



**Centro Universitario de la Defensa
En la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

Preparación de hidrogeles inhibidores de la corrosión

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Andrés Campos Guerrero

DIRECTORA: Rosa Devesa Rey

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



**Centro Universitario de la Defensa
En la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

Preparación de hidrogeles inhibidores de la corrosión

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado, se ha preparado un hidrogel anticorrosivo. En particular, se ha estudiado la corrosividad en un medio ácido y en otro básico y se evaluó la eficiencia de diferentes inhibidores, eligiendo el de mayor eficiencia para la realización posterior de un hidrogel. Al demostrar la efectividad del hidrogel, se ha preparado un sistema de liberación controlada (SLC) del agente anticorrosivo.

El estudio y la preparación del hidrogel se han basado en la capacidad anticorrosiva, ya estudiada en trabajos anteriores, de compuestos como el Citrato de Amonio, Benzotriazol o Tartrato Sódico-Potasico. En este caso se eligió como inhibidor el Carbonato Sódico y se contuvo dentro de una película de Alginato Cálcico, inspirándonos en el proceso de esferificación.

Hasta el momento, tanto los reactivos anticorrosivos, como el proceso de esferificación mediante Alginato, habían sido ampliamente estudiados pero no existía ningún estudio para unir ambos compuestos con un objetivo común.

Tanto los estudios como la preparación del hidrogel y del SLC, fueron realizados en el laboratorio de Química de la Escuela Naval Militar y algunas piezas fueron llevadas a la Universidad de Vigo para su posterior análisis.

ABSTRACT

In this end of year project, an anticorrosive hydrogel has been prepared. More specifically, the corrosiveness both in an acidic and basic environment has been studied, to later evaluate the efficiency of different inhibitors.

Having studied said inhibitors, the one that proved to be the most efficient was selected to create a hydrogel which would liberate in a controlled-manner (LCM), the anticorrosive agent.

Both the study and preparation of the hydrogel has been based on previous studies of anticorrosive capacity, from components such as Ammonium citrate, benzotriazole or Potassium sodium tartrate.

In this study, Sodium carbonate was selected as the inhibitor and was contained within a film of calcium alginate, this method was inspired by the process of sferification.

Until this moment, both anticorrosive agents and the process of sferification using alginate have been studied, but there had been no research or method into combining both. With this project, both have been combined for one common objective.

The research, preparation of the hydrogel, and study of the LCM have been carried out in the Chemistry laboratory of the Spanish Naval Academy. Part of the analysis was also carried out in the University of Vigo.

PALABRAS CLAVE

Hidrogeles, corrosión, inhibidor, protección, Cobre.
Hydrogels, corrosion, inhibitor, protection, copper.

Quiero agradecer a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo.

En especial, me gustaría agradecerles a mis padres el apoyo incondicional durante estos meses y a mi directora del proyecto la Sra. Rosa Devesa Rey por la orientación y ayuda en la realización del trabajo y por sembrar en mí la pasión por la química.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
INDICE DE GRÁFICOS Y GRÁFICAS.....	10
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	11
1.1 MARCO HISTÓRICO.....	11
1.2 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	12
1.3 FUNDAMENTO TEÓRICO	13
1.3.1 PROCESO DE CORROSIÓN GENERAL	13
1.3.2 OXIDACIÓN-REDUCCIÓN	13
1.3.3 SUSTANCIAS OXIDANTES Y REDUCTORAS	14
1.3.4 TIPOS DE REACCIONES REDOX	17
1.3.5 TIPOS DE CORROSIÓN	18
1.3.6 COBRE	20
1.3.7 CORROSIÓN DEL COBRE	20
1.3.8 TIPOS DE ATAQUES QUE SUFRE EL COBRE	21
1.3.9 MÉTODOS Y MECANISMOS DE PROTECCIÓN DE METALES	23
1.3.10 RECUBRIMIENTOS PROTECTORES DEL COBRE	25
1.3.11 INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN	25
1.3.12 MECANISMOS DE LIBERACIÓN CONTROLADA.....	26
2 ESTADO DEL ARTE.....	29
2.1 MEDIOS CORROSIVOS	29
2.2 ESTUDIOS SOBRE LOS INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN.....	30
2.3 HIDROGELES MEDIANTE ESFERIFICACIÓN	32
2.4 DESARROLLO DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA	33
3 MATERIALES Y METODOS	34
3.1 LISTADO DEL MATERIAL EMPLEADO EN EL LABORATORIO	34
3.2 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN	35
3.2.1 ÁCIDO CLORHÍDRICO	35
3.2.2 ÁCIDO SULFÚRICO	35
3.2.3 HIDRÓXIDO DE SODIO	36

3.3 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DEL INHIBIDOR	36
3.3.1 BENZOTRIAZOL	36
3.3.2 TARTRATO SÓDICO-POTÁSICO	37
3.3.3 CITRATO DE AMONIO	38
3.3.4 CARBONATO SÓDICO.....	38
3.4 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DEL HIDROGEL	39
3.4.1 CLORURO CÁLCICO.....	39
3.4.2 ALGINATO DE SODIO	40
3.5 QUITOSÁN	40
4 RESULTADOS	42
4.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN	43
4.1.1 EXPERIMENTO INICIAL	43
4.1.2 PÉRDIDA DE MASA EN CONTACTO CON DISOLUCIÓN ÁCIDA (HCl)	45
4.1.3 DISOLUCIÓN NaOH	47
4.1.4 COMPARACIÓN DE LA PERDIDA DE MASA EN LAS DISOLUCIONES DE HCl Y DE NaOH	50
4.1.5 EVALUACIÓN DE LA DUREZA EN HCl	50
4.1.6 EVALUACIÓN DE LA DUREZA EN NaOH	51
4.1.7 ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE DUREZA EN NaOH DURANTE 1.5H.....	52
4.2 INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN: SELECCIÓN DEL INHIBIDOR	53
4.2.1 PRUEBA INICIAL DE SELECCIÓN DEL INHIBIDOR.....	53
4.3 ESTUDIO DE LOS DIFERENTES INHIBIDORES	55
4.3.1 DISOLUCIÓN CON TARTRATO SÓDICO - POTÁSICO	55
4.3.2 DISOLUCIÓN CON CITRATO DE AMONIO	56
4.3.3 DISOLUCIÓN CON CARBONATO SÓDICO.....	57
4.3.4 DISOLUCIÓN CON BENZOTRIAZOL	58
4.3.5 COMPARACIÓN INHIBIDORES UTILIZADOS	59
4.4 PREPARACIÓN HIDROGELES CON ALGINATO SÓDICO	61
4.4.1 FABRICACIÓN DE LOS HIDROGELES	61
4.4.2 EVALUACIÓN DE LA INHIBICIÓN DEL HIDROGEL	62
4.5 PREPARACIÓN DE SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA	64
4.5.1 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA	66
5 DISCUSIÓN.....	67
5.1 RESULTADOS EN LOS DIFERENTES MEDIOS	67

5.1.1 PÉRDIDA DE MASA	67
5.1.2 AUMENTO DE LA DUREZA	69
5.2 SELECCIÓN DE LOS POSIBLES INHIBIDORES	70
5.2.1 SELECCIÓN DE CARBONATO DE SODIO	71
5.3 SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA (SLC)	72
5.4 PREVISIÓN DE DAÑOS	72
5.5 AHORRO MEDIANTE EL USO DEL HIDROGEL	73
5.5.1 ESTUDIO A PEQUEÑA ESCALA	76
5.5.2 ESTUDIO A GRAN ESCALA	77
6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	79
6.1 EVALUACIÓN DE OBJETIVOS	79
6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN EN LOS DIFERENTES MEDIOS	79
6.3 COMPORTAMIENTO DE LOS INHIBIDORES	80
6.4 FABRICACIÓN DEL HIDROGEL	80
6.5 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA	80
6.6 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN EN LA MATERIA	81
BIBLIOGRAFÍA	83
7 ANEXOS	87
7.1 ANEXO I: PERFILOMETRÍA ÓPTICA	87
7.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	87
7.1.2 INGENIERÍA ÓPTICA	88
7.2 ANEXO II: MEDIDAS DE SEGURIDAD BÁSICAS EN EL LABORATORIO	89
7.2.1 NORMAS PERSONALES	89
7.2.2 NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	89
7.2.3 NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Oxidacion-Reduccion [5]	14
Ilustración 2 Diagrama de Pourbaix para el sistema cobre-agua a 25 °C. [6]	15
Ilustración 3 Pilas voltaicas [5]	17
Ilustración 4 Electrolisis [5]	17
Ilustración 5 Embarcación corrosión ambiental [6]	18
Ilustración 6 Corrosión galvánica [6]	18
Ilustración 7 Corrosión en medio ácido [6]	19
Ilustración 8 Corrosión Bioquimica [7]	19
Ilustración 9 Cobre [9]	20
Ilustración 10 Densificación [12]	23
Ilustración 11 Ánodo galvánico en la obra de un barco [13]	24
Ilustración 12 Sistemas de liberación controlada [16]	28
Ilustración 13 Ejemplo inhibidores orgánicos [23]	31
Ilustración 14. Seleccíon del inhibidor A1- Carbonato de sodio A2- Benzotriazol 3% A3 - Tartrato sódico-potásico 25% A4- Citrato de amonio + Benzotriazol 3% [24]	31
Ilustración 15 Proceso de esferificación [28]	33
Ilustración 16 Esquema Síntesis Benzotriazol [32]	37
Ilustración 17 Esquema Tartrato sódico potásico [35]	37
Ilustración 18. Esquema carbonato sódico [39]	39
Ilustración 19 2ª Prueba distintas concentraciones	43
Ilustración 20 Alambre experimento 2 horas NaOH donde se observa mayor corrosión en la pieza de la izquierda, sometida a una disolución 5M de NaOH durante 2 horas	48
Ilustración 21 Antes vs después en NaOH	49
Ilustración 22 Foto general de piezas experimentadas	53
Ilustración 23 1% Benzotriazol antes (izquierda) y después (derecha)	55
Ilustración 24 Piezas selección del inhibidor	60
Ilustración 25 Proceso de obtención del hidrogel	61
Ilustración 26 Hidrogel	62
Ilustración 27 Pieza en HCl con hidrogel	63
Ilustración 28 Proceso de evaluación de la inhibición del hidrogel	64
Ilustración 29 Disolución Quitosan en HCl 0.05M	64
Ilustración 30 Hidrogel reposo	65

Ilustración 31 Sistema de liberación controlada.....	65
Ilustración 32 Corrosión tubería de cobre en instalación hidráulica [46]	73
Ilustración 33 Precio tuberías 1m [49]	74
Ilustración 34 Precio cloruro de calcio [49]	75
Ilustración 35 Precio carbonato de sodio [50].....	75
Ilustración 36 Precio alginato de sodio [51].....	76
Ilustración 37 Moneda perfilometría.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Reacciones del sistema cobre-agua correspondientes al diagrama de Pourbaix	16
Tabla 2 Potenciales respecto hidrogeno.....	21
Tabla 3 Material utilizado	34
Tabla 4 Datos másicos prueba inicial.....	43
Tabla 5 Datos de masas obtenidos en la 2ª Prueba.....	44
Tabla 6 Datos dif.masas para HCL.....	45
Tabla 7 Dif masas para NaOH.....	47
Tabla 8 Datos de masa 2 horas en HCL.....	50
Tabla 9 Datos de masa 2 horas en NaOH.....	50
Tabla 10 Durezas en HCL	51
Tabla 11 Durezas en NaOH.....	51
Tabla 12 Durezas NaOH en 1.5H.....	52
Tabla 13 Prueba inicial inhibidor.....	53
Tabla 14 Datos con Tatrato sodico potasico como inhibidor.....	55
Tabla 15 Datos con citrato de amonio como inhibidor	56
Tabla 16 Datos con carbonato sódico como inhibidor	57
Tabla 17 Datos con Benzotriazol como inhibidor.....	58
Tabla 18 Datos comparativos inhibidores	59
Tabla 19 Datos de masa con hidrogel.....	63
Tabla 20 Datos de dureza con hidrogel.....	63
Tabla 21 Datos inhibición con SLC	66
Tabla 22 Datos de coste a pequeña escala.....	76
Tabla 23 Coste cambio de instalación es de cobre	77
Tabla 24 Coste protección de instalaciones de cobre mediante hidrogeles.	77

INDICE DE GRÁFICOS Y GRÁFICAS

Grafica 1 Pérdida de masa-concentracion 2ªPrueba HCL.....	44
Grafica 2 Dif.masas-concentracion en media hora HCL.....	46
Grafica 3 Perdida de masas-concetracion en 1 hora HCL.....	46
Grafica 4 Dif.masas-concentracion en una hora y media HCL.....	46
Grafica 5 Dif.masas-concentracion en dos horas HCL.....	47
Grafica 6 Dif.masa-concentracion en media hora NaOH.....	48
Grafica 7 Dif.masas-concentracion en 2 horas NaOH.....	49
Grafica 8 Porcentaje inhibidor-Dif.masas.....	54
Grafica 9 Porcentaje inhibidor-Dif.masas Tartrato sódico-potasico.....	56
Grafica 10 Grafica porcentaje citrato de amonio-Dif.masas.....	57
Grafica 11 Grafica porcentaje Benzotriazol- Dif.masas.....	58
Grafica 12 Comparación de inhibidores.....	59
Grafica 13 Comparación pérdida de masa en medio básico.....	68
Grafica 14 Comparación de pérdida de masa en medio ácido	68
Grafica 15 Comparación dureza en NaOH.....	70
Grafica 16 Comparación de inhibidores.....	71
Grafica 17 Porcentaje inhibición de los reactivos	72

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 MARCO HISTÓRICO

En los inicios de la civilización los metales puros más usados eran el Oro (Au), la Plata (Ag) y el Cobre (Cu) que, al estar contenidos en el mineral, no reaccionaban con el entorno, y por tanto apenas sufrían corrosión. Sin embargo desde que se extendió el uso de metales “no nobles” y empezaron a extraerse de las menas, se notó que estos metales, reaccionaban con el medio en el que estaban inmersos. Fue tal la importancia que desde el primer momento se le dio a la corrosión en los metales que, el hierro forjado español estuvo altamente cotizado, hasta aproximadamente el año 1500, debido a sus bajos niveles de corrosión que sufrían en comparación con hierros de otros lugares de Europa.

El control de la corrosión ha centrado la atención de diferentes sectores. En lo que respecta al ámbito naval, el primer barco de hierro, fue botado en 1822 fecha en la que en el sector naval se comprendió la importancia que tenía el desarrollo de sistemas de protección de metales debido a la pérdida de hierro en el casco del barco a una velocidad preocupante. [1]. Dentro del ámbito industrial y, desde los comienzos de la Revolución Industrial, a mediados del siglo XVIII, se comenzó a buscar posibles soluciones para intentar frenar la corrosión de los metales con los que se trabajaba, ya que este fenómeno suponía una serie de costes añadidos a las industrias. En los países industrializados estos costes se estiman en 3-4% del PIB. [2]. En 1969, en Inglaterra, se llegó a formar una comisión formada por veintinueve especialistas cuyo objetivo fue determinar el alcance económico de la corrosión de los metales, además de buscar técnicas que paliaran dicho problema.

La preocupación por proteger los metales contra la corrosión aumentó considerablemente como camino alternativo para alargar la vida media de la maquinaria de extracción de petróleo, sobre todo en aquellas zonas altamente corrosivas como el medio marino.

En los últimos 50 años se ha avanzado bastante en el desarrollo de métodos y técnicas contra la degradación de los metales, además de los medios para la prevención de la corrosión en metales, gracias al apoyo de los distintos gobiernos que veían como este problema suponía un coste económico impredecible, año tras año.

Aplicar tecnologías de control de la corrosión al diseñar, escoger los materiales más adecuados y procesos idóneos puede conducir a ahorros entre el 20-30% además de evitar efectos negativos sobre el medioambiente como: desprendimiento de gases, aumento de productos residuales, contaminación de las aguas y suelos, etc. También la corrosión tiene efectos sobre la seguridad, ya que se conocen explosiones en tanques de altas presiones o roturas de tuberías afectadas por corrosión. [2]

1.2 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Todos los materiales tienden a la corrosión debido a su intrínseca naturaleza de intentar buscar estados más estables o de menor energía.

Los materiales obtenidos de la minería son el resultado de procesos de purificación que son llevados a cabo para conseguir separar el metal puro de su forma mineral, convirtiendo al metal en no estable y tendiendo este, a la corrosión. Por lo que el estudio de la corrosión de los metales se hace sumamente útil, y más, al saber que cerca del 3% del PIB de un país se puede llegar a perder por efectos derivados de la corrosión.

El estudio de la corrosión de metales consiste en analizar los factores que producen este fenómeno, aplicar métodos para frenarlo o incluso llegar a detenerlo.

La acción corrosiva está presente en la vida cotidiana ya que se trata de un proceso que afecta a todos los metales. Es por esto que ingeniar y diseñar métodos para la protección de los metales es un objetivo común y vital en el ámbito de la ingeniería de materiales y por ello es de gran importancia que se estudie con detenimiento tanto el proceso de corrosión como aquellos métodos y mecanismos posibles para evitarla.

Ante la necesidad de indagar en los medios de protección de los metales frente a la corrosión, se expone el presente trabajo en el que se analizarán los procesos de corrosión y oxidación, desde un punto de vista general, haciendo hincapié en la corrosión de un metal en concreto: el Cobre.

Se estudiará desde diversos puntos de vista los distintos métodos de protección de metales procediendo a su comparación con la inhibición mediante hidrogeles, cuyo efecto se estudiará de forma empírica.

El trabajo se centrará en el estudio de la inhibición de la corrosión en el cobre mediante hidrogeles realizados con Alginato de Sodio.

Como objetivo final se estudiará la posibilidad de llevar a cabo la inhibición de la corrosión en piezas de este metal mediante mecanismos de liberación controlada en una matriz polimérica mixta de alginato y quitosán.

El trabajo consta de 4 partes experimentales:

1. Estudio de la corrosión en piezas de Cobre.
2. Selección del inhibidor.
3. Fabricación de hidrogeles que contienen el inhibidor, con Alginato de Sodio.
4. Fabricación de sistemas de liberación controlada.

1.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.3.1 PROCESO DE CORROSIÓN GENERAL

Los metales y demás materiales están expuestos continuamente a la acción del atmosfera, cuya composición es 79% de Nitrógeno y 21% de Oxígeno, en términos generales. El Nitrógeno es un gas prácticamente inerte por lo que se deduce que, la acción corrosiva de la atmosfera, la protagoniza principalmente el Oxígeno. No obstante, la presencia del Oxígeno no es suficiente para producir la corrosión en metales, ya que estos son eléctricamente muy estables, el deterioro de estos materiales se produce por un conjunto de fenómenos denominados agentes colaboradores.

Se pueden diferenciar dos agentes colaboradores principales: calor y humedad.

El calor se considera el agente que más influye en la oxidación de los metales y la humedad, como el que más afecta en el proceso de corrosión de los metales. Ambos procesos, que se desarrollaran en este trabajo, son diferentes pero se pueden utilizar los mismos métodos para inhibir corrosión y oxidación en los metales. [3]. La corrosión por tanto, es la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior.

El proceso de corrosión que es llevado a cabo por el oxígeno se denomina corrosión atmosférica pero también existe la corrosión química, que es la producida por la acción de los ácidos y los álcalis. Como en la atmósfera siempre hay un porcentaje de humedad en el aire, los metales se destruyen por corrosión más que por oxidación. Este proceso es más importante en el caso de que el metal este en contacto directo con un medio altamente corrosivo, por ejemplo, en ambientes marinos donde puede llegar a desaparecer por completo. En la acción corrosiva del aire intervienen una combinación de elementos como la humedad, óxido de carbono y de azufre, y partículas sólidas en suspensión.

Como se ha mencionado, la corrosión produce grandes pérdidas económicas y desgracias por el desgaste de piezas en instalaciones industriales como en calderas. Desde el punto de vista económico, se estima que solo en EE.UU la corrosión produce unos gastos de 20 mil millones de euros anuales.

Los metales más afectados por este fenómeno químico son: Níquel, Cobre y Hierro y este trabajo se centrará en el estudio de la corrosión del cobre y de posibles mecanismos de inhibición.

1.3.2 OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

En sus inicios el concepto de oxidación se asociaba al incremento de átomos de oxígeno por parte de un material y, por ende, la reducción consistía en el decremento de átomos de oxígeno.

Los estudios sobre la oxidación han demostrado que el concepto inicial de oxidación era erróneo, y que la oxidación consiste en la pérdida de electrones por un material (o aumento del número de oxidación) y la reducción es la ganancia de electrones (o disminución del número de oxidación).

Siempre que se produzca una reacción de oxidación es necesario que se produzca una reacción de reducción. Estas dos reacciones reciben el nombre de semirreacciones de la reacción oxidación-reducción, más conocido como proceso Redox. [4]

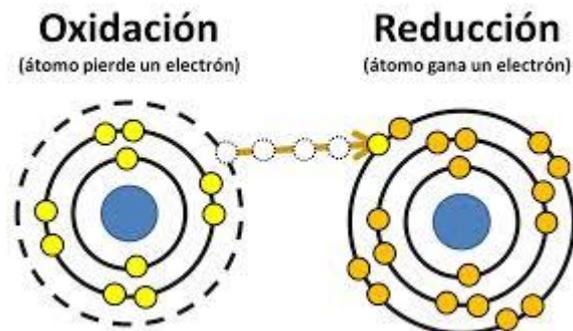


Ilustración 1 Oxidacion-Reduccion [5]

1.3.3 SUSTANCIAS OXIDANTES Y REDUCTORAS

Según tengan tendencia a ganar o a perder electrones, los elementos, se pueden dividir en oxidantes y reductores, en un proceso de oxidación-reducción. El elemento oxidante es la sustancia que tiende a ganar electrones y el reductor será el elemento que tiende a ganarlos. Por ejemplo en una reacción de oxidación-reducción entre el Cobre (Cu) y el Hierro (Fe), el reductor será el Hierro y el cobre el oxidante. [4]



Además, el estado de oxidación en el que se encuentra el cobre depende del estado de aireación, o potencial, y del pH. Para conocer en qué rangos es estable el cobre se utilizan los diagramas de Pourbaix, que son una representación gráfica que muestra las regiones de estabilidad termodinámica de las especies en los sistemas metal-electrolito acuoso (ASTM G 15-93). En la Ilustración 2 se muestran las áreas de estabilidad termodinámica de las especies sólidas o acuosas en función del potencial y del pH a 25 °C.

