



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MECÁNICA – MECATRÓNICA

DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA NUEVA GENERACIÓN DE SISTEMA PARA
PRESERVACIÓN Y EXHIBICIÓN DE DOCUMENTOS HISTÓRICOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
LUIS DARÍO REYES DELGADO

TUTOR PRINCIPAL
DRA. MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX

NOVIEMBRE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente
Secretario: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.
1 er. Vocal: Dra. Corona Lira María del Pilar
2 do. Vocal: Dr. Silva Rico José Antonio
3 er. Vocal: M en I Velázquez Silva Anahí

CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

TUTOR DE TESIS:
MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA

FIRMA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MECÁNICA – MECATRÓNICA

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA NUEVA
GENERACIÓN DE SISTEMA PARA
PRESERVACIÓN Y EXHIBICIÓN DE
DOCUMENTOS HISTÓRICOS**

LUIS DARÍO REYES DELGADO

Tabla de contenido

Tabla de contenido	IV
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
I. Agradecimientos	IX
II. Resumen	X
III. Abstract	XI
1. Antecedentes	1
1. El patrimonio histórico	1
2. El microclima	2
3. Preservación de objetos históricos	4
3.1. Preservación contra conservación	5
3.2. Determinación del estado de conservación de objetos históricos	6
3.3. Mecanismos que intervienen en el deterioro de objetos históricos	7
4. Efectos de las variables	10
4.1. Efectos de la humedad relativa	11
4.2. Efectos de la temperatura	13
5. Ingeniería y preservación	13
6. Sistemas para preservación	13
6.1. Características de un sistema para la preservación de objetos históricos	15
7. Cámaras para preservación	16
8. Estrategias	17

8.1.	Control de frontera	17
8.2.	Control pasivo	18
8.3.	Control activo	19
9.	Pruebas de caracterización	21
9.1.	Prueba de permeabilidad	21
9.2.	Prueba de presurización	21
10.	Sistemas existentes	22
10.1.	Desarrollos tecnológicos	22
10.2.	Patentes	24
11.	Consideraciones de diseño	26
2.	Desarrollo de un sistema de preservación	28
1.	Metodología	29
1.1.	El documento del siglo XII	29
1.2.	Problemática	29
1.3.	Identificación de necesidades	30
1.4.	Objetivos	30
2.	Diseño del sistema	31
2.1.	Alternativas exploradas para el medio de ensamble	32
2.2.	Sistema de soporte	32
2.3.	Dispositivos de sujeción	33
2.4.	Medio de ensamble del sistema	37
2.5.	Pruebas de ensamble	38
2.6.	Puerto o puertos de observación	46
2.7.	Sistema de cierre hermético	46
2.8.	Mantenimiento de las condiciones deseadas para el microclima	47
2.9.	Actuadores (y componentes para regulación de flujo)	48
2.10.	Instrumentación	49
3.	Resultados de la exhibición	51

3. Caracterización de la respuesta de los materiales de acuerdo con los cambios de la humedad relativa durante el proceso de estabilización	59
1. Diseño de cámaras para experimentos	60
2. Especificaciones de las cámaras para experimentación	60
2.1. Sistema de soporte	61
2.2. Dispositivos de sujeción	61
2.3. Sistema de cierre hermético	62
2.4. Volumen de gas humidificado	62
2.5. Instrumentación	63
3. Protocolo	64
3.1. Objetivos generales	65
3.2. Objetivos particulares	65
3.3. Metodología	65
3.4. Resultados de los experimentos de la fase 1	69
4. Conclusiones	74
5. Trabajo a futuro	76
Referencias	81
A. Procedimientos	82
1. Proceso de Presurización	82
2. Humectación	84
3. Proceso de estabilización	87
B. Hojas de especificaciones	88

Índice de figuras

1.1. Las métricas "OK", "Good" y Risk" indican el estado de preservación en diferentes ubicaciones para cada uno de los modos de degradación mencionados [24]. . . .	7
1.2. Ejemplo del comportamiento del punto de rocío con y sin sistema de control de humedad [24].	9
1.3. Esquema del efecto de expansión resultado de la absorción de vapor de agua del ambiente en una muestra de un material higrométrico [21].	12
1.4. Comparación esquemática de la humedad relativa del microclima del sistema de preservación con respecto al del macroclima [17].	18
1.5. Gráfica esquemática de la humedad relativa del micro y macroclima obtenida mediante una simulación de un modelo numérico del comportamiento termo-higrométrico de un sistema de preservación con estrategia de control pasivo [17].	19
1.6. Ejemplo obtenido mediante una simulación de un modelo numérico del comportamiento termo-higrométrico de un sistema de preservación de como la estrategia de control activa puede mantener condiciones diferentes entre el micro y macroclima [17].	20
1.7. Sistemas de preservación desarrollados por el equipo del CDMIT durante exhibición.	23
1.8. Diagrama de la patente US2003/0029764 A1.	24
1.9. Diagramas de la patente US20040154205 A1.	25
1.10. Diagramas de la patente US 2009/0015114 A1.	26
2.1. Modelo y dispositivo final exhibición y preservación	32

