



Desalinización mediante Campos Electromagnéticos
Propuesta de Estudio de Factibilidad

BAHÍA BLANCA

NOVIEMBRE 2014

Índice

1. Introducción	2
2. Desarrollo del Estudio de Factibilidad	3
2.1. Estudio Aspectos Teóricos desde la perspectiva de la aplicación	3
2.1.1. Electromagnetismo	3
2.1.2. Electrodinámica	7
2.1.3. Magneto Hidrodinamica (MHD)	7
2.1.4. Emisión Fría de Electrones	9
2.2. Estudio y Analisis de Patentes y bibliografía científica	9
2.2.1. Estado del arte Patentes relacionadas a disociación de moléculas mediante campos EM	10
2.2.2. Estado del arte Patentes desalinización de agua de mar por campos EM	10
2.2.3. Estado del arte Patentes Aplicación EM (RF y microondas) en tratamiento de agua de fracking	10
2.2.4. Estado del arte aplicadores y antenas de campos EM utilizados en el procesamiento de agua salada y agua de fracking	11
2.2.5. Estado del arte Patentes aplicación de MHD	11
2.3. Medición en laboratorio de propiedades EM (σ , ϵ y μ) del agua salada y sales electrolíticas.	12
2.3.1. Medición de σ y ϵ_r ($< 200MHz$)	12
2.3.2. Medición de ϵ_r con sonda Coaxial (200 MHz - 6 GHz)	14
2.3.3. Medición de ϵ_r y μ_r con dos antenas en espacio libre 2 GHz - 6 GHz	15
2.3.4. Medición de existencia de partículas β y rayos X	16
3. Resumen y conclusiones previas del estudio de factibilidad	17
4. ANEXO: Setups de Medición	18
4.1. SETUP I: Medición de ϵ_r (y σ) con puente LCR	20
4.2. SETUP II: Medición de ϵ con sonda coaxial de inmersión	22
4.3. SETUP III: Medición de ϵ y μ con par de antenas en espacio libre	23
4.4. SETUP IV: Aplicador de energía RF con placas paralelas y adaptación de impedancia [1]	26
4.5. SETUP V: Medición de partículas β de baja energía y rayos X de baja energía	27

1. Introducción

El presente estudio y su respectivo plan de trabajo tiene como uno de sus *objetivos principales* el determinar mediante mediciones de laboratorio, en que forma son afectadas las propiedades físico-químicas del agua de mar y diferentes soluciones electrolíticas (iónicas) basadas en agua al interactuar con los siguientes tipos de campos: eléctricos (E), magnéticos (M) o electromagnéticos (EM). Las propiedades en a estudiar y analizar son: conductividad (σ), permitividad eléctrica (ϵ_r) y permeabilidad magnética (μ_r).

Los resultados del ojetivo anterior serán utilizados para concretar el *objetivo global* que es determinar la factibilidad de utilizar campos E, M y/o EM como herramientas (en función de σ , ϵ_r y μ_r [2]) que permitan desalinizar agua de mar y/o procesar agua de fracking en la industria petrolera (shale oil). Los resultados de factibilidad pordán estar relacionados con el hecho de utilizar la herramienta de campos EM como método principal, como método auxiliar o con la posibilidad de mejora de algún métdodo pre existente. En terminos concretos, lo anterior implica que los resultados del estudio deberán definir a grandes rasgos: a) que tipo/s de campo debe/n ser aplicado/s (E, M y/o EM) y si es EM en que proporción de E respecto M, b) cuales son las potencias (o energías) necesarias por unidad de volumen, cual/es es/son la/s frecuencia/s necesarias, c) que tipo de aplicador (antena) permite lograr, con la mayor eficiencia posible, los efectos desados, d) que tipo de señal de RF es necesaria, e) que tipo de arquitectura general se debería aplicar y f) que fase del agua es mas apta (dif. temperaturas, vapor, vapor alta temperatura, etc.).

El *objetivo global* debe ser necesariamente complementado con a) un analisis teórico de campos EM en este nuevo contexto y b) un estudio y análisis del estado del arte de las patentes relacionadas con la aplicación que se pretende implementar.

El estudio teórico se relaciona con replantear resultados y alcances de las ecuaciones de Electromagnetismo y Electro-Dinámica en el nuevo y diferente contexto que representa la aplicación en cuestión respecto de otros usos tradicionales, como las Comunicaciones Inalambricas, Radar, Sensado Remoto, etc. Dentro del análisis teórico también se estudiarán los efectos de la Magneto -Hidro-Dinámica pero desde la perspectiva del campo magnético variable, considerando que este efecto debería ser preponderante respecto del generado por la velocidad desplazamiento del fluido.

El estudio de las pantentes será necesariemtne amplio e incluirá patentes que estén relacionadas con campos EM cuyas aplicaciones no necesairmente estén relacionadas con la desaliniazación pero si tengan como punto de contacto el afectar o modificar la estructura molecular de algua. En la siguiente subsección se detallará sobre el tema.

A continuación se presenta la estructura del presente estudio. El mismo se divide en tres partes y cada parte tiene su respectivo entregable (o informe de resultados). Seguido a la descripción de cada parte, se presentan un resumen y algunas conclusiones previas que intentan echar luz sobre los resultados que se esperan concretar.

Como complemento, en el Anexo al final del documento, se detalla someramente las técnicas de medición que se utilizarán en este estudio describiendo las características esenciales que justifican su selección.

2. Desarrollo del Estudio de Factibilidad

Como se mencionó previamente el estudio se desarrollará en tres partes para facilitar la organización de los entregables. Las partes se describen a continuación:

1. Estudio Aspectos Teóricos: Electromagnetismo, Electrodinámica, Magneto Hidrodinámica (desde la perspectiva de la aplicación). Estudio de la posibilidad de emisión fría de electrones en setup [1].
2. Estudio y Análisis de Patentes (y bibliografía científica relacionada si la patente lo amerita).
3. Estudio y medición en laboratorio de propiedades EM (σ , ϵ y μ) del agua y sales electrolíticas.

A continuación se describirán cada una de las partes del estudio planificadas para concretar el objetivo de factibilidad.

2.1. Estudio Aspectos Teóricos desde la perspectiva de la aplicación

En esta sección se evaluarán los aspectos teóricos intervinientes en la aplicación en relación a: Electromagnetismo, Electrodinámica y Magneto Hidrodinámica principalmente. Como consecuencia de las mediciones verificadas en [1] también se estudiará el problema de emisión fría dentro de ese contexto.

2.1.1. Electromagnetismo

El electromagnetismo es la teoría que estudia los campos EM y su interacción con el medio. Se basa en leyes fundamentales de la electricidad que fueron conceptualizadas en el marco teórico de las ecuaciones de Maxwell [3]. Estas ecuaciones describen como interactúan los campos E y M entre sí. Las dos principales ecuaciones son las siguientes:

$$\nabla \times H = \sigma E + \epsilon_r \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times E = -\mu_r \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

La notación convencional es E=campo electrico y H=campo magnético.

La primera ecuación representa la ley de Ampere e indica que un cambio temporal de E genera un campo magnetico. La segunda ecuación es la Ley de Faraday e indica que la variación temporal del campo magnetico genera un campo E. Ambas ecuaciones expresan claramente como interactuan las propiedades EM del material con los campos eléctrico y magnético respectivamente.

Utilizando las leyes de Faraday y Ampere junto con la ley de Ohm se deduce que la relación voltage / corriente (E / H) entre los campos está asociada (para campos EM) a la impedancia del medio electro-magnético η [4] que se define a continuación:

$$\eta = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r \left(1 + \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_r}\right)}} \quad (3)$$

Para poder interpretar que significa η en el presente contexto presentaremos tres ejemplos para tres medios diferentes:

- Impedancia en el Vacio (o con Aire) $\eta = 377\Omega$.
En este caso $\sigma = 0$ y los valores de permitividad y permeabilidad son los del vacio μ_0 y ϵ_0 [2].
- Impedancia aplicador placas paralelas (Capacitor) $\eta \gg 377\Omega$.
Dada la configuración de las placas σ es muy pequeño y el efecto de μ_r también.
- Impedancia conductor. $\eta \ll 377\Omega$.
Aqui $\sigma \gg \omega\epsilon_r$ y η adquiere valores de las decimas de Ω .

Lo anterior intenta ejemplificar como influyen las propiedades EM del material en la relación del los campos EM. La figura 1 describe cualitativamente esa relación.

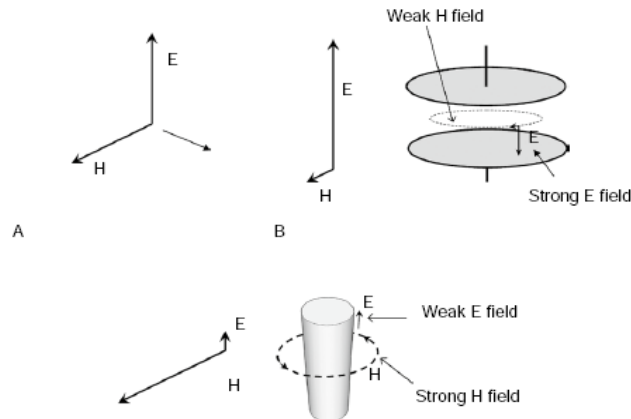


Figura 1: Relación entre campos EM y η

Concluyendo, lo anterior da una idea de que tipo de aplicador u antena sería óptimo en relación al material. Por otro lado, aplicado la ley de Ohm se puede determinar como se comporta la deposición de

energía de campo EM en un material en función de η y una superficie definida:

$$S = \mu_r H^2 \eta \quad (4)$$

$$S = \frac{\epsilon_r E^2}{\eta} \quad (5)$$

$$(6)$$

donde S es la densidad de potencia en W/m^2 .

