINTER	
OBSERVACIONES:	