2.2. Modelo tridimensional de la platina ensamblada.	33
2.3. Copia a mano alzada de cuatro folios del documento.	34
2.4. Contorno digitalizado del documento.	35
2.5. Superposición de contorno para platina a 2.5mm y 5mm sobre guardas del documento.	35
2.6. Esquema del archivo correspondiente a la rejilla de la platina.	36
2.7. Modelo tridimensional del separador diseñado.	36
2.8. Vista de ensamble de la platina y la rejilla.	37
2.9. Secciones de papel secante.	37
2.10. Modelo tridimensional del prototipo donde a. representa los barrenos, b. la sección externa y c. la sección interna.	38
2.11. Sección inferior del banco de pruebas donde se realizaron los experimentos. . .	39
2.12. Diagrama de conexiones.	40
2.13. Diagrama de conexiones del experimento sin tanque.	40
2.14. Experimento sin tanque.	41
2.15. Experimento con tanque.	42
2.16. Comparación de la diferencia de presiones con y sin tanque.	42
2.17. Diagrama con los elementos utilizados durante la prueba (dimensiones en mm). .	43
2.18. Diagrama de los puntos donde se realizaron las mediciones.	44
2.19. Banco de pruebas donde se realizaron los experimentos.	45
2.20. Modelo tridimensional del sistema con los tornillos en su disposición final. . . .	45
2.21. Diagrama y fotografía del puerto de observación.	46
2.22. Fotografías de los o-rings colocados en el sistema.	47
2.23. Actuadores permanentes del sistema.	48
2.24. Actuadores temporales: válvula de estrangulamiento en humidificador y bomba peristáltica.	48
2.25. Actuadores permanentes del sistema.	49
2.26. Vista de ensamble del módulo desarrollado en el CDMIT.	50
2.27. Sistema cerrado con documento y papel batería en su interior.	51
2.28. Datos registrados del microclima.	52

2.29. Datos registrados del macroclima.	52
2.30. Comparaciones de humedad relativa y temperatura entre el micro y macroclima.	53
2.31. Datos obtenidos mediante el módulo diseñado.	56
2.32. Sistema durante exhibición.	57
3.1. Modelo tridimensional del sistema para experimentación.	60
3.2. Vista de ensamble del sistema.	61
3.3. Diferentes vistas del modelo tridimensional de la rejilla.	62
3.4. Vistas de los o-rings del sistema.	62
3.5. Diagrama del humidificador mecatrónico propuesto.	63
3.6. Sensores empleados para la propuesta.	64
3.7. Analizador de humedad.	66
3.8. Aplicación del volumen de agua destilada sobre la muestra de papel batería.	67
3.9. Cámara cerrada con muestra de papel batería en su interior.	67
3.10. Comparación de humedad relativa entre muestra de papel amate, papel batería y experimento control.	71
3.11. Temperatura registrada en los sistemas experimentales.	71
3.12. Comparación de la respuesta del documento contra respuesta de los sistemas experimentales.	73
A.1. Diagrama de conexiones.	83
A.2. Posicionamiento del comparador de carátula.	83
A.3. Ejemplo de línea que recorre longitudinalmente los o-rings.	84
A.4. Diagrama del humidificador.	84
A.5. Diagrama del flujo del gas con respecto a la posición de la válvula de estrangulamiento.	86
A.6. Proceso de estabilización.	87