Por otro lado quien se encarga de depositar la energía EM en un material es el aplicador u antena y se puede entender como un transductor de energía eléctrica alternada a energía de campos EM. Cada tipo de antena, de acuerdo a ls paramtetros constructivos, tiene diferente capacidad de trasducción o eficiencia de radiación. Dicha eficiencia está en relación a la impedancia de radiación η_r (no es la eléctrica) y a la impedancia del medio. La cantidad en energía EM radiada se puede expresar de la siguiente manera [5], por ejemplo, para un dipolo de Hertz:

$$S = P_{Elect} \frac{\eta}{\eta_r} \frac{1}{4\pi^2 d^2} \quad (7)$$

P_{Elect} es la potencia eléctrica que el generador entrega a la antena.

Como se puede observar existe una relación entre la potencia eléctrica y la potencia EM radiada. La ecuación está expresada en densidad de potencia S y por eso el termino al final indica la relación de área en función de la distancia de la antena. Debemos aclarar que por simplicidad hemos omitido el efecto 'skin' y las perdidas por conductividad en la antena conductora que también intervien y son importantes.

La resistencia de radiación como se mencionó antes está en función de los paramentros constructivos, por ejemplo, para el dipolo de Hertz es [5]:

$$R_{rad} = \frac{2\pi}{3} \eta \left(\frac{\delta l}{\lambda} \right)^2 \quad (8)$$

sin entrar en detalles, vemos que en la resistencia de radiación y por lo tanto en la eficiencia de conversión interctúan con la impedancia del medio η .

Otro factor que vamos a tener en cuenta es el hecho de que, a diferencia del uso clásico, es muy probable que se utilice la antena en su condición de campo cercano (región reactiva) o mas complejo aún que la antena u aplicador interactúen con el material en todas su regiones de campo a) cercano, b) medio y c) lejano. La figura 2 describe las dieferentes regiones de radiación y la figura ?? [6] describe los efecto de la región de campo en el patrón (y densidad) de radiación. De dichas figuras es facilmente deducible que se debe tener mucho cuidado el diseñar el aplciador u antena.

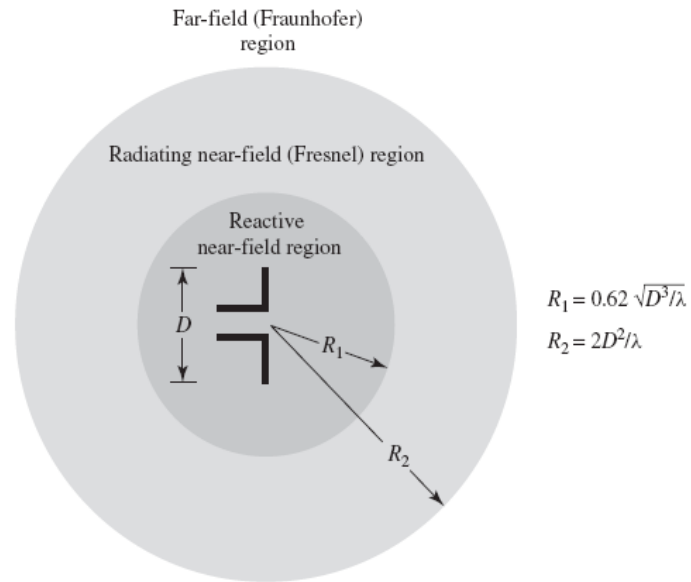


Figura 2: Regiones de campo EM

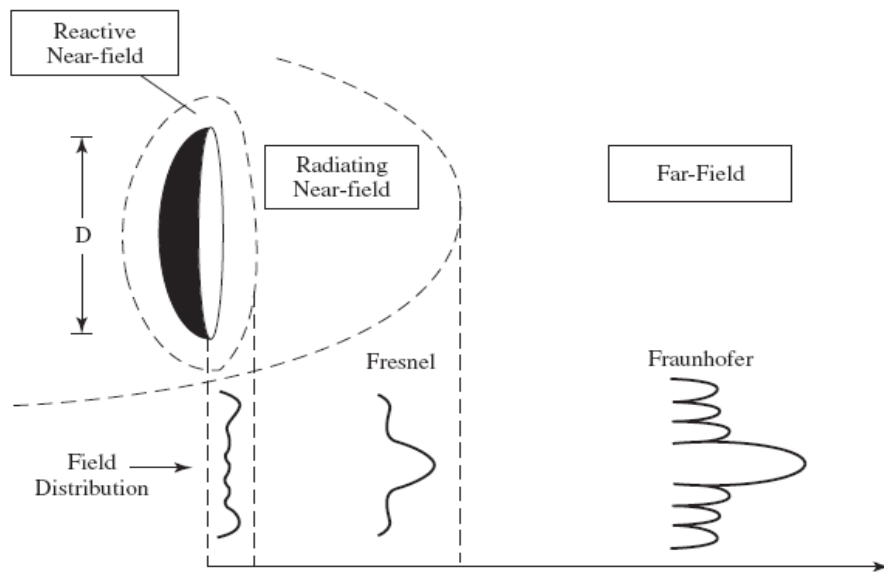


Figura 3: Patrones de radiación en función de las regiones

Resumiendo, lo descripto arriba da una idea de los calculos a tener en cuenta durante el estudio. El énfasis fué puesto en el aplicador u antena. Esta descripción teórica debe ser completada tomando en consideración las condiciones de contorno en donde se aplicarán los campo ME, es decir las ecuaciones de Maxwell en esas condiciones.

2.1.2. Electrodinámica

En la sección anterior se mencionó que la generación de un campo EM por parte de una antena se debe al movimiento de cargas eléctricas. Si a una carga 'q' se le aplica un campo E, sobre la carga se ejerce una fuerza $F = qE$. Es decir que en el conductor de la antena las cargas están sometidas a esa fuerza. Por otro lado, si una carga eléctrica tiene una velocidad 'v' (producto de la fuerza F ejercida sobre ella) y pasa por un campo magnético H, dicha carga es sometida a una fuerza $F = q(v \times H)$. Lo anterior es resumido en la expresión de Lorentz que describe la fuerza sobre una carga ejercida por E y M y que se presenta a continuación:

$$F = q(E + vxB) \quad (9)$$

Donde $B = \mu_r H$ la 'x' indica producto vectorial. La ecuación 9 indica que la única forma de ejercer fuerza (acelerar) sobre una partícula cargada es con el campo eléctrico. Por otro lado el producto 'x' indica que el campo H solo desvía la partícula y que su efecto solo ocurre si el campo es perpendicular a la velocidad (y la velocidad es no nula).

En relación al proyecto, las cargas eléctricas pueden ser iones de las sales. Es importante notar que se debe tener en cuenta estos efectos pues al ser las sales conductoras pueden existir efectos de movimientos de cargas. Un aspecto interesante es relacionado al trabajo ?? donde a nuestro entender está describiendo el efecto de la ec. 9 en su parte magnética.

El estudio teórico en esta sección está relacionado con calcular los valores necesarios y las condiciones requeridas para generar algún tipo de efecto. También es necesario para establecer el marco de análisis de referencia .

2.1.3. Magneto Hidrodinámica (MHD)

La MHD está en parte relacionada con la ecuación de Lorentz en tanto y en cuanto un líquido conductor se mueve dentro de un campo magnético. La MHD describe el movimiento de un fluido conductor dentro de un campo magnético y existen dos efectos que ocurren básicos que se grafican:

- a) Surge cuando un conductor se mueve dentro del campo magnético. En ese caso se genera una corriente (una *emf* cuando se cierra el circuito) con su propio campo magnético (ley de Lenz), este campo se opone al original generando el efecto de excluir el campo M del líquido conductor. (ver fig 4).
- b) Surge cuando un fluido conductor pasa por el campo M y genera corriente. En ese caso una fuerza de Lorentz actúa sobre el fluido y modifica su movimiento. (ver fig 5)

EL formulismo matematico para MHD se vislumbra fuera del alcance de este estudio. PAra el presente caso se intentará dilucidar cual de los dos casos anteriores son los apropiados para la aplicación trantando de responder las siguientes preguntas. Para el caso a) cual es la *emf* que se genera? Cual debe ser la velocidad de movimiento del conductor para generar una *emf* útil? Recordemos que por ejemplo la empresa [7] promociona un sistema en el que la generación de la *emf* separa iones de Cl^- y Na^+ . Por otro lado es el caso b) apto para generar lo anterior? Que velocidad de fluido es apropiada o cuales son los margenes de velocidad útiles. En función de la conductividad de la solución ionica cual de los casos genera efectos mas favorables? Se obtendrían ventajas utilizando campos M ariables (RF)?

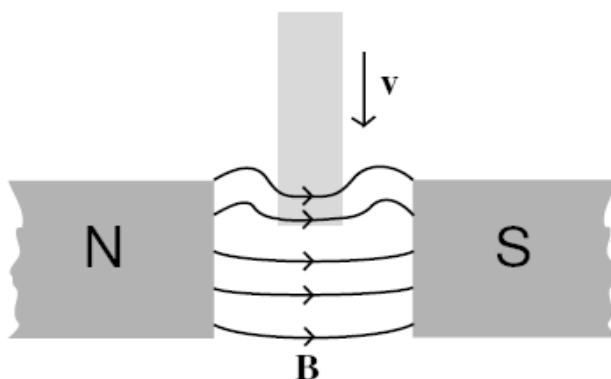


Figura 4: MHD Caso a)

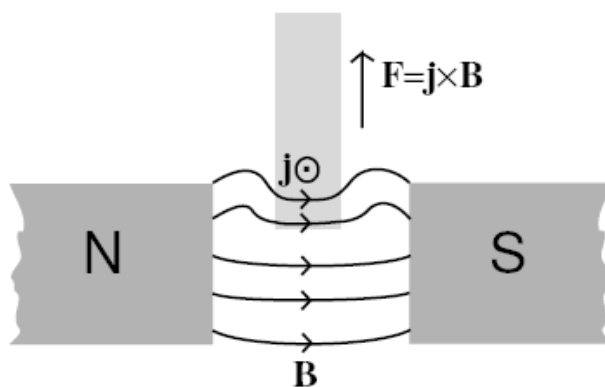


Figura 5: MHD Caso b)

NOTA: *emf* = fuerza electro motriz (Volts).