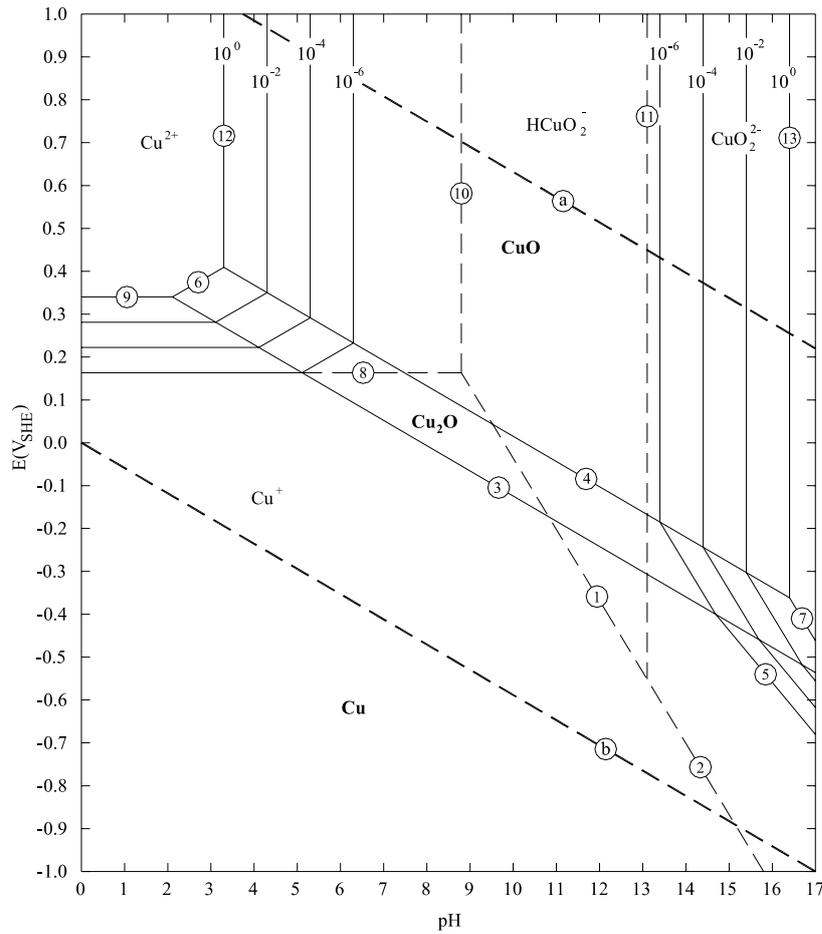


Ilustración 2 Diagrama de Pourbaix para el sistema cobre-agua a 25 °C. [6]

Tal y como se observa en la Ilustración, a valores de pH bajos y bajos estados de aireación el cobre es estable. A valores de pH básicos puede iniciarse su oxidación, aún con déficit de oxígeno. En ambientes aireados, es decir, con potenciales superiores a 0,0 V, la oxidación del cobre es inevitable. En estos procesos de oxidación el cobre puede solubilizarse en medio líquido formando Cu^+ o Cu^{2+} o bien puede reprecipitar en otra forma de cobre de mayor estado de oxidación, como CuO o Cu_2O .

Las reacciones de oxidación del cobre descritas en el diagrama de Pourbaix, a diferentes valores de potencial y pH, se detallan en la tabla siguiente (Tabla 1):

Reacciones de oxidación –reducción con H^+		
Tipo	Ecuación	Número
Homogénea	$HCuO_2^- + 3H^+ + e^- \rightleftharpoons Cu^+ + 2H_2O$	1
	$CuO_2^{2-} + 4H^+ + e^- \rightleftharpoons Cu^+ + 2H_2O$	2
Heterogénea con dos especies sólidas	$Cu_2O + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2Cu + H_2O$	3
	$2CuO + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Cu_2O + H_2O$	4
Heterogénea con una especie sólida	$CuO_2^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Cu + 2H_2O$	5
	$2Cu^+ + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons Cu_2O + 2H^+$	6
	$2CuO_2^{2-} + 6H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Cu_2O + 3H_2O$	7
Reacciones de oxidación –reducción sin H^+		
Tipo	Ecuación	Número
Homogénea	$Cu^{2+} + e^- \rightleftharpoons Cu^+$	8
Heterogénea con una especie sólida	$Cu^{2+} + e^- \rightleftharpoons Cu$	9
Reacciones químicas con H^+		
Tipo	Ecuación	Número
Homogénea	$Cu^+ + 2H_2O \rightleftharpoons HCuO_2^- + 3H^+$	10
	$HCuO_2^- \rightleftharpoons CuO_2^{2-} + H^+$	11
Heterogénea con una especie sólida	$2Cu^+ + H_2O \rightleftharpoons CuO + 2H^+$	12
	$CuO + H_2O \rightleftharpoons CuO_2^{2-} + 2H^+$	13

Tabla 1 Reacciones del sistema cobre-agua correspondientes al diagrama de Pourbaix

1.3.4 TIPOS DE REACCIONES REDOX

La clasificación de los tipos de reacciones Redox se puede realizar atendiendo al concepto de espontaneidad. Se entiende por proceso espontáneo aquel en el que se produce una liberación de energía, en un determinado periodo de tiempo, producida por una reacción entre dos reactivos. [4]. Según la espontaneidad de las reacciones Redox, se diferencian dos tipos de reacciones distintas:

1. **Reacciones espontáneas:** En estas reacciones se produce energía eléctrica a partir de la energía que se libera en una reacción química. Ejemplo: Pilas voltaicas

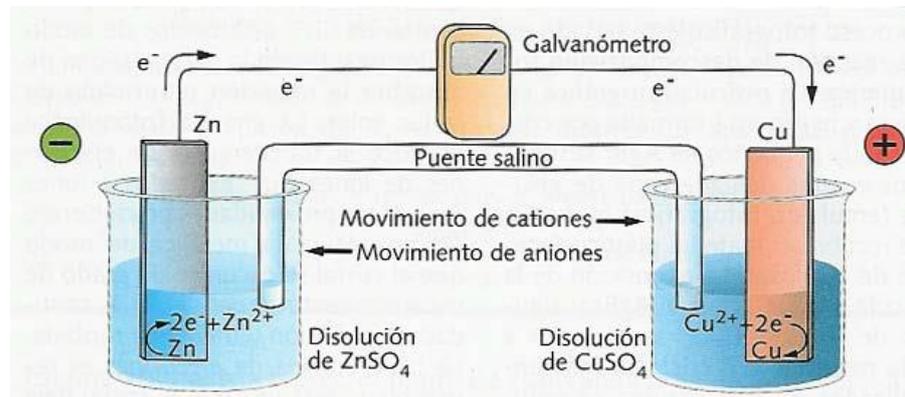


Ilustración 3 Pilas voltaicas [5]

2. **Reacciones no espontáneas:** En estas reacciones se producen sustancias químicas a partir del suministro de energía eléctrica acumulada. Ejemplo: Electrolisis

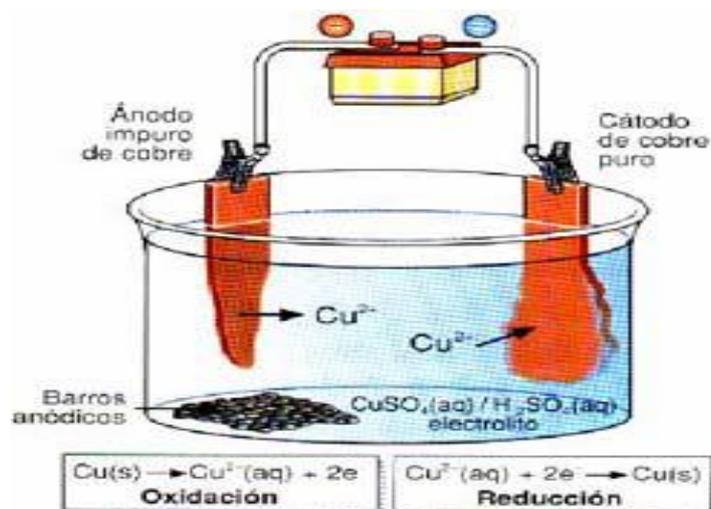


Ilustración 4 Electrolisis [5]

1.3.5 TIPOS DE CORROSIÓN

La corrosión es un proceso complejo cuyo mecanismo de acción, aún en nuestros días, no se ha descubierto en su totalidad. Para todos los metales, de forma general, la corrosión ocurre según dos mecanismos principales: electroquímico o químico [2] y puede originarse de diferentes formas:

- **Corrosión por acción electroquímica:** este tipo de corrosión tiene lugar en los metales atacados por el agente corrosivo en presencia de un electrolito, con una fuerza electromotriz exterior. Este tipo es el que tiene lugar en los metales en contacto con la atmósfera, sumergidos en agua o enterrados.



Ilustración 5 Embarcación corrosión ambiental [6]

- **Corrosión galvánica:** Es un tipo corrosión electroquímica en la que el proceso se lleva a cabo sin fuerza electromotriz exterior y que tiene lugar cuando entran en contacto dos metales con potenciales de reducción diferentes originando una celda de concentración.



Ilustración 6 Corrosión galvánica [6]

- **Corrosión química:** producida principalmente por los ácidos y álcalis.



Ilustración 7 Corrosión en medio ácido [6]

- **Corrosión bioquímica:** Es producida principalmente por bacterias aerobias como la *Gallionella ferruginea*. Este tipo de bacterias son específicas para cada metal/aleación y no atacan directamente al metal sino que su intervención en el proceso corrosivo consiste en facilitar una serie de reacciones que desgastan los metales.



Ilustración 8 Corrosión Bioquímica [7]

1.3.6 COBRE

El Cobre (Cu), es un metal de transición que, junto con la Plata (Ag) y el Oro (Au), forma la familia denominada “familia de los cobres”. Es el segundo metal más utilizado debido a sus propiedades mecánicas y químicas. Se trata de un material muy maleable y dúctil, por lo que se utiliza en las líneas de tendido eléctrico, entre sus diferentes usos. Además, el cobre, es reciclable un número alto de veces sin perder sus propiedades mecánicas ni químicas. Sus números de oxidación son +1 y +2, pero al ser un metal de transición es altamente estable químicamente. [8]



Ilustración 9 Cobre [9]

1.3.7 CORROSIÓN DEL COBRE

En presencia de oxígeno se forma una capa protectora de óxido de Cobre (II), denominado óxido cúprico o Tenorita y de Sulfato de Cobre, denominada pátina. La pátina es lisa e insoluble en agua y permite la protección del metal del medio que lo rodea manteniendo las propiedades químicas y mecánicas de este. Sobre la pátina se deposita otra capa constituida por sales cúpricas que mejoran la protección del metal.

La corrosión es un fenómeno que se basa en la transferencia de electrones que necesita el metal para que el potencial sea diferente al de los cationes de la solución en la cual están en contacto. Estos iones en la mayoría de las soluciones son de hidrógeno por lo que se mide el potencial de los metales con respecto a él. Se define entonces, un grupo de metales denominados metales nobles, formado por: Plata, Oro, Cobre, Mercurio y Platino.

Estos metales, tienen tendencia a captar electrones con respecto al hidrógeno por lo que su potencial es positivo respecto al potencial del hidrógeno. Esto se observa en la Tabla 2

<i>REACCIÓN DE OXIDACIÓN</i>	<i>POTENCIAL ELECTRODO</i>
$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^-$	+1.498
$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^-$	+1.200
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$	+0.771
$Na \rightarrow Na^+ + e^-$	-2.714
$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$	-2.363
$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	-1.622
$Mn \rightarrow Mn^{2+} + 2e^-$	+1.180
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	-0.763
$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^-$	+0.763
$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^-$	-0.277
$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^-$	-0.440
$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^-$	-0.250
$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$	-0.136
$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^-$	-0.126
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	+0.337

Tabla 2 Potenciales respecto hidrogeno [5]

1.3.8 TIPOS DE ATAQUES QUE SUFRE EL COBRE

El Cobre, como la mayoría de los metales y aleaciones, puede sufrir diversas formas de corrosión que dependerá de las condiciones ambientales. [10]. En este punto se clasifican y definen los diferentes tipos de ataques que sufre específicamente el cobre:

1.3.8.1 CORROSIÓN UNIFORME

Se trata del ataque uniformemente distribuido sobre una superficie con poca penetración que produce principalmente una pérdida de la masa que se puede apreciar en el adelgazamiento del metal.

Es el tipo de ataque menos dañino para el cobre y se puede utilizar la pérdida de peso para estimar la corrosión y la velocidad de penetración. Esta corrosión se produce en el cobre y sus aleaciones por un contacto prolongado a ambientes tales como agua dulce, agua salada, soluciones neutras, alcalinas y ácidas.

1.3.8.2 CORROSIÓN GALVANICA

Se produce cuando un metal está inmerso en una solución conductora (electrolito), existiendo siempre un potencial electroquímico.

Si dos metales diferentes están inmersos en un electrolito, se produce un potencial electroquímico que origina la corrosión del metal más electronegativo, es decir del ánodo, quedando el más electropositivo, el cátodo, “protegido”.

En el caso del cobre y sus aleaciones, son metales catódicos con respecto a otros metales, por lo que inmersos en una solución conductora, por ejemplo con Aluminio, el cobre será el metal más electropositivo y no se corroerá. En contacto con níquel, titanio o grafito, por ejemplo, el cobre se corroe por la periferia

1.3.8.3 PICADO

Al igual que la mayoría de los metales comerciales, el cobre también sufre Picado o Pitting (denominación anglosajona). En algunos casos el picado se generaliza sobre toda la superficie de un metal dándole una apariencia irregular y rugosa.

Otro tipo de picado, es el picado localizado que produce porosidades en una zona concreta del metal debilitándolo y haciendo que soporte menos carga nominal. Este tipo específico de picado localizado es más dañino para el metal ya que merma las propiedades mecánicas del cobre.

El picado no es habitual en el cobre y sus aleaciones pero se han dado casos en los que se ha producido picado en estructuras de cobre sumergidas en agua dulce y salada, durante largos períodos de tiempo.

1.3.8.4 CORROSIÓN EN HENDIDURAS

Es considerada una forma de corrosión localizada que se produce cerca de una hendidura en la superficie del metal. Al igual que el picado, no afecta directamente al cobre pero, sin embargo, la corrosión en hendidura es más habitual en el cobre que el picado ya que necesita un tiempo de exposición menor, a un ambiente, por ejemplo, en agua, que el picado. La corrosión en hendidura se produce por una disminución del oxígeno y por el ataque dentro de las fisuras.

1.3.8.5 IMPACTO

El choque de gases, vapores o líquidos contra la superficie de un metal a altas velocidades, origina la destrucción de la película protectora presente en las aleaciones de cobre. La eliminación de esta película protectora hace que la tasa de corrosión aumente exponencialmente. El impacto en sí, analizado como único factor, no produce la corrosión pero se incluye dentro del ataque corrosivo que sufre el cobre debido a que aumenta la velocidad de corrosión. Sucede lo mismo con el ataque por erosión-corrosión, aunque este proceso aumenta en mayor medida la velocidad de corrosión y, sobre todo, facilita la corrosión por picado.

1.3.8.6 CAVITACIÓN

En aguas en movimiento se produce una caída de presión local que dará lugar a la formación de burbujas de vapor que ascenderán impactando sobre la superficie del metal con una presión cercana a los 1380 MPa. De las aleaciones del cobre, el bronce al aluminio es la que presenta mayor resistencia a la cavitación.

1.3.8.7 CORROSIÓN INTERGRANULAR

Es una forma de ataque poco frecuente por vapor a alta presión. Esta corrosión penetra en el metal a lo largo de los límites grano. Este tipo de corrosión afecta sobre todo a los latones y bronce, aleaciones del cobre.

1.3.8.8 DEALEACIÓN

Es un proceso de corrosión en el que, en una aleación el metal más activo es removido selectivamente, dejando un débil depósito del metal más noble. En las aleaciones de Cobre y Zinc este tipo de corrosión recibe el nombre de desnicificación. En la desnicificación se remueve el Zinc quedando una capa de cobre porosa y débil, además de oxidar el Cobre.



Ilustración 10 Desnicificación [12]

1.3.9 MÉTODOS Y MECANISMOS DE PROTECCIÓN DE METALES

Para la protección de metales la familia de mecanismos más utilizada es la protección catódica (CP). Esta protección consiste básicamente en incluir un metal que se desgaste más fácilmente con el medio, en cualquier estructura. De forma general, se describen diferentes mecanismos de protección de metales:

1. **Protección catódica galvánica (CP galvánica):** El metal que se incluye se denomina ánodo galvánico o de sacrificio. El ánodo, puede ser de Zinc, Magnesio, Aluminio o distintas aleaciones de los anteriores.

Los ánodos deben tener una tensión más activa que la estructura principal, es decir, el potencial electroquímico de los ánodos debe ser más negativo que, por ejemplo, el casco de un buque. Para que este mecanismo sea eficaz la superficie del metal debe ser polarizada más negativa hasta que la superficie tenga un potencial uniforme para que la fuerza impulsora de la acción de corrosión se

elimine. A partir de este momento, la acción de corrosión la llevara a cabo en el ánodo de sacrificio hasta que este tenga que ser remplazado, como se aprecia en la Ilustración 11. [12]



Ilustración 11 Ánodo galvánico en la obra de un barco [13]

2. **Protección catódica por corriente forzada (CIPC):** Este tipo de protección es utilizada en estructuras grandes donde los ánodos galvánicos son incapaces de suministrar la suficiente corriente para una protección completa y eficaz. En este método, se utiliza un sistema de ánodos conectado a un generador de corriente continua. Los ánodos suelen ser de Silicio, Hierro, Grafito, Platino o niobio.

Estos sistemas suelen utilizar un generador de corriente alterna y mediante un rectificador de corriente continua se consigue una corriente continua de salida de entre 10 y 50 Amperios y 50 voltios.

Este método de protección, está extendido en estructuras que están sumergidas en medios marinos, como los gaseoductos y plataformas petrolíferas. [12]

3. **Galvanizado en caliente:** Consiste en recubrir un metal con una capa de Zinc. Normalmente es un método de protección para el acero, aunque su aplicación se puede extender para proteger otros metales. Los recubrimientos de galvanizado en caliente son estables y muy duraderos en cualquier tipo de medio.

Haciendo un símil con la protección catódica mediante ánodos de sacrificio el galvanizado en caliente, no deja de ser un ánodo de sacrificio que se extiende en toda la estructura del metal protegido, pero que, en este caso, todo el metal está cubierto de Zinc, por lo que la protección es más eficaz. [12]

4. **Protección anódica:** Es un método que consiste en recubrir un metal con una capa fina de óxido. Este tipo de protección tiene el inconveniente que solo es aplicable en metales y aleaciones pasivables (propiedad de algunos metales para permanecer inertes en algunos medios, mediante la

formación de una fina capa de óxido que ralentiza el intercambio de iones). Los equipos son muy costosos y requieren un mantenimiento específico.

La pasivación de los metales se puede realizar mediante dos mecanismos:

1. Formación de una capa de óxidos de muy pequeño espesor, compacta, adherente y de baja porosidad que aisle el metal del medio.
2. Mediante una capa monoatómica de oxígeno absorbida sobre la superficie metálica formando una capa de óxidos de muy pequeño espesor pero compacta, adherente y muy baja porosidad que prácticamente aísla el metal del medio.

La protección anódica es ampliamente utilizada para la protección de metales como el Aluminio, Níquel y sus aleaciones y Titanio, en Ácido sulfúrico, Ácido clorhídrico, y en disoluciones orgánicas y básicas. [15]

1.3.10 RECUBRIMIENTOS PROTECTORES DEL COBRE

Las aleaciones de cobre presentan una alta resistencia a la corrosión en muchos ambientes debido a que, al reaccionar uno o más componentes, forman una capa inerte en la superficie del metal que actúan como protectores. En algunos casos, la aplicación de recubrimientos protectores (metálicos u orgánicos) permite al metal un mayor soporte frente a la corrosión, aumentando así su tiempo de vida. [10]. De entre los posibles recubrimientos se describen dos de ellos, por su amplia aplicación a la protección del cobre:

1.3.10.1 ESTAÑO

El recubrimiento del Cobre con una capa de estaño permite defender al Cobre de la corrosión causada por Azufre (S).

Este recubrimiento es utilizado principalmente en zonas donde el cobre está en contacto con gases de chimeneas u otras combustiones que contengan Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) y resulta muy eficaz en zonas y marinas.

1.3.10.2 ELECTROCHAPADO CON CROMO O NIQUEL

Este tipo de recubrimiento se incluye dentro de los recubrimientos protectores del cobre, aunque no es eficaz como protección frente a la corrosión, sino que es usado para mejorar la resistencia al desgaste o reflectividad. Sucede algo similar con los recubrimientos orgánicos, que se utilizan mayoritariamente para dotar al cobre de mayor brillantez.

Como recubrimiento protector del cobre es más utilizado el electrochapado con níquel.

1.3.11 INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN

Se trata de sustancias que se introducen en una pequeña proporción en el medio corrosivo, reduciendo la velocidad de corrosión del metal. Para el cálculo de la capacidad inhibidora de estas sustancias se utiliza el concepto de eficiencia de inhibición. [15]

$$EFICIENCIA = \frac{C.CORROSIÓN.(S.INH) - C.CORROSIÓN.(C.INH)}{C.CORROSIÓN.(S.INH)} \times 100$$

$C.CORROSIÓN.(S.INH)$ = Medida de la corrosion sin inhibidor
 $C.CORROSIÓN.(C.INH)$
= Medida de la corrosion con inhibidor

Los inhibidores de la corrosión se pueden clasificar en tres tipos:

1. Pasivadores.
2. Inhibidores orgánicos
3. Inhibidores en fase vapor

1.3.11.1 PASIVADORES

Las sustancias pasivadoras son sustancias inorgánicas oxidantes que pasivan el metal y desplazan el potencial de corrosión hacia valores más positivos. Se consigue así interrumpir el intercambio iónico entre el metal y el medio.

1.3.11.2 INHIBIDORES ORGÁNICOS

Dentro de los inhibidores orgánicos se diferencian dos tipos distintos: Pickling y Slushing.

1. **Inhibidores orgánicos Pickling:** Funcionan formando una monocapa que evita la descarga de iones H^+ . Este tipo de inhibidores no cambia el potencial de corrosión pero si reduce la velocidad de corrosión. Este tipo de inhibidores orgánicos es efectivo en disoluciones ácidas.

