

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

TREBALL DE FI DE GRAU EN ENGINYERIA
QUÍMICA



EBYL

Carles Contreras Rafanell
Aarón Llera Toro
Elena Hurtado López
Karima Jihari Bouabidi
Emma Zurera Gómez
Víctor Rodrigo Sánchez Altabás
Miguel Ángel Melendo Castaño

Tutor: Albert Bartrolí Almera

Cerdanyola del Vallés, Juny de 2023

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona
Escola d'Enginyeria



EBYL

**Volum 12.
Ampliacions i
Milliores**

Taula de continguts

12. Ampliacions i Millores	2
12.1 Introducció	2
12.2 Instal·lació de plaques solars	2
12.3 Tractament del CO2 generat amb un <i>Scrubber</i>	3
12.4 Depuradora d'aigües.....	4
12.5 H ₂ com alternativa al gas natural.....	7
12.6 Tancs d'emmagatzematge d'etilè.....	7
12.7 Catalitzadors	8
12. 8 Zona de serveis.....	9
12. 9 Usos del fuel gas.....	10
12.10 Webgrafia.....	11

12. Ampliacions i Millores

12.1 Introducció

En aquest capítol es recullen les diferents ampliacions i millores que es podrien dur a terme en un futur a la planta EBYL. L'objectiu amb la implementació d'aquests canvis és, entre d'altres, augmentar la producció d'etilbenzè, reduir costos energètics i també garantir una major implicació en el medi ambient millorant la gestió de residus en la mateixa planta i fent ús d'energies renovables.

12.2 Instal·lació de plaques solars

Un dels objectius a llarg i curt termini en la planta EBYL és la implementació d'energies renovables, concretament de l'energia solar. Aquest aprofitament energètic permetrà una reducció de l'energia utilitzada i directament dels costos referits a aquesta.

En el **Volum 1. Especificacions del projecte** a l'**Apartat 1.1.3.4.4** s'especifiquen les hores de llum que rep diàriament el municipi de Tarragona, aproximadament una mitja de 10 hores diàries. Donada l'alta quantitat de Sol que rep la planta, l'ús de plaques solars és una molt bona alternativa per generar electricitat.

Les plaques solars se situarien al terrat dels edificis de la planta. A causa de l'alçada dels diversos equips i dipòsits, l'àrea de reacció i separació tindrà part del sostre al descobert i, per tant, aquestes plaques es disposaran a les teulades dels edificis on estan els laboratoris, el taller, la zona d'emmagatzematge del nou material i, on sigui possible, l'àrea de serveis. Aquesta ubicació suposaria un aprofitament de l'espai, ja que no intervindria ni en l'aparcament ni en el pas dels treballadors ni dels vehicles.

Les plaques solars més recomanades són les monocristal·lines perquè presenten un grau major d'eficiència respecte a les altres que estan pràcticament obsoletes. Funcionen millor en entorns amb menor exposició solar i en dies nuvolats com succeiria a Tarragona a l'hivern. I de cara a les temperatures altes a l'estiu tenen una alta tolerància, no perden eficiència, ja que mantenen estable el coeficient de temperatura en el panell. [1]

Les plaques solars fotovoltaïques es basen principalment en la cèl·lula solar fotovoltaïca que transforma l'energia solar directament en elèctrica utilitzant energia fotoelèctrica. Les cèl·lules fotovoltaïques són capes de silici amb fòsfor i bor que a partir de la radiació solar generen una càrrega elèctrica que seran serialitzats en un panell per tal d'ajustar-lo a un sistema de corrent continu utilitzable.[1]

Les plaques solars d'entrada suposen una inversió econòmica important i el benefici obtingut s'obté a llarg termini, ja que disminuirà el consum d'energia elèctrica considerablement i, per tant, el cost d'aquest subministrament.

12.3 Tractament del CO₂ generat amb un *Scrubber*

Tot i que la planta EBYL no supera els límits màxims d'emissió de diòxid de carboni, a conseqüència d'estar compromesa amb el canvi climàtic, tractarà aquestes emissions gasoses per evitar augmentar l'impacte mediambiental en la mesura més gran possible. Per aquest tractament es farà ús d'un *Scrubber* o depuradora de gasos.

