



DINDEP
su solución ambiental

**Tecnologías
Electroquímicas en el
Tratamiento de Aguas**

Joaquín Montaña
Director Técnico DINDEP



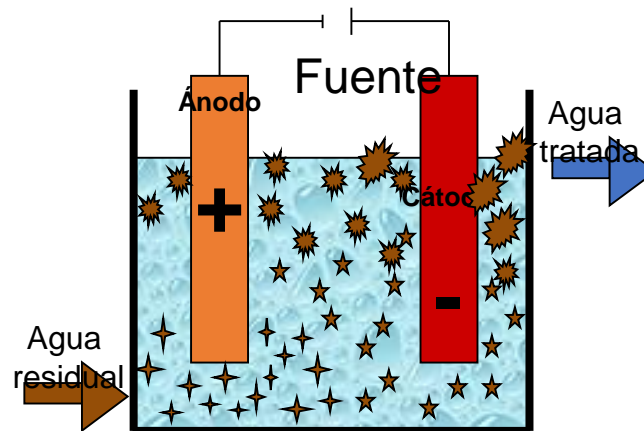
DESARROLLO

- HISTORIA
- PRINCIPIOS BASICOS DE ELECTROQUIMICA
- FACTORES QUE TIENEN QUE VER CON LA ELECTROQUIMICA
- PROCESOS ELECTROQUIMICOS
 - ELECTROFLOTACIÓN
 - FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROFLOTACIÓN
 - APLICACIONES DE LA ELECTROFLOTACIÓN
 - COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGIAS (DAF)
 - ELECTROCOAGULACIÓN
 - FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROCOAGULACIÓN
 - APLICACIONES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN
 - COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGIAS (FSCO. QCO.)
 - ELECTROOXIDACIÓN
 - INDIRECTA
 - DIRECTA
- CASOS DE ESTUDIO
 - INDUSTRIA TEXTIL (REMOCION COLOR, DQO,DBO, SST,ETC)
 - REDUCCIÓN CROMO (REMOCION), REUSO DEL AGUA
 - DESTRUCCIÓN DE CIANUROS, RECUPERACIÓN DE COBRE Y REUSO DEL AGUA
 - REMOCIÓN DE TDS Y CLORUROS
- REACTORES Y EQUIPOS
- COMPLEMENTO CON OTRAS TECNOLOGIAS
- INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN CON INTEGRACIÓN A PLATAFORMA EN LA NUBE
- CARACTERISTICAS GENERALES

HISTORIA

AÑO	CIUDAD	INVESTIGADOR	OBSERVACIONES
1888	Londres	Webster	En este caso la caída de potencial entre electrodos, distantes una pulgada entre sí, fue 1.8 vatios y la corriente anódica fue 0,60 Amp/pie ² .
1893	Nueva York	Brewter	
1896	Louisville, Kentucky)		
1906		E. Dietrich	Fue el primero en patentar un proceso de electrocoagulación para tratar aguas residuales procedentes de un barco
1908	Santa Mónica, California		
1914.	Nueva York		
1932	Alemania		Con eficiencias del 50% en reducción de DBO.
1958	Universidad de Nápoles	profesor Mendía	una planta de tratamiento electrolítico fue construida para desinfectar aguas negras en ciudades costeras
1971	Vancouver del Norte		Se utilizan ánodos de Aluminio para disolverlos y coagular aguas residuales. Este proceso opero a un costo inferior al operado con alumbre.

PRINCIPIOS DE ELECTROQUIMICA



La electroquímica es una rama de la química que trata de la relación entre las corrientes eléctricas, las reacciones químicas y la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. En un sentido mas amplio la electroquímica es el estudio de las Rxs químicas producidas por efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de la corriente y/o voltaje.