2.1.4. Emisión Fría de Electrones

Se tratará de determinar cualitativa y cuantitativamente si en el setup [1] se están emitiendo electrones desde las placas de antenas generando una suerte de atmosfera cargada alrededor de la probeta. Para esto no basaremos en la teoría de emisión fría, las propiedades del material de la antena y el cálculo de los valores de campo E interviniente. Según la teoría de emisión fría o emisión explosiva [8] Chap. 2, [9] si el material presenta imperfecciones microscópicas, es posible que el valor de campo E necesario para que un electrón rompa la barrera de potencial y escape, baje un par de ordenes de magnitud en comparación al necesario para la emisión fría.

ENTREGABLE:

Este entregable se presentará en conjunto con el de la siguiente sección (patentes) y el objetivo del mismo es brindar un marco teórico accesible que permita evaluar con mas precisión los resultados. Algunas de los resultados que se preveen son:

- Cálculo de impedancias de medio.
- Cálculo impedancias de radiación en función de la impedancia del medio (σ , ϵ_r y μ_r)
- Cálculo de antenas y eficiencias energeticas.
- Cálculo de deposición de energía EM en función del material.
- Cálculo de los efectos de la ecuación de Lorentz en las condiciones impuestas por material y campo EM
- Evaluación teorica de la emisión fría de electrones y su posible interacción con la impedancia del medio (Z).

Este entregable estará fusionado con el entregable de las patentes y del estudio de materiales. Puede que se entregue un informe parcial previo (Definir).

2.2. Estudio y Analisis de Patentes y bibliografía científica

El estudio de las patentes se sub dividirá en los siguientes grupos tematicos. La bibliografía científica se incluire según sea necesaria no siendo este el foco de este estudio.

1. Métodos de Disociación de Moleculas basados en aplicación de campos EM.
2. Métodos de desalinización de agua de mar basados en la aplicación de campos EM.
3. Métodos de procesamiento por campos EM de agua de fracking y agua con hidrocarburos.
4. Aplicadores y/o antenas de campos EM utilizados en el procesamiento de agua salada y agua de fracking.
5. Métodos de desalinización por magneto hidro dinámica (MHD).

2.2.1. Estado del arte Patentes relacionadas a disociación de moléculas mediante campos EM

Las patentes previamente seleccionadas para el análisis son las siguientes: [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29].

El listado anterior puede variar en función de las conclusiones que se obtengan pudiendo quitar de la lista anterior o agregar nuevas.

Comentarios: Muchas de estas patentes están relacionadas con la industria de la energía con Hidrogeno. En general los trabajos aluden a técnicas de disociaciones de moléculas de agua para obtener Hidrogeno para su posterior almacenamiento como combustible. La patente de [26] no utiliza campos EM pero igual se incluye dado su enfoque. La patente [19] es importante en esta sección no solo por su enfoque sino también por la documentación científica referenciada.

2.2.2. Estado del arte Patentes desalinización de agua de mar por campos EM

Las patentes previamente seleccionadas para el análisis son las siguientes: [30], [31], [1], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39] [40], [41], [42].

El listado anterior puede variar en función de las conclusiones que se obtengan pudiendo quitar de la lista anterior o agregar nuevas.

Comentarios: La patente de mayor importancia y que dió origen a este proyecto es [1], este trabajo es referenciado por patentes de empresas como Lockheed Martin o H2 Hydrogen Now (Pat. [29]). A su vez este trabajo fué asesorado por Rustum Roy, un importante investigador de la Univ. Arizona dedicado al procesamiento de materiales lo cual es un indicador de algún grado de razonabilidad en los resultados que presenta.

Por otro lado las patentes cuyos títulos parecen las más asociadas a este proyecto fueron presentadas en China, la más interesante parece ser [38] donde se presenta una planta desalinizadora completa basada en campos EM.

2.2.3. Estado del arte Patentes Aplicación EM (RF y microondas) en tratamiento de agua de fracking

Las patentes previamente seleccionadas para el análisis son las siguientes: [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56].

El listado anterior puede variar en función de las conclusiones que se obtengan pudiendo quitar de la lista anterior o agregar nuevas.

Comentarios: Estas patentes fueron seleccionadas de una lista mucho más amplia. El criterio de selección se basó en tomar aquellas que tuvieran un perfil mayormente de ingeniería EM. Como era

de esperar las patentes presentadas por Raytheon y Harris Comm (contratistas de defensa en Radar y comunicaciones) cumplen con ese peril. Ademas, rescatamos al autor Dwight Kinzer de la empresa Quasar Energy LLC quién tiene algunas patentes en la línea anterior. A grandes rasgos los trabajos versan de procesar agua con aceites y sales. La mayoría se relaciona con aplicación de calentamiento por campos EM. Especial interes generan las patentes [47] donde se presenta un método de adaptación de impedancias que maximiza la eficiencia de energía EM aplicada. Esta problemática está estrechamente relacionada con el experimento [1].

2.2.4. Estado del arte aplicadores y antenas de campos EM utilizados en el procesamiento de agua salada y agua de fracking

Las patentes previamente seleccionadas para el análisis son las siguientes: [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [55], [69].

El listado anterior puede variar en función de las conclusiones que se obtengan pudiendo quitar de la lista anterior o agregar nuevas.

Comentarios: Las patentes seleccionadas en esta sección son en un mayoría del autor Francis Parsche quien presentó las patentes junto con Harris Corporation. Dado el perfil de la empresa en cuestión es que hemos hecho incapié en este tipo de antenas. Harris es un contratista militar de USA y líder global en equipos de comunicaciones de HF y VHF de muy alta potencia.

Por otro lado, dadas las propiedades dieléctricas del agua, especial interes generan las patentes [66], [67] y [68].

2.2.5. Estado del arte Patentes aplicación de MHD

Las patentes previamente seleccionadas para el análisis son las siguientes: [70], [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [18].

El listado anterior puede variar en función de las conclusiones que se obtengan pudiendo quitar de la lista anterior o agregar nuevas.

Comentarios: Las patententes de esta sección van en línea con los trabajos (mencionados en reporte previo) por el laboratorio [81] y la empresa [7]. Mayormente se refieren a métodos de separación de iones y no necesariamente las aplicaciones son de desalinización. Algunas de las patentes versan de como generar electricidad a partir del movimiento del agua salada lo cual puede brindar información interesante respecto a los aspectos energéticos.

ENTREGABLE:

El entregable será un reporte con el análisis cualitativo de las patentes evaluadas. Se quitarán y/o agregarán patentes según las conclusiones previas lo vayan indicando con el objetivo de aproximar lo mejor posible el estado del arte. Dada la amplitud de tópicos abarcados por las patentes el entregable debe presentar a grandes rasgos:

- Analisis comparativo con fortalezas y debilidades en cada caso (estado del arte).
- Comparación entre métodos que aplican EM.
- Conclusiones analíticas y posibilidad de definir líneas más factibles y detectar la/s de mayor/es potencial de aplicación.
- Clasificación de la potencialidad e importancia de cada método ponderando la calidad del autor o la empresa aplicante de la patente, la cantidad de referencia, país de aplicación, productos o empresas que utilicen o se basen en dicha patente, etc.

2.3. Medición en laboratorio de propiedades EM (σ , ϵ y μ) del agua salada y sales electrolíticas.

En esta sección del estudio de factibilidad se realizarán mediciones de las propiedades EM del agua salada y diversas sales electrolíticas. Las mediciones se realizarán en dos escenarios (ensayos) bien diferenciados, uno es sin excitar con campo EM de alta potencia el material a medir y el otro es realizar las mediciones bajo la condición de excitación de EM de alta potencia. Esto último implica medir las propiedades EM (σ , ϵ y μ) cuando el líquido bajo estudio es sometido a una excitación similar al experimento realizado por [1].

Las mediciones a realizar se dividen en tres setups diferentes que se detallan a continuación:

- Medición de σ y ϵ_r a frecuencias $< 200MHz$ basado en instrumento Puente LCR, (con y sin excitación EM alta potencia).
- Medición de ϵ_r con sonda coaxial abierta y método de reflexión basado en instrumento VNA, (sin excitación EM alta potencia).
- Medición de ϵ_r y μ_r con par de antenas y método de espacio libre basado en instrumento VNA, (con y sin excitación EM alta potencia).

Además de las mediciones anteriores se planifica un cuarto setup para poder verificar la existencia o no de partículas β o rayos X de baja intensidad al aplicar campo EM de máxima intensidad.

A continuación, en las siguientes subsecciones, se describen en detalle las mediciones y sus contribuciones esperadas junto con el detalle de los entregables específicos en cada caso.

2.3.1. Medición de σ y ϵ_r ($< 200MHz$)

La medición de conductividad σ y ϵ_r está basada en el instrumento puente LCR (ANEXO - SETUP I). El rango de frecuencias a utilizar está por debajo de los 200 MHz. Se utilizarán varias concentraciones de sal y se prevé realizar las mediciones en dos diferentes condiciones de laboratorio, a) sin excitación EM

de alta potencia y b) con extiación EM de alta potencia (Aplicando campo equivalente a [1] (ANEXO - SETUP-V)).

Detalles de las concentraciones (completar con Quimicos):

Aca se asume sales $Cl^- Na^+$ y como indica [82], pero Juan Manuel recomendó medir Cationes y Aniones por separado con sales como por ejemplo: esto lo saque del mail, NaCl, Na₂SO₄, NaNO₃ y ver si sólo el Na⁺ es importante para el proceso, o por el contrario si se quiere ver si el anión es importante NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, etc. Juan Manuel /Silvana agreguen /corrijan lo que corresponda.

Para ver detalles del método utilizado en esta medición ver ANEXO-SETUP-I y ANEXO-SETUP-IV. Las siguientes mediciones se realizarán para las configuraciones de sales detalladas anteriormente.

- *Medición A:* Sin exitación campo EM alta potencia.

Hipotesis de la Medición A: Se asume que la solución electrolítica presenta iones que permiten aumentar la conductividad en proporción directa a su concentración y que esa conductividad a su vez del orden de magnitud del factor de pérdida del efecto dieléctrico de Debye.