La funció principal d'un *Scrubber* és la depuració d'emissions a l'atmosfera partir d'un rentat dels gasos, eliminant les partícules petites i els gasos perillosos com ho és el CO₂. El funcionament d'un *Scrubber* de CO₂ depèn del mètode específic que s'utilitzi, però en general, funciona a través de l'absorció química del CO₂ en un líquid o sòlid.

El CO₂ es fa passar a través d'un líquid absorbent, com ara aigua o un dissolvent orgànic, on es dissol en el líquid. En el cas de la planta EBYL el líquid absorbent seria l'aigua.

Hi ha diversos motius pels quals s'ha seleccionat aquest líquid. Per una banda, s'ha escollit l'aigua perquè és abundant, econòmica i fàcil d'obtenir, a més a més de l'alta capacitat que té per a absorbir i neutralitzar el diòxid de carboni. Per altra banda, l'aigua és un líquid relativament segur i no tòxic, el que la fa ideal tant per al medi ambient com per als treballadors. Aquestes característiques fan que sigui fàcilment tractable, podent tractar-se i reutilitzar-la en el procés, reduint el consum d'aigua i la generació de més residus. El procés de depuració del gas és el següent [2]:

- El funcionament d'un *Scrubber* comença amb la injecció del gas contaminat a l'entrada del *Scrubber*, on es fa passar a través d'un conducte.
- A mesura que el gas avança aquest va entrant en contacte amb el líquid absorbent, l'aigua, i es produeix una reacció química.
- En aquesta reacció els contaminants del gas són neutralitzats pel líquid absorbent.
- Una vegada el gas ha estat tractat sortirà del *Scrubber* net, a diferència de l'aigua que estarà carregada amb contaminants.

La **Figura 12.1** mostra el funcionament d'un *Scrubber* per a tractar diòxid de carboni.

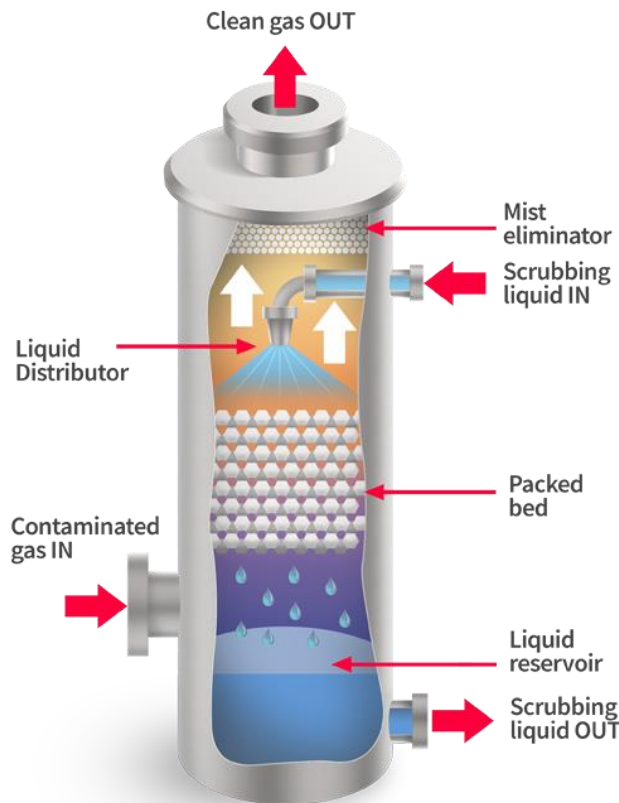


Figura 12.1: Esquema representatiu del funcionament d'un Scrubber

Donat que la planta EBYL genera 5,8 tones/h de diòxid de carboni i que es treballa en continu, el *Scrubber* haurà d'estar en un funcionament constant. Tot i que la quantitat d'aigua que s'utilitza varia en funció del disseny i l'eficiència de l'*Scrubber*, s'ha fet una aproximació sabent que el consum d'aigua d'un *Scrubber* es troba al voltant d'entre 0,45 a 0,55 L/m³ d'entrada d'aire. Es calcula i es troba que aproximadament es consumeixen 3520,485 m³ d'aigua diàriament [3].