2. **Inhibidores orgánicos Slushing:** Es lo mismo que los inhibidores orgánicos Pickling, solo que estos, al contrario que los inhibidores Pickling, son efectivos en disoluciones básicas y neutras. Se trata de sustancias aditivas como aminas. [15]

1.3.11.3 INHIBIDORES EN FASE VAPOR

Son sustancias con un determinado valor de presión de vapor, que son capaces de evaporarse y condensarse sobre la superficie a proteger y que, por lo tanto, poseen propiedades inhibitorias de la corrosión. La ventaja frente a las ceras y grasas (Inhibidores orgánicos) es que pueden ser aplicados directamente aunque también, tiene problemas como la aceleración de la corrosión de los metales que no son ferrosos.

Los principales inhibidores de la corrosión en fase vapor son: Nitrito de dicitohexilamonio y Carbonato de ciclohexilamina. [15]

1.3.12 MECANISMOS DE LIBERACIÓN CONTROLADA

En la mayoría de los sistemas de liberación controlada el agente biológico se introduce dentro de un transportador, que suele ser una cápsula de un material polimérico. La velocidad de liberación de la

sustancia principal estará, por tanto, controlada por las propiedades del polímero aunque también influyen factores como el pH del medio, concentración salina y su viscosidad.

Estos sistemas son ampliamente utilizados en la administración de fármacos ya que permiten que el organismo humano puede asimilar las dosis liberadas del fármaco y en muchos casos, constituyen un método para evitar efectos secundarios. [16]. El transportador también puede actuar como protector de la sustancia en ocasiones en las que se quiere salvar una zona reactiva.

Se pueden diferenciar cuatro mecanismos generales en los que se puede encuadrar los mecanismos de liberación controlada:

1. Sistemas controlados por difusión
2. Sistemas controlados químicamente
3. Sistemas activados por un disolvente
4. Sistemas controlado magnéticamente

1.3.12.1 SISTEMAS CONTROLADOS POR DIFUSIÓN

En general, la difusión está presente en todos los sistemas de liberación y es el mecanismo que generalmente se usa. Consiste en la restricción de liberación de masa del transportador en un medio líquido.

El coeficiente de difusión del agente bioactivo a través del polímero (Transportador), depende de las características estructurales y morfológicas del mismo y de la concentración del agente bioactivo en su interior. [16]

1.3.12.2 SISTEMAS CONTROLADOS QUIMICAMENTE

Son sistemas en los que la dosificación está controlada por vía química, es decir, la liberación del principio activo, se produce mediante una reacción química que puede ser:

1. Ataque hidrolítico o enzimático
2. Ionización

Aunque hay distintas posibilidades en el diseño de estos sistemas el modelo más aceptado es el de Ringsdorf. Este modelo propone que el enlace covalente que se produce entre el agente bioactivo y el transportador debe de establecerse a través de grupos funcionales que puedan ser degradados en un medio fisiológico. [16]

1.3.12.3 SISTEMAS ACTIVADOS POR UN DISOLVENTE

Se trata de matrices poliméricas o sistemas con depósito donde la liberación se controla por la penetración de un disolvente mediante ósmosis o hinchamiento.

Los sistemas controlados por hinchamiento son unos sistemas en los que el compuesto activo se encuentra disuelto o disperso en el polímero el cual, al ponerse en contacto con un medio acuoso, se

hincha sin disolverse. Estos sistemas poliméricos se denominan hidrogeles y permiten conseguir una velocidad de liberación casi constante. [16]

Los distintos sistemas y mecanismos de liberación controlada se representan en la Ilustración 12.

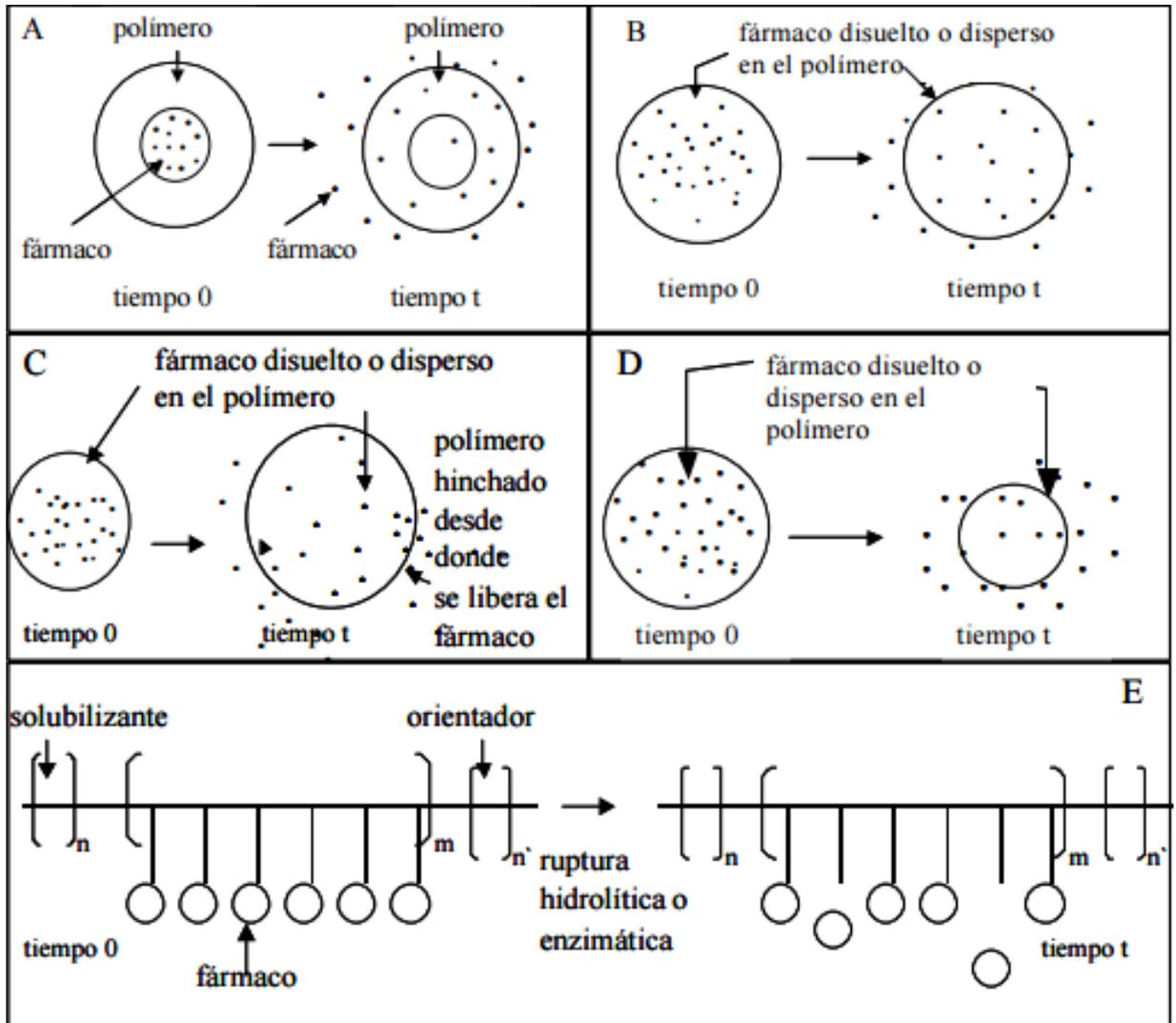


Ilustración 12 Sistemas de liberación controlada [16]

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 MEDIOS CORROSIVOS

Actualmente se considera oxidación a todo proceso en el que aumenta el número de oxidación de un elemento. Es decir, la oxidación consiste en la cesión de electrones de un elemento a otro.

En la oxidación de un metal, se añade oxígeno, por lo que la masa de un metal aumentará cuando se oxide. La velocidad con la que se oxida un metal es inversamente proporcional al tiempo el cual el metal, este en contacto con el oxígeno. Esto se debe a que a medida que la capa de oxígeno aumenta, los átomos del metal encuentran mayor dificultad para reaccionar con el oxígeno del ambiente. Sin embargo, el óxido nunca deja de formarse, sobre todo en piezas de Hierro (Fe) como el Acero al Carbono.

Para que se produzca la oxidación solo es necesario un agente: el oxígeno. La velocidad de esta oxidación aumenta exponencialmente si también existe la presencia de iones hidroxilos provocados por ambientes húmedos o agua. Así que, en contra de lo que comúnmente se cree, la oxidación no la realizan los medios acuosos, sino que la realiza el oxígeno presente en estos medios. De hecho, un medio acuoso, con una cantidad significativa menor de oxígeno, (ensayo de agua hervida), produce una menor oxidación.

La corrosión por definición es la destrucción o deterioro de un material a causa de la reacción con su medio ambiente. [17]. Debido a este concepto tan amplio, numerosos estudios han determinado que en particular, este medio ambiente, puede presentarse en los tres estados principales, líquidos, sólidos o gaseosos.

Dentro de los medios gaseosos el factor determinante para estimar su eficiencia corrosiva es la tendencia del medio a formar electrolitos líquidos. Esto dependerá de la humedad relativa, temperatura y de componentes y contaminantes volátiles presentes.

En un medio líquido los factores determinantes son: la conductividad del medio, pH y la tendencia a producir un film pasivo en el material (película pasiva). [18]

La corrosión natural es la que se produce en la Tierra, sin presencia de otros reactivos, como pueden ser algunos contaminantes. Esta degradación puede ser atmosférica, en agua dulce, en ambientes marinos y en materiales enterrados. La lluvia ácida, que produce una disminución del pH y una despolarización, los hidrocarburos, la contaminación por Óxidos de Nitrógeno derivados de fenómenos naturales como las erupciones de los volcanes, son algunos ejemplos que agentes corrosivos presentes en la naturaleza. [19]

En varios estudios y ensayos se llegó a la conclusión que un medio ácido de pH inferior al valor de 4 y un medio básico de pH superior a 10, produce una disolución de los metales debido a que los electrolitos

utilizados son eficaces aceptores de electrones. [20]. De modo que el pH de los medios es algo crítico a la hora de evaluar su poder corrosivo. En aguas levemente ácidas o básicas, el deterioro de los metales será mayor que en un agua destilada de pH neutro.

Para que la corrosión electroquímica, que es la que suele ocurrir en la naturaleza, pueda ocurrir, se necesita una zona anódica, que es la que sufre la corrosión, cediendo sus electrones, y una zona catódica, que capta estos electrones.

En un medio ácido, aparecen unas burbujas sobre la superficie metálica que muestran la existencia de infinitos cátodos, mientras que en los ánodos se va disolviendo el metal. Las zonas anódicas y catódicas de la disolución se cambian continuamente, llegando un momento en el que se disuelve el metal por completo.

El Cobre, también llamado metal rojo, es insoluble en medios salinos y orgánicos [21]. Pero en los ácidos este metal se disuelve muy bien, razón por la que en ácidos como el Ácido Sulfúrico o el Nítrico es utilizado en los procesos extractivos en la minería. Estos ácidos, generan una sal, en el caso de Ácido Sulfúrico, Sulfato de Cobre, de color verde azulado sobre la superficie del mineral. Luego algunos agentes corrosivos como el agua o la humedad ambiental, arrastran esta sal, eliminando de la superficie del metal. El proceso de creación de la sal se repite, siempre que el material este en contacto con el Ácido sulfúrico hasta, que finalmente, sea disuelto.

En un medio básico, el proceso consta de una oxidación de la superficie del metal formando óxido cúprico y cuproso (CuO y Cu_2O , respectivamente). El óxido es revocado de la superficie del metal en presencia de una fuerza externa que crea un flujo de la disolución. La principal diferencia es que, en este medio, el óxido no se diluye como ocurría en el caso de la sal de Sulfato de Cobre y por tanto, el proceso es corrosivo es más lento que en un medio ácido. Entre los ácidos más corrosivos, destaca el Ácido Fluorhídrico y el Bromhídrico, que además, son muy peligrosos.

2.2 ESTUDIOS SOBRE LOS INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN

Al hablar de inhibidores de la corrosión, nos solemos referir a todas aquellas sustancias químicas que, diluidas en una solución líquida y aplicadas sobre la superficie del metal, ayudan a mantener la estabilidad de los metales durante más tiempo, evitando la corrosión. [22]. Sin embargo, se debe señalar que estos productos químicos no protegen al metal sino que se trata de una solución temporal, que en la mayoría de los casos solo es eficaz a corto plazo.

Estos compuestos se pueden ser clasificados en dos tipos: inhibidores orgánicos e inorgánicos.

Los *inhibidores de la corrosión orgánicos* son compuestos de la familia de los ácidos carboxílicos, que mediante la combinación con sales orgánicas evitan el traspaso iónico a metales o medios más débiles o pasivos. Este tipo de inhibición se utiliza hoy en día debido a que permite inhibir la corrosión en metales sin perjudicar las propiedades del fluido que transporta el inhibidor, debido a que normalmente, los ácidos carboxílicos no son miscibles en medios acuosos. Pero estos inhibidores dependen en gran medida de la temperatura, pues no son efectivos trabajando a temperaturas mayores de 20 °C. Se debe mencionar que estos compuestos, menos excepciones puntuales, no son tóxicos. Aplicando una medida adecuada de un inhibidor orgánico se puede retrasar la corrosión natural de los metales, en zonas templadas, donde la temperatura no supere los 30 °C.

Algunos ejemplos de inhibidores orgánicos como se puede observar en la Ilustración 13, son ácido cianurito y ácido nitroisofltaico, ácido benzotiazolito (BTTSA) y sus sales de aminas y los complejos derivados del ácido tolulpropionico (TPA) con aminas o metales en transición. [23]

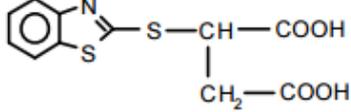
$\left[\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{-C(=O)-(CH}_2\text{)}_2\text{-COOH} \right]_2 \times \text{O} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{N-CH}_2\text{-CH}_3$	Aductos de amina-TPA	Irgacor [®] 1405
$\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{-C(=O)-(CH}_2\text{)}_2\text{-COOH} \times \text{ZrO(OH)}$	Complejo de Zr- TPA	CGCI 1930 (Irgacor [®] 1930)
	BTSA	Irgacor [®] 252 LD Irgacor [®] 252 FC
$\left[\begin{array}{c} \text{Benzotriazole-S-CH(COO}^- \text{)-CH}_2\text{-COO}^- \\ \text{2 } ^1\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	Sal de amina del BTSA	Irgacor [®] 153

Ilustración 13 Ejemplo inhibidores orgánicos [23]

El Benzotriazol es un compuesto orgánico que se ha utilizado en la elaboración de este trabajo y que además, se había utilizado previamente, en un estudio para la limpieza y la protección anticorrosiva de la estatua del Cid Campeador en El Prado, Sevilla.

En este caso se utilizó una disolución de Benzotriazol al 3% en volumen consiguiendo un elevado rendimiento en la limpieza. [24]. En este trabajo también se utilizaron otras disoluciones anticorrosivas como Tartrato Sódico-Potasico, Citrato de Amonio y Carbonato de Sodio.



Ilustración 14. Selección del inhibidor A1- Carbonato de sodio A2- Benzotriazol 3% A3 - Tartrato sódico-potásico 25% A4- Citrato de amonio + Benzotriazol 3% [24]

En este estudio se recomienda la combinación de varios inhibidores orgánicos de la corrosión como medio más efectivo.

Los *anticorrosivos inorgánicos* permiten neutralizar las sales disueltas en un medio acuoso. Se suelen utilizar en circuitos de refrigeración excepto en circuitos de calefacción debido a que no presentan un buen comportamiento a temperaturas elevadas. En otros estudios se utilizó el Carbonato de Sodio para desarrollar la relación de la corrosividad de diversos compuestos con su pH, debido a la capacidad correctiva del pH del Carbonato Sódico.

2.3 HIDROGELES MEDIANTE ESFERIFICACIÓN

Los hidrogeles son materiales poliméricos que se entrecruzan formando una red tridimensional (natural o sintética), que se hinchan al entrar en contacto con un medio líquido, como por ejemplo el agua, dando lugar a materiales blandos y elásticos que, aunque depende del medio, no se disuelven. [25]

Debido a la flexibilidad de las cadenas que se entrecruzan, principalmente enlaces covalentes, es posible que estas se deformen para permitir la entrada de moléculas dentro de su estructura tridimensional. Estos polímeros tienen una gran cantidad de usos y aplicaciones en el campo de la ciencia como principal elemento en la hemodiálisis o también como prótesis de tejidos y revestimientos.

Dentro de la industria moderna se llegó a utilizar medio para recuperar trazas de metales en agua [26], o como agente para eliminar el arsénico del agua en zonas de Sudamérica [27], pero nunca se ha llegado a utilizar dentro del ámbito de la metalurgia ni de la minería, dado que los hidrogeles son relativamente modernos.

El proceso de esferificación es la definición común que recibe el proceso de realización de hidrogeles en la industria alimenticia. La esferificación es posible gracias al Alginato de Sodio, un compuesto biodegradable y no tóxico que lo convierte en idóneo para la cocina moderna.

El proceso de formación, sin especiaciones técnicas se desarrolla en la Ilustración 15.

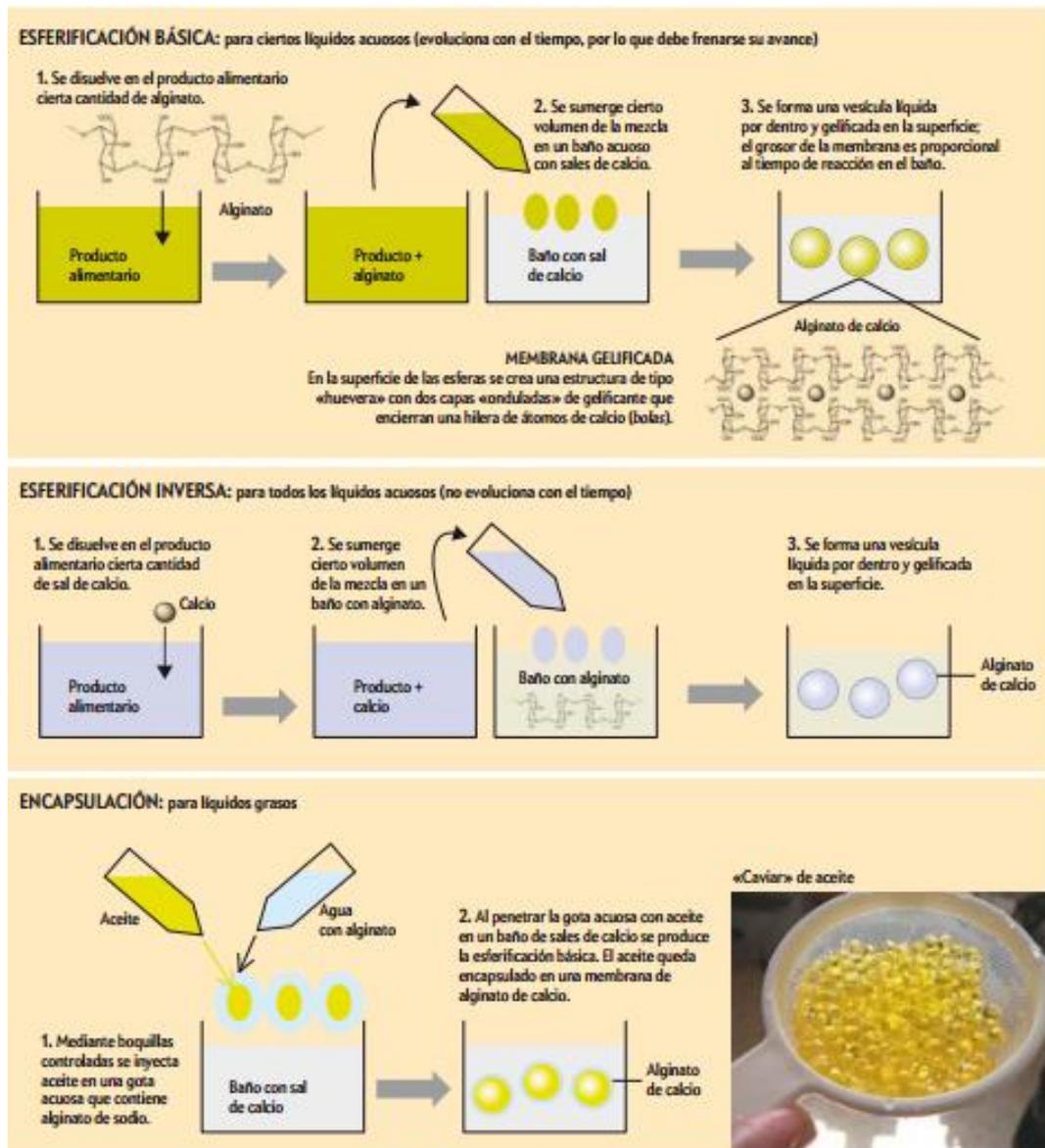


Ilustración 15. Proceso de esferificación [28]

Los mismos métodos para la cocina se pueden utilizar en otro ámbito siguiendo los mismos pasos experimentales.

2.4 DESARROLLO DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA

Algunos estudios como el publicado en junio del 2002 en la revista iberoamericana de polímeros, sostienen que el grado de ionización del polímero es determinante en los procesos de liberación controlada, como por ejemplo en fármacos. [29]. Esta es una de las razones por la que en la preparación de un hidrogel como mecanismo de liberación controlada se debe de utilizar agua destilada.

La preparación de sistemas de liberación se puede elaborar de dos formas: Mediante polielectrolitos complejos o mediante Cloruro de Potasio y Fosfato ácido amónico. [30]

Este tipo de sistemas es ampliamente utilizado en la industria farmacéutica debido a que los componentes utilizados son biodegradables y no tóxicos. Esto los convierte en un mecanismo fiable para poder actuar en las zonas correctas, descomponiéndose a velocidad constante.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 LISTADO DEL MATERIAL EMPLEADO EN EL LABORATORIO

Los materiales utilizados para la realización de los distintos experimentos en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla (Tabla 3):

LISTADO DE MATERIALES EMPLEADOS	CARACTERISTICAS
1 MATERIAL DE VIDRIO DE USO GENERAL	MATRACES ERLENMEYER, VASOS DEPRECIPITADOS, PROBETA, ETC
2 PIPETAS AUTOMATICAS	0,1 – 1000 µl y 1-5 ml
3 ESTUFA	
4 PLACA CALEFACTORA	
5 pH-metro	
6 BALANZA ELECTRONICA DE PRECISION	
7 TERMOMETRO	
8 CRONOMETRO	
9 DUROMETRO	PCE-2500
10 CAMPANA DE BIOSEGURIDAD	
11 TENAZAS	
12 JERINGAS	25 ml
13 ESPATULA	ELEMENTO DE SEGURIDAD
14 MASCARILLA	ELEMENTO DE SEGURIDAD
15 GUANTES	ELEMENTO DE SEGURIDAD
16 GAFAS	ELEMENTO DE SEGURIDAD
17 CENTRIFUGADORA	

Tabla 3 Material utilizado

3.2 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN

3.2.1 ÁCIDO CLORHÍDRICO

El ácido clorhídrico, cloruro de hidrogeno, o también conocido como ácido muriático se trata de una solución acuosa de gas de cloruro de hidrógeno. Este ácido se puede producir por cuatro métodos diferentes:

1. Coloración de sustancias químicas orgánicas.
2. Combinación de hidrogeno y cloro.
3. Producción de sal-ácido sulfúrica.
4. Producto conjunto en la fabricación de sílice.