Son las reacciones que se llevan a cabo mediante el suministro de corriente continua entre unos electrodos (ánodo, cátodo) dentro de un electrolito (agua residual)

Las reacciones Redox son de vital importancia pues mediante el suministro de energía se realizan este tipo de reacciones

FACTORES QUE TIENEN QUE VER CON LA ELECTROQUIMICA

- Objetivo
- Contaminantes a remover o tratar
 - pH
 - Conductividad
 - Densidad de corriente
 - Temperatura
 - Arreglo electrodos
 - Arreglo hidráulico
 - Material de los electrodos
 - Distancia entre electrodos

PROCESOS ELECTROQUIMICOS PRINCIPALES

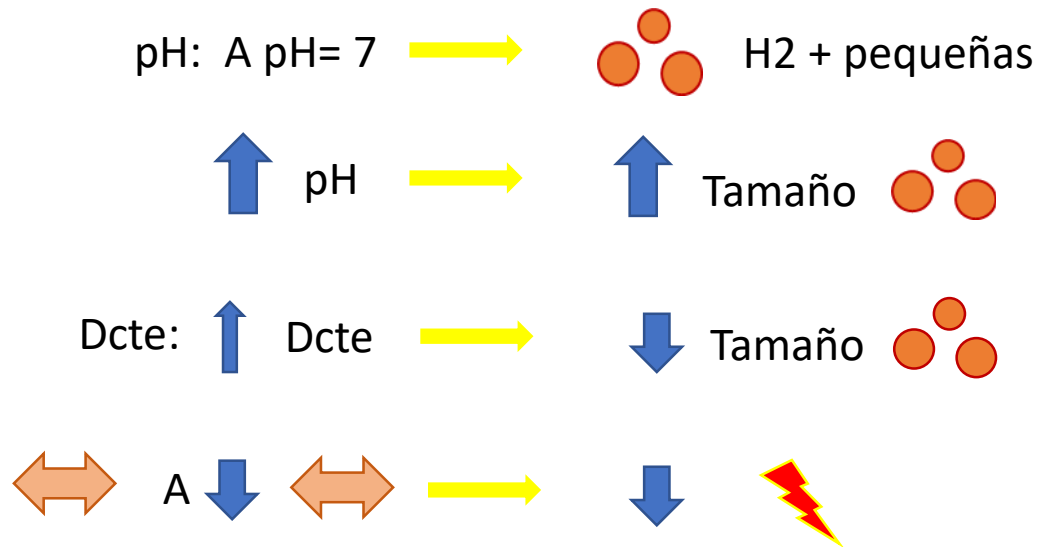
- ELECTROFLOTACIÓN
- ELECTROCOAGULACIÓN
- ELECTROOXIDACIÓN

ELECTROFLOTACIÓN

es un proceso simple que hace flotar contaminantes a la superficie de un cuerpo de agua por pequeñas burbujas de gases de hidrógeno y oxígeno generados a partir de la electrólisis del agua. En las reacciones electroquímicas en el cátodo y el ánodo hay desprendimiento de hidrógeno y de oxígeno, respectivamente. EF fue propuesta por primera vez por Elmore en 1904 para la flotación de valiosos minerales de minas

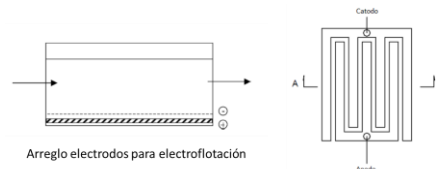


FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROFLOTACIÓN

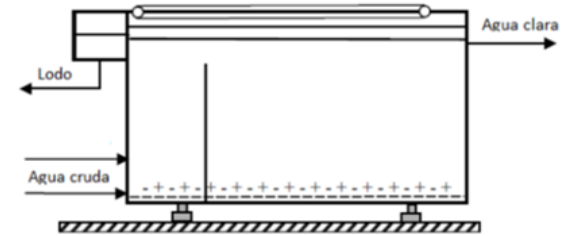
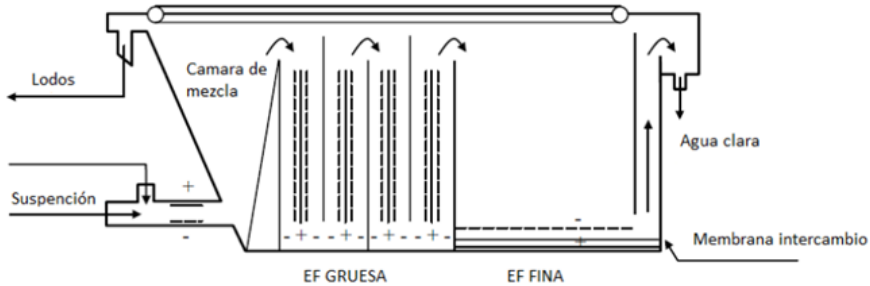