Així doncs, l'aigua es tractarà per tal de garantir que es troba en condicions adequades per poder ser reutilitzada de nou en el procés. El tractament servirà per eliminar els contaminants que s'acumulen durant el procés, els més habituals que s'hauran d'eliminar seran el bicarbonat que es forma i altres ions metàl·lics, així com partícules en suspensió i microorganismes. Per tractar-la s'usarà una EDAR.

12.4 Depuradora d'aigües

S'ha establert que les aigües residuals generades a la planta EBYL seran enviades a gestió externa, per realitzar-ne el tractament corresponent i adequat. Però si s'incorpora a la planta un *Scrubber* que genera una gran quantitat d'aigua diària, caldrà, per evitar el desplaçament d'aquestes a l'EDAR més pròxima, disposar-ne d'una EDAR a la mateixa planta.

D'aquesta manera es fomenta l'economia circular, ja que aquests residus generats deixaran de ser-ho i es convertiran en una utilitat.

En el cas de tractar aquestes aigües, es podran utilitzar de nou al *Scrubber* i també les aigües generades una vegada a l'any en la neteja. Es podrà fer servir per al sistema de reg de les zones verdes i també per a la bassa d'aigua contra incendi que com a seguretat la planta EBYL disposa.

Una EDAR està definida com el conjunt d'instal·lacions que tenen com a objectiu la reducció de la contaminació de les aigües residuals fins a límits acceptables per a la llera receptora [4].

L'EDAR té un altre objectiu igual d'important que l'anterior: tractar els llots produïts en els processos de depuració de l'aigua residual, a fi d'aconseguir un producte que compleixi amb les condicions exigides per a la destinació que se'ls vagi a donar (abocador, ús agrícola, compostatge, etc.) [4].

L'esquema general bàsic d'una EDAR està compost per dues o tres línies principals: la línia d'aigua, la línia de fang i la línia de gas, si s'escau.

Línia d'aigua

- Pretractament

El pretractament consisteix en l'eliminació de la matèria que a causa de la seva grandària pot causar un mal funcionament en la continuïtat del procés. Per fer-ho s'utilitzen reixes o tamisos que recuperaran la matèria amb major mida [5]. En el cas de les aigües residuals de la planta EBYL, els materials en suspensió que es podrien trobar són petites impureses de l'acer inoxidable dels equips i canonades, provocades pel desgast, a més a més dels microorganismes, ions metàl·lics entre altres partícules generades en l'*Scrubber*.

També es realitzarà una homogeneïtzació i regulació dels caudals i les càrregues, que proporcionarà un cabal el més uniforme possible [5].

El procés de pre-aeració s'aplicarà per tal de millorar la traçabilitat de l'aigua, controlant les olors i la floculació de sòlids. Aquesta també incrementarà l'eliminació de DBO5 [5].

- Tractament primari

Aquest tractament es destina fonamentalment a l'eliminació de sòlids en suspensió. Es distingeixen els següents processos:

La decantació primària: Té com a objectiu la reducció dels sòlids en suspensió de les aigües residuals sota l'exclusiva acció de la gravetat.

Tractament físic-químic: Es compon de tres etapes: desestabilització de les partícules col·loïdals, agregació de les partícules desestabilitzades i separació dels agregats formats en l'aigua.

- Tractament secundari

El tractament secundari té com a fonament els processos biològics de depuració, que consisteix en l'eliminació de la contaminació de l'aigua mitjançant una biocenosi (generalment microorganismes) desenvolupada en un medi adequat i amb un ambient controlat.

- Tractament terciari

El tractament terciari s'utilitza amb la finalitat de:

1. Obtenir una millora de l'efluent depurat, per exigències requerides pel receptor.
2. Millora de l'efluent de cara a la seva posterior reutilització, sent un tractament de regeneració.