Índice de tablas

1.1. Correspondencia de la figura 1.2	9
2.1. Diferencias de presiones promedio.	42
2.2. Separación en milímetros de las placas del acrílico.	44
2.3. Sensores y registradores utilizados.	50
2.4. Tarjetas de desarrollo utilizadas.	50
2.5. Comparación mensual de humedades relativas.	53
2.6. Comparación mensual de temperaturas.	53
2.7. Registro semanal de temperaturas del microclima.	54
2.8. Registro semanal de temperaturas del macroclima.	54
2.9. Registro semanal de humedad relativa del microclima.	55
2.10. Registro semanal de humedad relativa del macroclima.	56
2.11. Concentraciones máximas de material particulado.	57
3.1. Modelos de sensores propuestos para el sistema experimental.	64
3.2. Muestras para los experimentos.	66
3.3. Condiciones iniciales de temperatura.	69
3.4. Condiciones iniciales de humedad relativa.	70
3.5. Disminución de la humedad relativa en las cámaras con muestra de papel batería y papel amate.	70
3.6. Medición del desfase de las temperaturas con respecto a la ambiente. . .	72
3.7. Amplitud de las temperaturas.	72

I. Agradecimientos

Agradezco en lo que le corresponde a la DGAPA, UNAM, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, a través del PAPIIT IT101918: "Investigación y desarrollo de sistemas mecatrónicos para la conservación de documentos históricos"

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para la realización de los estudios de maestría.

II. Resumen

En este trabajo se presentan las actividades realizadas para el diseño e implementación de un sistema para preservación y exhibición de un documento prehispánico del siglo XII. El desarrollo de estos dispositivos ha ganado relevancia en el ámbito de la conservación, ya que además de ofrecer protección, permiten poner al alcance de una gran audiencia objetos que forman parte del patrimonio histórico de un país.

El documento a exhibir tiene la particularidad de estar clasificado como uno de los más antiguos en México, por esta razón se tuvieron en cuenta consideraciones especiales para obtener la solución utilizada para la exhibición.

Es importante destacar que el desarrollo de este sistema fue resultado del trabajo multidisciplinario de un equipo de ingenieros, diseñadoras industriales, museógrafos y expertos en preservación de documentos.

La estructura del trabajo es la siguiente:

En el capítulo 1, se introducen conceptos básicos que van desde la definición e importancia del patrimonio cultural hasta el micro y macroclima, fundamentales para entender la función principal del sistema desarrollado. También se tratan las variables de interés relativas al microclima y su clasificación con base en los efectos que sus fluctuaciones pueden ocasionar en un objeto histórico y la manera de prevenirlos mediante el diseño de cámaras herméticas; las características de estas y las estrategias que se pueden seguir para el control de la humedad relativa.

El diseño, construcción e implementación del sistema desarrollado, se abordan en el capítulo 2.

Por su parte en el capítulo 3, se presentan los hallazgos encontrados del comportamiento del microclima durante el periodo de exhibición y se describen las consecuencias que estos tuvieron. De igual manera, se plantea un sistema de caracterización para diferentes tipos de papel y su protocolo.

Las conclusiones de este trabajo se encuentran en el capítulo 4, mientras que en el capítulo 5 se describe el trabajo a futuro.

III. Abstract

The goal of this research is to design and build an encasement to protect and exhibit a prehispanic document, which is said to be dated on the 12th century. The relevance of this devices has increased during the last thirty years because it allows people to be in touch with its heritage.

The document *per se* is unique because is considered as one of the most ancient documents remaining in Mexico. Special guidelines were taken in order to achieve the solution described in this text.

An important milestone of this research was the team itself, as it was multidisciplinary. The team was composed by engineers, industrial designers, museographers and archive preservation experts.

The structure of this thesis is as follows:

Basic concepts are introduced on chapter 1. These go from heritage and its importance until micro and macroclimate. The last ones were key to understand the main function of the preservation system. The variables involved and their effects regarding archive preservation are also described.

Design, construction and implementation of the developed system are described on chapter 2. Data acquired while the system was operating is also included.

The findings on the microclimate behavior did have such an impact that a set of smaller encasements were developed and a protocol was also purposed. in order to test several samples of different types of paper under similar microclimate conditions. In order to conduct these tests,

1 | Antecedentes

1. El patrimonio histórico

El patrimonio cultural es considerado como el legado de artefactos físicos o atributos intangibles de un grupo o sociedad que se hereda de una generación a otra y que se mantiene a través del tiempo para el beneficio de generaciones posteriores [4].

Para entender las implicaciones de la preservación de cualquier tipo de patrimonio cultural es necesario conocer cada uno de ellos y la importancia que tienen para la humanidad [2].

Con base en sus atributos, el patrimonio se puede clasificar en:

- **Tangible**
- **Intangible**
- **Natural**

El primero incluye edificios, lugares históricos, monumentos, libros, documentos, obras de arte, entre otros.

Entre estos objetos, se encuentran aquellos que son importantes para la arqueología, arquitectura, ciencia, tecnología o que pertenecen a alguna cultura específica.