Material: Grafito, óxidos de plomo, Platino, TiO-RuO₂, DSA

Arreglo electrodos:

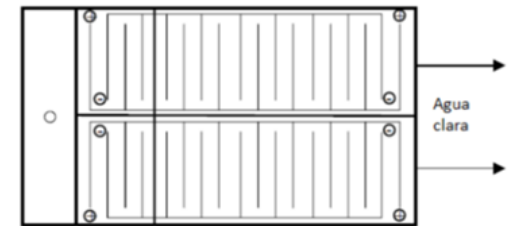


DISEÑOS TÍPICOS EF



(a) Vista frontal

(b) Vista superior



Diseño unidad típica EF

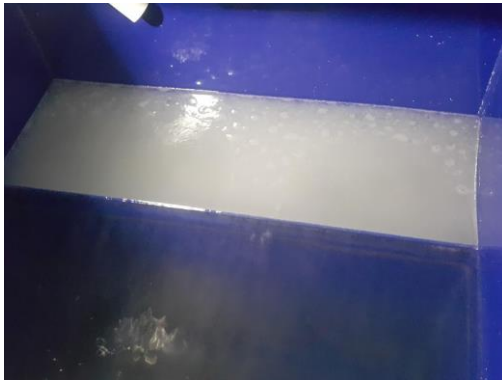
APLICACIONES O TIPOS DE AGUAS QUE TRATA EF

- La recuperación de minerales
- la separación de aceite y sólidos en suspensión de baja densidad
- Emulsiones de agua-aceite,
- Lubricantes y refrigerantes usados
- Aguas residuales de la producción de coque
- Aguas subterráneas o de pozo
- soluciones que contienen grasas
- Aguas residuales restaurante o efluentes de la industria alimentaria
- Aguas residuales de productos lácteos
- Aguas residuales domesticas
- partículas coloidales
- y muchas otras aguas y aguas residuales

Comparación EF vs DAF

PARAMETROS EN EL TRATAMIENTO DE ACEITES

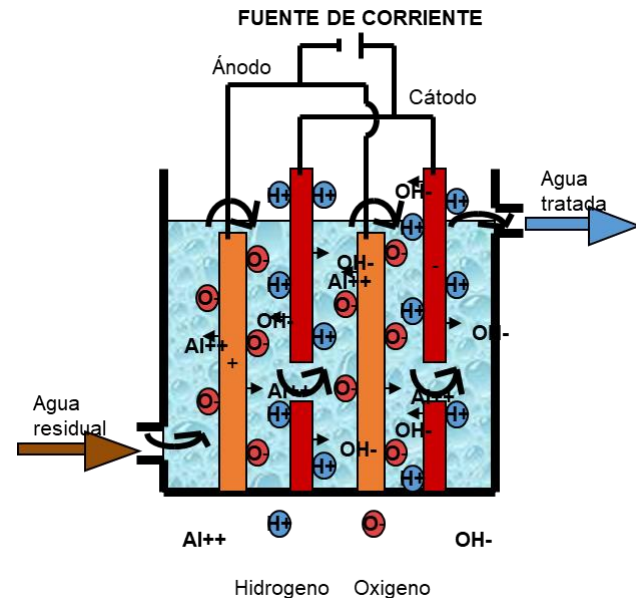
Tipo de tratamiento	EF	DAF
Tamaño de burbujas, μm	1 a 30	50 a 100
Consumo de energía, (W/m ³)	30 a 50	50 a 60
Consumo de aire, (m ³ /m ³) agua	0	0,02 a 0,06
Volumen lodo como % agua tratada	0,05 a 0,1	0,3 a 0,4
Eficiencia en al remocion de aceites, %	99 a 99,5	85 a 95
Remoción SS %	99 a 99,5	90 a 95