Línia de fang

En el pretractament es recull sorra, grassa, olis i les partícules d'acer que seran traslladades a una planta de tractament [6].

Durant el tractament primari i secundari es formen llots en estat líquid o semisòlid amb un contingut en sòlids fins al 10% del seu pes [6]. En el cas de la planta EBYL, com l'origen dels sòlids en gran part prové de l'acer, aquests fangs una vegada s'hagi fet el tractament adient, no es podrà utilitzar com a material de compostatge, ja que no complirà amb els valors adequats.

El procés constà de:

- Espessament

Eliminació parcial de l'aigua continguda als llots, concentrant així els sòlids existents en ells. Es pot fer per gravetat o flotació.

- Digestió

Estabilització dels llots perquè la matèria orgànica residual sigui la més innòcua possible pel medi ambient. Aquests digestors són anaerobis (funcionen en absència d'oxigen) i el procés consisteix en la fermentació bacteriana anòxica en la qual es produeix CH_4 , H_2S , amoníac i CO_2 , aigua i altres components més simples i estables [6].

- Deshidratació

Procés basat en l'eliminació de la quantitat més gran d'aigua possible del fang a partir de medis físics el que provoca una reducció del volum d'aquests i els aporta una consistència que els fa més manejables. Els sistemes de deshidratació més comuns són [7]:

- Assecador de llit fluïditzat
- Assecador solar
- Assecador de cinta o banda
- Assecador de tambor

- Assecatge tèrmic

Procés basat en l'aportació de l'energia tèrmica necessària per eliminar l'aigua fins al límit per al qual s'hagi dissenyat (normalment al voltant del 90% de sequedat en el fang) [7].

Línia de gas

Els gasos generats en la digestió de la línia de fangs, són conduïts a través d'una canonada fins a un gasòmetre que els emmagatzemarà o fins al cremador, per a una combustió controlada. Com la idea és fomentar l'economia circular aquests gasos preferiblement seran emmagatzemats i s'utilitzaran per generar energia tèrmica o elèctrica, que es consumirà a la mateixa planta [6].

12.5 H₂ com alternativa al gas natural

La planta de producció EBYL està compromesa amb el canvi climàtic, la idea és utilitzar una energia més eficient i sostenible, però sobretot més neta, reduint les màximes emissions que s'emeten a l'atmosfera.

Un dels punts de major emissió de diòxid de carboni a la planta EBYL és a la combustió del gas natural a la caldera. Com a alternativa es proposa canviar el combustible gas natural per hidrogen. Hi ha tres tipus d'hidrogen diferents:

- L'hidrogen gris és un tipus d'hidrogen obtingut a partir d'un procés químic conegut com a "reformat", que aprofita certs combustibles fòssils per transformar-los en hidrogen. Aquest té un baix cost de producció, però emet un alt nivell de CO₂ contaminant [8].
- L'hidrogen blau és un tipus d'hidrogen que s'aconsegueix també de combustibles fòssils, però a més a més no és tan amigable pel medi ambient com ho és la tercera opció, l'hidrogen verd, ja que per a la seva obtenció es necessita capturar i emmagatzemar carboni [9].
- L'hidrogen verd és una alternativa per a reduir les emissions i cuidar el nostre planeta. Aquest es genera a través d'un procés químic conegut com a electròlisi. El mètode utilitza el corrent elèctric per separar l'hidrogen de l'oxigen que hi ha a l'aigua, per la qual cosa, aquesta electricitat s'assoleix de fonts renovables, produint-se energia sense emetre diòxid de carboni a l'atmosfera [10].

Un dels inconvenients que existeixen sobre l'hidrogen verd i que dificulten la viabilitat d'aquest gas com a alternativa, és l'alt cost de producció en comparació al petroli o al carbó. Com a punt positiu hi ha la diferència entre ells, l'hidrogen només emet vapor d'aigua i no deixa residus en l'aire.