Objetivo de la Medición A: Determinar σ y ϵ_r para diferentes tipos de soluciones ionicas y diferentes valores de concentración por debajo de los 200 MHz.

- *Medición B:* Con exitación campo EM alta potencia.

Hipotesis de la Medición B: Se asume que ante la presencia de un campo EM de alta potencia existen cambios en la movilidad de los iones y en los enlaces de hidrogeno de acuerdo a lo investigado y medido en los siguientes trabajos ([83], [84], [85], [82], [86], [87], [88], [89] , [90], [91], [92], [93]).

Objetivo de la Medición B: Determinar como varía σ y ϵ_r respecto de los valores obtenidos en la medición anterior en en relación la frecuencia y potencia de campo EM aplicado.

ENTREGABLE:

1. Tabulación de valores de σ y ϵ_r versus tipo/concentración salina y versus frecuencia.
2. Cálculo de la impedancia de onda (o del medio [4]) para las características de material obtenidas.
3. Cálculo y tabulación del efecto 'skin' (profundidad de penetración del campo E) en función de los valores anteriores.
4. Conclusiones analíticas de las mediciones observadas en relación a: comportamiento de σ , ϵ_r y del factor de pérdida ϵ_r'' .

2.3.2. Medición de ϵ_r con sonda Coaxial (200 MHz - 6 GHz)

La medición del dieléctrico del comportamiento del dieléctrico de Debye de la solución iónica en este rango de frecuencias es central en el estudio de factibilidad. Escencialmente, la solución en su mayor parte es agua y por lo tanto se comporta como un dipolo eléctrico que responde al campo EM (ver fig 6), en consecuencia su característica dielectrica sigue el formalismo de Debye [94]. Este comportamiento está extensivamente medido y documentado en trabajos de investigación y libros de texto [94], [95] pero en su mayoría los trabajos están relacionados con la industria alimenticia donde las concentraciones de sales son muy bajas respecto de las del presente proyecto. Por lo tanto, la medición de ϵ_r en este contexto debería producir nuevos resultados en el área debido a que las concentraciones salinas en cuestión son de uno o dos ordenes de magnitud mayor. El rango de frecuencia seleccionado es de 200 MHz- 6 GHz aunque especial énfasis y resolución de medidas se realizarán alrededor de la frecuencia de 2.45 GHz .

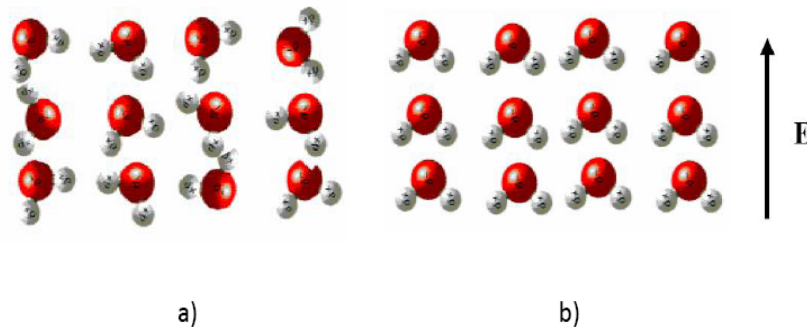


Figura 6: Efecto del campo E sobre las moléculas de agua. a) sin E aplicado, b) con E aplicado

La medición de ϵ_r será realizada con el ANEXO-SETUP-II sin la aplicación de campo EM de potencia externo.

■ *Medición A:*

Hipotesis de la Medición A: Se asume un comportamiento de dieléctrico de Debye en las soluciones electrolíticas a medir dado el alto porcentaje de agua. Se presume variaciones importantes en el comportamiento del dielectrico en proporción a la concentración salina.

Objetivo de la Medición A: Determinar el valor de dieléctrico de Debye para diferentes tipos de sales y concentraciones tanto en su parte real como la imaginaria ($\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$) en el rango de frecuencias de interés.

ENTREGABLE:

1. Tabulación de valores de dieléctrico de Debye versus tipo/concentración salina y versus frecuencia.
2. Cálculo de la impedancia de onda (o del medio [4]) para las características obtenidas.
3. Cálculo y tabulación del efecto 'skin' (profundidad de penetración del campo E) en función de los valores anteriores.
4. Conclusiones analíticas de las mediciones observadas en relación a: comportamiento de ϵ_r y del factor de pérdida ϵ''_e .

2.3.3. Medición de ϵ_r y μ_r con dos antenas en espacio libre 2 GHz - 6 GHz

La configuración para realizar esta medición está detallada en ANEXO-SETUP-III. Al utilizar dos antenas, se pueden medir dos variables simultáneas, y por lo tanto permite despejar dos parámetros independientes. En este caso ϵ y μ_r son de interés. Las características de las muestras a medir son las mismas que en los dos setups anteriores, incluso hay un rango de solapamiento en frecuencias con el método anterior en el caso de ϵ_r . De todos modos esta medición es crucial para determinar si, ante la presencia de un campo EM de alta potencia aplicada a la muestra en la región de 1-30 MHz ([1]), se pueden generar cambios substanciales en ϵ_r y μ_r . La región de mayor interés (resolución de medición) es alrededor de los 2.45 GHz.

Debido a la estructura molecular del agua es muy probable que μ_r cambie muy poco su valor ante la presencia de un campo EM, esto deja de ser evidente si el líquido es una solución iónica de alta concentración y además se somete a un campo EM de alta potencia. Lo anterior justifica esta medición que se fundamenta en verificar en los efectos presentados por [84] (entre otros). Por lo tanto, nuevamente tenemos dos escenarios de medición: a) sin excitación EM de alta potencia y b) con excitación EM de alta potencia (Aplicando campo equivalente a [1] (ANEXO - SETUP-V)). A continuación detallamos ambas mediciones:

■ *Medición A:*

Hipotesis de la Medición A: Se asume un comportamiento de dieléctrico de Debye en las soluciones electrolíticas a medir dado el alto porcentaje de agua. Se presume variaciones importantes en el comportamiento del dieléctrico en proporción a la concentración salina. Se asume que $\mu_r \approx 1$ o un valor cuyo desvío sea menor a un orden de magnitud en ese valor.

Objetivo de la Medición A: Determinar el valor de dieléctrico de Debye para diferentes tipos de sales y concentraciones tanto en su parte real como la imaginaria ($\epsilon_r = \epsilon'_r + j\epsilon''_r$) en el rango de frecuencias de interés. Idem anterior para para μ_r .

■ *Medición B:*

Hipotesis de la Medición B: Se asume que tal como lo indican los trabajos [83], [84], [85], [82], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], existe una variación en la movilidad de los iones modificando el comportamiento de σ , ϵ y μ respecto de cuando no existe una aplicación EM de alta potencia.

Objetivo de la Medición B: Medir los posibles cambios en σ , determinar como cambian ϵ_r y μ_r ante la presencia de un campo EM de alta potencia.

ENTREGABLE:

1. Tabulación de valores de ϵ_r y μ_r versus tipo/concentración salina y versus frecuencia.
2. Tabulación de variación de σ si se producen cambios significativos.
3. Cálculo de la impedancia de onda (o del medio [4]) para las características obtenidas.
4. Cálculo y tabulación del efecto 'skin' (profundidad de penetración del campo E) en función de los valores anteriores.
5. Conclusiones analíticas de las mediciones observadas en relación a: comportamiento de μ_r , de ϵ_r y del factor de pérdida ϵ_r'' . El énfasis será aplicado a los resultados de las mediciones con la aplicación de campo EM de alta potencia.

2.3.4. Medición de existencia de partículas β y rayos X

Esta medición tiene como objetivo verificar o descartar efectos físicos que se presumen existen en el setup de [1] debido a los efectos físico-químicos observados en el mismo setup. Esta medición permitirá estrechar el rango de búsqueda de resultados y conclusiones necesarias para poder aplicar campos EM en la aplicación en cuestión. Los setups necesarios para ejecutar la medición están descritos en ANEXO-SETUP-IV y ANEXO-SETUP-V. Las energías esperables y los posibles fenómenos que dieran origen son previamente estudiados y evaluados en la primera parte del presente estudio. Dependiendo de dichos resultados se deberán evaluar los métodos disponibles de medición que se mencionan en ANEXO-SETUP-V.

ENTREGABLE:

1. Determinación de la existencia o no de electrones en movimiento dentro de las placas del setup [1].
2. Determinación de la existencia o no de rayos X de baja intensidad en el setup de [1].

3. Resumen y conclusiones previas del estudio de factibilidad

A grandes rasgos el estudio de factibilidad abordará la problemática de aplicar campos EM en procesos de desalinización desde dos enfoques diferentes. El primero es puramente teórica e implica revisar y reformular los aspectos teóricos, principalmente de electromagnetismo y electrodinámica, para ayudar a definir condiciones de contorno en la aplicación en cuestión que, tiene como característica notoria y novedosa, el requerir especificaciones y condiciones totalmente contrapuestas a las que generalmente se plantean para las aplicaciones usuales como por ejemplo, las comunicaciones inalámbricas.

El segundo enfoque está relacionado con mediciones en laboratorio de las propiedades EM (σ , ϵ_r y μ_r) en condiciones totalmente novedosas respecto del estado del arte en investigación y patentes. La novedad resulta de dos factores fundamentales: el primero es que se estudiarán efectos de sales por separado (para ponderar efectos de cationes y aniones) y en concentraciones mucho más elevadas que las usuales. El segundo factor es que las mediciones se realizarán bajo la influencia de campos EM alternados de alta intensidad en frecuencias que van de 1 MHz a 30 MHz.

Ambos enfoques anteriores se completan con el estudio y análisis del estado del arte en patentes seleccionadas a priori con el objetivo de mejorar la contextualización de los resultados y a su vez poder generar nuevas ideas en relación a métodos y aplicaciones.

