

**Coria, Ignacio Daniel ; Caráttoli, Oscar ; Hernández, Sabrina**

*Estudio de la factibilidad de aplicación, a escala planta piloto, del catalizador  $Cr_2O_3$ , soportado en alúmina, en la reducción de emisión de  $SO_2$  a la atmósfera proveniente de fuentes fijas*

Energeia, Año 9, N° 9, 2011

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Coria, I. D., Caráttoli, O., Hernández, S. et al. Estudio de la factibilidad de aplicación, a escala planta piloto, del catalizador  $Cr_2O_3$ , soportado en alúmina, en la reducción de emisión de  $SO_2$  a la atmósfera proveniente de fuentes fijas. *Energeia*, 9(9), 2011. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/revistas/estudio-factibilidad-aplicacion-escala-planta.pdf>

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).

Proyecto: "Estudio de la reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> en presencia de O<sub>2</sub> a altas temperaturas, sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina"

Departamento de Investigación Institucional – Facultad de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon"  
Pontificia Universidad Católica Argentina – Campus Rosario

## **Estudio de la Factibilidad de Aplicación, a Escala Planta Piloto, del Catalizador Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Soportado en Alúmina, en la Reducción de Emisión de SO<sub>2</sub> a la Atmósfera proveniente de Fuentes Fijas**

**Director: Ignacio Daniel Coria<sup>1</sup>,  
Investigadores: Oscar Caráttoli<sup>1</sup>, Sabrina Hernández<sup>1</sup>  
Becarios: Mauricio Beber Krenz<sup>1</sup>, Yair Malik<sup>1</sup>, María Paula Domínguez<sup>1</sup>, Victoria  
Cortasa<sup>1</sup>, Alejandro Parisi<sup>1</sup>, Ezequiel Promancio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon", Pontificia Universidad Católica Argentina, Campus Rosario

### **Resumen**

Se propone utilizar un óxido como el Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como catalizador ya que se ha determinado anteriormente, en la primera etapa de esta investigación, ("Estudio comparativo de la retención de SO<sub>2</sub> sobre óxidos de metales de transición soportados en alúmina"), que la retención de SO<sub>2</sub> sobre su superficie es un proceso de quimisorción con formación de especies sulfito superficiales sobre sitios básicos y un proceso de óxido-reducción del ión metálico. Apoya este mecanismo el hecho de que la cantidad de SO<sub>2</sub> adsorbido es función de la temperatura. La mayor eficiencia del Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> puede explicarse en base a sus propiedades superficiales, lo cual ha sido utilizado en la segunda etapa de reacción de reducción, ya que se ha completado la etapa inicial de quimisorción. En la segunda etapa de esta investigación ("Estudio de la reacción de reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> a altas temperaturas sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina"), se apuntó al estudio de un nuevo tipo de sinergia entre propiedades ácido-base y propiedades redox en una misma superficie. La tercera etapa apuntó a determinar la influencia que tiene el O<sub>2</sub> en este proceso, ya que el O<sub>2</sub> se encuentra presente en las chimeneas industriales en las condiciones de reacción entre el SO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>, y produce modificaciones en los parámetros de reacción. Se experimentó con diferentes masas de catalizador y flujos de los distintos gases, y se estudió la influencia de la presencia de oxígeno en la reacción y particularmente con diferentes flujos del mismo, y la posibilidad de regeneración del catalizador. En esta cuarta y última etapa se están estudiando los cambios que se producen en la reacción al pasar de escala laboratorio a planta piloto utilizando una columna de mayor diámetro construída en metal. A través de los datos experimentales se está estudiando, en conjunto con el INIFTA, la presencia de especies sulfito y sulfato sobre la superficie del soporte. Adicionalmente, por medio del programa VASP (*Vienna Ab-initio Simulation Package*), se analiza la interacción entre los reactivos gaseosos y el soporte.