Els diversos tipus d'hidrogen presenten un altre inconvenient, que és prestar atenció a la seguretat, donat que l'hidrogen és un element molt volàtil e inflamable i, per tant, requereix uns elements de seguretat elevats per evitar fugues i explosions. Aquests inconvenients han fet que no es consideri com a primera opció en el disseny del projecte.

12.6 Tancs d'emmagatzematge d'etilè

L'etilè ve subministrat a través d'una canonada fins a la planta EBYL, però per garantir un bon funcionament i la continuïtat del procés, seria convenient disposar de tancs d'emmagatzematge d'etilè per tal de tenir suficient matèria primera davant de qualsevol imprevist en el subministrament.

L'etilè és un gas natural líquid (GNL) que s'emmagatzemarà en dipòsits estàtics que podran estar disposats tant en horitzontal com en vertical. En la planta EBYL s'utilitzarien els tancs de *Lapesa* que

compleixen la *Directiva Europea 2014/68/CE*, estan adaptats a les exigències i als requeriments segons *ASME VIII div.1* [11].

Aquesta empresa proporciona tancs amb suficient grandària el que facilitarà l'emmagatzematge, ja que permetrà alguns dies de reserva de l'etilè.



Figura 12.2: Tanc horitzontal per a l'emmagatzematge d'etilè

12.7 Catalitzadors

El catalitzador és un punt clau en el procés. A conseqüència del seu ús, es pot provocar la desactivació d'aquest, també la pèrdua de l'activitat catalítica i de la selectivitat, el que comporta un inconvenient en la producció d'etilbenzè. Aquesta es reduiria impedit arribar a la producció anual marcada.

La pèrdua d'activitat és un procés que es pot controlar, ja que succeeix com a efecte del pas del temps i del mateix ús, els mecanismes de desactivació del catalitzador ZSM-5 poden ser causats per enverinament i/o embrutiment.

L'enverinament és la quimiosorció forta de reactius, productes o impureses sobre els llocs actius disponibles per dur a terme la reacció. Perquè una espècie química actuï com a contaminant, depèn de la seva força d'adsorció. Aquests contaminants absorbits poden induir canvis en l'estructura electrònica o geomètrica de la superfície. Depenent de la força d'adsorció, els catalitzadors presenten dos tipus de desactivació: reversible i irreversible. Les bases orgàniques, els hidrocarburs i els metalls pesants són verins comuns per als catalitzadors de tipus zeolites utilitzats en l'alquilació, a causa de la presència que tenen en el seu component de silici-alumini [12].

La desactivació per embrutiment és la deposició física de substàncies sobre la superfície del catalitzador. El motiu pel qual succeeix aquest bloqueig és la formació de substàncies d'un elevat pes molecular que obstrueixen el pas lliure dels reactius i productes, ocasionant la pèrdua d'activitat catalítica a causa del bloqueig dels llocs actius o al bloqueig del sistema porós per accedir fins al centre actiu [12].

Les substàncies que es poden dipositar són orgàniques de dos tipus: fase lleugera (benzè, etilè, etilbenzè i dietilbenzè) que es desabsorbeixen amb facilitat a temperatures d'entre 80 i 350 graus i després també hi ha els oligòmers pesats que són els polietilbenzens que només es podran eliminar per combustió. Els dipòsits d'aquestes substàncies en el catalitzador s'anomena coc [12].

Una vegada estudiat els mecanismes de desactivació el catalitzador, cal decidir un mètode per a la regeneració de la zeolita, idealment aquest s'hauria de poder realitzar en continu per evitar fer parades a la planta, en el cas que no es pugui fer així s'utilitzaran els deu dies de l'any destinats a parar la producció per fer-ne el manteniment.

Aquesta regeneració es realitzarà amb un tractament tèrmic amb un gas. El procediment de regeneració consisteix en l'escalfament de manera incremental del catalitzador coquitat a temperatures superiors a la temperatura de reacció, es du a terme en una atmosfera amb un gas inert. L'oxigen per tal de produir la combustió del coc dipositat, permetent així, que la superfície activa del catalitzador quedi lliure per actuar de nou [13].