3.2.1.1 USOS PRINCIPALES

El ácido clorhídrico es un producto químico ampliamente usado en la industria química, industria de materiales y de alimentos. Los usos principales de cloruro de hidrógeno son:

1. Decapado del acero.
2. Acidificación de pozos de petróleo.
3. Fabricación de alimentos.
4. Producción de cloruro de calcio.
5. Tratamiento de minerales.

3.2.2 ÁCIDO SULFÚRICO

El ácido sulfúrico es el ácido que más se produce en el mundo debido a su uso ampliamente extendido en todas las industrias. También se conoce con el nombre de tetraoxosulfato (VI) de hidrógeno, aceite de vitriolo, licor de vitriolo o espíritu de vitriolo. Este ácido se puede obtener de dos métodos:

1. Disolviendo en agua el dióxido de azufre.
2. Mediante oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa.

3.2.2.1 USOS PRINCIPALES

El ácido sulfúrico es muy utilizado en la industria para la realización de fertilizantes como el nitrosulfatoamónico, el cual es un abono nitrogenado obtenido químicamente mediante la reacción del ácido nítrico y el ácido sulfúrico con amoníaco. También es usado en la refinación del petróleo en su etapa intermedia y es el principal compuesto inorgánico que permite la separación de los distintos compuestos derivados del petróleo como el queroseno y la gasolina. Otras aplicaciones importantes del ácido sulfúrico son el tratamiento de acero, extracción de metales no ferrosos, síntesis de explosivos, detergentes, plásticos y fibras.

3.2.3 HIDRÓXIDO DE SODIO

El hidróxido de sodio cuya fórmula química es NaOH, también se conoce como sosa cáustica. Se trata de un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del ambiente. Este compuesto inorgánico es muy corrosivo y se utiliza en una solución del 50% en la industria del papel y detergentes.

El método de obtención más practicado es la caustificación, que consiste en juntar un hidróxido cualquiera con un compuesto de sodio. La investigación en la obtención de este compuesto ha permitido fabricarlo por electrolisis de una solución de cloruro sodio. De este proceso también se obtiene cloro.

USOS PRINCIPALES

Los principales usos de la sosa cáustica son:

1. Fabricación de jabones.
2. Fabricación de papel.
3. Fabricación de pinturas.
4. Procesamiento del algodón.
5. Galvanoplastia.
6. Desatascador de cañerías.

3.3 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DEL INHIBIDOR

3.3.1 BENZOTRIAZOL

El Benzotriazol, conocido con las siglas B.T.A es un compuesto heterocíclico, el cual contiene un anillo de Benceno fusionado a una anillo 1,2,3 triazol. Su fórmula molecular es $C_6H_5N_3$ y se trata de un compuesto orgánico aromático e incoloro que es de gran utilidad en diversos campos. [31]

Su síntesis se realiza mediante tres reactivos:

- O-fenilendiamina (5,4g)
- Ácido acético glacial
- Nitrito sódico.

La toxicidad del Benzotriazol es provocada principalmente por la O-feniieldiamina. El cual es un compuesto altamente tóxico.

El procedimiento de síntesis u obtención del Benzotriazol consiste en mezclar la O-fenilendiamina con el ácido acético glacial, calentar la disolución resultante para que se diluya totalmente y después de un contraste de temperatura con un baño de agua fría a 10 °C añadir de golpe la disolución de nitrito sódico.

Después, se realiza otro contraste de temperatura y cuando la mezcla solidifica se obtiene el Benzotriazol. Para purificar el Benzotriazol se puede añadir una disolución de carbón activo que, posteriormente, se filtrará. [31]

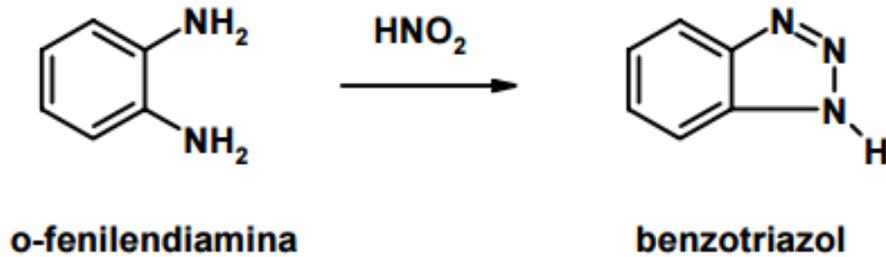


Ilustración 16 Esquema Síntesis Benzotriazol [32]

3.3.1.1 USOS PRINCIPALES

El Benzotriazol es un reactivo orgánico muy versátil. Entre sus diferentes usos y utilidades se destacan: [33]

- Inhibidor de emulsiones fotográficas
- Inhibidor de la corrosión del cobre y sus aleaciones
- Anticongelante
- Refrigerante de fluidos hidráulicos

3.3.2 TARTRATO SÓDICO-POTÁSICO

El Tartrato sódico potásico, es conocido comúnmente como sal de Seignette, en honor al farmacéutico Pierre Seignete que por entonces trabajaba para la Rochelle en 1672. También se conoce como sal de potasio y de sodio del ácido tartárico, Tartrato dextrógiro de sodio y potasio o Tartrato Potásico-Sódico tetrahidratado. Esta sal se obtiene mediante la mezcla de Cremor Tartaro, un compuesto derivado del vino, con sosa cáustica. [34] . Este material se caracteriza por su propiedad piezoeléctrica entre otras y regulador de procesos de combustión.

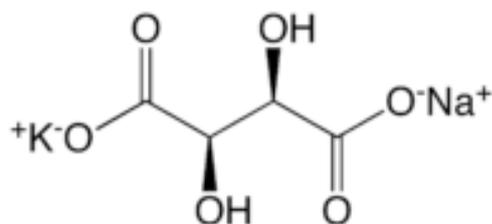


Ilustración 17 Esquema Tartrato sódico potásico [35]

3.3.2.1 USOS PRINCIPALES

Desde su descubrimiento en el siglo XVII se comenzó a utilizar en innumerables campos de trabajo: [36]

- Industria farmacéutica
- Industria alimentaria
- Piezoelectricidad
- Purificación de gas butano
- Tratamiento de metales y limpieza de la plata

3.3.3 CITRATO DE AMONIO

El citrato de amonio es una sal amónica que normalmente se presenta en forma de polvo blanco el cual es fácilmente soluble en agua y con cierto olor a amoníaco. [37]. Es tóxico, en el caso de inhalación de los vapor al calentarlo o al ingerirlo en estado sólido.

3.3.3.1 USOS PRINCIPALES

Este reactivo es utilizado en varios campos de investigación y de aplicación:

- Industria alimenticia
- Minería
- Investigación química

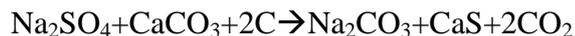
3.3.4 CARBONATO SÓDICO

El Carbonato de sodio es una sal blanca cuya fórmula molecular es Na_2CO_3 . Se puede obtener directamente de la naturaleza o de forma sintética mediante un proceso químico denominado proceso Leblanc en honor al médico francés Nicolás Leblanc que en 1791 ideó este proceso. El proceso Leblanc consta de dos reacciones:

1. Reacción de sal común con una disolución de ácido sulfúrico:



2. Reacción de calcinación:



Aparte del proceso de Leblanc hay otro denominado proceso de Solvay que utiliza la sal común, amoníaco y carbonato de calcio. [38]

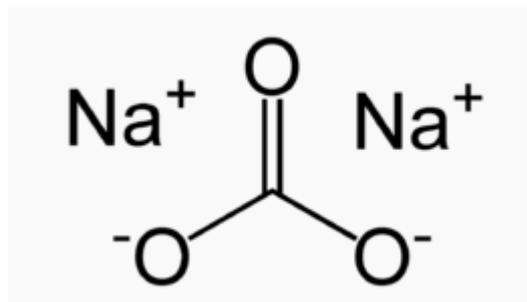


Ilustración 18. Esquema carbonato sódico [39]

3.3.4.1 USOS PRINCIPALES

Debido a su alta estabilidad a excepción de en presencia de aluminio y a su elevado punto de fusión (850 °C), la soda calcinada tiene bastante aplicación en la actualidad.

- Fabricación de detergentes
- Procesamiento metalúrgico
- Preparación de productos farmacológicos
- Uso cutáneo para evitar la sudoración

3.4 COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DEL HIDROGEL

En el proceso de preparación de hidrogeles se utilizaron diversos reactivos. Algunos de los reactivos no se mencionan en este apartado debido a que son los mismos que se utilizaron en procesos como en la evaluación del proceso de corrosión y en el de selección del inhibidor.

Son ejemplos de estos compuestos el Cloruro de hidrógeno, Citrato de Amonio, Tartrato Sódico Potásico y Carbonato de Sodio.

3.4.1 CLORURO CÁLCICO

Se trata de un compuesto inorgánico e incoloro. Se puede encontrar en estado líquido o sólido. Su fórmula molecular es CaCl_2 . El cloruro de calcio se obtiene mediante la reacción entre carbonato cálcico y el ácido clorhídrico. Después de esta reacción, son necesarios los procesos de neutralización y filtración para obtener una solución de Cloruro de Calcio al 35% en peso. [40]

3.4.1.1 USOS PRINCIPALES

El cloruro de calcio es usado para en diferentes áreas de la industria alimenticia. Algunos de sus usos son:

- Proceso de esferificación
- Proceso de elaboración del queso
- Acelerador del tiempo de fraguado en mezclas de hormigón

3.4.2 ALGINATO DE SODIO

Es un polisacárido aniónico que se encuentra en las paredes de las células de las algas marinas pardas. Estas algas son las conocidas como algas marrones. No todas las algas negras contienen alginatos que gelifican, pero todos los alginatos son capaces de producir geles irreversibles en presencia de iones de calcio o incluso, en agua fría.

3.4.2.1 USOS PRINCIPALES

El segmento de empresas que utilizan los alginatos es muy amplio. Desde la industria textil hasta la industria química, pasando por el sector de la estética. [43]. Algunos de sus usos concretos son:

- Impresiones de los dientes
- Reactivo en cremas
- Cocina

3.5 QUITOSÁN

El xantano es un polisacárido derivado de la bacteria *Xanthomonas campestris* que se obtiene usando un proceso de fermentación aeróbica. Se trata de un polisacárido de alto peso molecular que se utiliza en sistemas para poder aumentar la viscosidad de las disoluciones, estabilizar las emulsiones y evitar la sedimentación de sólidos. Es muy usado en el ámbito de la medicina para tratamiento de quemaduras de segundo y tercer grado. Debido a su alta viscosidad se recomienda usar este compuesto en disoluciones entre 0.1% y 1% [44].

4 RESULTADOS

Se exponen a continuación los resultados obtenidos en el trabajo de laboratorio. El estudio se divide en cuatro partes:

1. **Evaluación del proceso de corrosión en el cobre.** Se experimenta el progreso de la corrosión de piezas de cobre en medio ácido y básico, a temperatura ambiente y tomando diversas muestras en función del tiempo y de la concentración.

Se toman diversas medidas de las muestras como: masa, fotografías al microscopio y dureza de la pieza. Las medidas se realizan anterior y posteriormente de someter a las piezas a estos medios. Con este experimento se espera deducir la dependencia de la corrosión a la concentración de la disolución y al tiempo.

2. **Inhibición de la corrosión: selección del inhibidor.** En base a lo obtenido en el experimento anterior, se selecciona aquel medio, que ha supuesto mayor deterioro en el metal.

2. A piezas del mismo material, se le aplicaran distintos inhibidores de la corrosión que se expondrán durante el desarrollo del trabajo y se volverá a medir los datos de pérdida de peso, dureza y se realiza la fotografía al microscopio. Mediante este proceso se pretende seleccionar el inhibidor de la corrosión más efectivo y descartar aquellos que presenten un comportamiento insuficiente.

3. **Preparación del hidrogel.** Seleccionando el inhibidor que permite una mayor protección de las piezas de cobre, se procederá al encapsulamiento del mismo en unas esferas de alginato. Esto permitirá alcanzar el primer objetivo fijado en el trabajo, que es la obtención de un hidrogel anticorrosivo.

4. **Preparación del sistema de liberación controlada.** El hidrogel será encapsulado intentando que se comporte como un mecanismo de liberación controlada con el objetivo de poder proteger tuberías y cañerías de Cobre en un tiempo prolongado.

4.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN

4.1.1 EXPERIMENTO INICIAL

En este ensayo inicial se introducen en una disolución de HCl 1M: 1 codo de tubería de Cobre, una moneda de cinco céntimos y otra de dos, obteniendo los siguientes datos, después de treinta minutos en la disolución 1M, una hora y hora y media, de masa. Los datos se presentan en la Tabla 4:

	<i>Masa inicial (g)</i>	<i>Masa 30' (g)</i>	<i>Masa 1h (g)</i>	<i>Masa 1.5h (g)</i>
<i>Tubería</i>	24.28	24.28	24.28	24.25
<i>5 cent</i>	3.96	3.94	3.94	3.93
<i>2 cent</i>	3.05	3.04	3.03	3.03

Tabla 4 Datos Masicos Prueba Inicial

Se repiten los experimentos, utilizando trozos de tubería de cobre y diferentes concentraciones de HCl: 0.1, 0.5 y 1M. En la Ilustración 19 se muestran los niveles de corrosión obtenidos para las piezas ensayadas.

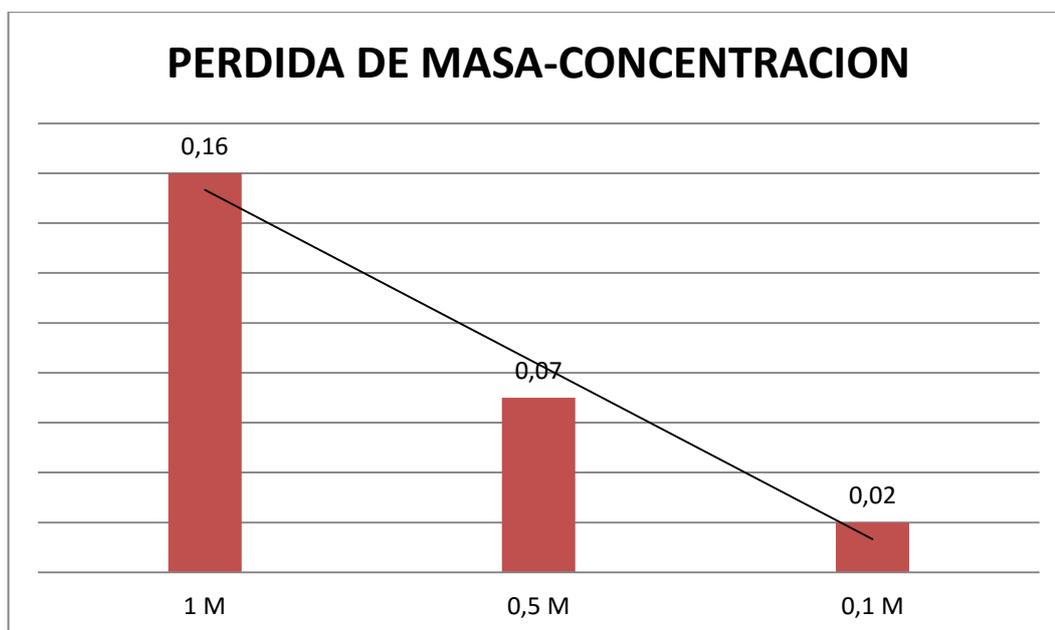


Ilustración 19.2ª Prueba distintas concentraciones

Tras proceder de la misma forma que en el experimento anterior se obtienen los datos reflejados en la Tabla 5:

1 M	MASA I(g)	MASA F(g)	DIF.MASAS	% MASA
PIEZA 1	24,24	24,19	0,05	0,20627063
PIEZA2	25,49	25,33	0,16	0,62769714
0,5 M	MASA I(g)	MASA F(g)	DIF.MASAS	% MASA
PIEZA 1	26	25,98	0,02	0,07692308
PIEZA2	25,63	25,56	0,07	0,27311744
0,1 M	MASA I(g)	MASA F(g)	DIF.MASAS	% MASA
PIEZA 1	25,12	25,11	0,01	0,03980892
PIEZA2	25,03	25,01	0,02	0,07990412

Tabla 5 Datos de masas obtenidos en la 2ª Prueba



Grafica 1 Perdida masa-Concentración 2ª Prueba

Con los datos de la Grafica 1, tras esta primera prueba se puede deducir que el nivel de corrosión que experimentara el Cobre dependerá, en un primer momento de la concentración, siendo a mayor

concentración, mayor la corrosión que sufrirá. También se puede deducir que el tiempo influye, a mayor tiempo esté el metal sometido a una disolución ácida, más se corroerá.

A continuación se realizaron de nuevo los experimentos a mayores concentraciones de ácido: 1M, 2M y 5M y se realizaron experimentos de corrosión utilizando también un medio básico utilizando NaOH en las mismas concentraciones. Todas, estas disoluciones se prepararon para un volumen total de 100mL.

Tras preparar las disoluciones de HCl y NaOH, ambas con las concentraciones de 1, 2 y 5 Mol/l, se pesan las distintas piezas que se van a introducir en las disoluciones, se mide sus durezas iniciales, con un durómetro en que el previamente se seleccionó como material de trabajo una aleación del cobre, el bronce. Por lo que se deduce que existirá una aceptable inexactitud en las medidas de durezas. Antes de introducir estas piezas en las disoluciones, se toman fotos y se observa sus superficies al microscopio con objeto de ver diferencias en sus apariencias, producida por la corrosión.

4.1.2 PÉRDIDA DE MASA EN CONTACTO CON DISOLUCIÓN ÁCIDA (HCl)

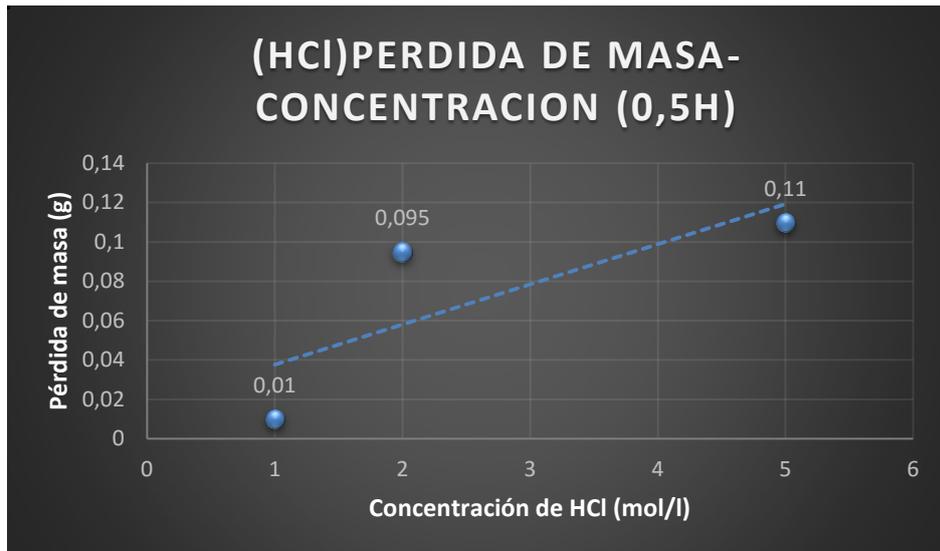
Se tomaron datos de diferencias de masas para los tiempos de 0,30, 1, 1,30 y 2h. Después de dejar las piezas el tiempo necesario en cada experimento, se limpian con agua y se introducen en una disolución de Ácido Sulfúrico al 10% en volumen para realizar un decapado que desprenda las partículas del metal que se han separado por la corrosión durante el experimento.