Lo mencionado hasta aquí, luego del estudio previo de la literatura, publicaciones y patentes realizado para la confección de este plan de trabajo, nos hace presumir que se pueden lograr interesantes y novedosos resultados. Básicamente, se tiene grandes expectativas en lo que refiere a los comportamientos de σ , ϵ_r y μ_r cuando son sometidos a campos EM de alta potencia. En relación a lo anterior se espera determinar la influencia de diversos factores que, aunque a priori resultan difíciles de separar, entregarán información muy valiosa.

La información del comportamiento de σ , ϵ_r y μ_r en diversas condiciones junto con el análisis teórico y de las patentes permitirán establecer un inmejorable punto de partida para el diseño de aplicadores (u antenas) de campos EM en condiciones cercanas a las óptimas necesarias para generar algún efecto en particular. También permitirá definir arquitectura/s que factibilice/n la aplicación de EM, por ejemplo si el campo EM se aplica en una cuba, un tubo, una serpentina, etc. También la cantidad mínima de energía requerida será develada por este trabajo de investigación.

Como se puede ver, el abanico de parámetros que intervienen a la hora de definir la posible aplicación de EM en desalinización es muy amplio. Un aspecto saliente del estudio es sus resultados deben conducir invariablemente un acotamiento de los márgenes de selección de cada parámetro resultando esto en sí mismo un resultado muy valioso.

Otra cuestión que dilucidará la concreción del estudio, relacionada con lo previo y que hasta ahora no se mencionó, es para entregar energía EM al aplicador se necesita un generador de esa energía. Los

resultados de las propiedades EM del material y de los tipos de antenas y arquitecturas de aplicación llevarán implícita la conclusión de que tipo de generador se requiere. En función de esto, es que varias de las condiciones de medición fueron diseñadas alrededor de los 2.45 GHz y en la banda de 1 MHz-30 MHz. En el primer caso existe una economía de escala de generadores (por ej Magnetron) relacionados con la industria alimenticia. En el segundo caso, hay en la actualidad diversos dispositivos de estado sólido de muy alta potencia que facilitarían la implementación de un generador de potencia en ese rango.

De lo escrito también se desprende que los resultados del estudio no solo aplican a la problemática de desalinización, sino que perfectamente se pueden ser utilizados en la industria de la energía de hidrogeno y al procesamiento de materiales.

4. ANEXO: Setups de Medición

Existen varios métodos para caracterizar electromagnéticamente los materiales, o sea medir σ , ϵ y μ , [2], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [99]. Estos métodos dependen de la frecuencia, el valor esperado de ϵ_r , la exactitud requerida, la forma del material (líquido, polvo, sólido, lámina, etc), las restricciones del tamaño de la muestra, las propiedades del material (homogeneo, isotropico, etc.), la temperatura, si puede o no haber contacto, entre otros factores. La figura 7 muestra una primera clasificación de los metodos disponibles en función de la frecuencia y las pérdidas del material. Dada las propiedades EM del agua y del agua salada [94], [95], la cual presenta valores considerables de pérdidas nos encontramos en este proyecto con que los métodos que cubren el abanico de necesidades de medición son:

- Método de Placas paralelas (Parallel Plate).
- Método de Punta de prueba coaxial (Coaxial Probe).
- Método de dos antenas (Free Space).

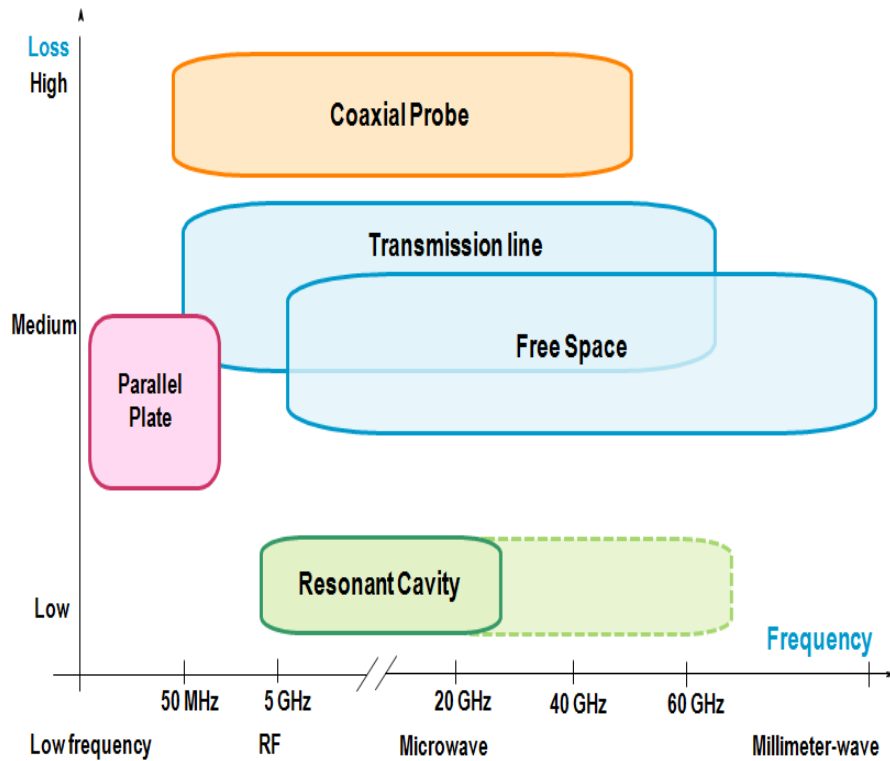


Figura 7: Técnicas de medición propiedades EM en función de las pérdidas del material versus la frecuencia

Recordemos que la interacción del material con el campo eléctrico está dado por la permitividad dieléctrica, ϵ_r (Ec. 10) y la interacción del material con la presencia de un campo magnético está determinada por la permeabilidad magnética μ_r (Ec. 11).

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j \cdot \epsilon''_r \quad (10)$$

$$\mu_r = \mu'_r - j \cdot \mu''_r \quad (11)$$

Ambas interacciones se desglozan en dos efectos similares en cada caso, el efecto de almacenamiento del campos EM ($E \rightarrow \epsilon'_r$ y $M \rightarrow \mu'_r$) y el efecto de pérdidas ($E \rightarrow -j \cdot \epsilon''_r$ y $M \rightarrow -j \cdot \mu''_r$). La figura 8 describe graficamente lo anterior.

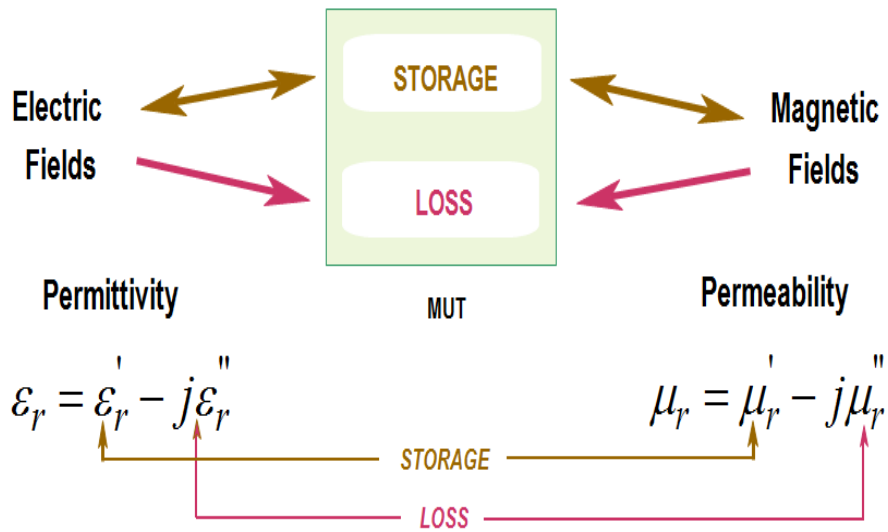


Figura 8: Almacenamiento y pérdidas de energía versus las propiedades EM

A continuación se describen brevemente el detalle de los métodos a utilizar en este proyecto con el objetivo de enender mejor las fortalezas y debilidades de los mismos que permiten dar una justificación del porqué de su selección en cada un de los entregables respectivos.

4.1. SETUP I: Medición de ϵ_r (y σ) con puente LCR

Este setup está definido para medir en bajas frecuencias < 200 MHz. Tal como muestra la figura 9 se utiliza un capacitor de muestra con el cual se calcula el ϵ_r haciendo mediciones con y sin dieléctrico (aire) dentro de dicho capacitor.

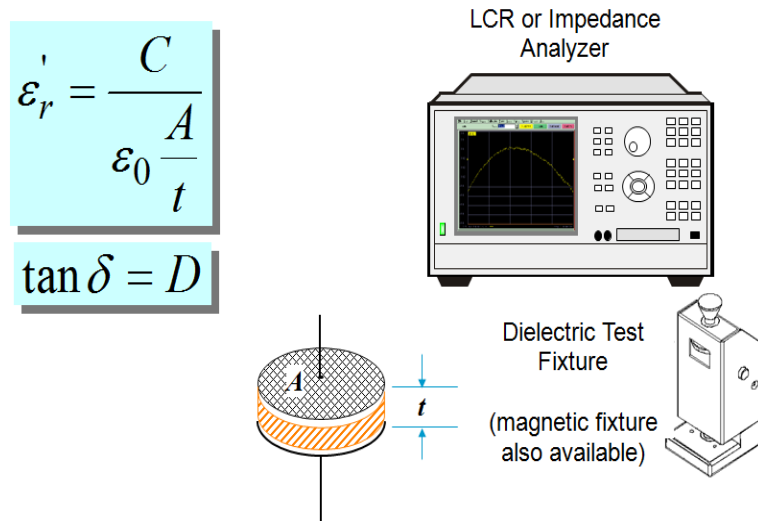


Figura 9: Setup de Medición de ϵ_r con instrumento puente LCR

Dadas las características esperadas del dieléctrico de Debye para soluciones iónicas es posible que el valor del dieléctrico quede enmascarado por el valor de conductividad (ver fig 10). Dependiendo de los valores de σ , o la resistividad $R = 1/\sigma$, se deberán tomar los recaudos necesarios para poder medir con exactitud ambas variables aquí Andres si puedes agregar mejor...