12. 8 Zona de serveis

Pel que fa a la zona de serveis, es pretén implantar un sistema en un futur que permeti treure el màxim benefici a aquesta àrea de la planta. Donada la complexitat que suposa, hi ha equips que no han estat dissenyats en el present moment. En el **Volum 10. Diagrames i Plànols**, s'hi troben afegits tres diagrames en relació amb aquesta secció.

- Caldera de vapor: La caldera és un equip important que proporciona vapor per després ser emprat en els reboilers de les torres de rectificació. Aquesta necessita gas natural, aigua, aire i una font d'ignició per efectuar la seva funció. El combustible s'extreu del propi procés. L'aigua entra impulsada per dues bombes i abans d'entrar a la carcassa de la caldera, es fa passar pel tub de sortida del vapor per preescalfar-la i d'aquesta manera realitzar un aprofitament energètic. Un cop l'aigua es troba a suficient temperatura, s'introdueix a la carcassa i s'evapora amb la calor que produeix la caldera. Per tenir constància del gas natural que realment consumiria aquest equip, seria de molta utilitat posar un comptador a l'entrada de fuel.
- Grups de fred: Ambdós equips dins d'aquest grup, torre de refrigeració i chiller, tenen la funció de refredar aigua provinent del procés, per tornar a enviar-la a aquells equips que la requereixin freda. Tots dos funcionen dins del mateix sistema. Cadascú té una bassa on se separa aigua calenta d'aigua freda. El chiller obté aigua de procés a tractar i proporciona el seu refredament gràcies al pas d'aigua calenta provinent d'un bescanviador. Aquesta mateixa un cop efectuat el salt tèrmic, s'envia l'aigua calenta a la torre de refrigeració. El bescanviador de plaques permet agafar part de l'aigua freda de la bassa del chiller i escalfar-la cap a la part d'aigua calenta del mateix chiller. Aquest bescanvi de calor es pot efectuar gràcies al fet que la torre de refrigeració té el mateix sistema. La torre de refrigeració obté d'igual manera aigua de procés i la refreda. Per fer-ho, part de l'aigua calenta de la bassa de la torre passa pel bescanviador i s'envia a la part d'aigua freda de la bassa de la torre. Amb aquest sistema es millora el funcionament dels equips de fred.

L'aigua freda i preparada per fer-se servir, és impulsada amb bombes cap a producció.

- Compressors: El compressor és l'encarregat de comprimit l'aire per poder-lo utilitzar a les vàlvules automàtiques. L'aire, però, necessita un tractament per no malbaratar les vàlvules, ja que d'entrada porta partícules en suspensió i humitat. Per tant, després de passar pel compressor, es fa passar per diversos filtres i per un assecador. Després s'emmagatzema en un tanc pulmó i s'envia a planta.

12. 9 Usos del fuel gas

L'etilè entra per canonada a la planta juntament amb metà i età. Aquests dos components suposen la meitat en massa del corrent i no reaccionen a cap dels reactors. Per tant, han de ser separats en operacions posteriors. Aquesta mescla d'età i metà s'utilitza com a combustible per a les calderes i per a el heater, d'aquesta forma no suposa un cost addicional la compra de gas natural. En operació normal gràcies a l'aprofitament energètic aquest cabal de gas restant pot suplir a la totalitat les demandes de les calderes i el heater.

Aquests equips consumeixen un total de 6.344,6 kg/h de la mescla de gasos durant l'operació normal, sent la sortida d'aquests d'11.783,2 kg/h després de la separació. A conseqüència hi ha un cabal de gas de 5.438,6 kg/h que sobra en el procés i s'ha plantejat un seguit d'opcions per a aprofitar-lo:

- La primera opció és subministrar aquesta mescla de gasos a una indústria propera que necessiti qualsevol dels gasos del corrent. Aquesta indústria pot utilitzar els gasos en alguna reacció del seu procés o simplement fraccionar el corrent per a vendre les fraccions a terceres empreses. Aquesta opció suposaria un increment de les vendes, ja que s'estaria venent un subproducte generat en el procés. Ha de ser l'opció prioritària, perquè és la que aprofita les característiques específiques del corrent i, per tant, té l'impacte més gran en l'economia de la planta, en poder vendre's el corrent a un preu més alt. Per a poder aplicar aquesta ampliació caldria connectar la planta per canonada amb l'altra indústria, instal·lar un tanc d'emmagatzematge i un compressor en cas que la pressió no sigui suficient.
- La segona opció és vendre aquest corrent a indústries properes per ser usat com a combustible. Gràcies a la similitud entre el gas natural i el corrent de fuel gas, aquest té un important poder energètic. Aquest corrent s'hauria de vendre a un preu inferior al gas natural, però pot ser una opció viable en cas que cap indústria necessiti específicament els components del corrent. Igual que la primera opció, s'augmentarien les vendes i l'ampliació seria molt semblant a la primera.
- La tercera opció és utilitzar l'excedent de gas per a produir electricitat. En aquesta opció caldria instal·lar un equip de cogeneració a planta. Aquest pot ser instal·lat perfectament a la zona d'ampliacions. La producció d'electricitat suposaria disminuir la quantitat d'electricitat comprada a la companyia elèctrica, i per tant es reduirien els costos del procés.

12.10 Webgrafia

[1] : Hilcu, M. (2023). ¿Cómo Funcionan las Placas Solares Fotovoltaicas? Otovo Blog.

Última revisió el 27 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.otovo.es/blog/placas-solares/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas/#-qu-placas-solares-son-mejores>

[2]: Aukera, & Aukera. (2021, 18 noviembre). Qué son los scrubbers y para qué se utilizan - Bilogistik.

Bilogistik -. Última revisió el 27 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.bilogistik.com/blog/que-son-scrubbers-para-que-utilizan/>

[3]: *Scrubber*. (s. f.). Scribd. Última revisió el 27 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://es.scribd.com/doc/56959550/Scrubber>

[4]: *Estación depuradora de aguas residuales (EDAR)*. (s. f.). Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible

a: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/sistemas/edar/default.aspx>

[5]: *Línea de agua*. (s. f.). Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/sistemas/edar/linea-agua/default.aspx>

[6]: AulaFacil. (2013). Línea de fangos - EDAR - Gestión de aguas y control de vertidos. Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

www.aulafacil.com. <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/gestion-de-aguas-y-control-de-vertidos/linea-de-fangos-edar-l11059>

[7]: *Línea de fangos*. (s. f.). Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/sistemas/edar/linea-fango/default.aspx>

[8]: Blog, S. (s. f.). *Hidrógeno gris: el gas natural más común y también el más dañino*. Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://blog.structuralia.com/hidrogeno-gris>

[9]: Deutsche Welle (www.dw.com). (s. f.). *El hidrógeno azul es nocivo para el medioambiente*.

DW.COM. Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.dw.com/es/el-hidr%C3%B3geno-azul-es-nocivo-para-el-medioambiente-advier-te-estudio/a-58860871>

[10]: Iberdrola. (2021). HIDRÓGENO VERDE. *Iberdrola*. Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

[11]: *Depósitos y equipos GNL*. (s. f.). Lapesa. Última revisió el 29 d'Abril de 2023. Disponible a:

<https://www.lapesa.es/es/depositos-y-equipos-gnl>

[12] Romero, J. R., Sarabia-Bañuelos, P., Hernández-González, S., & Nolasco-Arizmendi, V. A. (2021). Mecanismos de desactivación de catalizadores heterogéneos. *Mundo nano*. Última revisió el 2 de Maig de 2023. Disponible a:

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.696422448-5691-mn-14-26-00005.pdf>
(scielo.org.mx)

[13] *Simulación de desactivación y regeneración de reactores catalíticos*. Última revisió el 2 de Maig de 2023. Disponible a:

[Durante las operaciones de reactores catalíticos la actividad de estos catalizadores disminuye con el tiempo de uso \(ull.es\)](#)