**Palabras clave:** Reacción, catálisis, retención, dióxido de azufre, metano, oxígeno

### **Abstract**

We aim to use an oxide like Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a catalyst because it has been previously demonstrated, in the first stage of this research, ("Comparative study of SO<sub>2</sub> retention over different transition metal oxides supported on alumina"), that the SO<sub>2</sub> retention over its surface is a chemisorption process with formation of superficial sulphite species over basic sites and a metallic ion oxide-reduction process. This procedure is supported by the fact that the amount of adsorbed SO<sub>2</sub> is a function of temperature. The Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> highest efficiency can be proved from its superficial properties, which has been used in the second stage of reduction reaction, since the initial stage of chemisorption has been completed. The second stage of this research ("Study of the reaction at high temperatures reduction of SO<sub>2</sub> with CH<sub>4</sub> over alumina supported Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst"), was aimed at the study of a new type of synergy between acid-base properties and redox properties over a same surface. This third stage aims at determine the influence of O<sub>2</sub> in this process, since the O<sub>2</sub> is present in industrial chimneys in the reaction conditions between SO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, and produces some changes in the reaction parameters. Experiments were made in order to achieve the preset objectives; in these experiments we worked with different catalyst masses and gases flows, and studied the influence of oxygen presence in the reaction and particularly with different oxygen flows, and the possibility of catalyst regeneration. In this fourth and last period, we are studying the changes produced in the reaction when we modify the scale from laboratory to pilot plant, using a metal column with a bigger diameter. Using the experimental data, we are studying the presence of sulfite and sulfate species on the support surface. Additionally, we are analyzing the interaction between gaseous reactives and the support through the VASP (*Vienna Ab-initio Simulation Package*) program.

**Keywords:** Reaction, catalysis, retention, sulphur dioxide, methane, oxygen

### **I. Introducción**

Este trabajo presenta las tareas realizadas en el marco del proyecto entre marzo de 2010 y agosto de 2011. Las experiencias desarrolladas en este tiempo llevan los números 132 a 180; cabe aclarar que no se tuvo disponibilidad de laboratorio durante cuatro meses del corriente año (de mayo a agosto incluidos) por causas de fuerza mayor. Las experiencias 1 a 66 se han descrito en *Energeia* N° 6 (2008), las experiencias 67 a 113 en *Energeia* N° 7 (2009), y las experiencias 114 a 131 en *Energeia* N° 8 (2010).

## **II. Metodología operativa**

En el rango de experiencias 132 a 148, se trabajó con ciclos de adsorción utilizando 50 mg de catalizador, durante 150 hs. Desde la experiencia 149 a la 153 se trabajó con ciclos de adsorción-readsorción sobre el mismo catalizador, masa 25 mg.; se estudió la saturación del catalizador y con los resultados se calculó el área que ocupa la molécula de SO<sub>2</sub> sobre el soporte. Desde la experiencia 154 a la 158, se realizaron ciclos de adsorción-desorción con una masa de catalizador de 100 mg. para analizar su rendimiento y de la 159 a la 165, se trabajó con ciclos de adsorción-readsorción con catalizador de 50 mg. Desde la experiencia 166 a la 175, se estudió la saturación de catalizador con menor masa (10 mg.) para analizar la relación masa-eficiencia de éste. Desde la experiencia 176 a la 180, a *escala planta piloto*, se comparó la eficiencia del catalizador en condiciones de columna de cuarzo, respecto a columna metálica de mayor diámetro. Se presentan a continuación las tablas con los datos obtenidos.

*Referencias:*

**A:** ADSORCION

**D:** DESORCION

**RA:** READSORCION

\*Se hace pasar O<sub>2</sub> durante 5 horas, con flujo de 50 ml/min., previo a la experiencia

\*\* Se hace pasar O<sub>2</sub> durante 2,5 horas, con flujo de 100 ml/min., previo a la experiencia

\*\*\* Se hace pasar O<sub>2</sub> durante 1,25 horas, con flujo de 200 ml/min., previo a la experiencia

\*\*\*\* Se hace pasar O<sub>2</sub> durante 1,25 horas, con flujo de 250 ml/min., previo a la experiencia