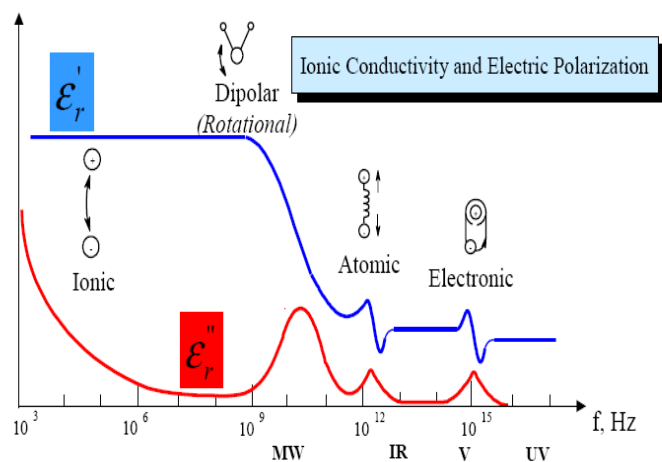


Figura 10: Mecanismos de interacción con el campo eléctrico versus frecuencia

REQUERIMIENTOS:

Recursos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Origen
RR.HH Elec.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
RR. HH Quim.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
Puente LCR	hasta 200 MHz	1	Si	Adq. Ext.
Cables Coaxial	adapt inst.	varios	Si	Arg.
Acc. Mec/Elec		NOTA1	Sí	Adq. Arg.
Otros	Probetas	NOTA2	No	Adq/Fabr. Arg

Cuadro 1: Requerimientos Setup I

NOTA1: Soportes mecánicos, aisladores, cables, conectores y otros.

NOTA2: Diversas probetas pirex y material teflon para fabricar cubas u otro soporte que permita medición con capacitor de aire y con liquido. Consumibles Varios

4.2. SETUP II: Medición de ϵ con sonda coaxial de inmersión

En este método se mide el coeficiente de reflexión [98]. La sonda (una línea coaxial abierta) se sumerge en el líquido y se mide el coeficiente de reflexión utilizando un Analizador Vectorial de Redes (VNA). En términos de parámetros 'S' se debe determinar el parámetro S_{21} . El método debe incluir el setup de calibración con elementos conocidos para luego poder quitar las incertidumbres inherentes al método de medición. Los pasos de calibración constan de una medición en corto circuito, una medición a circuito abierto y una medición con impedancia adaptada. Para este tipo de medición se asume las siguientes propiedades del material:

- No magnético.
- Isotrópico.
- Homogéneo.
- No existen burbujas de aire.

La figura 11 muestra el esquema general de medición:

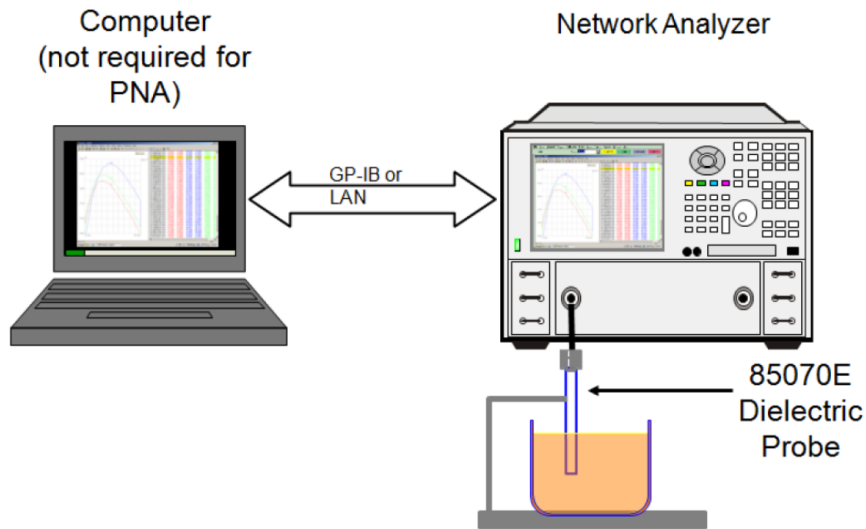


Figura 11: Setup genérico de medición ϵ_r con VNA y Coaxial Probe

En la figura 11 el pos procesamiento se refiere al desembebedo [103], [104], [105] de los planos de referencias Γ_c y Γ_a y los valores de calibración. Lo que implica que para obtener el valor de ϵ_r se deben utilizar algoritmos de pos procesamiento.

Ventajas de este método:

- Fácil preparación de la muestra.

- Luego de calibrado, se puede medir rápidamente varias muestras.
- La medición se puede realizar a temperatura controlada.

Las características mencionadas hacen de este método el mas apto para las mediciones sin exitación de EM de alta potencia y a bajas temperaturas (sin burbujas). Las propiedades del método permiten obtener rapidas y precisas mediciones de ϵ_r con un mismo setup para varias soluciones electrolíticas. Dentro del contexto del proyecto consideramos que es esencial implementar este método en un rango de frecuencias que van de los 200 MHz a 6 GHz [102].

REQUERIMIENTOS:

Recursos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Origen
RR.HH Elec.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
RR. HH Quim.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
VNA	0.01 Hz a > 6 GHz	1	Si	Adq. Ext.
Sonda Coaxial	Open end Coax	1	No	Adq. Ext.
Cables Coaxial	adapt inst.	1	No	Adq. Ext
Acc. Mec/Elec		NOTA1	Sí	Adq. Arg.
Otros	Probetas	NOTA2	No	Adq/Fabr. Arg

Cuadro 2: Requerimientos Setup II

NOTA1: Soportes mecanicos, asiladores, cables, conectores y otros.

NOTA2: Diversas probetas pirex y material teflon para fabricar cubas de inmersión de sonda. Consumibles Varios

4.3. SETUP III: Medición de ϵ y μ con par de antenas en espacio libre

Se utilizan dos antenas enfrentadas una con la otra y permite medir ϵ_r y μ_r al mismo tiempo. Esto se puede realizar porque se mide S_{12} y S_{21} con el instrumento VNA [2]. El pasaje de las mediciones en parametros 'S' a ϵ_r y μ_r se obtien utilizando el algoritmo 'NIST Iterative' [98]. La figura 12 muestra como se realiza la medición. Para este tipo de medición se asume las siguientes propiedades del material:

- La muestra debe ser preparada en placas paralelas.
- Se debe tomar la muestra fuera de le región reactiva de cada antena (Far Field).
- El tamaño de la muestra debe ser mayor a la longitud de onda con que se mide.
- El ancho de la muestra debe ser mayor al 5% de λ .

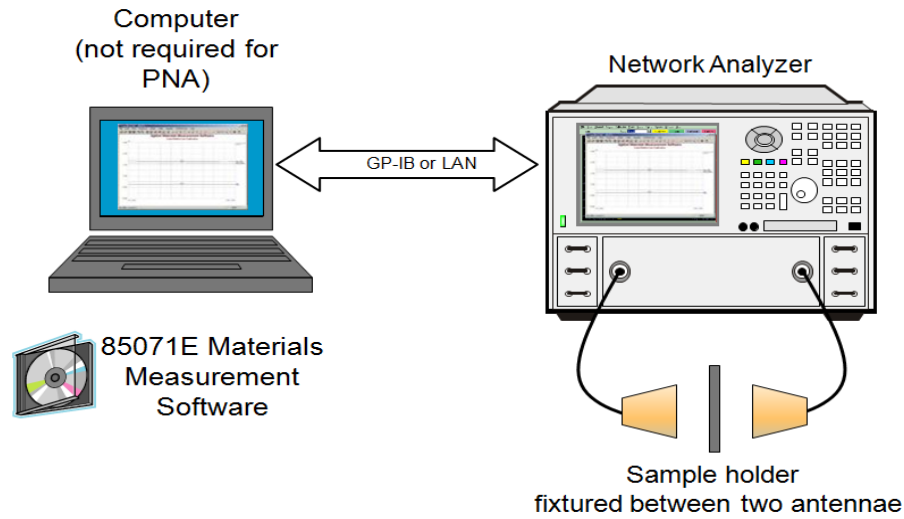


Figura 12: Setup genérico de medición ϵ_r y μ_r con VNA y par de antenas Horn

Ventajas de este método:

- Se puede utilizar en muy altas frecuencias.
- Permite la medición en ambiente hostil (como el de [1]).
- Se pueden evaluar la permitividad y permeabilidad al mismo tiempo.

Desde el punto de vista del proyecto este método es el mas apto para poder medir ϵ_r y μ_r en ambiente hostil. Por este último entendemos el caso de medir variaciones de las propiedades EM bajo la aplicación de las condiciones de campo EM de potencias similares a las ensayadas en [1]. Si bien la puesta en marcha del setup es relativamente compleja en lo que refiere la calibración y el poder evitar difracciones una vez solucionado esto, el método es relativamente sencillo para obtener los valores a medir. La figura 13 muestra un ejemplo posible de arreglo de antenas, en este caso las distancias estan calculadas para la banda X de microondas.



Figura 13: Setup de medición en banda X

REQUERIMIENTOS:

Recursos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Origen
RR.HH Elec.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
RR. HH Quim.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
VNA	0.01 Hz a > 6 GHz	1	Si	Adq. Ext.
Antenas	Horn > 6 GHz	2	Si (Una)	Adq. Ext
Cables Coaxial	bajas perdidas	1	Si (Parcial)	Adq. Arg
Acc. Mec/Elec		NOTA1	Sí	Adq. Arg.
Otros	Probetas	NOTA2	No	Adq/Fabr. Arg

Cuadro 3: Requerimientos Setup III

NOTA1: Soportes mecanicos, asiladores, cables, conectores y otros.