El segundo, se refiere a aquellos atributos que están presentes en la tradición oral, rituales o artes interpretativas.

El último, engloba a los paisajes que tienen algún valor para un grupo o sociedad; tales como formaciones geológicas o la biodiversidad.

El patrimonio es importante para el estudio histórico de la humanidad ya que sientan las bases para la comprensión del presente.

A su vez, el patrimonio también puede clasificarse con base en su ubicación geográfica:

- **Móvil**

Este incluye pinturas, esculturas, manuscritos, monedas y libros.

- **Inmóvil**

Se trata de monumentos o sitios arqueológicos.

Además, el patrimonio cultural demuestra el reconocimiento de la necesidad del pasado, así como de su contexto, para contar la historia detrás de él. Representa la huella de la evolución temporal de las civilizaciones y debe resguardarse para el futuro en beneficio de las generaciones posteriores[3].

Otro aspecto importante para el desarrollo de este trabajo fue el de comprender la conservación y las actividades que se engloban dentro de ella.

La exhibición del patrimonio cultural permite poner el pasado al alcance de las personas. Sin embargo, representa riesgos. Ya que, es susceptible de sufrir daños resultantes de dicha interacción. Adicionalmente, se deben tener en consideración los requerimientos para su exhibición, tales como: las condiciones de temperatura, humedad relativa, lumínicas o de concentración de contaminantes[6].

2. El microclima

El microclima se refiere al conjunto de condiciones ambientales que deben estudiarse para conocer los factores que tienen un impacto directo en el estado físico de un objeto histórico y las interacciones tanto con el aire que lo rodean, como con los objetos que se encuentran cerca de este[1].

En el contexto de la preservación, es la síntesis de las condiciones físicas del ambiente dadas por variables atmosféricas o interacciones con objetos cercanos, por ejemplo: distribuciones en el tiempo o en el espacio, tendencias, valores máximos, mínimos o promedios de temperatura o humedad relativa durante un periodo de tiempo representativo.

El microclima está determinado por la interacción y retroalimentación entre estos parámetros y las superficies que interactúan entre sí. Además, sienta la base para realizar una

predicción del comportamiento de estas.

Este volumen es donde ocurren todas las interacciones del objeto histórico con las variables que conforman el microclima; por otra parte, el volumen correspondiente a la sala de exhibición y sus variables asociadas se denominan macroclima. Este último se caracteriza por tener requerimientos menos demandantes con respecto a las condiciones de humedad relativa y temperatura que se deben cumplir para el objeto histórico. Finalmente, la frontera del macroclima con el exterior, la conforma la construcción del edificio donde se realiza la exhibición por sí misma y se le conoce como envolvente.

Las condiciones ambientales han demostrado ser uno de los factores más relevantes en el ámbito de la preservación. A lo largo del tiempo, el enfoque de este concepto ha cambiado, desde el confort de los visitantes de un museo, a colocar en primer lugar el estado de preservación del objeto histórico, hasta el actual, donde se considera el impacto en el gasto de energía de los sistemas necesarios para lograr la preservación.

Con base en el primero de los enfoques, los ambientes interno y externo son considerados de manera distinta ya que se busca regular la temperatura como necesidad principal sin tomar en cuenta las condiciones climáticas de la región, el nivel de humedad relativa del lugar.

Posteriormente se puso énfasis en el segundo de los enfoques anteponiendo criterios que permitieran la conservación de los objetos históricos sobre el confort de las personas que interactúan con estos. Sin embargo, plantean una contradicción entre ellos ya que el primero pone en riesgo la integridad de los objetos históricos, mientras que el segundo limita la interacción de los visitantes con propósitos educativos.

Con el avance de las investigaciones en el área se replantearon los enfoques descritos anteriormente buscando un balance entre ellos y teniendo en cuenta que tanto el ambiente interno como el externo se encuentran sujetos a problemas similares ya que se someten a ciclos diarios de cambios temperatura y humedad relativa provocados por la transición del día hacia la noche o por factores artificiales, como sistemas de aire acondicionado o de ventilación, así como por la interacción con las personas. También están expuestos ante radiación de onda corta, que puede ser el resultado de la exposición a la luz solar directa o por alguna fuente de iluminación artificial. Por otro lado, pueden ser afectados por movimientos advectivos ocasionados por el viento o fugas a través de grietas o turbulencias generadas por fuentes de momento, como el

movimiento de las personas o fuentes de calor.