## **III. Discusión de resultados**

- Trabajando con masa de catalizador de 50 mg, la retención de SO<sub>2</sub> al 100 % se mantiene durante las primeras 20 hs., disminuyendo al 88 % a las 32 hs. Se mantiene en 70 % las 28 hs. siguientes, y se reduce a 65 % aprox., manteniéndose durante 80 hs. Luego, baja al 52 % durante las 12 hs. siguientes (Exp. 132-148).
- Cuando se reduce la masa del catalizador a la mitad, 25 mg, manteniéndose constante la temperatura y el flujo de SO<sub>2</sub>, la retención de SO<sub>2</sub> baja al 36 %, manteniéndose durante 26 hs.; se reduce al 25 % durante las 11 hs. siguientes, y se vuelve 0 % a la hora siguiente (Exp. 149-153).
- Aumentando la masa del catalizador a 100 mg, manteniendo constante la temperatura a 650 °C y flujos de SO<sub>2</sub>: 100 ml/min, CH<sub>4</sub>: 100 ml y O<sub>2</sub>: 50 ml/min, la capacidad de retención de SO<sub>2</sub> disminuye luego de cada desorción con N<sub>2</sub> a 750 °C (Exp. 154-158).
- Trabajando con masa de catalizador de 50 mg y sucesivas readsorciones luego de la primera adsorción, manteniendo los flujos de gases como anteriormente, el porcentaje de retención de SO<sub>2</sub> fluctúa entre 71 y 53 % durante 58 hs. (Exp. 159-165).
- Cuando se trabaja con menor masa de catalizador (10 mg), la retención de SO<sub>2</sub> a 250 ml/min es muy baja, siendo 0 a las 19 hs. (Exp. 166-167). Las Exp. 168-171 se descartaron por fallas en la lectura del medidor de SO<sub>2</sub>. Cuando se hace pasar O<sub>2</sub> previo a las experiencias de retención, manteniendo constante la masa del catalizador (Exp. 172-175), se observa que la capacidad de retención de SO<sub>2</sub> disminuye hasta volverse 0, con un flujo de O<sub>2</sub> de 250 ml/min.
- Con masa de catalizador de 50 mg y flujos de SO<sub>2</sub>: 100 ml/min, CH<sub>4</sub>: 100 ml/min y O<sub>2</sub>: 50 ml/min, la cantidad de SO<sub>2</sub> retenido disminuye en la segunda readsorción (Exp. 176-178). En la readsorción, el porcentaje de SO<sub>2</sub> aumenta a 68,5 %, bajando a 18,3 % luego de la desorción con N<sub>2</sub> (Exp. 179-180). Las Exp. 176 a 180 se realizaron a escala planta piloto.

FECHA	TIPO	EXP	M	Hs.	T° (°C)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (gr)	RESULTADOS				FLUJOS (ml/min)					
							mg. SO <sub>2</sub> adsorb.	mg. SO <sub>2</sub> no ret.	% SO <sub>2</sub> ret.	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	AIRE	N <sub>2</sub>	
08/03/2010	A	132	-	8	650	0,050	3,325	0,103	97	250	-	-	-	-	-	
09/03/2010	RA	133	-	11,5	650	0,050	5,142	0,000	100	250	-	-	-	-	-	
11/03/2010	RA	134	-	12,25	650	0,050	4,525	0,615	88	250	-	-	-	-	-	
12/03/2010	RA	135	-	3	650	0,050	0,900	0,386	70	250	-	-	-	-	-	
15/03/2010	RA	136	-	3	650	0,050	0,900	0,386	70	250	-	-	-	-	-	
18/03/2010	RA	137	-	13	650	0,050	3,900	1,671	70	250	-	-	-	-	-	
19/03/2010	RA	138	-	9	650	0,050	2,700	1,157	70	250	-	-	-	-	-	
22/03/2010	RA	139	-	3,5	650	0,050	0,861	0,424	67	250	-	-	-	-	-	
25/03/2010	RA	140	-	12,75	650	0,050	3,565	2,005	64	250	-	-	-	-	-	
26/03/2010	RA	141	-	12,5	650	0,050	3,565	2,005	64	250	-	-	-	-	-	
29/03/2010	RA	142	-	4	650	0,050	1,148	0,566	67	250	-	-	-	-	-	
30/03/2010	RA	143	-	10,75	650	0,050	3,159	1,555	67	250	-	-	-	-	-	
05/04/2010	RA	144	-	3	650	0,050	0,862	0,424	67	250	-	-	-	-	-	
08/04/2010	RA	145	-	12,5	650	0,050	3,137	2,005	61	250	-	-	-	-	-	
09/04/2010	RA	146	-	11	650	0,050	2,876	1,838	61	250	-	-	-	-	-	
12/04/2010	RA	147	-	11	650	0,050	3,017	1,697	64	250	-	-	-	-	-	

15/04/2010	RA	148	148	12	650	0,050	2,674	2,468	52	250	-	-	-	-
04/06/2010	A	149	-	10	650	0,025	1,543	2,742	36	250	-	-	-	-
11/06/2010	RA	150	-	5,5	650	0,025	0,686	1,028	40	250	-	-	-	-
18/06/2010	RA	151	-	10,5	650	0,025	1,714	2,571	40	250	-	-	-	-
24/06/2010	RA	152	-	11,25	650	0,025	1,179	3,535	25	250	-	-	-	-
25/06/2010	RA	153	153	1	650	0,025	0,000	0,429	0	250	-	-	-	-
09/08/2010	A	154	-	24	650	0,100	4,050	0,235	94,5	100	100	50	-	-
11/08/2010	D	154b	154b	12	750	0,100	4,050	0,204	95	-	-	-	-	250