Se recogen los datos en la siguiente tabla (Tabla 6):

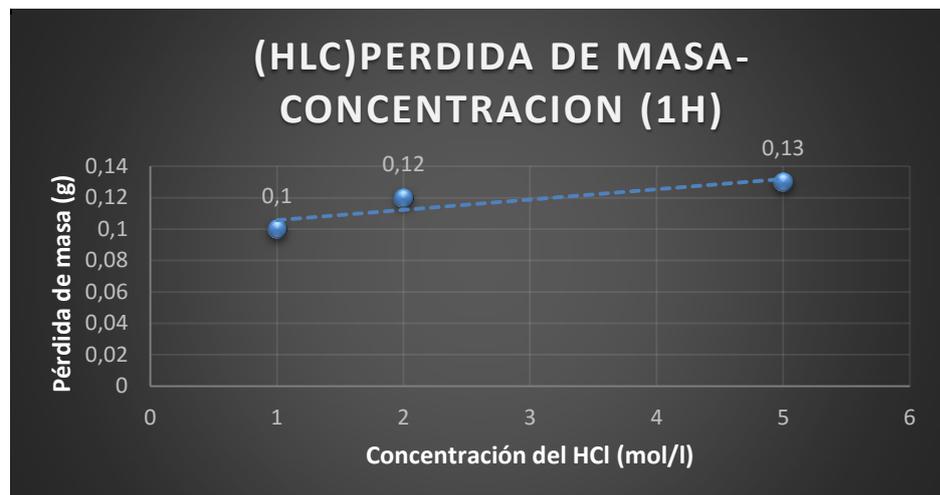
TIEMPO(H)	Pieza	CONCENTRACION(Mol/L)		
		1	2	5
0,5	Tubería	0,01	0,095	0,11
1	Tubería	0,10	0,12	0,13
1,5	Moneda	0,01	0,065	0,075
2	Tubería	0,08	0,13	0,23

Tabla 6 Datos dif.masas para HCL

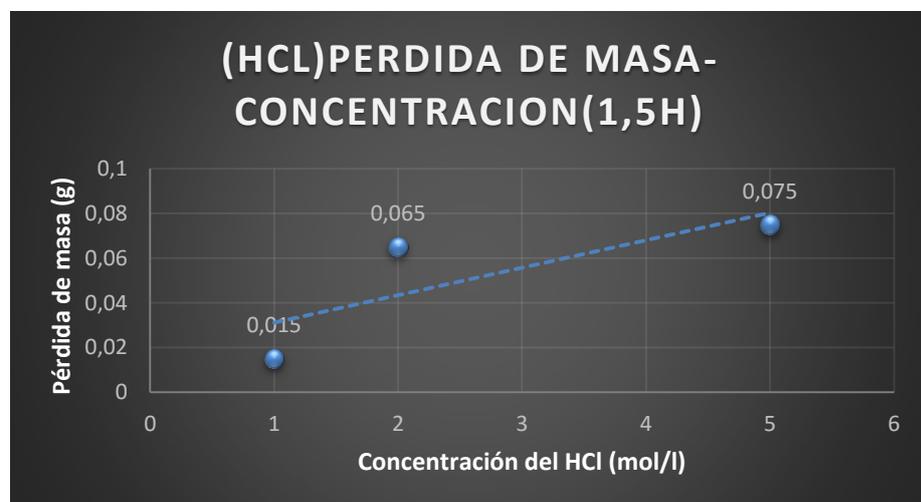
Puede observarse la pérdida de masa a diferentes concentraciones de ácido y tiempos en las siguientes gráficas:



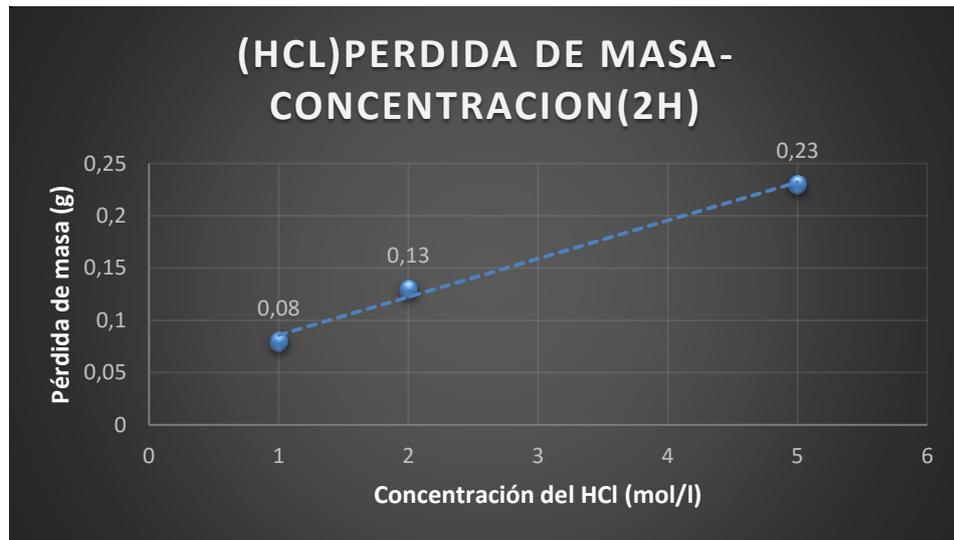
Grafica 2 Dif.masas-concentracion en media hora HCL



Gráfica 3 Perdida de masas-concetracion en 1 hora HCL



Grafica 4 Dif.masas-concentracion en una hora y media HCL



Gráfica 5 Dif.masas-concentracion en dos horas HCL

En las Gráficas 2, 3,4 y 5 se puede observar que la pérdida de masa es proporcional al tiempo. Esta proporcionalidad se ve representada en la pendiente de las gráficas que se puede decir que poseen la misma pendiente, de forma aproximada. Además del tiempo y de la concentración del medio ácido, en la pérdida de masa también va a influir el estado de oxidación de las piezas. Se puede observar como la pérdida de masa es directamente proporcional al tiempo el cual la pieza está inmersa en la disolución y, del mismo modo, a la concentración de ácido de la disolución.

4.1.3 DISOLUCIÓN NaOH

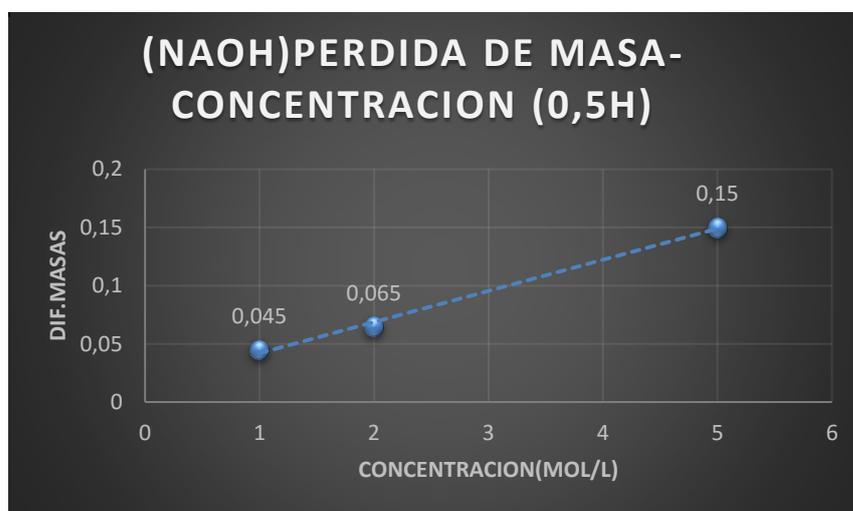
Se midió la diferencia másica para los tiempos de 0.30, 1, 1.30 y 2h, siguiendo el mismo procedimiento que en el experimento anterior(Tabla 7):

TIEMPO(H)	Pieza	CONCENTRACION(Mol/L)		
		1	2	5
0,5	Moneda	0,045	0,065	0,15
1	Tubería	0,03	0,02	0,03
1,5	Tubería	0,04	0,005	0,04
2	Alambre	0,055	0,1	0,195

Tabla 7 Dif masas para NaOH

Se puede apreciar una pérdida de masa, menos significativa que en un medio ácido. Aun así, al igual que la disolución de HCl, la pérdida de masa es directamente proporcional al tiempo y a la concentración del medio básico.

Se representan las gráficas de los tiempos más extremos, es decir del menor y del mayor tiempo en el que se ha medido la diferencia de masas.



Gráfica 6 Dif.masa-concentracion en media hora NaOH

Para el experimento de 2 horas en medio básico, se utilizaron tres alambres de cobre puro de diferentes masas. Se puede observar en la Ilustración 20 como la corrosión mayor ha sido en el medio de mayor concentración.

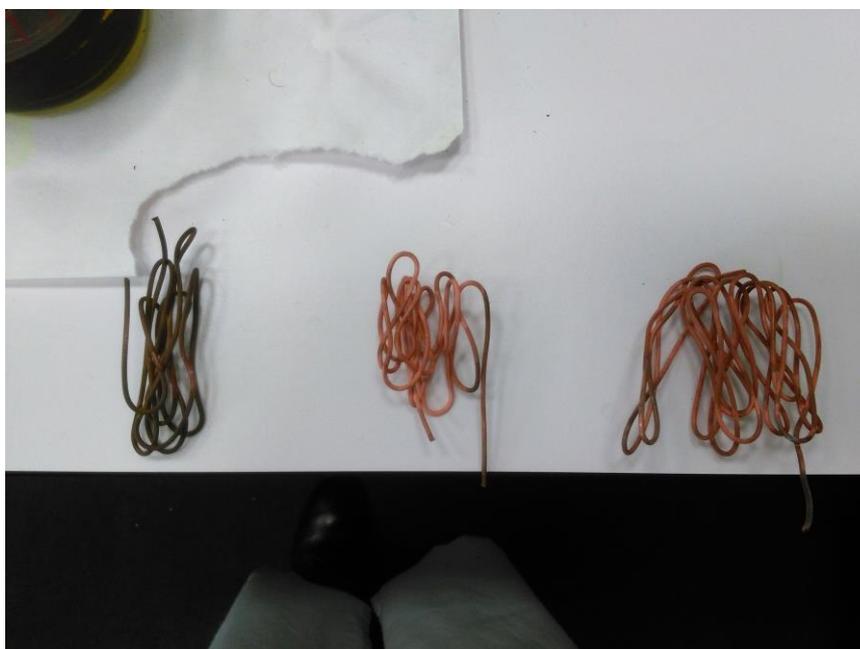
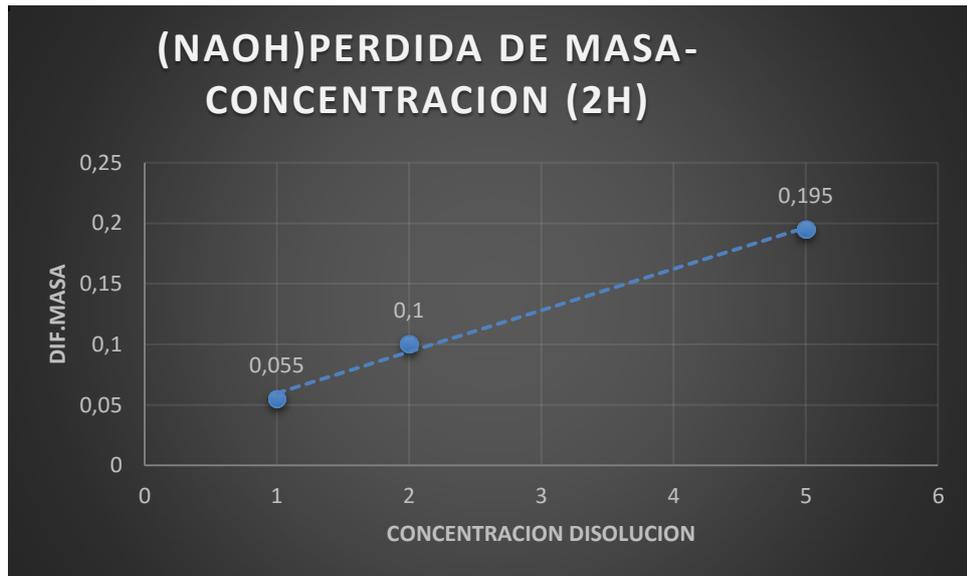


Ilustración 20 Alambre experimento 2 horas NaOH donde se observa la mayor corrosión en la pieza de la izquierda, sometida a una disolución 5M de NaOH durante 2 horas.



Grafica 7 Dif.masas-concentracion en 2 horas NaOH

De estas gráficas se puede deducir, que la sosa cáustica es también un agente corrosivo que afecta al cobre. Aunque se debe reseñar que la sosa afecta en mayor medida en un principio que el ácido clorhídrico. Es decir, si comparamos las diferencias de masas, en el tiempo de media hora, el cobre en la disolución básica de sosa cáustica se ha corroído más y de forma más rápida. Sin embargo, la concentración acida, representa una mayor pérdida del material en períodos más largos de tiempo.



Ilustración 21 Antes vs despues 1.5horas en NaOH

En la Ilustración 21 se muestran las diferencias macroscópicas de la corrosión y de remoción del óxido de cobre presentes en las piezas, al someterlas a un medio básico durante una hora y media. A simple vista, se puede apreciar que la cantidad de óxido que se ha eliminado de las superficies es significativa.

4.1.4 COMPARACIÓN DE LA PERDIDA DE MASA EN LAS DISOLUCIONES DE HCl Y DE NaOH

En este apartado se comparan las pérdidas de masa en las diferentes disoluciones con las mismas concentraciones para un tiempo de dos horas, en el cual se ha observado que la corrosión es mayor. Las Tablas 8 y 9 recogen los datos de diferencias de masas y porcentajes que esta pérdida de masa representa para el total de cada pieza en las distintas concentraciones ensayadas, en HCl y NaOH, respectivamente.

TABLA DE MASAS PARA 2 HORAS EN HCL				
1M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	25	24,92	0,08	0,321027287
2M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	20,96	20,83	0,13	0,624099856
5M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	25,08	24,85	0,23	0,92555332

Tabla 8 Datos de masa 2 horas en HCL

TABLA DE MASAS PARA 2 HORAS EN NaOH				
1M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	8,065	8,01	0,055	0,681959082
2M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	8,52	8,42	0,1	1,17370892
5M	MASA	MASA	DIF.MAS	%MASAS
	INICIAL	FINAL	AS	
	13,145	12,95	0,195	1,483453785

Tabla 9 Datos Masa para 2 horas en NaOH

Por tanto se deduce que la mayor pérdida de masa que experimenta el Cobre se da en la disolución de cloruro de hidrogeno. Aunque en al principio la velocidad de corrosión que realiza el hidróxido de sodio es mayor, solo que pasado un tiempo se estabiliza a un nivel por debajo del que supone el medio ácido.

4.1.5 EVALUACIÓN DE LA DUREZA EN HCL

Se toman las durezas antes y después de los experimentos. Se supone una media de la dureza inicial de aproximadamente 200 unidades de dureza. Se miden las durezas de las durezas de las piezas en las

concentraciones y en los tiempos de 0.30, 1, 1.30 y 2h, obteniéndose las medidas en la Tabla 10, en unidades de dureza:

		HCL			OBSERVACIONES En la mayoría de los casos se observó que la dureza de cobre es mayor, mayor concentración de la disolución y más tiempo que permanencia.
TIEMPO(H)	Pieza	CONCENTRACION(Mol/L)			
		1	2	5	
0,5	Tubería	201,333	228,333	244,667	
1	Tubería	219	222	211	
1,5	Moneda	354,667	336,667	402,333	

Tabla 10 Durezas en HCL

Mediante este experimento podemos afirmar que la dureza, al igual que la pérdida de masas, es directamente proporcional a las concentraciones y al tiempo en el que las piezas están inmersas en la disolución de HCl.

4.1.6 EVALUACIÓN DE LA DUREZA EN NaOH

Se procede de la misma forma que se ha determinado la dureza de las piezas de cobre en ácido clorhídrico pero en este caso en las disoluciones de sosa a 1,2 y 5 mol/L (Tabla 11):

		NAOH			OBSERVACIONES
TIEMPO(H)	Pieza	CONCENTRACION(Mol/L)			
		1	2	5	
0,5	MONED	230,333333	193,666666	253	
	A		7		
1	Tubería	227	204	294	
1,5	Tubería	237	228	324	

Tabla 11 Durezas en NaOH

Se puede observar, como de la misma forma que en el caso de la disolución de HCl, pero en menor medida, las durezas son directamente proporcionales a las concentraciones y al tiempo. Se puede apreciar como la mayor de las durezas para la disolución de NaOH es de 324 en la disolución de 5M y para un tiempo de una hora y media.

4.1.7 ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE DUREZA EN NaOH DURANTE 1.5H

En este punto se estudia la variación de dureza para el caso concreto de la pieza de cobre en las distintas disoluciones de NaOH para en un tiempo fijado de una hora y media. Con esto, se describe la dureza antes y después, en piezas de cobre de la misma geometría. Se analizan únicamente para las disoluciones de sosa porque se había concluido previamente que la dureza de este metal se comporta de igual forma en un medio ácido que en uno básico, como lo es la sosa, aunque en el medio ácido la variación de dureza es más pronunciada. Los datos de dureza se representan en la Tabla 12:

1,5H				
1M	DUREZA ANTES	DUREZA DESPUES	VARIACION DUREZA	%
	230	237	7	3,0434 7826
2M	DUREZA ANTES	DUREZA DSPUES	VARIACION DUREZA	%
	205	228	23	11,219 5122
5M	DUREZA ANTES	DUREZA DESPUES	VARIACION DUREZA	%
	267	324	57	21,348 3146

Tabla 12 Durezas NaOH en 1.5H

Con los datos de la Tabla 12 y suponiendo un aumento de dureza lineal y proporcional al tiempo se puede concluir que la dureza variará un 100% en menos de 10 horas, lo que representará un incremento del doble de la dureza.

Este aumento de dureza se prevé que se produzca debido a la formación de una capa pasiva en la superficie del metal.



Ilustración 22 Foto general de piezas experimentadas

4.2 INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN: SELECCIÓN DEL INHIBIDOR

En este apartado del trabajo se desarrolla la experimentación del proceso de corrosión del Cobre cuando al medio se le añade un volumen determinado de un inhibidor o anticorrosivo. Para ello, se parte de la disolución de HCl 5 M dado que, según los datos obtenidos en el apartado 3.1, es el medio que mayor corrosión produce en el Cobre, entre los distintos medios estudiados. Se obvia la velocidad inicial de corrosión y se fija la selección del medio en dos criterios principales: la diferencia de masas producida por la corrosión en el medio ácido y la variación de la dureza.

Se midió la variación o diferencia de masa, y la dureza de las piezas antes y después del ensayo, se tomaron fotografías, de igual forma, antes y después del experimento y, por último, se etiquetaron las piezas para un futuro estudio.

Se preparan 4 disoluciones distintas cuyos reactivos se caracterizan por ser inhibidores de la corrosión en metales. Estos compuestos son: Citrato de Amonio, Benzotriazol, Tartrato Sódico-Potásico y Carbonato Sódico. Se procede diluyendo cada uno de los reactivos en 3 disoluciones: 1%, 5% y 10% en masa.

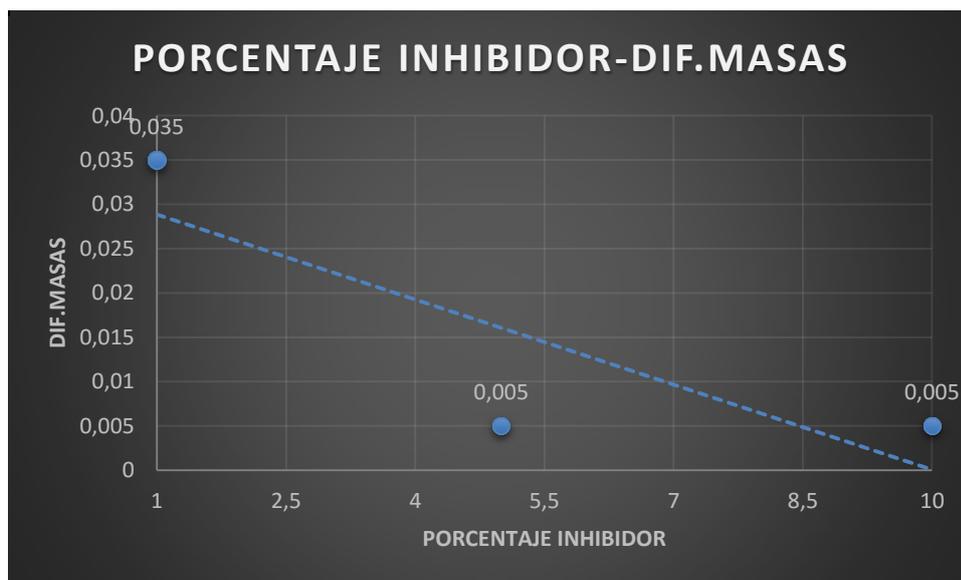
4.2.1 PRUEBA INICIAL DE SELECCIÓN DEL INHIBIDOR

Este ensayo tiene el objetivo de obtener datos concluyentes acerca de la inhibición de la corrosión y comprobar qué concentraciones de inhibidor son suficientes para minimizar la corrosión del cobre. Los datos obtenidos se compararon con los datos obtenidos de diferencia de masas en el experimento del apartado 3.1. Se prepararon disoluciones de HCl 5 mol/L. Se prepararon 3 disoluciones de 200 mL de Benzotriazol al 1, 5 y 10%. Por lo tanto, las disoluciones de Benzotriazol constan de 2, 10 y 20 gramos respectivamente.

Se introduce una pieza en cada uno de los vasos de precipitados con la disolución que se ha mencionado. Acto seguido, se pipetea 5ml de las disoluciones de Benzotriazol al 1%, 5% y 10% en cada uno de los vasos de precipitados en las disoluciones de Cloruro de Hidrógeno. Se deja reposar durante 30 minutos y, pasado este tiempo, se retiran las piezas de cobre. Los datos obtenidos se reflejan en la Tabla 13:

	1%				5%				10%			
	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%
<i>DUREZA</i>	350	280	70	20	363	460	-97	26,7	378	424	-46	12,17
<i>MASA</i>	20,64	20,605	0,035	0,17	20,49	20,485	0,005	0,02	20,595	20,59	0,005	0,024

Tabla 13 Prueba inicial inhibidor



Gráfica 8 Porcentaje inhibidor-Dif.masas

Se comparan estos datos con los obtenidos en la Tabla 6.

En la Gráfica 8, se observa cómo a medida que la concentración del inhibidor es mayor, (mayor cantidad de inhibidor) menor es la masa que pierde el Cobre.

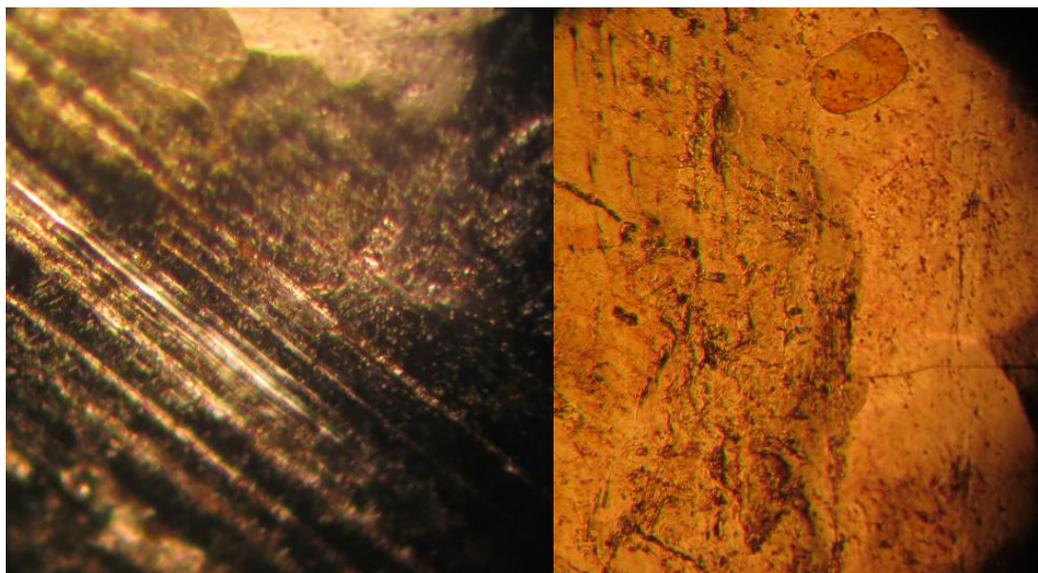


Ilustración 23 1%Benzotriazol antes (izquierda) y después (derecha)

En la Ilustración 23, se observa una fina capa de óxido en la superficie de la pieza antes de la realización del experimento. Sin embargo, en la imagen de la derecha (Ilustración 23), se aprecia que, aunque la capa de óxido ha desaparecido por completo (se ha disuelto en la disolución de Ácido Clorhídrico), la masa perdida de la pieza es menor al añadir el anticorrosivo.