Otro caso en el que se muestra que el ambiente externo y el interno sufren fenómenos parecidos se encuentra en los que se relacionan con la lluvia o el rocío ya que estos se consideran propiamente como parte del ambiente externo, sin embargo, sus efectos también son apreciables al interior de los recintos donde se exhiben objetos históricos, un ejemplo claro es la condensación en la superficie interna de ventanas.

Por otra parte, elementos externos como los contaminantes también se pueden introducir a través de las ventanas o puertas y se depositan mediante los mismos mecanismos físicos sin importar si se trata del interior o el exterior. Sin embargo, su escala y complejidad pueden modificarse de un lugar al otro.

Un aspecto notable radica en el hecho de que el ambiente interno (dentro de una sala de exhibición, por ejemplo) es susceptible de ser controlado, con lo que se vuelve necesario conocer los medios y técnicas para lograr dicho objetivo. La cuestión más importante por resolver radica en conocer si un cambio en las variables mencionadas ocasionará una alteración que impacte de alguna forma en el objeto histórico o la integridad de sus materiales. Para esto es relevante identificar los márgenes permisibles para cada una de ellas, ya que la composición e irreproducibilidad del objeto *per se*, complican el establecimiento de una regla o norma general, reduciendo la posibilidad de que más personas tengan acceso a ellos.

Por las razones descritas anteriormente, la preservación, renovación, restauración y manejo de los objetos que lo conforman son de gran relevancia.

3. Preservación de objetos históricos

La preservación de documentos se refiere a todas las actividades que se relacionan para mantener dichos materiales tanto para su uso en formato original, como en cualquier otro, un ejemplo de esto, son las iniciativas de digitalización [34].

La conservación, por otra parte, se refiere al tratamiento de los archivos para estabilizar su estructura física asegurando su permanencia por el mayor tiempo posible en su formato original.

En este contexto es importante diferenciar la preservación de la conservación, ya que en

ocasiones se emplean como sinónimos cuando en realidad el primero es parte de las actividades del segundo.

3.1. Preservación contra conservación

A la conservación se le atribuyen tres funciones principales que son:

- **Examinar**

Esta consiste en la determinación de la estructura original y materiales que conforman al objeto histórico en cuestión.

- **Preservar**

Su objetivo radica en la prevención o retraso de cualquier daño en el material cultural a través del control del medio ambiente del lugar donde se resguarda o se exhibe.

También incluye la realización de una serie de actividades que permiten mantener la estructura y estado del objeto en condiciones cercanas a las que se encontraba originalmente.

- **Restaurar**

La meta de esta función es devolver en la medida de lo posible al material dañado o deteriorado a su estado original.

En el contexto de la conservación del patrimonio histórico se busca que este perdure el mayor tiempo posible, por eso se han desarrollado diferentes estrategias a lo largo del tiempo, especialmente durante las últimas tres décadas. Es por esta razón, que se han establecido los parámetros que intervienen en este proceso para lograr su manejo.

Los de mayor importancia, son los relacionados con el microclima, entre ellos destacan la humedad relativa y temperatura, tanto del ambiente externo como del ambiente que rodea al objeto histórico; variables de la intensidad lumínica que recibe la exhibición, así como el nivel de contaminantes o de material particulado.

Debido a que el riesgo de deterioro y en algunos casos de su pérdida permanente es inminente se deben conocer y clasificar los parámetros y variables involucradas en dicho proceso.

3.2. **Determinación del estado de conservación de objetos históricos**

Para identificar el estado de conservación de un objeto histórico, se estudian los parámetros relacionados con el microclima por periodos prolongados de tiempo con la finalidad de observar y medir los cambios que experimentan los objetos históricos, en particular documentos asentados en papel o textiles, durante los cambios de estación frías a cálidas y viceversa [24].

Se emplean programas hechos a la medida, de tal forma que permiten analizar un gran volumen de datos, que relacionan el estado de la obra con las condiciones del clima tanto al interior del recinto donde se resguardan o exhiben como al exterior de este durante un largo tiempo. Como ejemplo se puede tomar un estudio consultado en el que se adquirieron datos de temperatura y humedad relativa en intervalos de cinco meses y que además comprendían los cambios de estación entre otoño y verano en un periodo de cinco meses.

Con respecto a la instrumentación empleada, principalmente se basa en registradores automáticos de temperatura, humedad relativa, flujo luminoso e irradiancia ultravioleta, de tal forma que el ciclo para el procesamiento de los datos comprende las siguientes etapas [24]

1. Colocación del registrador.
2. Monitoreo.
3. Descarga de datos
4. Análisis de los datos
5. Emisión de una recomendación o calificación del estado del objeto histórico.