FECHA	TIPO	EXP	M	Hs.	Tº (ºC)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (gr)	RESULTADOS				FLUJOS (ml/min)				
							mg. SO <sub>2</sub> adsorb.	mg. SO <sub>2</sub> ret.	% SO <sub>2</sub> ret.	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	AIRE	N <sub>2</sub>	
17/08/2010	A	155	-	24	650	0,100	3,085	1,028	75	100	100	50	-	-	
19/08/2010	D	156	-	12	750	0,100	3,085	0,115	96,3	-	-	-	-	250	
25/08/2010	A	157	-	12	650	0,100	3,600	0,514	87,5	100	100	50	-	-	
27/08/2010	D	158	158	12	750	0,100	6,570	0,026	99,6	-	-	-	-	250	
10/09/2010	A	159	-	10	650	0,050	1,148	0,566	67	100	100	50	-	-	
14/09/2010	RA	160	-	11	650	0,050	1,338	0,547	71	100	100	50	-	-	

16/09/2010	RA	161	-	12	650	0,050	1,193	0,864	58	100	100	50	-	-	
23/09/2010	RA	162	-	Experiencia suspendida por corte de energía eléctrica											
24/09/2010	RA	163	-	12	650	0,050	1,080	0,634	63	100	100	50	-	-	
30/09/2010	RA	164	-	12	650	0,050	1,090	0,967	53	100	100	50	-	-	
01/10/2010	RA	165	165	1	650	0,050	0,109	0,062	63,7	100	100	50	-	-	
04/10/2010	A	166	-	10	650	0,010	1,264	3,389	30	250	-	-	-	-	
05/10/2010	RA	167	-	9	650	0,010	0,000	3,857	0	250	-	-	-	-	
05/11/2010	A*	172	172	3	650	0,010	0,129	1,157	10	250	-	-	-	-	
11/11/2010	A**	173	173	2,5	650	0,010	0,043	1,028	4	250	-	-	-	-	
13/12/2010	A***	174	174	3,5	650	0,010	0,278	0,579	32	250	-	-	-	-	
14/12/2010	A****	175	175	1	650	0,010	0,000	0,428	0	250	-	-	-	-	
18/02/2011	A	176	-	10	650	0,050	1,590	0,124	92,8	100	100	50	-	-	
21/02/2011	RA	177	-	12,5	650	0,050	1,975	0,168	92,2	100	100	50	-	-	
22/02/2011	RA	178	-	8	650	0,050	0,525	0,846	38,3	100	100	50	-	-	
04/04/2011	RA	179	-	13	650	0,050	1,762	0,809	68,5	100	100	100	-	-	
15/04/2011	D	180	180	12	750	0,050	5,852	1,071	81,7	-	-	-	-	250	

#### **IV. Conclusiones**

- La capacidad de retención de SO<sub>2</sub> aumenta con la masa del catalizador.
- La capacidad de retención de SO<sub>2</sub> disminuye con el número de readsorciones sucesivas.
- El pasaje de O<sub>2</sub> previo a las experiencias de retención disminuye significativamente la retención de SO<sub>2</sub>. Se infiere que el O<sub>2</sub> ocupa los espacios disponibles en el catalizador.
- En las experiencias a escala planta piloto, también la capacidad de retención de SO<sub>2</sub> disminuye con las readsorciones sucesivas.