ELECTROCOAGULACIÓN

Que es

Electrocoagulación” utiliza corriente continua para desprender el catión activo del ánodo de sacrificio, el que reacciona con los iones Hidroxilos que se forman en el cátodo, desestabilizando los contaminantes suspendidos, emulsionados o disueltos en medio acuoso. Finalmente, los materiales coloidales se aglomeran para ser eliminados por flotación o por decantación



FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROCOAGULACIÓN

Temperatura T: T ↑ → ↑ CE y ↓ ⚡

pH → ↓ ↑

Dcte: ↑ Dcte → % Cte ↓

(depende de: temperatura, pH, Q, CE)

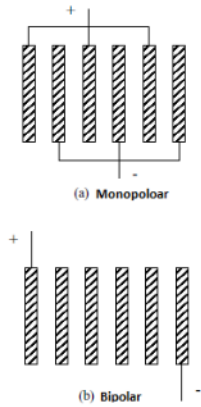
↔ A ↓ ↔ → ↓ ⚡

Material: Fe, Al,

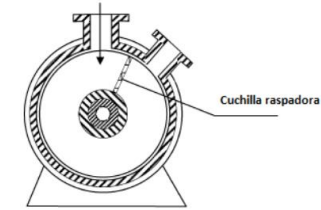
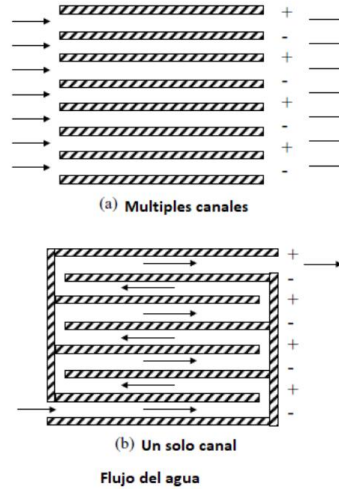
Sal: ↑ CE y ↓ ⚡

DISEÑOS TÍPICOS EC

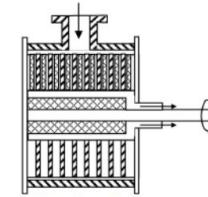
Arreglo electrodos:



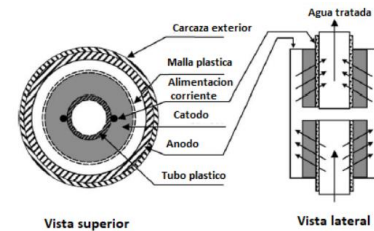
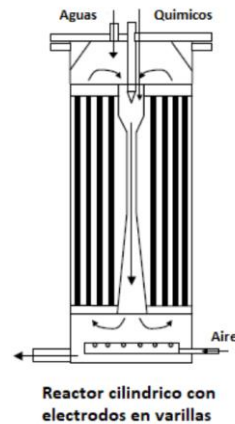
Arreglo hidráulico



Vista frontal



Diseño reactor cilindrico rotatorio



Reactor cilindrico concentrico

Forma

APLICACIONES O TIPOS DE AGUAS QUE TRATA EC

- Industria de Galvanoplastia
- Industria Textil (lavanderías y tintorerías)
- Industria de Curtiembres
- Industria Papelera
- Industria Pesquera
- Industria Alimentos (láctea, cárnica, jugos, etc)
- Industria Química
- Industria Minera

EFICIENCIAS DE REMOSION DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES

PARÁMETROS	UNIDADES	% REMOCIÓN
Arsénico	mg/l	90 - 95
Aluminio	mg/l	> 95
Bario	mg/l	> 95
Calcio	mg/l	94- 96
Cadmio	mg/l	> 96
Cobalto	mg/l	60 - 64
Cromo Hexavalente	mg/l	> 95
Cobre	mg/l	> 95
Color	Unidades color	>90
Cianuro (Libre)	mg/l	>92
Hierro	mg/l	> 95
Magnesio	mg/l	96 - 98
Manganeso	mg/l	80 - 84
Níquel	mg/l	> 95
Zinc	mg/l	> 94
Conductividad	mS/cm	> 85
pH	Unidades de pH	> 2
DQO	mg/l	>90
DBO5	mg/l	>80
Grasas y aceites	mg/l	>95
Sólidos suspendidos	mg/l	> 95