En el estudio mencionado, se proporcionó una métrica basada en la propuesta previamente por el IPI (*Image Permanence Institute*) donde se consideran los modos principales de degradación en colecciones de objetos históricos:

- **Envejecimiento natural.** Inducido por el deterioro químico de componentes orgánicos, denominado.
- **Daño mecánico.** Provocado por el deterioro físico o estructural, principalmente en materiales higroscópicos.

- **Riesgo por hongo.** Basado en las condiciones ambientales, particularmente alta humedad o con mayor amplitud, en el riesgo biológico.
- **Corrosión.** Como con el anterior, se basa en las condiciones ambientales, especialmente en ambientes con alta humedad, sin embargo, es resultado de una reacción química.

Además, con la finalidad de simplificar la representación de los datos obtenidos, se utilizó su mediana para cada estación del año respectivamente y se le asignó una calificación del estado de conservación. Un ejemplo para diferentes colecciones se muestra en la figura 1.1.

Location	Environment at a Glance			
	Natural Aging	Mechanical Damage	Mold Growth	Metal Corrosion
IPI Library	OK	Good	Good	OK
Library 3	OK	Risk	Good	OK
Main Library	Risk	OK	Good	OK
Prints and Photos	OK	Risk	Good	OK
Rare Books	OK	Risk	Good	Risk

Figura 1.1. Las métricas "OK", "Good" y "Risk" indican el estado de preservación en diferentes ubicaciones para cada uno de los modos de degradación mencionados [24].

Por otra parte, una meta de dicho proyecto consistió en que el modelo estadístico mediante el que se califica el estado de las obras fuera válido para todo el país (Estados Unidos), sin embargo, se encontró una relación con las condiciones climáticas de la región donde se desarrolló el estudio (Massachusetts). Por lo tanto, los resultados del estudio solo son válidos para la región en la que se realizó. Es por esto que para la preservación de un objeto histórico, se deben caracterizar las condiciones del macroclima para contrarrestar sus efectos en el microclima.

3.3. Mecanismos que intervienen en el deterioro de objetos históricos

El deterioro de esta clase de objetos es inevitable, pero hay factores que funcionan como catalizadores o inhibidores de dicho fenómeno y se pueden clasificar con base en sus efectos sobre el mismo:

- **Mecánicos**

Provocan un cambio directo en la geometría del objeto (papel o textiles), y se relacionan con variables ambientales como la temperatura y la humedad relativa.

- **Químicos**

Son asociados al propio objeto, es decir, al propio proceso de envejecimiento relacionado con la composición de sus materiales.

- **Biológicos**

Son ocasionados por la presencia de seres vivos en los objetos históricos, como hongos y en algunos casos hasta insectos.

De estos mecanismos, las interacciones con el microclima y el objeto histórico también se han estudiado, tales como las resultantes de variables como el flujo luminoso, la concentración de contaminantes o materiales particulados presentes en el aire. A su vez, condiciones particulares como exceso de humedad relativa (>65%) o altas temperaturas promueven un incremento de la actividad biológica, también favorecen la oxidación de metales y ocasionan que el papel o textiles sufran deformaciones. Sin embargo, las variables que más propician el deterioro de los objetos históricos en conjunto son las siguientes:

- **Temperatura**

- **Humedad relativa**

- **El punto de rocío**

Esta variable relaciona la temperatura con la humedad relativa. Está definida como la temperatura a la que el aire no puede contener más humedad, por lo que el agua se condensa. Por lo tanto, es responsable de determinar la humedad relativa correspondiente con una temperatura dada.

Es de relevancia porque lo que sucede en la ausencia de un sistema de control de humedad es que al disminuir la temperatura sin vigilar esta el punto de rocío, se incrementa drásticamente la humedad relativa.

En la figura 1.2 se observa la comparación del manejo del punto de rocío mediante diferentes sistemas de control de humedad y su ausencia con respecto al del ambiente (línea roja), mientras que en la tabla 1.1 se presentan los colores de las líneas correspondientes con la figura 1.2.