#### **V. Publicaciones**

- "Reducción de niveles de SO<sub>2</sub> en gases de chimenea" – Publicación "Medio del Ambiente" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral. Agosto, 1999.
- "Estudio del comportamiento de diferentes óxidos metálicos frente a la adsorción de SO<sub>2</sub> por Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS) Publicado en el "Boletín Ambiental", Facultad de Química e Ingeniería, UCA, Rosario. Año 8, marzo 2002.
- "Estudio comparativo de la adsorción de SO<sub>2</sub> sobre distintos óxidos de metales de transición soportados en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 1, diciembre 2003. ISSN 1668-1622. Facultad Católica de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Reducción de niveles de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub>, a altas temperaturas, sobre catalizador de óxido de cromo soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 2, diciembre 2004. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Reducción de los niveles de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub>, a altas temperaturas, sobre catalizador de óxido de cromo soportado en alúmina". "Estudio de la adsorción de moléculas pequeñas sobre óxidos de metales de transición". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 3, diciembre 2005. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Adsorción de SO<sub>2</sub> sobre la superficie de óxidos de metales de transición", en colaboración con la Lic. Silvina Medina. Artículo publicado en versión electrónica en [www.estrucplan.com.ar](http://www.estrucplan.com.ar), en el Boletín Estructurplan On Line del 14 de agosto.
- "Reducción de los niveles de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub>, a altas temperaturas, sobre catalizador de óxido de cromo soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 4, diciembre 2006. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Estudio de la reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> en presencia de O<sub>2</sub> a altas temperaturas, sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 5, diciembre 2007. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Estudio de la reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> en presencia de O<sub>2</sub> a altas temperaturas, sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 6, diciembre 2008. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Estudio de la reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> en presencia de O<sub>2</sub> a altas temperaturas, sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 7, noviembre 2009. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.
- "Estudio de la reducción de SO<sub>2</sub> con CH<sub>4</sub> en presencia de O<sub>2</sub> a altas temperaturas, sobre catalizador de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soportado en alúmina". Revista *Energeia*, Revista del Departamento de Investigación Institucional, Nº 8, noviembre 2010. ISSN 1668-1622. Facultad de Química e Ingeniería. UCA. Rosario.

#### **VI. Presentaciones del proyecto en reuniones científicas**

Este proyecto se ha presentado en las siguientes reuniones científicas:

- IV Congreso Regional de Medio Ambiente. Co-organizado por la Facultad de Química e Ingeniería (UCA, Rosario) y la UTN (Regional Rosario). Campus Universitario UCA Rosario, 5 y 6 de junio de 2008.

- VI Congreso Argentino de Estudiantes de Ingeniería Industrial y Carreras Afines. Organizado por la Asociación Argentina de Estudiantes de Ingeniería Industrial. Patio de la Madera, Rosario, del 14 al 17 de agosto de 2008.
- XXVII Congreso Argentino de Química. Organizado por la Asociación Química Argentina (AQA), Tucumán, del 17 al 19 de septiembre de 2008.
- Jornada de presentación de Proyectos de Investigación. Departamento de Investigación Institucional, Facultad de Química e Ingeniería "Fray R. Bacon", UCA Rosario, 17 de octubre de 2008. Presentación de informe de avance.
- Jornada de presentación de Proyectos de Investigación. Departamento de Investigación Institucional, Facultad de Química e Ingeniería "Fray R. Bacon", UCA Rosario, 20 de noviembre de 2009. Presentación de informe de avance.
- I Feria Internacional y VI Congreso Regional del Ambiente. Co-organizado por la Facultad de Química e Ingeniería (UCA, Rosario) y la UTN (Regional Rosario). Centro Cultural Bernardino Rivadavia, 3 de junio de 2010.
- Jornada de presentación de Proyectos de Investigación. Departamento de Investigación Institucional, Facultad de Química e Ingeniería "Fray R. Bacon", UCA Rosario, noviembre de 2010. Presentación de informe de avance.
- VII Congreso Regional de Medio Ambiente. Co-organizado por la Facultad de Química e Ingeniería (UCA, Rosario), la UTN (Regional Rosario), la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (UNR) y la Fundación de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (FIEM). Bolsa de Comercio, Rosario, 7 al 9 de septiembre de 2011.
- Congreso de Ciencias Ambientales. Organizado por el Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista (COPIME). Buenos Aires, 5 al 7 de octubre de 2011.

### **VII. Actividades programadas para el período septiembre 2011 – febrero 2013 inclusive**

El proyecto en ejecución nos permitirá analizar la influencia de los cambios en las condiciones de reacción por el paso de escala laboratorio a planta piloto. Durante este período, se continuará trabajando a distintos flujos de gases y masa de catalizador, completándose el estudio cinético para las nuevas condiciones experimentales. Se seguirá avanzando en los estudios teóricos de retención de SO<sub>2</sub> sobre el catalizador.