VENTAJAS COMPARATIVAS DE LA ELECTROCOAGULACION FRENTE A OTROS SISTEMAS

DETALLE	ELECTROCOAGULACION	FISICOQUIMICO
Superficie	<i>Representa entre [50–60]% de un Sistema Fisicoquímico</i>	<i>Requiere de gran superficie.</i>
Tiempo de Residencia de la reacción	<i>Necesita de 10 a 60 segundos en la Celda de Electrocoagulación.</i>	<i>Tiempo de reacción química de 45 a 90 segundos</i>
Obras Civiles	<i>Son unidades compactas que NO requieren Obras Civiles.</i>	<i>Requieren de grandes obras civiles.</i>
Costos de Inversión	<i>Requiere de una inversión mayor en equipamiento.</i>	<i>Representa una inversión de 70 a 80 % de la EC (electro.)</i>
Costos de Operación (Energía)	<i>Entre [0.5 – 0.8] Kwh/m3. En Energía.</i>	<i>De 5 a 10% menor que el sistema de electrocoagulación.</i>
Químicos	<i>Representan [10 - 20]% de un sistema fisicoquímico</i>	<i>Requiere de grandes cantidades de productos químicos</i>
Lodos	<i>Su generación es menor con una Humedad entre [96-97] %</i>	<i>Mayor generación de lodos con una Humedad entre [98-99]%</i>

BENEFICIOS ELECTROCOAGULACIÓN

- Menor uso de químicos
- Tratamiento de múltiples contaminantes simultáneamente
- Menores tiempos de residencia que sistemas convencionales
- Considerable remoción de contaminantes
- Unidades compactas que requieren muy poco espacio para su instalación.
- Sistemas de fácil automatización

ELECTROOXIDACIÓN

INDIRECTA:

- Uso de cloro e hipoclorito generado anódicamente para destruir contaminantes es bien conocido. Esta técnica puede oxidar eficazmente muchos contaminantes inorgánicos y orgánicos. Aunque se puede dar la posible formación de orgánicos clorados
Además, si el contenido de cloruro en las aguas residuales crudas es baja, se debe agregar una cantidad de sal para aumentar la eficiencia del proceso
- Uso de peróxido de hidrógeno puede ser generado En este sistema, el cátodo está hecho de (PTFE) poroso con alimentación de oxígeno y el ánodo es Pb / PbO₂, Ti / Pt / PbO₂ o Pt.
sales de Fe²⁺ + se pueden agregar a las aguas residuales o formar in situ de un ánodo de hierro en disolución para hacer una reacción electro-Fenton.

ELECTROOXIDACIÓN

DIRECTA:

La electrooxidación de contaminantes también puede ocurrir directamente en ánodos generando adsorción física

"Oxígeno activo" (radicales hidroxilo adsorbidos, \bullet OH)

o "oxígeno activo" quimisorbido (oxígeno en el óxido retícula, $\text{MO}_x + 1$).

Este proceso suele ser llamada oxidación anódica u oxidación directa.

El "Oxígeno activo" adsorbido físicamente provoca la "completa combustión" de compuestos orgánicos y el "oxígeno activo" quimisorbido ($\text{MO}_x + 1$) participa en la formación de productos de oxidación selectiva.

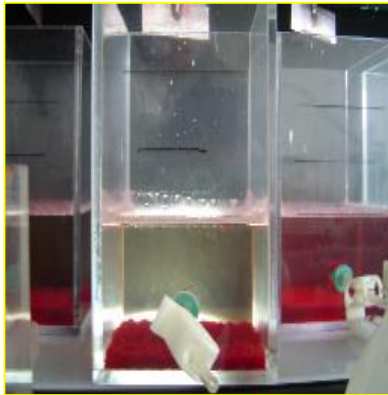
En general, \bullet OH es más eficaz para la oxidación de contaminantes que O en $\text{MO}_x + 1$.