Se puede observar, como al aplicar el Benzotriazol como inhibidor de la corrosión a las disoluciones de cloruro de hidrógeno, el valor de la diferencia de masas ha disminuido considerablemente. También, de estos datos, se deduce que a mayor concentración de Benzotriazol, menor será la corrosión experimentada.

A raíz de estos datos, se considera adecuado el método de selección del inhibidor y se procede a realizar el experimento por completo.

4.3 ESTUDIO DE LOS DIFERENTES INHIBIDORES

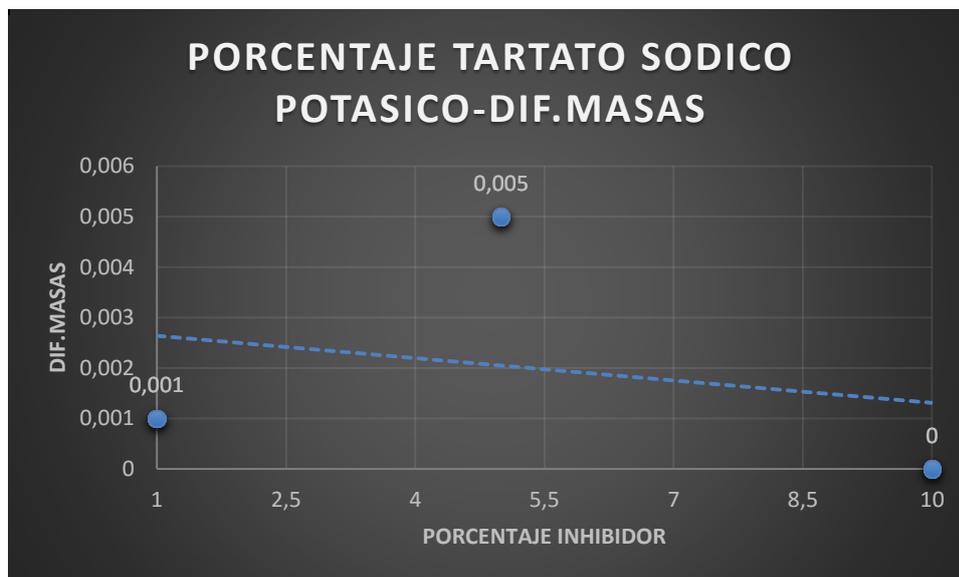
4.3.1 DISOLUCIÓN CON TARTRATO SÓDICO - POTÁSICO

Una vez realizadas las disoluciones de Tartrato sódico-potásico, se procede de la misma manera que en el experimento anterior. Es decir, se introducen 5ml del reactivo en las 3 distintas disoluciones de Ácido Clorhídrico 5M y se miden los mismos parámetros que anteriormente. Se obtienen los siguientes datos que se presentan en la Tabla 14:

	1%				5%				10%			
	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%
<i>DUREZA</i>	341	420	-79	23,2	363	390	-27	7,4	372	440	-68	18,3
<i>MASA</i>	20,33	20,3	0,001	0,005	20,28	20,3	0,00	0,03	20,56	20,56	0	0

Tabla 14 Datos con Tartrato sódico potásico como inhibidor

El experimento de inhibición se realizó de nuevo para comprobar la eficacia tartrato sódico-potásico, observándose una inhibición del 100% cuando el tartrato se utilizó al 10%.



Grafica 9 Porcentaje inhibidor-Dif.masas Tartrato sódico-potásico

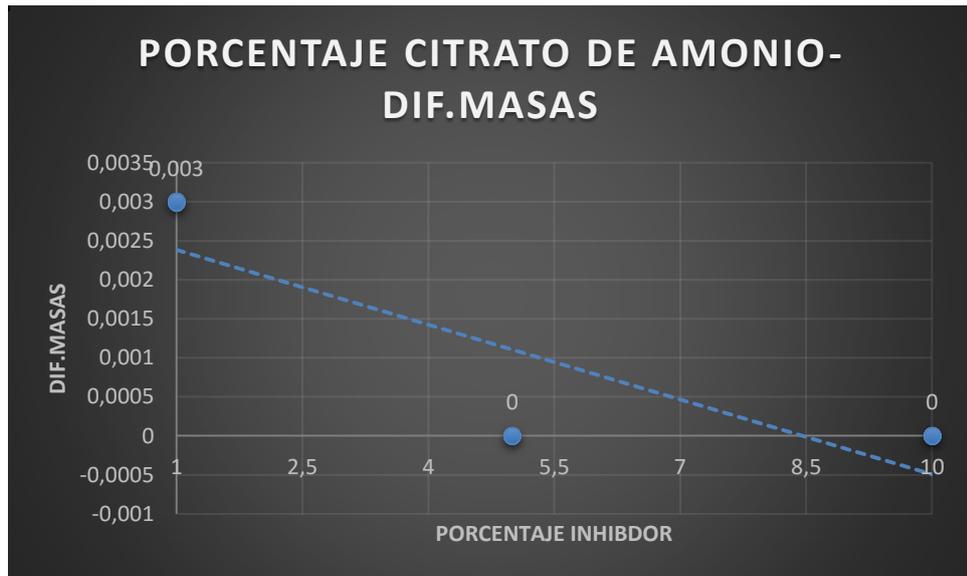
De estos datos, se puede obtener que la una disolución de Tartrato sódico-potásico al 10% inhibe la corrosión de forma absoluta.

4.3.2 DISOLUCIÓN CON CITRATO DE AMONIO

Una vez obtenidos los datos con el tartrato sódico potásico, se realizan los mismos experimentos con citrato de amonio, con el objetivo de seleccionar el mejor inhibidor de la corrosión. Se procede de la misma manera que en los puntos anteriores, para ver el potencial inhibidor del citrato de amonio. Los datos obtenidos se recogen en la Tabla 15:

	1%				5%				10%			
	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%
<i>DUREZA</i>	470	527	-57	12,1	432	520	-88	20,4	420	437	-17	4,04
<i>MASA</i>	20,96	20,9	0,003	0,015	20,55	20,5	0	0	20,17	20,17	0	0

Tabla 15 Datos con citrato de amonio como inhibidor



Gráfica 10 Gráfica porcentaje citrato de amonio-Dif.masas

Según los datos obtenidos, a partir de la disolución de este inhibidor al 5% ya es suficiente para inhibir la corrosión en la pieza. En la gráfica se puede observar, según la línea de tendencia, como con una concentración de 8,5% se aseguraría que la efectividad del inhibidor será del 100%.

4.3.3 DISOLUCIÓN CON CARBONATO SÓDICO

Se procede de la misma forma en los anteriores casos utilizando como inhibidor el carbonato sódico, recogiendo los datos de la Tabla 16 en treinta minutos:

	1%				5%				10%			
	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%
<i>DUREZA</i>	430	340	90	20,9	460	480	-20	4,4	424	449	25	5,9
<i>MASA</i>	20,88	20,88	0	0	20,6	20,6	0	0	20,79	20,79	0	0

Tabla 16 Datos con carbonato sódico como inhibidor

Antes estos datos obtenidos, se revisó el procedimiento, se secaron las piezas en la estufa y se pesaron en repetidas ocasiones. El pH de la disolución después de añadirle los 5ml de carbonato sódico seguía siendo menor de uno, lo que indica que seguía siendo una disolución altamente ácida, a pesar del efecto regulador de pH del carbonato sódico.

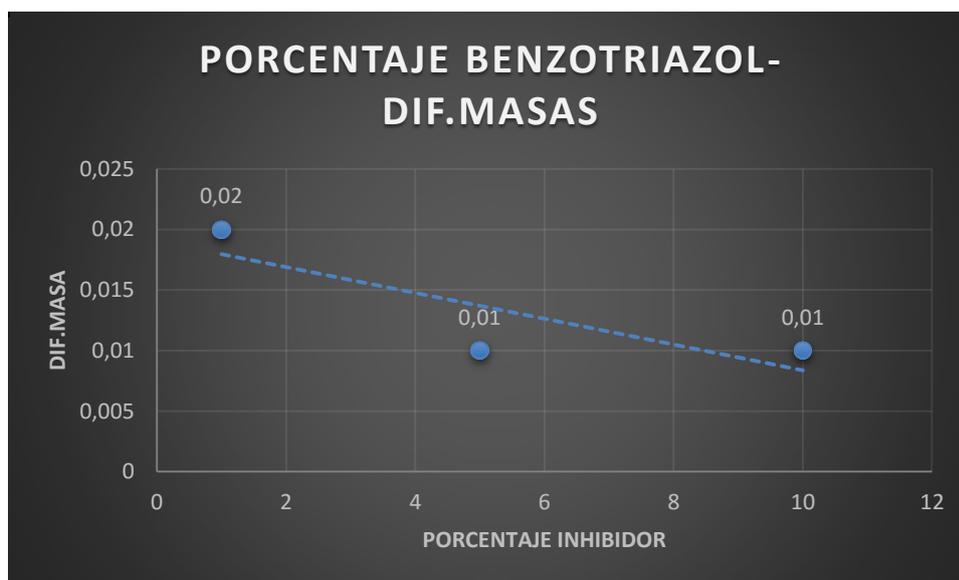
Ante estos datos tan claros del experimento se procede a analizar la dureza de las piezas. Se observa un mínimo aumento en las unidades de dureza en los demás casos, en comparación con los experimentos realizados con los otros inhibidores.

4.3.4 DISOLUCIÓN CON BENZOTRIAZOL

Aunque el experimento de prueba realizado versase de los mismos procedimientos se decide repetir debido a problemas de solidificación observados en las disoluciones de Benzotriazol al 5% y 10%. Esta solidificación se produjo cuando las disoluciones se dejaban en reposo durante quince minutos y su temperatura descendía desde los 78 °C hasta los 28-30 °C. Los datos de las medidas de masas utilizando en Benzotriazol como inhibidor se recogen en la Tabla 17:

	1%				5%				10%			
	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESP	DIF	%	ANTES	DESPTS	DIF	%
<i>DUREZA</i>	506	520	-14	2,7	480	509	-29	6,04	522	535	-13	2,49
<i>MASA</i>	21,01	20,99	0,02	0,1	20,59	20,58	0,01	0,04	20,87	20,86	0,01	0,04

Tabla 17 Datos con Benzotriazol como inhibidor



Grafica 11 Grafica porcentaje Benzotriazol- Dif.masas

En base a los datos obtenidos, se deduce que el Benzotriazol presenta un funcionamiento adecuado como inhibidor, dado que permite evitar la pérdida de 0.1 gramos de cobre en media hora, lo que representa una capacidad de inhibición del 90.9%.

Aun así, se observa el mismo problema de solidificación al disminuir la temperatura de la disolución y es menos efectivo que otros inhibidores. Además, el Benzotriazol es un derivado del benceno, y como tal, es altamente tóxico y cancerígeno en algunos casos. Por estas razones se descarta el Benzotriazol como inhibidor de la corrosión.

4.3.5 COMPARACIÓN INHIBIDORES UTILIZADOS

En vista de que los datos obtenidos revelan que todos los reactivos utilizados permiten inhibir de forma completa, parcial o bien frenar la inhibición. Se procede a la comparación de los compuestos utilizados mediante el porcentaje que representa la pérdida de masa que han sufrido las piezas y el porcentaje de inhibición tomando de referencia 0.11 gramos que se apreciaron de diferencia másica en la disolución de ácido clorhídrico 5M, en el experimento realizado sin inhibidor. Los datos se exponen en la Tabla 18 y en la Gráfica 12.

PORCENTAJES	MÁSICO	EFICIENCIA
TARTATO SODICO POTASICO (10%)	0%	100%
CITRATO DE AMONIO (5%)	0%	100%
CARBONATO DE SODIO (1%)	0%	100%
BENZOTRIAZOL (5%)	0,0485%	90,90%

Tabla 18 Datos comparativos inhibidores



Gráfica 12 Comparación de inhibidores

Como se indica en la Gráfica12, el Benzotriazol no inhibe totalmente la corrosión en el Cobre.

En la elaboración del hidrogel, en principio, se podría llevar a cabo con cualquiera de los compuestos que presentan una eficiencia del 100%. Se decide descartar el Benzotriazol como inhibidor y se deciden llevar a cabo tres hidrogel distintos.

Con el objetivo de disponer de mayor cantidad de datos para la elección de un hidrogel con alta eficiencia, los distintos hidrogeles constarán: Uno al 10% de Tartato sódico-potásico, otro al 5% de citrato de amonio y, por último, un hidrogel al 1% de carbonato de sodio, que son las concentraciones en las que cada inhibidor mostró la mayor eficacia en los ensayos en disolución.

En la Ilustración 24 , se muestra todos los codos de cobre utilizados en el proceso de selección del inhibidor.



Ilustración 24 Piezas selección del inhibidor

4.4 PREPARACIÓN HIDROGELES CON ALGINATO SÓDICO

En este punto se detalla cómo se lleva a cabo la preparación de hidrogeles inhibidores de la corrosión. Para ello, se escogieron tres tipos de concentraciones de inhibidores diferentes, los cuales, permitieron una inhibición completa de la corrosión. Estas concentraciones son:

- Carbonato sódico al 1%
- Citrato de amonio al 5%
- Tartrato Sódico-Potásico al 10%

Además, para la realización de hidrogel se necesita Alginato de Sodio y Cloruro de calcio.

4.4.1 FABRICACIÓN DE LOS HIDROGELES

Para la fabricación de los hidrogeles se preparan, con antelación, tres disoluciones de alginato de sodio al 5% en peso y con 1, 5, 10 gramos de carbonato de sodio, citrato de amonio y tartrato sódico-potásico, respectivamente y una disolución de cloruro de calcio 0,475 M (Ilustración 25).

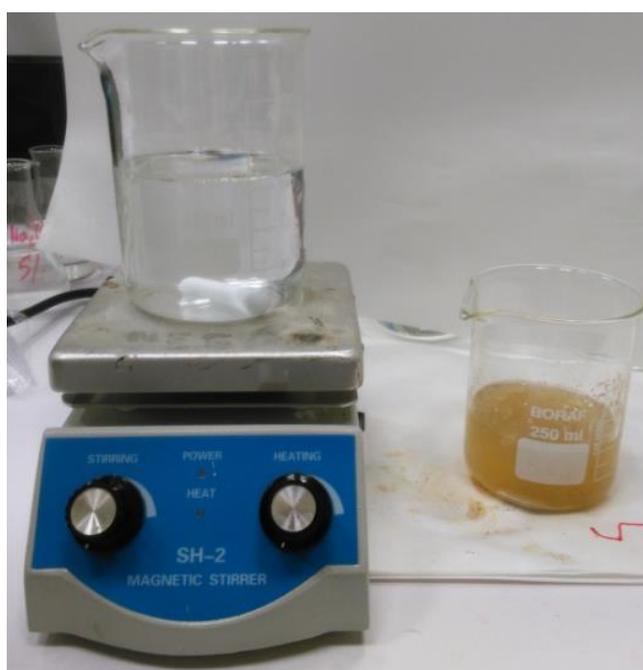


Ilustración 25 Proceso de obtención del hidrogel

Se vierten aproximadamente 150ml de la disolución de Cloruro de Calcio preparada anteriormente en un vaso de precipitados que se sitúa sobre un agitador magnético y se le introduce una barra agitadora para mantener la disolución en agitación constante.

A continuación, con una jeringa se succionan 20 ml de la disolución de Alginato de sodio con los diferentes reactivos. Poco a poco se vierten pequeñas gotas del Alginato de Sodio en la disolución de

Cloruro de Calcio y estas gotas solidificaran. El intercambio del Sodio con el Calcio es producido al entrecruzarse las cadenas del polímero con el calcio, produciéndose así, un intercambio iónico dando lugar a la formación de alginato cálcico, insoluble en contacto con el agua. Lo que en realidad está ocurriendo, es que el sodio presente en el Alginato se intercambia con el Calcio de la disolución y se forma una película resistente de Alginato de Calcio que contiene los diferentes reactivos. Esto se realiza con los tres inhibidores seleccionados y se obtienen tres hidrogeles diferentes.

El resultado son 3 tipos de "gotitas" de diferentes densidades, tamaño y masa. Por su exterior, están envueltas por una película de Alginato Cálcico y en su interior está contenido el inhibidor. La Ilustración 26 es una fotografía tomada del hidrogel de Carbonato de Sodio.



Ilustración 26 Hidrogel

4.4.2 EVALUACIÓN DE LA INHIBICIÓN DEL HIDROGEL

Para determinar el poder de inhibición de la corrosión de los hidrogeles realizados, se procede a realizar el mismo proceso que en el apartado de selección del inhibidor. Se prepara una disolución de Ácido Clorhídrico 5M. Se prepararon 3 vasos de precipitados al 50% con el hidrogel. Es decir, se realizan tres tipos de disoluciones de HCl en un volumen total de 100ml con los hidrogeles, tal y como se muestra en la Ilustración 27.



Ilustración 27 Pieza en HCl con hidrogel

Se introduce una pieza de cobre en cada disolución. Estas piezas de cobre se pesaron, se midió su dureza y se realizaron fotografías al microscopio, antes de introducirlas en el medio ácido. Tras treinta minutos se retiran las piezas, se lavan y se dejan reposar otros 10 minutos en una concentración de ácido sulfúrico al 10% en volumen. Después se lavan con un frasco lavador y se introducen en la estufa para secarlas. Se toman medidas de masa, dureza y fotografías a posteriores obteniéndose los siguientes datos.

Los datos recogidos se exponen en las Tablas 19 y 20.

MASA

INHIBIDOR	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	%PERDIDA	%INHIBICION
CARBONATO SODICO	20,89	(20,88- 20,89)	0	0	100
TARTRATO SODICO POTASICO	20,81	20,8	0,01	0,04805382	90,90909091
CITRATO DE AMONIO	20,9	20,89	0,01	0,04784689	90,90909091

Tabla 19 Datos de masa con hidrogel

DUREZA

INHIBIDOR	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	% PERDIDA
CARBONATO SODICO	412	417	5	5+
TARTRATO SÓDICO POTASICO	480	487	7	7
CITRATO DE AMONIO	518	532	14	14

Tabla 20 Datos de dureza con hidrogel

Tras analizar los datos obtenidos en las Tablas 20 y 21, se puede deducir que el inhibidor más eficiente cuando está contenido en el hidrogel es el Carbonato de Sodio.

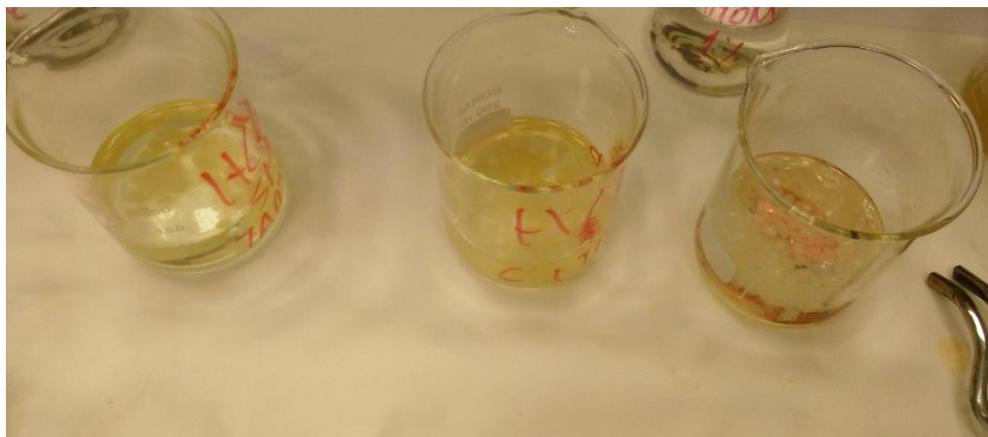


Ilustración 28 Proceso de evaluación de la inhibición del hidrogel

4.5 PREPARACIÓN DE SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA

Para la preparación del sistema de liberación controlada se prepararon 100 mL de una disolución de Alginato Sódico al 1% en agua destilada. Esta disolución se mezcló con otra disolución de Quitosan al 1% en HCl concentrada al 0.005M (Ilustración 29).



Ilustración 29 Disolución Quitosan en HCl 0.005M

Se mide el pH en varias ocasiones para comprobar que aproximadamente el valor de la disolución es 5.6. Al mezclar las dos disoluciones, se agita la solución de HCl con Quitosan al 1% para que se diluya el Alginato de Sodio por completo. Se continúa agitando la disolución obtenida y se le añaden 2 gramos de

Carbonato Sódico, anticorrosivo que se había elegido como mejor inhibidor en el apartado 3.4. Se deja reposar la disolución 24 horas y a continuación, se centrifuga durante 30 minutos a 3000 revoluciones por minuto.

En la ilustración 30 se ve el aspecto del hidrogel antes del período de reposo de 24 horas, cuando todavía no ha tenido lugar la polimerización.

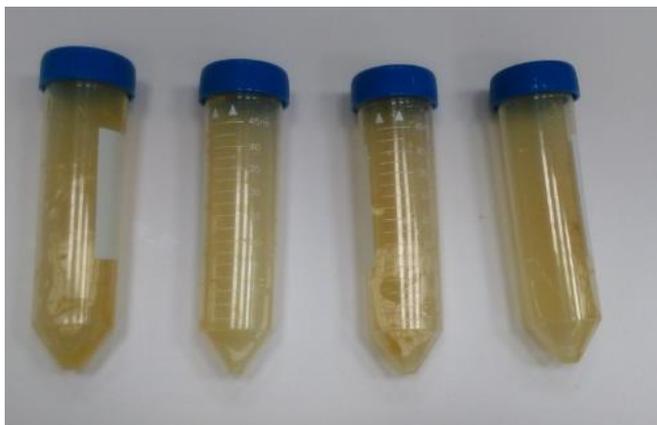


Ilustración 30 Hidrogel reposo

El hidrogel obtenido se introduce en diferentes crisoles y se seca en la estufa a 55 °C durante 24 horas.

Las "pastillas" obtenidas se dejan reposar durante otras 24 horas antes de proceder a la realización del experimento para determinar su eficiencia como anticorrosivo. Las pastillas obtenidas mediante este procedimiento se muestran en la Ilustración 31.