NOTA2: Diversas probetas pirex y material teflon para fabricar cubas del tipo planar para el seutp de dos antenas (SETUP-III). Consumibles Varios

4.4. SETUP IV: Aplicador de energía RF con placas paralelas y adaptación de impedancia [1]

Este setup es el utilizado por [1] para aplicar energía de radio frecuencia a la muestra de agua salina. Basicamente se trata de un generador de Radio Frecuencia de banda angosta (13.56 MHz) de alta potencia (> 1 KWatt) que transmite su energía de RF a la muestra a través de un aplicador con configuración de placas paralelas como muestra la figura 14 (ver Cap 7 [4]). Si bien existen varios tipos de aplicadores de placas paralelas [95], y quizás otros puedan tener ventajas sobre este, se utilizará este método para intentar reproducir los efectos que se midieron en [1]. A grandes rasgos se trata de un aplicador de tipo capacitivo y su impedancia es \gg que 50Ω por lo tanto es inevitable la utilización de una red de adaptación de complejidad importante. Esta complejidad se refiere a que los componentes de la red de adaptación tiene requerimientos de alto voltage a considerar cuidadosamente.

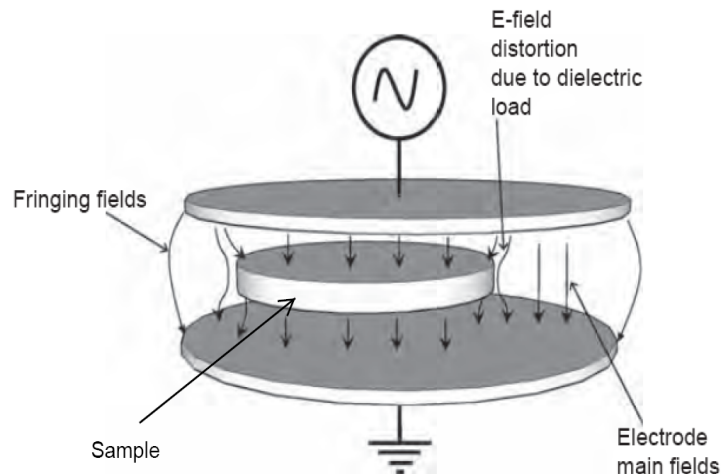


Figura 14: Aplicado de placas paralelas

El tamaño de las placas paralelas, que son normalmente circulares, deben ser mayores al tamaño de la muestra para evitar el efecto de la capacidad 'Fringe' (ver figura 14) lo cual es relativamnete sencillo de lograr. De todos modos, en el caso de la medición de ϵ_r y μ_r con par de antenas se debe recordar que la muestra se debe arrelgar en tipo planar con dimensiones mayores a la de una probeta y en ese caso el diseño de las placas .

El método no esta circunscripto a solo la frecuencia de 13.56 MHz , el mismo puede ser utilizado en otras frecuencias. En cada caso frecuencia se debe tener en cuenta la distancia entre placas (también relacionadas ocn la potencia) , el tamaño de las placas y por su puesto la daptación de impedancia debe ser rediseñada.

Este método, debido a su configuración, es mayormente aplicador de campo eléctrico. Por lo tanto es muy utilizado por la industria para el calentamiento dieléctrico de diferentes materiales. En el contexto del proyecto última esta característica puede no ser la mas deseada, pero se toma el método (y por lo tanto el aplicador) tal como fueron presentados en [1] para replicar la experiencia.

REQUERIMIENTOS:

Recursos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Origen
RR.HH Elec.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
RR. HH Quim.	Hs Hombre	Hs.	Sí	Arg.
Eqp. Pot. RF	Amp. 13MHz 1.5kW	1	No	Adq. Ext.
Eqp. Pot. RF Op	Amp. 1-30 MHz 1.5kW	1	No	Adq. Ext.
Adapt. Antena	Adap 1.5kW	1	No	Diseñar/Adq. Ext
Antenas	Placas Cobre Esp.	2	No	Diseñar
Acop Direc.	Coef. Reflex.	1	No	Adq. Ext.
Acc. Mec/Elec		NOTA1	Sí	Adq. Arg.
Otros	Probetas	NOTA2	No	Adq/Fabr. Arg

Cuadro 4: Requerimientos Setup IV

NOTA1: Soportes mecanicos, asiladores, cables, conectores y otros.

NOTA2: Diversas probetas pirex y material teflon para fabricar cubas del tipo planar para el seutp de dos antenas (SETUP-III). Consumibles Varios.

4.5. SETUP V: Medición de partículas β de baja energía y rayos X de baja energía

Este setup permite verificar la existencia de alguno de dos tipos de radiaciones ionizantes: a) Particulaes β , b) Rayos X.

Para el primer caso se utiliza este stup para determinar la existencia o no de particulas β (electrones de alta velocidad) que pudieran estar fluyendo entre las placas paralelas del setup [1]. La medición implica insertar la punta de prueba específica (por ej. <http://www.flukebiomedical.com/biomedical/usen/radiation-safety/GM-Scintillation-Probes/425-200-alpha-beta-scintillation-probe.htm?PID=54785>) para determinar la existencia de emisión fría desde las placas paralelas capacitvas de cobre. El rango de energía que podrían tener estos electrones va desde los pocos keV a unos pocos MeV.

Para el segundo caso, del mismo modo que el anterior, se inserta una punta de prueba (por ej. <http://www.atomtex.com/en/products/x-radiation/x-ray-smart-probe-bdkr-01> que permite determinar si existe rayos X en el rango de 5keV a 160KeV.

Otra forma, mas barata (y antigua), para medir la existencia de particulas β o rayos X es la desarrollada por Ernest Wollan para el Proyecto Manhattan. La misma consta de un film fotográfico y un soporte para el mismo. Si se quieren medir los rayos X se interpone una placa de metal entre el film y el soporte, si se quiere verificar existencia de particulas β se interpone una placa de plastico. Luego el film fotográfico se revela como en fotografía. Existen diversos dosímetros comerciales basados en esta técnica (ver [106], [107]), mayormente son utilizados para la protecci3n de personas y rondan los USD 100.

Otra técnica, similar pero mas moderna a del film, es la TLD (Thermoluminiscent Dosimetry), [108] Chapter 19, este metodo es mas sensible, preciso y mas duradero que el film fotográfico y de ser necesario se podría implementar. En este caso también existe una gran variedad de productos [109] ver por ejemplo <http://www.radpro.co.nz/solutions/Genesis%20TLD.pdf>.

REQUERIMIENTOS:

Recursos	Descripci3n	Cantidad	Disponibilidad	Origen
RR.HH Elec.	Hs Hombre	Hs.	S	Arg.
RR. HH Quim.	Hs Hombre	Hs.	S	Arg.
Sonda β	Probe particulas <i>beta</i>	1	No	Adq. Ext
Sonda X	Probe rayos X	1	No	Adq. Ext
Dosimetro	TLD badge	1	No	Adq. Ext

Cuadro 5: Requerimientos Setup V

NOTA: Este setup va en conjunto con el SETUP IV.

Referencias

- [1] J. Kanzius, "Rf systems and methods for processing salt water," *US Patent 2009-0294,300*, 2009.
- [2] L. Chen, *Microwave Electronics. Measurement and Materials Characterization*. John Wiley, 2004.
- [3] D. Pozar, *Microwave Engineering 4th Ed.*, 2012.
- [4] M. Mehdizadeh, *Microwave / RF Applicators and Probes. For material Heating, sensing and plasma generation. A design Guide*. Elsevier, 2010.
- [5] W. Stutzman, *Antenna Theory and Design 3rd*. Courier Westford, 2012.
- [6] C. Balanis, *Modern Antenna Handbook*. John Wiley, 2008.
- [7] D. S. Engineergin, "[http : //www.deepsea – eng.com/](http://www.deepsea-eng.com/), www.dse.fi."
- [8] R. Miller, *An Introduction to the Physics of Intense Charged Particles Beams. Sandia Labs*. Plenum Press, 1982.
- [9] W. Demtroder, *Athoms , Molecules and Photons*. Wile VCH, 2010.
- [10] S. Hackmyer, "Commercial hydrogen gas production by electrolysis of water while being subjected to microwave energy," *US Patent 4,265,721*, 1981.
- [11] W. Wyles, "Radio frequency hydrogen and oxygen generator and method," *US Patent 7,378,063*, 2008.
- [12] V. Proudki, "Method and apparatus for excitation of resonances in molecules," *US Patent 8,834,864*, 2014.
- [13] J. Henley, "Method and apparatus for dissociating hydrogen and oxygen from water," *US Patent 2011-0259731 A1*, 2011.
- [14] S. Shiga, "Electromagnetic field treatment method and electromagnetic field treatment equipment of water," *US 2009-0242407 A1*, 2009.
- [15] S. Meyer, "Generation of hydrogen and oxygen by using water as dielectric between capacitor plates in electrical resonant circuit," *US Patent 4,936,961 A*, 1990.
- [16] D. Cravens, "Heat and electromagnetic wave generator," *US 2006-0226001 A1*, 2006.
- [17] M. Enos, "Methods for removing dissolved metallic ions from aqueous solutions," *US 2010-0320155 A1*, 2010.
- [18] R. Mills, "Ion cyclotron and converter and radio power microwave generator," *WO 2001-021300 A2*, 2001.
- [19] G. Young, "Splitting bonds; controlling radiation frequency," *US 2008-0245654 A1*, 2008.
- [20] J. Gleasman, "Hydrogen powered steam turbine," *US 2009-0084107 A1*, 2009.