La parte mas importante de un proceso de oxidación anódica es obviamente el material del ánodo, los materiales anódicos mas usados son:

carbono vítreo, Ti / RuO_2 , Ti / Pt – Ir, fibra de carbono, MnO_2 , Pt-negro de carbono fieltro de carbono poroso, acero inoxidable, Pt, PbO_2 , IrO_2 , TiO_2 , SnO_2 , y película de diamantes.

El diamante dopado con boro (BDD) sobre sustrato de titanio da los mejores resultados.

CASOS DE ESTUDIO REMOCIÓN COLOR, DQO, DBO, SST, ETC. EN LA INDUSTRIA TEXTIL



RESULTADOS OBTENIDOS
80% remoción DQO
70% remoción DBO
99% Remoción de color



METODO	ELIMINACIÓN COLOR	CAPACIDAD (VOLUMEN)	VELOCIDAD	COSTO	ESPACIO	OTRAS CARACTERISTICAS
CARBÓN ACTIVADO	Muy buena	Pequeña	Lenta	Alto	Medio	Regeneración
MEMBRANAS	Buena	Grande	Rápida	Alto	Medio	Problemas limpieza y Mtto.
OZONIZACIÓN	Buena	Grande	Media	Alto	Medio	Subproductos Reducción DQO
COAGULACIÓN FLOCULACIÓN	Buena	Grande	Media-rápida	Medio	ALTO	Producción lodos, nitrificación red. DQO
ELECTROCOAGULACIÓN	Muy Buena	Grande	Rápida	Bajos	Reducido	Afinidad buena a colorantes reactivos bajos otros parámetros simultáneamente

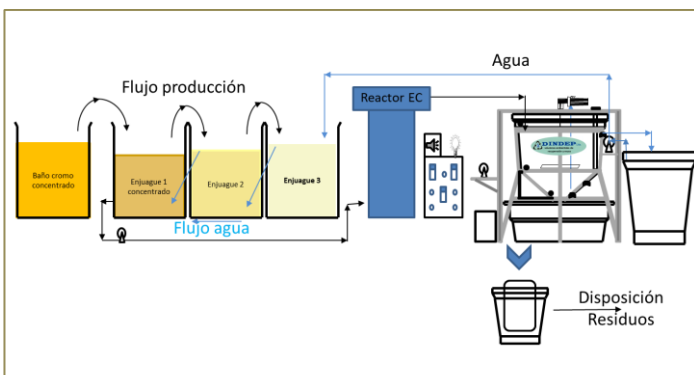
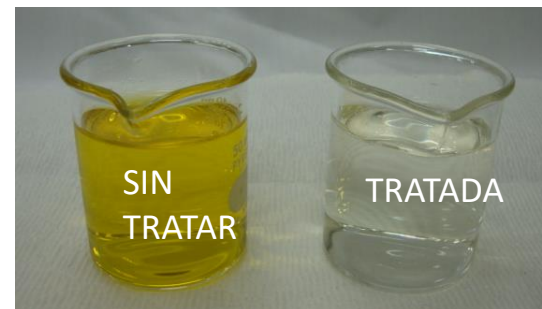
CASO ESTUDIO REMOCIÓN DE CROMO Y REUSO AGUA



RESULTADOS OBTENIDOS

Reducción cromo 97%

Remoción conductividad (TDS) 89%



PARAMETROS	CON ADICION DE QUÍMICOS Bisulfito, meta bisulfito, hidrosulfito, etc.	ELECTROCOAGULACIÓN, EC
DQO	Mayor por el aporte de químicos	Menor ya que no hay que adicionar químicos y además el proceso remueve esta y otras cargas contaminantes.
Lodos	Mayor generación	Menor generación
pH.	Hay que ajustar, es decir hay más adición de químicos	No siempre hay que ajustar
Eficiencia	Menor	Mayor remoción de contaminantes (Cr+6, DQO, DBO, y otros)
Conductividad	Mayor por los aportes de químicos	Menor por no haber aportes y por la remoción de otros contaminantes
Operación	Más complicada, olores desagradables de los químicos, irrita las fosas nasales, etc	Más sencilla, evita la manipulación de químicos y riesgos con estos, no genera olores, automatizable
REUSO AGUA	No es posible sino con mas tratamientos	Posible ya que la conductividad baja cerca de un 80%

