

Producción de sílice precipitada mediante CO₂

Carlota Mur¹, Fernando Cacho², José Ángel Peña¹, Miguel Menéndez¹

¹ Grupo de Catálisis e Ingeniería de Reactores (CREG)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

² Industrias Químicas del Ebro (IQE), Pol. Malpica 97, 50016 Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: carlotamur@unizar.es

Resumen

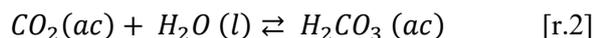
La precipitación convencional de sílice conlleva el uso de ácidos minerales, fuertes y corrosivos a alta temperatura. Este trabajo explora la posibilidad de sustituir el ácido por CO₂ durante una precipitación a temperatura ambiente, con el objetivo de reducir la huella de carbono asociada al producto final, promoviendo los objetivos de la economía circular.

Introducción

El uso del CO₂ gaseoso como materia prima en procesos industriales puede favorecer la sustitución de reactivos tóxicos y o inflamables, que presentan mayores huellas ambientales asociadas, debido a su extracción y refinamiento, y que a su vez dejan trazas indeseadas en los productos finales [1]. Por ello, desarrollar estudios que fomenten la reutilización de este gas se ha convertido en un objetivo prioritario de la industria.

La molécula de CO₂ presenta numerosas ventajas como materia prima, ya que es un gas no tóxico, no inflamable, relativamente barato y altamente disponible, entre otras. Su uso va en consonancia con los objetivos climáticos dentro del *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*.

El CO₂ en disolución acuosa forma el ácido carbónico, un ácido débil que se disocia en tres especies distintas (H₂CO₃, HCO₃⁻ y CO₃²⁻) dependiendo el pH al que esté la disolución.



Como se observa, la disolución acuosa de CO₂ es un equilibrio reversible ([r.1] y [r.2]), y su solubilidad se ve modificada por la temperatura de trabajo[2], por lo que encontrar unas condiciones óptimas de precipitación es de vital importancia.

La estructura de la sílice depende de los parámetros de reacción, y esta estructura le otorga distintas

propiedades para diversas aplicaciones. La sílice precipitada posee una superficie rica en grupos hidroxilo, es químicamente estable, tiene una baja densidad y su tamaño de partícula es ajustable. Por estas razones, se utiliza en aplicaciones que van desde cauchos y neumáticos hasta la fabricación de pasta de dientes y papel [3].

Procedimiento experimental

La precipitación se lleva a cabo en un tanque agitado en modo discontinuo (*batch*) donde se añade una disolución alcalina (relación másica SiO₂/Na₂O = 3,26-3,38) con un caudal variable mientras se borbotea CO₂ con un caudal constante. La reacción se lleva a cabo a 25 °C, con un pH=8-9 y un 2-8 %peso de NaHCO₃ en el lecho inicial de reacción.

Una vez finalizado el tiempo de precipitación, se deja madurar la suspensión en el tanque agitado durante 30-120 minutos. Después, se filtra la sílice y se lava con agua destilada hasta obtener la conductividad deseada en las aguas de filtrado. Por último, si es conveniente, se redispersa el producto y se somete a un proceso de acidificación, se lava y se seca en la estufa.

La sílice obtenida y caracterizada a diferentes pH se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Sílice precipitada a pH=8-9

pH	η _{CO2} (%)	Área Hg (m ² /g)	Área BET (m ² /g)	ρ _{aparente} (g/mL)	Conductividad (μS/cm) (5% sólido)	pH (5% sólido)
8	48	224	443	0,5	280	9,73
9	100	165	346	0,6	506	9,95

A pH=9 el rendimiento del CO₂ es mayor, su densidad aparente es más alta y las áreas de superficie específica son menores.

Por otro lado, se evaluó el proceso final de acidificación de la sílice precipitada anteriormente

para cada aplicación. Los resultados obtenidos fueron los mostrados en la Tabla 2 y Tabla 3:

Tabla 2. Sílice precipitada a pH=8 y redispersada a diferentes pH

pH filtración	Área Hg (m ² /g)	Área BET (m ² /g)	ρ_{aparente} (g/mL)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) (5% sólido)	pH (5% sólido)
-	224	443	0,5	280	9,73
7,5	332	602	0,5	96	9,20
4,6	92	733	0,5	16	7,48

Tabla 3. Sílice precipitada a pH=9 y redispersada a diferentes pH

pH filtración	Área Hg (m ² /g)	Área BET (m ² /g)	ρ_{aparente} (g/mL)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) (5% sólido)	pH (5% sólido)
-	165	346	0,6	506	9,95
7,5	356	522	0,6	140	9,09
4,6	57	665	0,7	107	7,08

Se puede deducir de la caracterización de los sólidos y las porosimetrías de Hg (Figura 1 y Figura 2), que la sílice bajo estas condiciones no ha terminado de formarse, ya que al lavarla en medio ácido los agregados de sílice se fragmentan, obteniéndose tamaños de partículas muy pequeños.