### **VIII. Bibliografía**

- 1) Arutyunov, V. S., Basevich, V. Y., Vedenev, V. I., y Sokolov, O. V. *Kinetics of the formation of products of the reaction of sulphur dioxide with methane*, Plenum, pp. 1156-1161, 1992.
- 2) Delgass, W. N., *Spectroscopy in heterogeneous catalysis*, Academic Press, pp. 267-316, N. Y., 1979.
- 3) Haase, J. *Structural studies of SO<sub>2</sub> adsorption on metal surfaces*, Matter 9, J. Phys., Condens, pp. 1647-1670, 1997.
- 4) Hunter y Wright. *Conversión de SO<sub>2</sub> en S en la ruta de purificación de gases de chimenea*, Chemical Engineering, 1997.
- 5) Irurzun, I. M., Imbihl, R., Vicente, J. L. Y Mola, E. E. *An análisis of turbulent states in the NH<sub>3</sub> + NO reaction on Pt {100}*, Chem. Phys. Lett. N° 389, pp. 212-217, 2004.
- 6) Jong, S. C., Sang, C. P., Hee, S. K. Deok, S. L., y In, S. N. *Removal of SH<sub>2</sub> and/or SO<sub>2</sub> by catalytic conversion technologies*, Catalysis Today N° 35, pp. 37-43, 1997.
- 7) Michaelides, A., Ranea, V. A. de Andrés, P. L. y King D. A. *General model for water monomer adsorption on close-packed transition and noble metal surfaces*, Physical Review Letters, Vol. 90, N° 21, pp. 21-102, 2003.
- 8) Mola, E. E., Irurzun, I. M., Vicente, J. L. y King. D. A. *Mesoscopic pattern formation in catalytic processes by an extension of the mean field approach*, Surface Review and Letters, Vol. 10, N° 1, pp. 23-38, 2003.
- 9) Mola, E. E., King, D. A., Rafti, M., Irurzun I. M., y Vicente, J. L. *Extended the Mean Field Approach (EMFA) to pattern formation in surface chemical reactions*, Surface Review and Letters, Vol. 11, N° 1, 2004.
- 10) Mola, E. E., Ranea, V. A., y Vicente, J. L. *Underlayer chemisorption of C on Al (111)*, Surface Science, Vol. 418, N° 2, pp. 367-375, 1998.
- 11) Mola, E. E., Ranea, V. A., y Vicente, J. L. *Theoretical model of diatomic molecules interacting on a two-dimensional lattice*, Physical Review E., Vol. 60, N° 5, p. 5130, 1999.
- 12) Mulligan, D. y Berk, D. *Reduction of sulphur dioxide with methane over alumina supported molybdenum sulfide catalysts*, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 31, N° 1, pp. 119-125, 1992.

- 13) Mulligan, D. y Berk, D. *Reduction of sulphur dioxide with methane over selected transition metal sulfides*, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 28, N° 7, pp. 926-931, 1989.
- 14) Nowotny, J. y Dufour, L. C. *Surface and near surface chemistry of oxide materials*, Elsevier Science, Netherlands, pp. 101-124.
- 15) Ranea, V. A., Mola, E. E., y Vicente, J. L. *A theoretical study of water chemisorption on the (001) plane of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*, Surface Science, Vol. 442, pp. 498-506, 1999.
- 16) Ranea, V. A., Vicente, J. L., Mola, E. E., Arnal, P., Thomas, H., y Cambaro, L. *Adsorption of H<sub>2</sub>O on the (001) plane of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: chemisorption site identification*, Surface Science, Vol. 463, pp. 115-124, 2000.
- 17) Sarlis, J. y Berk, D. *Reduction of sulphur dioxide with methane over activated alumina*, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 27, N° 10, pp. 1951-1954, 1998.
- 18) Terada, S., Imanishi, A., Yokohama, T. Kitajima, Y., y Otha, T. *Surface structure of SO<sub>2</sub> adsorbed on Ni (110) studied by S K – edge X – Ray adsorption fine structure spectroscopy*, Surface Science N° 336, pp. 55-62, 1995.
- 19) Vicente, J. L., Maltz, A. y Mola, E. E. *Heterogeneous catalysis reaction on a 2x2 lattice*, Surface Science, Vol. V, 400, pp. 197-202, 1998.
- 20) Waqif, M. Saad, A. M., Bensitel, M., Bachelier, J., Saur, O., Lavalley, J. C. *Comparative study of SO<sub>2</sub> adsorption on metal oxides*, J. Chem. Soc., Faraday Trans. N° 88, pp. 2931-2936, 1992.
- 21) Ziolk, M., Kujawa, J., Saur, O., Aboulayt, A., Lavalley, J. C. *Influence of sulphur dioxide adsorption on the surface properties of metal oxides*, J. Mol. Catal. A., Chemical N° 112, pp. 125-132, 1996.