CASO DE ESTUDIO DESTRUCCIÓN CIANUROS, RECUPERACION COBRE Y REUSO AGUAS



Reactor EO



Fuente de poder

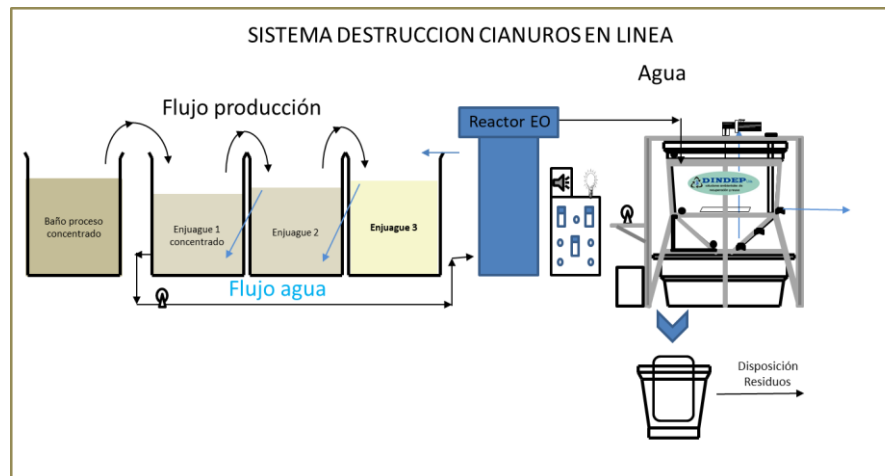


Cobre recuperado



25 ml/lit lodo

	CIANURO	COBRE
% Remoción y recuperación	88-99%	85-95%



CASO ESTUDIO DESTRUCCIÓN CIANUROS Y RECUPERACION COBRE

VENTAJAS Y BENEFICIOS CON OTRAS TECNOLOGIAS

	Otros procesos	Electrooxidación
Uso de químicos	Alto consumo	No hay consumo
Reacciones colaterales	Si	No
Riesgos	Generación de vapores tóxicos y peligrosos, manipulación de químicos	Menores riesgos por las condiciones de trabajo
Tiempo proceso	Tiempos altos alrededor de 30 y mas minutos	Menores menos de 10 min
Amigable con el medio amb.	Poco	Muy amigable
Generación de lodos	Alta en algunos casos	Mínima
Costos	Altos y continuos	Bajos
Control	Difícil	Fácil y automatizable
Objetivos simultáneos	No	Si, destruye CN, Recupera Cobre y reuso aguas

REMOCION CLORUROS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES POR ELECTROCOAGULACION CON ELECTRODOS DE ALUMINIO

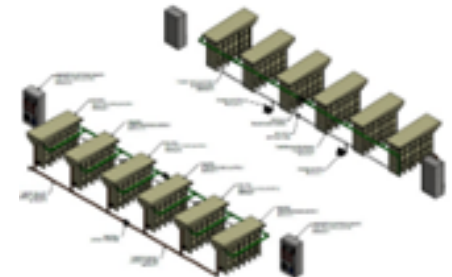
PROCESO



EQUIPO MODULAR
(1 a 3 m³/hr)



SISTEMA PARA MAYOR CAUDAL



El % máximo de remoción de cloruros es del 70%



INSTRUMENTACIÓN



Mini controlador de pH



Medidor EC



Mini controlador de EC



Controlador de pH

IoT la Plataforma web para la integración de su proceso a la nube



Que es IoT

Internet of Things (IoT) describe la red de objetos físicos que llevan sensores integrados, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet.

Su importancia radica en la comunicación entre personas, procesos y cosas por medio de la red.