Finalmente, se evaluó el efecto de diferentes caudales de CO₂ para la precipitación a pH=9, con el objetivo de prolongar el tiempo de reacción. Como se muestra en la Tabla 4, trabajar a menor caudal de CO₂ empeora el rendimiento a CO₂ y disminuye la densidad aparente.

Tabla 4. Sílice precipitada a pH=9 bajo diferentes caudales de CO₂

Q _{CO2} (L/min)	η_{CO2} (%)	Área Hg (m ² /g)	Área BET (m ² /g)	ρ_{aparente} (g/mL)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) (5% sólido)	pH (5% sólido)
0,2	56	375	405	0,2	568	10,2
0,5	100	338	376	0,6	452	10,4
1,0	100	165	346	0,6	506	10,0

Conclusiones

A través de los diferentes experimentos se ha probado que se puede precipitar sílice con CO₂ a temperatura ambiente. Se ha determinado que a pH=9 el rendimiento a CO₂ es mejor y reduciendo el caudal del dióxido de carbono se consigue tener una sílice menos densa y más estructurada.

Así mismo, se ha comprobado que una última etapa de acidificación, bajo estas condiciones de reacción, puede modificar la estructura de la sílice.

FIGURAS

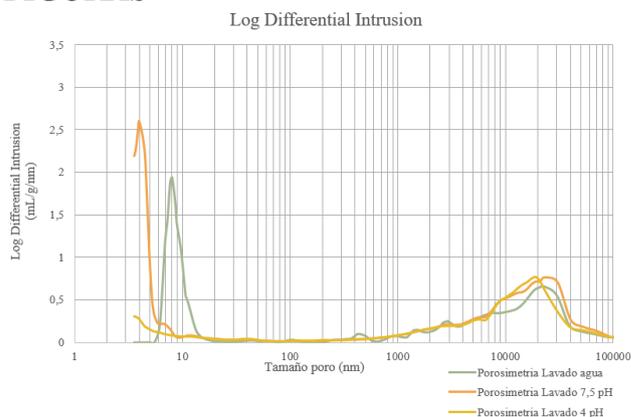


Figura 1. Porosimetría de Hg a pH=9

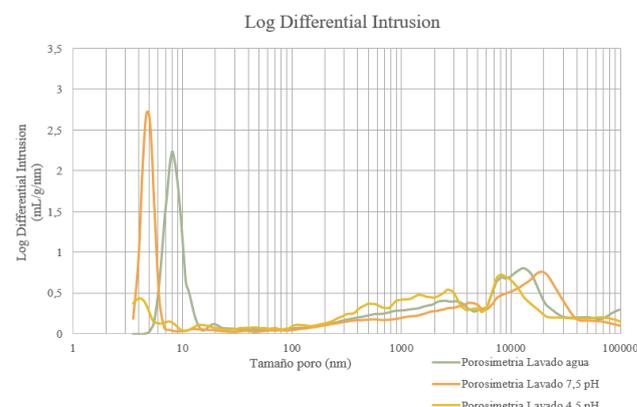


Figura 2. Porosimetría de Hg a pH=8

REFERENCIAS

- [1] A. Mujkanović and M. Jovanović, "Synthesis of precipitated silica from sodium silicate solution by carbonation method," *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, vol. 9, no. 2, pp. 808–819, 2021, doi: 10.21533/PEN.V9I2.1878.
- [2] X. Cai *et al.*, "Synthesis of silica powders by pressured carbonation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 151, no. 1–3, pp. 380–386, 2009, doi: 10.1016/j.cej.2009.03.060.
- [3] G. yan Hu, S. ming Jin, and K. Liu, "Precipitation of silica by CO₂ bubbles/microbubbles and kinetics research," *J Clean Prod*, vol. 428, no. September, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.139322.