Ilustración 31 Sistema de liberación controlada

4.5.1 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA

Se procede a la comprobación de la eficiencia inhibidora del sistema de liberación controlada realizado en este punto. Los experimentos se basan en los mismos realizados previamente en los puntos 3.1 y 3.2: se prepara una disolución de 100 ml de HCl 5M y se pesan las piezas de cobre. Se introduce una de las pastillas inhibidoras en la disolución de Ácido Clorhídrico 5M, y acto seguido, se introducen las piezas de cobre. Estas piezas permanecerán dentro de la disolución durante una hora.

A la hora se sacan de la disolución, se secan en la estufa durante 5 minutos a 60 °C y se vuelve a medir su peso en la balanza electrónica. Se vuelven a sumergir en la disolución de cloruro de hidrógeno y se retiran a la hora siguiente, para introducirlas en una disolución de H₂SO₄ durante 10 minutos. Finalizado este tiempo, se retiran y se secan en la estufa durante cinco minutos a 60 °C. Se vuelve a medir la masa de las piezas, obteniéndose los datos que se muestran a continuación en la Tabla 21:

PIEZA	ANTES	MASA		DIFERENCIA	%
		DESPUES 1H	2H		
1	20,5	20,48	20,48	0,02	0,0975
2	20,92	20,91	20,9	0,02	0,0956

Tabla 21 Datos inhibición con SLC

5 DISCUSIÓN

En este punto se interpretan los resultados de los diferentes experimentos realizados y se expone la previsión de daños que conlleva la corrosión, como se ha estudiado. Además, se compara la eficiencia del hidrogel fabricado en términos de coste.

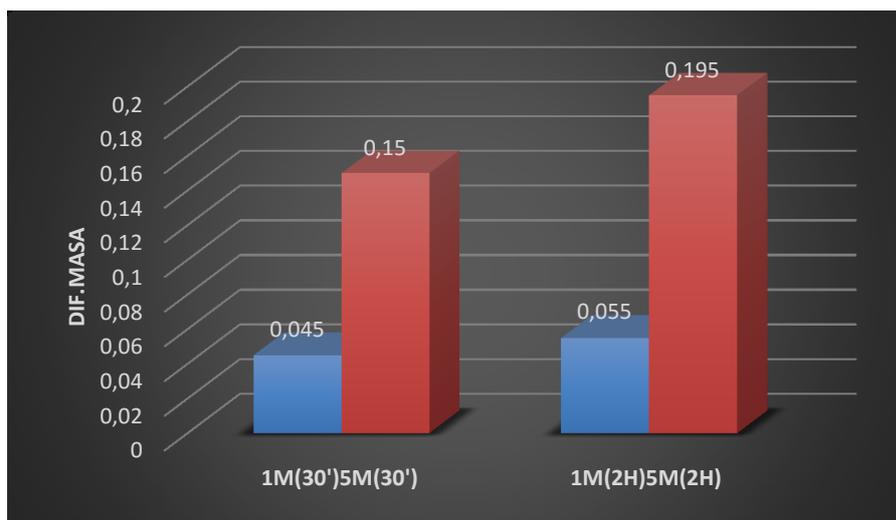
5.1 RESULTADOS EN LOS DIFERENTES MEDIOS

En base a los resultados obtenidos en el punto 4.1 Evaluación del proceso de corrosión se muestran los siguientes resultados y conclusiones:

5.1.1 PÉRDIDA DE MASA

Un medio básico es muy corrosivo al principio. La corrosión que las piezas de cobre experimentaron en la disolución de Sosa, ha sido en los tiempos cortos, sustancialmente mayor. En cambio, a medida que la pieza permanece más tiempo en este tipo de medio, sufre una corrosión de menor variación, como se observa en la Grafica 13.

En la columna azul se representan los datos de diferencia de masas en una disolución de sosa 1M (de izquierda a derecha para 30 minutos y 2 horas respectivamente) y la columna roja representa la masa perdida en una disolución de sosa 5M en los mismos tiempos.



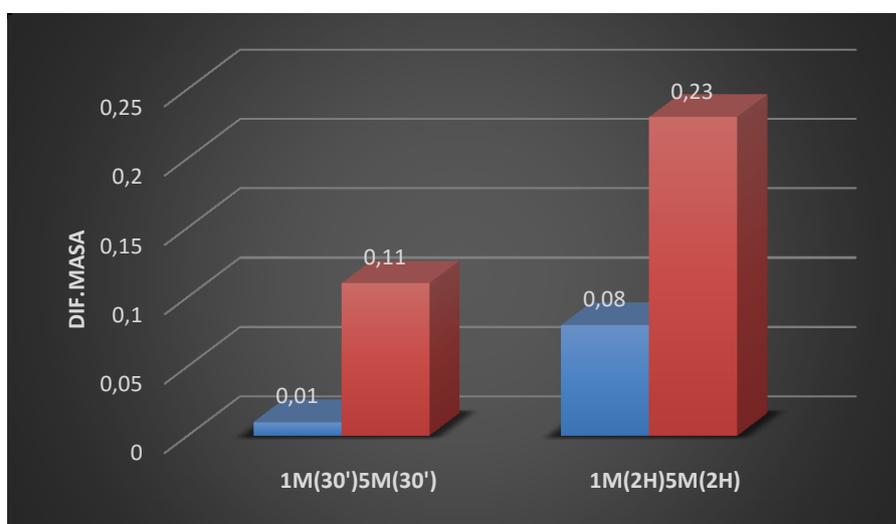
Gráfica 13 Comparación pérdida de masa en medio básico

Con los datos de la Gráfica 13, se puede afirmar que la corrosión en medios básicos depende en mayor medida de la basicidad de dicho medio que del tiempo que permanecen las piezas en este tipo de medios. En el caso del experimento durante un tiempo de treinta minutos, se aprecia una pérdida de masa del 30%, entre las concentraciones de 1M y 5M. Para el tiempo de dos horas, esta pérdida se sitúa en el 28.2%. Si analizamos el aumento de masa perdida, en la concentración de 5M, se aprecia como en una hora y media más en dicha disolución, este aumento es del 31%.

Un ambiente de alta acidez, puede producir una corrosión de mayores características que un ambiente básico, en lo que respecta al estudio de la pérdida de masa.

Esto se pudo comprobar con los experimentos realizados en las disoluciones de diferentes concentraciones de Ácido Clorhídrico. En este caso, se observa, al igual que en la disolución de Hidróxido de Sodio, una estabilización en la pérdida de masa, pero los valores absolutos de la diferencias de masas en tiempos largos son mayores, como se refleja en la Gráfica 14.

En la columna azul se representan los los datos de diferencia de masas en una disolucion de cloruro de hidrogeno 1M (de izquierda a derecha para 30 minutos y 2 horas respectivamente) y la columna roja representa la masa perdida en una disolucion del mismo compuesto inorgánico 5M en los mismos tiempos.



Gráfica 14 Comparación de pérdida de masa en medio ácido

En la Grafica 14, se puede apreciar como un medio ácido, corroe de forma totalmente opuesta al medio básico. Es decir, en el caso de las disoluciones de Ácido Clorhídrico, el parámetro más característico es el tiempo. El medio ácido provoca una mayor corrosión durante un tiempo largo.

En función de los datos obtenidos, se concluye que el aumento de masa perdida, en la concentración de 5M, se aprecia como en una hora y media más de dicha disolución, este aumento representa el 109%.

Si comparamos los datos obtenidos en un medio con un pH inferior a uno, con los datos en un medio básico como es la disolución de Sosa, se nota que la corrosión de las piezas de cobre en medio ácido para tiempos largos representa un 45,45% más de masa perdida para la concentración de 1mol/L, y un 17,9% en la concentración de 5mol/L.

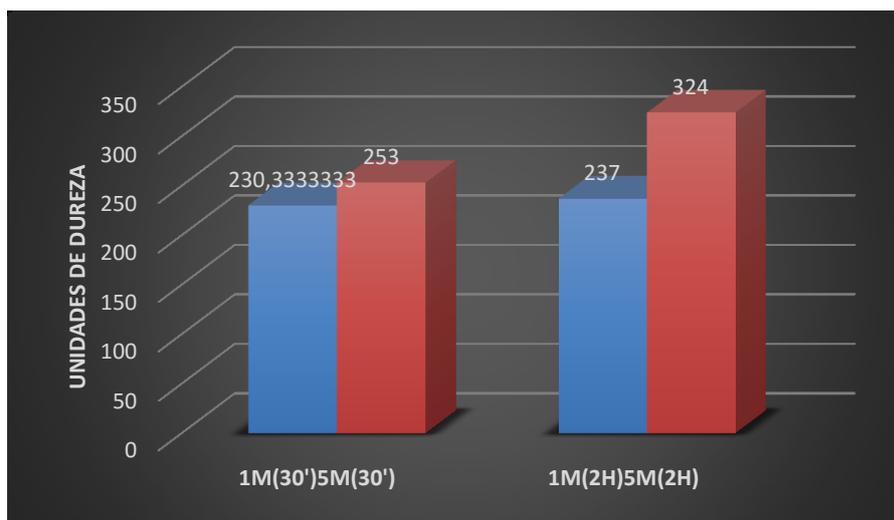
5.1.2 AUMENTO DE LA DUREZA

La variación de la dureza que han sufrido las piezas, ha sido un parámetro que se ha ido estudiando a lo largo de la elaboración del trabajo. Se le ha dado menor importancia debido a que el aumento o la reducción de la dureza, no constituye un parámetro crítico a la hora de analizar la corrosión.

Aún así se han obtenido resultados fiables que permiten obtener una relación de cómo se comporta el metal estudiado cuando se corroe. La deducción del comportamiento de la dureza del material se expone con los datos de dureza, obtenidos en un medio básico, dado que la tendencia de los datos es similar que en el medio ácido.

Se asume un determinado rango de error debido a que las medidas realizadas con el durómetro no son exactas y a que las piezas de cobre utilizadas no son totalmente lisas. Los datos de aumento de dureza en una disolución de hidróxido de sodio se representan en la Grafica 15.

En la columna azul se representan los datos de diferencia de unidades de dureza (aumento) en una disolución de sosa 1M (de izquierda a derecha para 30 minutos y 2 horas respectivamente) y la columna roja representa el aumento de dureza de la pieza en una disolución de sosa 5M en los mismos tiempos.



Grafica 15 Comparación dureza en NaOH

En la Gráfica 15, se observa como la dureza aumenta en función de la concentración del medio y del tiempo. Este aumento de la dureza se debe a dos factores:

1. **Capa de óxido presente:** Debido a que la dureza se mide mediante la percusión de una bola de acero, el impacto contra la capa de óxido, presente antes de sumergir la pieza en el medio básico, dará una medida menor. Esta capa de óxido, se diluye con gran facilidad en disoluciones muy básicas y muy ácidas. Por lo tanto después del experimento, la dureza se medirá directamente sobre la pieza de cobre, reflejando una dureza mayor.

2. **Pasivación del metal:** El cobre, al igual que otros metales como el acero, sufre una pasivación cuando se someten a diferentes medios corrosivos. Esto supone la formación de una fina película que protege al metal, impidiendo algunas de las reacciones electroquímicas como el intercambio de iones. Por tanto cuando se mida mediante percusión con el durómetro, esta capa se destruye (lo que se denomina picado), dando lugar a medidas de dureza mayores.

5.2 SELECCIÓN DE LOS POSIBLES INHIBIDORES

En el proceso de selección de los inhibidores se partieron de cuatro reactivos posibles. El primero, el Benzotriazol, se descartó de manera inmediata cuando solidificó, debido a que no podría cumplir su cometido dentro de una tubería.

Tras analizar los demás compuestos, todos consiguen inhibir la corrosión al 100% en un ensayo de media hora, a diferentes concentraciones. Por lo que se decide proceder a la fabricación del hidrogel con estas concentraciones de los diferentes reactivos. En la Gráfica 16 se comparan los diferentes inhibidores utilizados. En el eje de abscisas se representan los reactivos utilizados en el experimento y sus concentraciones y en el eje de ordenadas se representa la eficiencia de estos compuestos comparando los datos de diferencia de masa de los puntos 4.1.2 Pérdida de masa en disolución ácida con los datos recogidos en el punto 4.3 Estudio de los diferentes inhibidores.

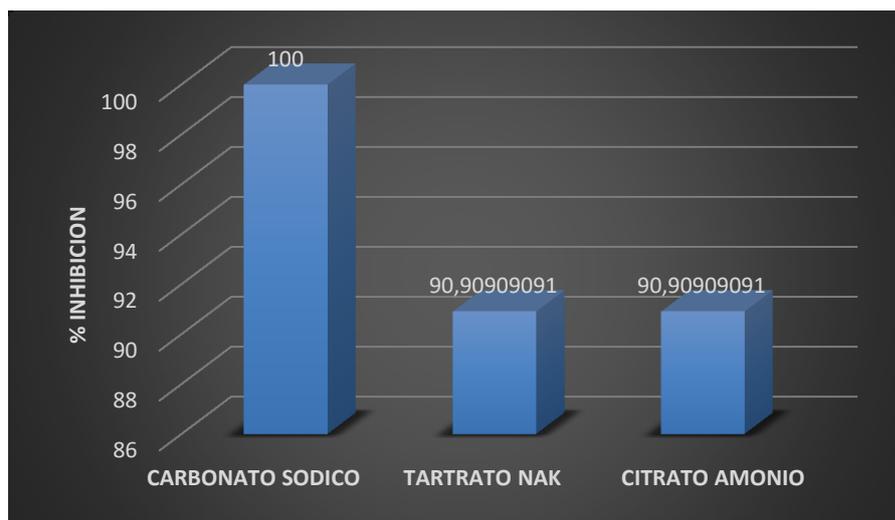


Grafica 16 Comparación de inhibidores

Como se observa en la Grafica 16, el Tartrato sódico-potásico al 10%, el Citrato de Amonio al 5% y el Carbonato Sódico al 1%, permiten que se no se pierda nada de masa de las piezas por lo que protegen al 100% las piezas de cobre frente a la corrosión. Por esto, y porque no sabemos el comportamiento que tendrán estos compuestos dentro de la estructura de Alginato Cálxico, se decidió basar la elección del mejor anticorrosivo en su comportamiento cuando está contenido en el hidrogel.

5.2.1 SELECCIÓN DE CARBONATO DE SODIO

Tras la realización de los tres tipos de hidrogeles (cada uno con una concentración), se obtiene unas variaciones sustanciales con los datos obtenidos anteriormente. Deduciéndose que ciertos reactivos como el Tartrato Sódico-Potásico y el Citrato de Amonio, no reaccionan de igual forma en estado líquido que en el hidrogel. En la Grafica 17 se exponen los datos de eficiencia de los inhibidores de la corrosión cuando se encuentran contenidos en una capsula de alginato de calcio.



Grafica 17 Porcentaje inhibición de los reactivos

Como se puede ver en la Gráfica 17, los hidrogeles de Tartato Sodico-Potasico y de Citrato de Amonio, no han conseguido inhibir por completo la corrosión del cobre, aunque el experimento fuese llevado a cabo solo en media hora. Esto sí lo ha conseguido el hidrogel de Carbonato de Sodio. Por tanto se deduce que Carbonato de Sodio no altera sus propiedades anticorrosivas frente a la corrosión cuando está contenido en el hidrogel.

Se elige el Carbonato de Sodio, como el mejor reactivo-protector del Cobre.

5.3 SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA (SLC)

En este experimento sólo se utilizó una de las pastillas, por lo que se puede aproximar que ésta contenía un 25% del total de Carbonato Sódico que se utilizó en la preparación de dicho sistema, es decir 0.25 gramos. En la Tabla 21(4.1.5 Evaluación de la eficiencia del sistema de liberación controlada) se puede apreciar que no inhibe la corrosión como el hidrogel, pero aun así, se puede concluir que, incluso con una cantidad tan insignificante como son 0.25 gramos el SLC tiene una eficiencia del 81.81%, con los datos de la Tabla 6(4.1.2 Pérdida de masa en contacto con disolución ácida) como referencia de lo que se deduce que utilizando un número mayor de pastillas conduciría a una protección efectiva contra la corrosión.

5.4 PREVISIÓN DE DAÑOS

En este punto se analizan los daños que pueden producirse si no se hace uso de inhibidores de la corrosión.

Se debe mencionar, que sólo algunos procesos industriales como la obtención de abono enriquecido a partir de roca fosfórica y leonardita [45], utilizan unas concentraciones de ácidos tan altas. En todo caso se

conocen abundantes drenajes ácidos con valores de pH inferior a 2, que podrían beneficiarse de un sistema que inhibiese la corrosión.

Además, debe considerarse que estos cálculos no se consideran exactos, debido a que la corrosión, como se ha comprobado no es un proceso lineal, sino que sus parámetros y factores varían en función de varias características. Se supone esta hipótesis en procesos cotidianos para poder realizar una previsión de daños.

Partiendo de los datos, que se reflejan en la Tabla 6, se observa que el codo de cobre de 22 mm de diámetro y de 4,37 cm de longitud pierde un 0.93% de porcentaje de su masa total en un medio ácido. Esto supone una pérdida total de esta pieza en unos diez días, aproximadamente, lo que significa una pérdida de un codo de tubería en una instalación en un tiempo muy breve.

Al extrapolar la pérdida de masa a una tubería de un metro de longitud total, se aprecia como la pérdida del 100% de la masa de esta, se perdería en, aproximadamente, doscientos quince días.

Además, se prevé que la corrosión supondría un inconveniente, en una instalación de tuberías de cobre, mucho antes de que se perdieran el total de una parte de la línea provocando fugas. Se debería tener en cuenta que la masa de cobre, que no se diluye por completo en la disolución del ácido, viajaría por la instalación acabándose depositando en un punto donde el flujo fuera más estacionario, depositándose por gravedad y provocando un atasco en la tubería.



Ilustración 32 Corrosión tubería de cobre en instalación hidráulica [46]

5.5 AHORRO MEDIANTE EL USO DEL HIDROGEL

En el siguiente capítulo, se hace una aproximación en términos de costes, basándonos en los ensayos y resultados obtenidos. Nótese que estos cálculos no pueden ser interpretados de forma estricta, pues se parte de la hipótesis de que el material este en un medio Ácido de concentración 5 molar.

La comparación de los costes que supondría un cambio de las tuberías se ha realizado desde dos puntos de vista: a gran escala y a pequeña escala.

A pequeña escala, se compara el precio de cambiar la tubería en mal estado con protegerla mediante un hidrogel de Carbonato Sódico, dado que este compuesto es el que mejores prestaciones aporta contra la corrosión, como se menciona en el apartado 5.2.1.

A gran escala, se estudia cuánto costaría cambiar la instalación de tuberías de cobre (tanto de gas como de cañerías), en las viviendas que todavía tienen este tipo de instalaciones y se compara con el coste de proteger estas antiguas instalaciones mediante un hidrogel de Carbonato de Sodio.

Actualmente se prevé que un 5.3% de las viviendas en España, todavía disponen de un sistema de cañerías de cobre y/o plomo. Este porcentaje representa un total de 1.34 millones de viviendas. [47]. La instalación de cobre de estas viviendas es de una longitud aproximada de 20 metros. Los materiales utilizados no son muy caros ni difíciles de encontrar, aun así, debemos determinar si resulta verdaderamente económico utilizar hidrogel de Carbonato Sódico.

En las Ilustraciones 33, 34,35 y 36 se muestran los precios comerciales de una tubería de cobre de un metro de longitud y los precios de los compuestos utilizados, demostrando además, su fácil acceso.



Tubo de cobre 12 mm 1 m

Tira de cobre de 1 m de longitud y 12 mm de diámetro. Con capa protectora para prolongar su vida útil. Recomendado para...

[Más información y disponibilidad](#)

2,95€



Tubo de cobre 12 mm 5 m

Tira de cobre de 5 m de longitud y 12 mm de diámetro. Con capa protectora para prolongar su vida útil. Recomendado para...

[Más información y disponibilidad](#)

14,75€



Tubo de cobre 15 mm 1 m

Tira de cobre de 1 m de longitud y 15 mm de diámetro. Con capa protectora para prolongar su vida útil. Recomendado para...

[Más información y disponibilidad](#)

3,65€

Ilustración 33 Precio tuberías 1m [49]



Cloruro cálcico anhidro perlas alimentario (25 kg)

Aditivo Alimentario **E509**.

Además de ser utilizado en el sector alimentario, también se usa para absorber el exceso de humedad.

Referencia: 208A1A-00/S05

1 29,00 €

 **AÑADIR A CARRITO**

Ilustración 34 Precio cloruro de calcio [49]



Carbonato sódico denso (25 kg)

20,00 €

Número CAS 497-19-8 También conocido como Soda ash.

 **AÑADIR A CARRITO**

Ilustración 35 Precio carbonato de sodio [50]

The screenshot shows the Amazon.es product page for 'Top Cake 71#IZI#35 - Alginato de sodio (50 gr, E401)'. The product is shown in a white plastic jar with a green label. The price is listed as EUR 8,02, and it is currently 'En stock'. The page also shows navigation options and a search bar.

Ilustración 36 Precio alginato de sodio [51]

5.5.1 ESTUDIO A PEQUEÑA ESCALA

Partiendo de estos datos se exponen en la Tabla 22, donde se indican las cantidades para la fabricación del hidrogel y en rojo se indica la pérdida de la cantidad de dinero al utilizarlo:

Tubería cobre 1 m	3,50 €		
Mano de obra 1h	30 €		
TOTAL	33,50 €		
CARBONATO SODICO 1K	20 €	200GR	4 €
CLORURO DE CALCIO 1KG	29 €	375GR	11 €
ALGINATO DE SODIO(50GR)	8,02	62,5GR	10,00 €
MANO DE OBRA	PROCESO AUTOMATICO		50 €
		TOTAL	75 €
DIFERENCIA	41,38 €		

Tabla 22 Datos de coste a pequeña escala

Aquí se observa como la preparación del hidrogel para proteger un punto local en una instalación no resulta eficiente desde el punto de vista económico. Cambiando, en este caso, la tubería de un metro de longitud se ahorraría 41.38€ lo que supone un ahorro del 55.17%.

5.5.2 ESTUDIO A GRAN ESCALA

En la Tabla 23, se realiza la estimación del coste de cambiar la instalación de cobre de 1.34 millones de viviendas:

INSTALACION DE TUBERIAS DE COBRE	20m	70 €	
INSTALACION COMPLETA	4.200 €	4.270 €	
5,3%VIVIENDAS CON INSTALACION DE COBRE	1348548,2 18	1,34MILLONES DE VIVIENDAS	
TOTAL VIVIENDAS	25444306	5.758.300.891 €	5758 MILLONES €

Tabla 23 Coste cambio de instalación es de cobre

El cambio de la red de cañerías y tuberías de cobre, que tienen 1,34 millones de viviendas en España, supondría un coste de cinco mil setecientos cincuenta y ocho millones de euros.