IoT para la industria

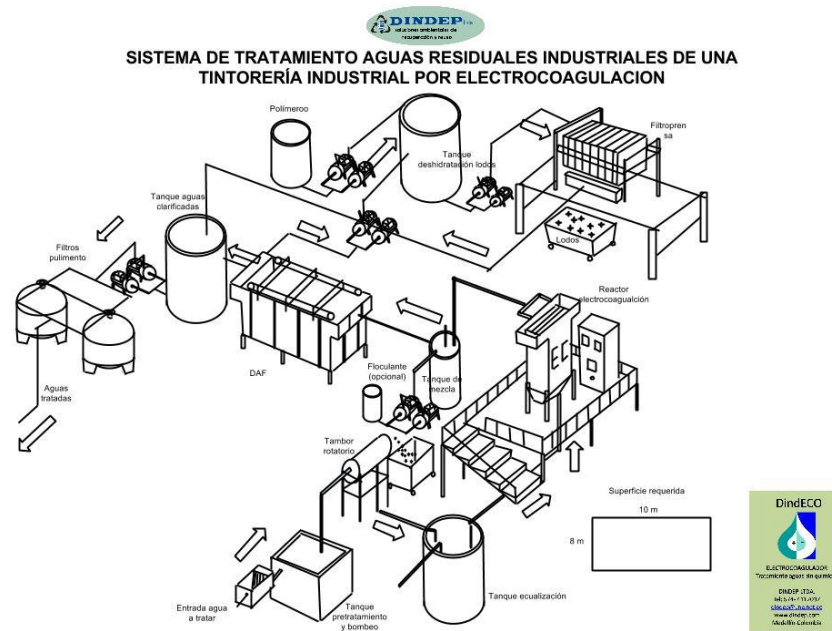
- Es una herramienta que permite capturar datos en tiempo real de los consumos energéticos, calidad de la energía, horas de operación de las maquinas, unidades producidas, eficiencia de las maquinas entre otros, variables como la temperatura, presión, nivel, flujo, humedad, pH, conductividad son un ejemplo de la información que se puede obtener de cada proceso

Red de sensores



- Los datos son enviados a la nube para mostrarlos en forma de gráficos y tomar decisiones con la información recolectada. Así mismo estas variables pueden ser controladas de forma automática para optimizar los procesos productivos

COMPLEMENTOS CON OTRAS TECNOLOGIAS



La ELECTROCOAGULACION puede ir:

- En vez de una coagulación y Fisicoquímico convencional
- Después de la ELECTROCOAGULACION debe ir una separación de lodos
- Por sedimentación o DAF
- Se puede usar previo a una osmosis o para tratar los rechazos de la osmosis
- Puede ser previo a una electro-oxidación
- Mejora y cualquier tren de tratamientos

GENERALIDADES

DETALLE	CARACTERISTICAS
Aplicación del sistema	Destruye la inmensa mayoría de los compuestos orgánicos, en especial los no biodegradables como son los Organoclorados, Tolueno, Alcoholes y compuestos aromáticos en general.
Consumos de energía	Esta entre 0.5 y 1,5 Kw-hr/m ³
Orientación de la aplicación	Se utiliza como tratamiento primario o químico alternativo, también se utiliza como postratamiento, sustituyendo un sistema biológico ya que, aumenta la biodegradabilidad del efluente, también se utiliza como tratamiento secundario y en algunos casos se usa la EC seguida por la EO lo que permite disminuir enormemente la generación de lodos.
Desgaste de electrodos	Para el caso de los insolubles no se produce desgaste a corto ni mediano plazo
Condiciones de operación	Funciona en forma automática, mediante controles electrónicos y PLC que regulan y sincronizan las diferentes etapas del proceso.
Costos de inversión	Similar a los procesos convencionales ya que no requieren obras civiles mayores
Tamaño del sistema	Se trata de unidades compactas, demandantes de muy poca área comparada con los procesos convencionales y se maneja en unidades o módulos pequeños en paralelo que facilitan el mantenimiento y operación.
Químicos y catalizadores	Solo se utilizan reactivos para subir o bajar el pH y adecuar la conductividad y se descomponen durante el proceso en productos inocuos.
Tiempo de residencia	Los tiempos de residencia están entre 2 y 15 minutos, mucho menores que las tecnologías convencionales.

Contacto

Joaquín Guillermo Montaña
dindep@une.net.co

Medellín.
Carrera 78 # 45 - 27

DINDEP S.A.S.
310 837 4573



¿Preguntas?