- [21] R. Gadda, "Radiant energy dissociation of molecular water into molecular hydrogen," *US 2005-0029120 A1*, 2005.
- [22] P. Banks, "Apparatus and method for selectively dissociating molecules," *US 2009-0173619 A1*, 2009.
- [23] R. Everett, "Methods and systems for dissociation of water molecules using inertial-kinetic electromagnetic resonance," *WO 2010-059751 A2*, 2010.
- [24] H. Puharich, "With complex resonant wave forms," *US Patent 4,394,230 A*, 1981.
- [25] S. Sedlmayr, "Microwave nucleon-electron-bonding spin alignment and alteration of materials," *US Patent 2007-0095823 A1*, 2007.
- [26] M. Lockhart, "Methods for enhancing water electrolysis," *US 2012-0097550 A1*, 2012.
- [27] O. Peters, "Dissociation and separation of water molecules in an electric field," *WO 2012-079596 A1*, 2012.
- [28] J. Novak, "Method and apparatus for microwave dissociation of organic compounds," *US Patent 8,283,616 B2*, 2012.
- [29] S. Dvidson, "Generating energy from water, to hydrogen system," *WO 2014-064692 A1*, 2014.
- [30] S. Sedlmayr, "Microwave fluid heating and distillation method," *US Patent 7,119,312*, 2006.
- [31] D. Simpson, "Desalination method using a filter press," *US Patent 8,580,084*, 2013.
- [32] I. Pavel, "Device for electromagnetic desalination of seawater," *European Patent 1,880,980*, 2008.
- [33] R. Rustum, "Microwave processing in pure h fields and pure e fields," *US Patent 6,365,885*, 2002.
- [34] S. Joo, "Seawater desalination system using microwave oscillator," *Korea Patent 1020030021027*, 2003.
- [35] C. Chino1, "Electromagnetic desalination process of seawater and desalination cell," *China Patent 1,834,026*, vol. <http://www.google.com/patents/CN1834026A?cl=en>, 2006.
- [36] C. Chino2, "Microwave and seepage resisting sea water desalting process and apparatus," *China Patent 101,024,531A*, vol. <http://www.google.com/patents/CN101024531A?cl=en>, 2007.
- [37] C. Chino3, "Desalination method of sea water by microwave transmission," *China Patent CN 200410017581*, 2005.
- [38] C. Chino4, "Electromagnetical seawater desalination plant," *CN 101337721 A*, 2007.
- [39] C. Chino5, "Electromagnetic heating integral seawater desalination distillation tower," *CN 202968166 U*, 2012.
- [40] W. Mccutchen, "Radial counterflow inductive desalination," *European Patent 2185273 A1*, 2007.

- [41] S. Nesbitt, "Microwave heating in the desalination of water," *US Patent 3,577,322 A*, 1968.
- [42] B. Myers, "Micro-wave powered distillation unit."
- [43] D. Kinzer, "In situ processing of hydrocarbon-bearing formations with variable frequency dielectric heating," *US Patent 7,115,847*, 2005.
- [44] F. Pringle, "Microwave based recovery of hydrocarbons and fossil fuels," *US Patent 7,629,497*, 2009.
- [45] C. Raytheon, "Method for in situ radio selective heating of hydrocarbonaceous formations," *US Patent 4,140,180*, 1977.
- [46] —, "Rf applicator for in situ heating," *US Patent 4,508,168*, 1981.
- [47] D. Kinzer, "In situ processing of hydrocarbon-bearing formations with automatic impedance matching radio frequency dielectric heating," *US Patent 7,109,457*, 2005.
- [48] —, "Processing hydrocarbons and debye frequencies," *US Patent 7,312,428 B2*, 2006.
- [49] J. White, "Rf heating to reduce the use of supplemental water added in the recovery of unconventional oil," *US Patent 8,128,786 B2*, 2009.
- [50] M. Trautman, "Effective solvent extraction system incorporating electromagnetic heating," *US Patent 8,616,273 B2*, 2010.
- [51] F. Parsche, "Applicator and method for rf heating of material," *US Patent 8,729,440 B2*, 2009.
- [52] —, "Apparatus and method for heating of hydrocarbon deposits by axial rf coupler," *US Patent 8,763,691 B2*, 2010.
- [53] H. Becker, "Electromagnetic wave treatment method and promoter," *US Patent 8,839,856 B2*, 2014.
- [54] B. Considine, "Method for extraction of hydrocarbon fuels or contaminants using electrical energy and critical fluids," *US Patent 7,461,693 B2*, 2008.
- [55] A. Saedfar, "Wide frequency range modeling of electromagnetic heating for heavy oil recovery," *WO 2014-028834 A1*, 2014.
- [56] W. Symngton, "Water treatment following shale oil production by in situ heating," *US 2010-0218946 A1*, 2010.
- [57] F. Parsche, "Di axial power transmission line for continuous dipole antenna," *WO 2011-163156 A1*, 2011.
- [58] —, "Parallel fed well antenna array for increased heavy oil recovery," *US Patent 8,763,692 B2*, 2010.
- [59] —, "Apparatus and method for heating material by adjustable mode rf heating antenna array," *US Patent 8,674,274 B2*, 2009.

- [60] —, “Triaxial linear induction antenna array for increased heavy oil recovery,” *CA 2816101 C*, 2014.
- [61] —, “Diaxial power transmission line for continuous dipole antenna,” *CA 2801747 A1*, 2011.
- [62] —, “Inverted feed discone antenna and related methods,” *US Patent 7,286,095 B2*, 2007.
- [63] R. Libonati, “Biconical dipole antenna including choke assemblies and related methods,” *EP 2421094 A3*, 2012.
- [64] F. Parsche, “Planar antenna having multi-polarization capability and associated methods,” *WO 2010-096366 A3*, 2010.
- [65] —, “Broadband terminated discone antenna and associated methods,” *US Patent 7,864,127 B2*, 2011.
- [66] T. Ball, “Antenna with shaped dielectric loading,” *US Patent 7,940,225 B1*, 2011.
- [67] J. Snow, “Aperture antenna with shaped dielectric loading,” *US Patent 8,264,417 B2*, 2012.
- [68] E. Lier, “Horn antenna, waveguide or apparatus including low index dielectric material,” *US Patent 8,072,386 B2*, 2011.
- [69] P. Westin, “Heating of dielectric loads,” *WO 2013-159815 A1*, 2013.
- [70] W. Warren, “Water purification: ion separation,” *US Patent 2004-0007452 A1*, 2004.
- [71] N. Harde, “Ion separation and removal unit with gas extraction,” *US Patente 7,033,478 B2*, 2006.
- [72] F. Hendel, “Flowing saline water magneto-hydrodynamic electric generator,” *US Patent 4,151,423 A*, 1979.
- [73] M. Grumazescu, “Electrochemical energy storage and discharge,” *WO 2010-066025 A1*, 2010.
- [74] G. Harcourt, “Method and apparatus for magnetically treating a fluid,” *US Patent 5,683,586 A*, 1997.
- [75] R. Meinke, “Separation or removal of constituents from a fluid,” *WO 2014-113731 A2*, 2014.
- [76] T. Nichols, “System and method for extracting and collecting substances from a molecular combination,” *US Patent 8,460,634 B2*, 2013.
- [77] R. Gordon, “Dielectric and non-magnetic fluid conduits as fluid passageway, containing a magnetic field generator and electrostatic field generator to form the flux lines of the magnetic and electrostatic field; desalting seawater,” *US Patent 2004-0031759 A1*, 2004.
- [78] C. Brokaw, “Method and apparatus for magnetic separation of ions,” *US Patent 7,645,985 B1*, 2010.
- [79] J. Bullington, “Water purification: ion separation and deionization,” *WO 2003-048050 A1*, 2003.

- [80] M. Riera, "Devise for de-ionising saline solutions," *WO 2005-030650 A1*, 2004.
- [81] E. L. R&D, "<http://emp-rndlaboratory.com/desalination.html>," *Proyecto 2014-2015*, actual.
- [82] K. Tai, "An investigation into the structure of aqueous nacl electrolyte solutions under magnetic fields," *Computational materials science*, 2008.
- [83] R. Rustum, "Experimental proof of a major role of magnetic field losses in microwave heating of metal and metallic composites," *Journal of material Sciences*, 2001.
- [84] S. H. . T. Sumi, "Unusual effect of the magnetic field component of the microwave radiation on aqueous electrolyte solutions."
- [85] B. Guo, "Influence of magnetic field on microstructural and dynamic properties of sodium, magnesium and calcium ions," *Trans on non ferrous metal soc.*, 2011.
- [86] Y. Wang, "The effect of a static magnetic field on the hydrogen bonding in water using frictional experiments," *Journal of Molecular Structure*, 2013.
- [87] C. Ran, "The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds," *Journal of Molecular Structure*, 2009.
- [88] M. Chaplin, "Water's hydrogen bond strength," 2003.
- [89] L. Holysz, "Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions," 2007.
- [90] E. J. Toledo, "Influence of magnetic field on physicalchemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models."
- [91] K. Kitazawa, "Magnetic field effects on water, air and powders," *Physica B: Condensed Matter*, 2001.
- [92] L. Chen, "Comparison on effect of alternating and stationary magnetic field on the conductivity of nacl solution," *Advanced Material Research*, 2011.
- [93] L. Nan, "Effect of rotating electromagnetic field on the conductivity of aqueous nacl solutions," *Advanced Material Research*, 2012.
- [94] A. de la Hoz & André Loupy, *Microwaves in Organic Synthesis*. WILEY, 2011.
- [95] R. Meredith, *Handbook of Industrial Microwave Heating*. The Institution of Electrical Engineers London, 1998.
- [96] M. Venkatesh, "An overview of dielectric properties measuring techniques."
- [97] S. Narayan, "Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods - a review," 2011.
- [98] R. . Schwarz, "Measurment of dielectric material properties," *App Note Rohde and Schwarz*.
- [99] T. Agilent, "Microwave dielectric spectroscopy," *Workshop at Agilent*.

- [100] —, “Agilent impedance measurement handbook. 4th edition,” *Workshop at Agilent*.
- [101] —, “Free space materials measurement seminar,” *Workshop at Agilent*.
- [102] S. Begley, “Electromagnetic properties of material: Characterization at microwave frequencies and beyond,” *Workshop at Agilent*.
- [103] G. C. . D. Schreurs, *Microwave De-embedding From Theory to Applications*. Elsevier, 2014.
- [104] T. Agilent, “De embedding techniques in agilent ads systems.”
- [105] —, “Agilent de-embedding and embedding s-parameter networks using a vector network analyzer application note 1364-1.”
- [106] “http://www.globalspec.com/industrial-directory/dosimetry_film_badges.”
- [107] “http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/personal_protective_equipment/tld.”
- [108] G. Knoll, *Radiation Detection and Measurements*. John Wiley, 2014.
- [109] “<http://www.globalspec.com/search/products?page=ms#comp=4846&show=suppliers&sqid=10332723>.”