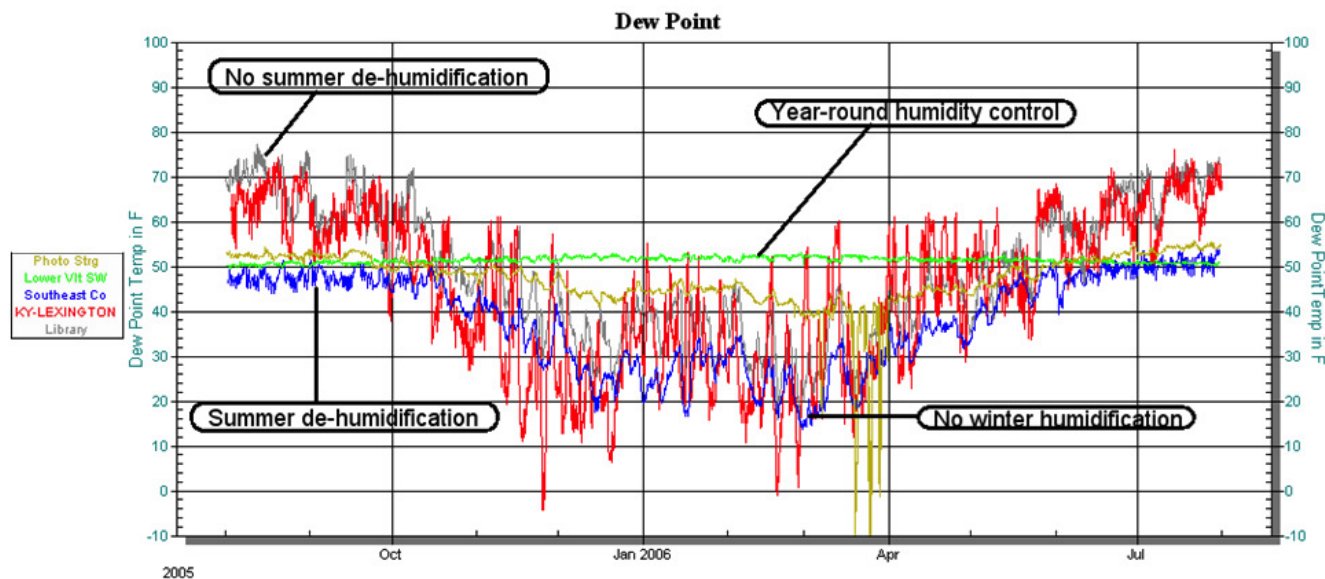


Figura 1.2. Ejemplo del comportamiento del punto de rocío con y sin sistema de control de humedad [24].

Color de línea	Condición del espacio
Gris	Sin sistema de control de humedad
Azul	Con sistema de control de humedad sin humidificación
Verde	Con sistema de control de humedad
Amarilla	Con sistema de control de humedad con deriva

Tabla 1.1. Correspondencia de la figura 1.2

Además, la relevancia del punto de rocío radica en que es una práctica común que grandes acervos sean resguardados en bóvedas con clima controlado, aunque en realidad únicamente sean capaces de modificar la temperatura del lugar, pero un aspecto omitido es que es necesario un sistema de control de humedad para prevenir daños en las colecciones

ya que a través de este se puede establecer el punto de rocío y conocer el conjunto de combinaciones posibles de humedad relativa con temperatura. Un aspecto notable de esta relación se presenta cuando esta variable se mantiene constante, ya que en dichas condiciones, temperatura y humedad relativa son inversamente proporcionales.

4. Efectos de las variables ambientales que favorecen el deterioro de objetos históricos

Como ya se mencionó, una de estas variables, cuyo impacto es de mayor interés en el contexto de la preservación del patrimonio histórico, corresponde con la humedad relativa.

Sin embargo, el concepto de humedad por sí solo es más amplio, ya que relaciona el contenido de agua en el aire. Es un factor importante para el bienestar de las personas como de los animales. Esta se puede cuantificar mediante instrumentos que se denominan higrómetros.

Si bien en español el término humedad parece ser usado ambiguamente, en inglés existen dos términos para diferenciar por razones prácticas, cuando se trata de un líquido o sólido (*moisture*), mientras que cuando se refiere a un volumen de vapor de agua contenido en un gas se emplea el término (*humidity*). Con respecto a este último, además, se emplean varios conceptos que ayudan a describir la humedad con base en diferentes características y dependen del contexto de la aplicación en particular. Estos se describen a continuación [1]

▪ RAZÓN DE MEZCLA (*Mixing ratio*)

Corresponde con la razón adimensional de masa de vapor de agua con respecto a la masa de aire seco. Representa la mezcla ponderada de dos sustancias gaseosas.

▪ HUMEDAD ESPECÍFICA

Es la proporción adimensional de masa de vapor de agua a la masa de gas húmedo. Esta representa la dilución ponderada de vapor en la atmósfera.