A continuación, en la Tabla 24 se realiza el mismo procedimiento que en la Tabla 24, extrapolando el uso del hidrogel a gran escala:

5360 TONELADAS DE CARBONATO SODICO	107,2 M€		
1675 TONELADAS DE ALGINATO DE SODIO	268M€		
1000 TONELADAS DE CLORURO DE CALCIO	292M€		
COMPARACION	CAMBIO	5.758.300.891 €	
	PROTECCION	667.200.000 €	5.091.100.891 €
		AHORRO APROX	5000M€

Tabla 24 Coste protección de instalaciones de cobre mediante hidrogeles.

Como se observa en el la Tabla 25, el ahorro nacional al utilizar hidrogeles a gran escala es aproximadamente de 5000 millones de euros, si se decidiera cambiar dicha red de cañerías. El ahorro a gran escala al usar el hidrogel anticorrosivo de Carbonato de Sodio sería del 86.83%.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 EVALUACIÓN DE OBJETIVOS

Los objetivos fijados a principio del trabajo de evaluar el los diferentes medios corrosivos para el caso del cobre y la selección del reactivo apropiado como inhibidor, se han llevado a cabo en su totalidad.

Los dos objetivos restantes del trabajo, que han sido la preparación del hidrogel y de un sistema de liberación controlada, se pudieron cumplimentar pero no en su totalidad. Esto se debe a que las concentraciones del hidrogel no fueron exactas (se utilizaron 50% de hidrogel 50% de disolución de ácido clorhídrico para comprobar la eficiencia del hidrogel) y a que en el caso del SLC, aun apreciando un descenso en los niveles de corrosión de las piezas, no permitían una protección absoluta de las piezas de cobre..

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN EN LOS DIFERENTES MEDIOS

Basándonos en los datos obtenidos en el punto 4.1, en el que se estudió el proceso de corrosión en el medio ácido y básico, se llega a la conclusión que el deterioro del cobre en estos medios no se comporta de la misma manera.

A la larga, el medio que resulta más corrosivo para el cobre es el ácido. Aunque cabe destacar, que en el medio básico la corrosión es más significativa en períodos de tiempos cortos. En este último medio, la pérdida de masa fue mayor que en medio ácido en los experimentos de menor duración. Sin embargo, la pérdida de masa se estabiliza pasado un determinado tiempo, y los valores se estabilizan. Por otro lado, en el medio ácido de Ácido Clorhídrico, la corrosión en los momentos iniciales no es muy significativa. Los valores de pérdida de masa aumentan en función del tiempo que el metal permanece en contacto con este medio.

Se debe mencionar, que las disoluciones con las que se ha trabajado, tanto la de HCl como la de NaOH, permiten la disolución por completo y de forma casi instantánea, del óxido cúprico presente en las piezas de cobre. Estos compuestos tienen la utilidad de limpiar las piezas de Cobre cuya capa de óxido no sea excesiva.

Cuando el Cobre permanece en medios ácidos o básicos, se aprecia un aumento de la dureza del metal, por lo explicado en el punto 5.1.2.

La variación de la dureza del metal es menor al utilizar inhibidores, por lo que los reactivos utilizados, no solo permiten frenar la corrosión en un tiempo breve, sino que también obstaculiza el proceso de pasivación en las superficies del Cobre.

6.3 COMPORTAMIENTO DE LOS INHIBIDORES

El reactivo que ha resultado ser el mejor protector del cobre frente a la corrosión ha sido el Carbonato de Sodio.

Incluso en su menor concentración, permitía, en un período breve de tiempo inhibir la corrosión por completo. Otros compuestos utilizados resultaron proteger de igual forma las piezas de Cobre, que el Carbonato de Sodio. Son los casos del Citrato de Amonio y del Tartrato Sódico-Potasico. Estos reactivos, si bien permitían una inhibición del 100% de la corrosión, requerían unas disoluciones con concentraciones mayores que el Carbonato de Sodio, por lo que se deduce que su poder de inhibición es menor. Este compuesto es utilizado comúnmente como regulador de pH, por tanto no es de extrañar que el pH de una disolución esté relacionado con su corrosividad.

El Benzotriazol, es también muy buen inhibidor de la corrosión. De hecho, los resultados obtenidos en el apartado 4.3.4, lo demuestran. Este compuesto fue descartado para la realización del hidrogel debido a dos motivos. El primero fue que, al enfriar las disoluciones de las concentraciones de 5 y 10%, estas solidificaron, por lo que no sería fiable para la protección de tuberías y cañerías. El segundo motivo es que trabajar con este compuesto no es seguro, debido a que como otros derivados del Benceno, resulta cancerígeno.

6.4 FABRICACIÓN DEL HIDROGEL

La fabricación del hidrogel fue un proceso determinante para la elección del mejor inhibidor pues se encontraron dificultades para la realización de los hidrogeles de Citrato de Amonio y de Tartrato Sódico-Potásico, especialmente con este último, debido a que la viscosidad de la disolución de Alginato de Sodio con Tartrato Sódico-Potasico, al tener mayor cantidad de este reactivo que las demás disoluciones, tenía una alta densidad y la succión de la disolución mediante la jeringuilla resultó complicada. Esta alta densidad y viscosidad, supondría un problema en la automatización del proceso de fabricación de hidrogeles.

Debido a los problemas encontrados en el uso de la jeringa, se considera más propio hacer uso de una bomba automática para la realización de este experimento.

Las características y propiedades de los reactivos se ven alteradas cuando estos están contenidos en la película de Alginato Cálcico, comparadas con las que tienen en disoluciones. Esto no es de extrañar, pues los hidrogeles actúan como un mecanismo de liberación controlada, lo que hace que las características de la disolución ácida de HCl, no varíen del mismo modo que cuando se le añaden 5ml de los compuestos.

Mediante este proceso, se pudo decidir por la fabricación de hidrogel de Carbonato de Sodio.

6.5 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE LIBERACIÓN CONTROLADA

Aunque el sistema de liberación controlada realizado presenta una eficiencia del 91.30%, consideramos que no es de útil aplicación pues no permite proteger al cobre de la corrosión en su totalidad. Mediante la utilización del SLC, este metal presenta una tendencia a perder masa inaceptable para casos de cañerías, tuberías o demás instalaciones.

En experimentos posteriores se comprobó que vida el SLC preparado es de 6 días en un medio de ácido clorhídrico 5M. A partir de este día, los niveles de corrosión de la pieza son muy elevados, experimentándose una pérdida de masa del 21.32%.

6.6 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN EN LA MATERIA

Con motivo de seguir en la línea de investigación de este trabajo, se propone realizar futuros estudios midiendo la corrosión del Cobre en otros medios, como por ejemplo, en un medio orgánico.

La preparación de un hidrogel eficiente en un medio orgánico, tendría una utilidad práctica en la protección de las paredes interiores de un tanque de aguas grises o negras en el sector naval.

También sería conveniente extrapolar estos métodos para experimentar con otros materiales comúnmente utilizados como el Acero, Hierro, Aluminio, Plata y Oro. Mediante un estudio de la corrosión en que afecta a estos tipos de metales se podrá deducir si todos los medios corroen de igual forma a todos los metales, o si por el contrario hay medios que no reaccionan con ciertos metales.

En este trabajo se trabajaron con 4 inhibidores de la corrosión: Citrato de Amonio, Tartrato Sódico-Potásico, Benzotriazol y Carbonato de Sodio.

Todos los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente, por lo que se expone la necesidad de un futuro estudio acerca de la posible dependencia de la corrosividad de los medios ácidos, básicos y orgánicos, en función de la temperatura.

Se propone continuar en esta línea, utilizando otros reactivos como inhibidores.

Para ver cómo se comporta el hidrogel en la disolución corrosiva se utilizaron cantidades de estos compuestos no exactas, pues el objetivo era obtener datos sobre el comportamiento de los reactivos cuando están contenidos en las estructuras de Alginato de Calcio. Como futuro trabajo se propone, estudiar que cantidad de hidrogel es necesaria de cada reactivo si se quiere frenar por completo el deterioro del metal.

En el punto 4.5 se vió como un sistema de liberación controlada permitía proteger parcialmente al cobre de la corrosión. Se propone para continuar en la línea de este trabajo, la realización de un SLC capaz de inhibir totalmente la corrosión de cobre con las concentraciones del inhibidor necesarias para ello.

Para terminar, se presenta la necesidad de automatización del proceso de la preparación de hidrogeles inhibidores de la corrosión, una vez determinadas las concentraciones necesarias de los diferentes compuestos.

El diseño de una maquina o autómatas que permitiera la fabricación de los hidrogeles, abarataría los costes y el tiempo de la mano de obra.

BIBLIOGRAFÍA

A continuación se presenta la bibliografía utilizada para la realización de este TFG:

- [1] A. S. García, «MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN POTENCIOSTATO COMERCIAL PARA LLEVAR A CABO MEDIDAS DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA,» Madrid, 2005.
- [2] F. L. M. Lluís Bilurbina Alter, Corrosión y protección, Barcelona: Universidad politecnica de cataluña, 2003.
- [3] F. L. C. FERNANDEZ, «ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN MATERIALES DE USO TÉCNICO: METALES. PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN.,» 2009.
- [4] R. H. H. W. S. H. F. G. & P. C. P. G. Petrucci, Química general, Pearson Alhambra, 1977.
- [5] J. R. Miñarro, «quimicaweb,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.quimicaweb.net/>.
- [6] E. B. Montal, «Estudio de los efectos de inhibidores de la corrosión en armaduras de hormigón,» Escuela técnica superior de Valencia, Valencia, 2011.
- [7] Engineering Corrosion, «Revista Virtual,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.revistavirtualpro.com/revista/corrosion-electroquimica/4>. [Último acceso: 2016 2 1].
- [8] P. P. Cea, «CORROSIÓN DEL COBRE EN MEDIO ÁCIDO Y SU INHIBICIÓN MEDIANTE COMPUESTOS CICLICOS NITROGENADOS,» Madrid, 2002.
- [9] «lenntech,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>.
- [10] R. H. TOLEDO, «La Corrosión del Cobre y sus Aleaciones,» Universidad De Antofagasta, 2006.
- [11] «h2osostenible,» ¿Que es la Desnificación?, [En línea]. Available: <http://www.h2osostenible.com/que-es-bronce-dzr/>.
- [12] Textos científicos, «Textos científicos,» 8 2 2004. [En línea]. Available: <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/medidas-proteccion>. [Último acceso: 24 12 2015].

- [13] «Maquito Blog,» 2005. [En línea].
Available: <https://maquitoblog.wordpress.com/2010/04/16/los-anodos-de-sacrificio/>.
- [14] C. A. G. y. A. M. Pereyra, «PROTECCIÓN DE MATERIALES PROTECCIÓN ANÓDICA,» Jaén, 2006.
- [15] Alicante, Universidad , «CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA,»
Departamento de Física Quimica, 2005.
- [16] E. H. y. L. S. A. Virginia Sáez, « MECANISMOS DE LIBERACIÓN DE FÁRMACOS DESDE MATERIALES POLIMEROS. s.l.,» Revista Iberoamericana De Polimeros, 2004..
- [17] A. J. Franco, «Trabajo Practico N°3: "Corrosión",» Malaga, 2001.
- [18] Upv, «Modificacion del medio corrosivo,» [En línea].
Available: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_5_2.html. [Último acceso: 2 2 2016].
- [19] AEJB, «Corrosión en Contacto con Medios Naturales,» AEJB, 2008.
- [20] R. Rosado, «Corrosión,» 2002.
- [21] L. D. A, «La Corrosion de Metales,» Revista Creces, 1988.
- [22] D. L. Fernandez, «Inhibidores para la corrosion de metales».
- [23] D. A. K. D. M. F. K. M. Dr. Adalbert Braig, «INHIBIDORES DE CORROSIÓN ORGÁNICOS PARA RECUBRIMIENTOS:AYUDANDO A LA INDUSTRIA A CUBRIR LAS REGULACIONES AMBIENTALES Y LABORALES DEL FUTURO».
- [24] Universidad de Sevilla, «Metisrestaura,» [En línea].
Available: <http://www.metisrestaura.com/elciddesevilla/seleccio-de-inhibidores-de/>. [Último acceso: 2 3 2016].
- [25] Grupo de Energía, Economía y Dinámica, «Los polimeros en medicina,» Universidad de Valladolid , [En línea].
Available: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/medicina/hidrogeles.htm>. [Último acceso: 3 2 2016].
- [26] D. G. H. I. I. G. D. S. Dunexy Andrade, «SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE HIDROGELES BASADOS EN ACRILAMIDA Y ÁCIDO MALEICO,» Revista Iberoamericana de Polímeros , Caracas,Venezuela
- [27] J. C. Luján, «Un hidrogel de hidróxido de aluminio para eliminar el arsénico del agua,» Public Health, 2001.
- [28] P. C. Claudi Mans, «La nueva cocina científica,» Investigacion y ciencia, Barcelona.
- [29] J. Escobar, «Hidrogeles. Principales características en el diseño de sistemas de liberacion controlada».
- [30] «Preparacion y evaluacion en suelos fertilizantes de liberacion controlada cubiertos con plimeros biodegradables».
- [31] Quiroed, «Sintesis de Benzotriazol».
- [32] «www.ugr.es,»[Enlínea].
Available: [www.ugr.es%2F~quiored%2Fflab%2Fpracticas%2Fp19%2Fp19.htm&bvm=bv.112766941,d.cGc&psig=AFQjCNHg8OfduWbilgthayOZRe6ert](http://www.ugr.es/~quiored/Flab/Fpracticas/Fp19/Fp19.htm&bvm=bv.112766941,d.cGc&psig=AFQjCNHg8OfduWbilgthayOZRe6ert). [Último acceso: 1 1 2016].

- [33] «Gentrochema,» 5 2011. [En línea]. Available: <http://www.gentrochema.nl/es/benzotriazole/?gclid=CKTqtMOHx8oCFUbmwgodyx4ASA>. [Último acceso: 26 1 2016].
- [34] Favela Pro, «Productos para laboratorio y acuacultura,» Sinaloa,Mejico.
- [35] Tecnicosaurios,«tecnicosaurios,»[Enlínea]. www.tecnicosaurios.com%2Fforo%2Fviewtopic.php%3Ff%3D24%26t%3D5015%26start%3D0&bvm=bv.112766941,d.cGc&psig=AFQjCNGg. [Último acceso: 26 1 2016].
- [36] Gonzalo Castelló, «Tartaric,» [En línea]. Available: <http://tartaric.com/es/sal-rochelle/>. [Último acceso: 2016 1 26].
- [37] New Jersey department of health and senior services, «Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas,» New Jersey, 2005.
- [38] Quiminet, «www.quiminet.com,» 2 Agosto 2007. [En línea]. Available: <http://www.quiminet.com/articulos/el-carbonato-de-sodio-y-sus-aplicaciones-mas-importantes-21849.htm>. [Último acceso: 26 1 2016].
- [39] Proceso de Obtencion del Carbonato Sodico, «www.prezi.com,» [En línea]. Available: <https://prezi.com/f151-qymtarp/procesos-obtencion-carbonato-sodico/>. [Último acceso: 26 1 2016].
- [40] Oxy, «OxyChile,» Oxy, [En línea]. Available: http://www.oxychile.cl/opensite_20075.aspx. [Último acceso: 28 1 2016].
- [41] A.Q.A, «Asesorias Quimicos Ambientales,» [En línea]. Available: <http://www.aqaltda.com/cloruro-de-calcio>. [Último acceso: 28 1 2016].
- [42] «Made in china,» Zhengzhou Polymer Chemical Company Limited, [En línea]. Available: http://es.made-in-china.com/co_polymerchem/product_Sodium-Alginate_hyyuegssy.html. [Último acceso: 28 1 2016].
- [43] A.-M. y. E. G.C Avendaño-Romero, «Propiedades del alginto y aplicaciones en alimentos,» San andres Choula.Mejico, 2013.
- [44] Jabón y Vida, «Goma Xantana,» 2003.
- [45] R. A. N. D. Alvaro Augusto Almeyda Ortiz, «Obtencion de abono enriquecido a partir de roca fosforica y leonardita mediante procesos piro metalurgicos y quimicos,» Escuela de ingenieria quimica, Bucaramanga, 2010.
- [46] Constru Sur, «ConstruSur,» [En línea]. Available: <http://www.construsur.com.ar/Article32.html>. [Último acceso: 31 1 2016].
- [47] Instituto Nacional de Estadística, «ine,» [En línea]. Available: <http://www.ine.es/>. [Último acceso: 31 1 2016].
- [48] leroymerlin,«leroymerlin,»[Enlínea]. Available:http://www.leroymerlin.es/productos/fontaneria_y_tratamiento_del_agua/alimentacion_de_agua/tuberias_de_cobre.html. [Último acceso: 31 1 2016].
- [49] vadequimica, «vadequimica,» [En línea]. Available: <http://www.vadequimica.com/aditivos-alimentarios>

/575-cloruro-calcico-anhidro-perlas-alimentario-25kg.html?gclid=CjwKEAiA_ra1BRDV-byb_aDqpQoSJAA-ofB9HTIB4pfZzxdyGrKMzlmftq8VY6KQ9Aa0awtuBoCQLfw_wcB. [Último acceso: 31 1 2016].

- [50] vadequimica, «vadequimica,» [En línea]. Available: http://www.vadequimica.com/156-carbonatos-y-bicarbonatos?gclid=CjwKEAiA_ra1BRDV-byb_aDqpQoSJAA-ofB9KXJbWJv53oS5pNWern6VwmdoN_E5JC2UzRSMgISo2hoC8iPw_wcB. [Último acceso: 31 1 2016].
- [51] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: http://www.amazon.es/Top-Cake-71-IZI-35/dp/B00UNEP2E2/ref=sr_1_3_3&keywords=alginato+de+sodio. [Último acceso: 31 1 2016].
- [52] «Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas,» Universidad Politecnica De Cataluña, [En línea]. Available: <http://www.cd6.upc.edu/>. [Último acceso: 16 Enero 2016].
- [53] «Normas de seguridad en el laboratorio,» Facultad de química, valencia, 2007.
- [54] Proceso de obtencion del carbonato sodico, «www.prezi.com,» [En línea]. [Último acceso: 2016].
- [55] Periodics Videos, «Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WnPrtYUKke8>. [Último acceso: 3 2 2016].

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I: PERFILOMETRÍA ÓPTICA

La Perfilometría óptica, basa su funcionamiento en el escáner de luz estructurada.

Esto consiste en la captura de la forma y de las características de un objeto, por un dispositivo, mediante la proyección de un patrón de luz y el posterior registro, cuando este incide de vuelta en el sistema de adquisición. [52]

Los perfilómetros se pueden clasificar de dos formas

- Perfilómetros de contacto: Necesitan forzosamente el contacto físico con el objeto del cual se quiere obtener el escáner.
- Perfilómetros sin contacto: No necesitan contacto físico con el objeto, dado que basan su funcionamiento en capturar la radiación que refleja el objeto.

7.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Consta de un proyector de haz de luz y una cámara, principalmente. La cámara permite captar los puntos o líneas de la superficie del objeto.

Para proceder al escaneo del objeto, es necesario definir un sistema de coordenadas esféricas para determinar cada punto del espacio tridimensional que la cámara está capturando.

Se pueden diferenciar tres tipos de funcionamiento:

Punto único: Es la forma de escaneo básico, que consiste en proyectar un haz de luz sobre la superficie de un objeto, que al rebotar genera un punto de iluminación en la cámara.

Patrón de rayas: El patrón de iluminación en la cámara varía según el haz de luz que se utilice. Esta técnica es la más utilizada, debido a su alta relación velocidad-calidad de imagen.

Barrido: Son múltiples escáner desde diferentes direcciones para obtener la forma tridimensional completa. Esta técnica es la menos extendida en la Perfilometría, debido a su alto coste temporal.

La resolución de estos sistemas, sin embargo, se encuentra limitada, por la anchura de las rayas, su calidad óptica y por la longitud de onda.

La anchura de las rayas que presente el objeto en su superficie no supone un problema, hoy en día, por la técnica Perfilometría de cambio de fase que consiste en combinar tres haces sinusoidales desfasados entre si ciento veinte grados. Pero este campo sigue estando limitado por la calidad óptica y por la longitud de onda del haz de luz, aunque esta última, se paliara mediante la técnica, aun en desarrollo de la interpolación de píxeles.

7.1.2 INGENIERÍA ÓPTICA

Hoy en día la ingeniería óptica abarca campos de investigación y desarrollo como:

- Diseño de sistemas ópticos y sensores.
- Metrología óptica.
- Aplicaciones láser.
- Tecnología del color.
- Radiometría y fotometría.
- Instrumentación biomédica.

Validación de monedas



Ilustración 37 Moneda Perfilometría [52]

Todas estas actividades están concentradas en el CD6, el cual, es un centro tecnológico y de investigación en el campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en Tarrasa.

7.2 ANEXO II: MEDIDAS DE SEGURIDAD BÁSICAS EN EL LABORATORIO

7.2.1 NORMAS PERSONALES

1. Durante la estancia en el laboratorio se deberá llevar en todo momento la bata.
2. El uso de gafas al trabajar con productos líquidos es obligatorio.
3. El uso de guantes es obligatorio para la manipulación del cualquier tipo de producto.
4. El personal del laboratorio no utilizara lentes de contacto en ningún momento dentro del laboratorio.
5. Personal en el laboratorio con el pelo largo deberá de llevarlo recogido.
6. Esta prohibió el consumo de bebidas o alimentos en el laboratorio.
7. No se debe llevar a la boca ningún producto químico para conocer su sabor.
8. Evitar el contacto directo con la piel de los productos.
9. Está terminantemente prohibido fumar dentro del laboratorio. [53]

7.2.2 NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

1. Evitar pipetear con la boca, utilizar pipetas automáticas.
2. No se debe detectar el olor de una sustancia de forma directa sobre el recipiente.
3. Se cerraran los frascos de productos químicos inmediatamente después de su uso.
4. Verter una cantidad de agua antes de realizar una disolución en un vaso de precipitados.
5. Manipular con precaución los ácidos y bases y demás productos que pudieran llegar a ser peligrosos.
6. Antes de utilizar cualquier producto químico se deberá atender a los pictogramas de seguridad presentes en el frasco. [53]

7.2.3 NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

1. Cuando se determinan masas de productos químicos con balanza se utilizará un recipiente adecuado.
2. Mantener perfectamente limpio y seco el lugar de trabajo.
3. Leer las instrucciones de uso del material que requiera corriente eléctrica. [53]