▪ HUMEDAD ABSOLUTA

Es la masa de vapor de agua por unidad de volumen de gas húmedo. De tal manera que corresponde con la componente de la densidad del vapor de agua en la mezcla. Es

expresada en gramos por metro cúbico $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$.

Aunque puede medirse directamente con sensores para conductividad térmica, sus rangos de operación se encuentran por encima de los 100 °C.

■ HUMEDAD RELATIVA

Es la relación adimensional de la presión parcial de vapor agua, con respecto a la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura. Por razones prácticas, acostumbra a expresarse en porcentaje (%).

Esta se emplea en el ámbito de la preservación ya que se puede medir de manera directa y a la vez permite el cálculo tanto de la razón de mezcla, la humedad específica y la humedad absoluta.

Sus efectos en objetos históricos están relacionados con la temperatura, las condiciones de iluminación y la presencia de agentes contaminantes en el aire.

4.1. Efectos de la humedad relativa

Estos son de diferente naturaleza y se relacionan de manera directa con las propiedades del material o materiales que se encuentran en resguardo o en exhibición [12].

■ GEOMÉTRICOS

Se presentan principalmente en materiales como madera, huesos, marfil, pergamino, entre otros y consisten en un cambio de dimensiones resultante de la capacidad que poseen para absorber o liberar el agua disponible en el ambiente. Esta se traduce en una expansión dado que el contenido de agua se incrementa, como se observa en el esquema de la figura 1.3. Mientras que en el caso de una disminución del contenido de agua, la consecuencia geométrica es la de una contracción.

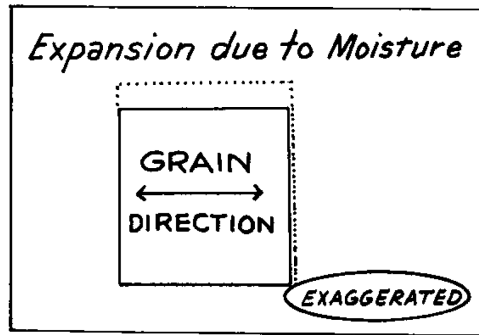


Figura 1.3. Esquema del efecto de expansión resultado de la absorción de vapor de agua del ambiente en una muestra de un material higrométrico [21].

Otro de estos efectos es perceptible debido a la aparición de grietas o fracturas. Un ejemplo de este fenómeno se puede observar en el caso del papel, donde se presenta debido a su composición basada en capas de material orgánico.

Finalmente, otro caso particular de deformación se presenta cuando existe interacción entre varios materiales, ya que las alteraciones mencionadas anteriormente podrían desarrollarse a tasas y direcciones distintas para cada uno.

■ TASA DE DETERIORO QUÍMICO

Estos se refieren a las reacciones asociadas a la composición química del objeto histórico y se relacionan con los siguientes fenómenos:

- Aparición o aceleración de reacciones corrosivas.
- Decoloración.
- Disminución de la resistencia mecánica en el caso de papel o tela.

■ ASOCIADOS CON FUENTES BIOLÓGICAS

Cuando existe un exceso de humedad relativa ($>70\%$), se favorece el crecimiento de microorganismos, principalmente hongos, como resultado de niveles inadecuados de humedad relativa, así como a la falta de flujo de aire y la exposición a altas temperaturas.

4.2. Efectos de la temperatura

Se relaciona con los aspectos descritos anteriormente ya que tiene los siguientes efectos:

- Actúa como catalizador de reacciones químicas.
- Favorece el aumento de la tasa de intercambio entre el aire y el agua a través de partículas estables.
- Provoca deformaciones en el objeto histórico exhibido.
- Tiene el efecto de secado parcial en materiales como papel, madera o cuero. A largo plazo ocasiona un incremento en la fragilidad de estos.

5. Relación entre la ingeniería y la preservación

La acción de exhibir en un museo esta clase de objetos significa un desafío desde el punto de vista de la conservación, así como del de la ingeniería, ya que se deben cumplir rigurosas especificaciones para que esta acción pueda realizarse de manera segura, lo que se traduce en que el objeto se mantendrá íntegro durante un periodo de tiempo prolongado.

El cumplimiento de lo anterior es alcanzado al poner dichas colecciones o acervos en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa e iluminación, de tal forma que se mantengan dentro de un umbral en el que se minimicen los daños que puedan ocasionar estos factores, sin embargo, esto implica el almacenamiento de estos en lugares especiales, con lo que se sacrifica la posibilidad de que grandes audiencias puedan observarlas. Es por esta razón que, durante las últimas tres décadas, alrededor del mundo se han desarrollado sistemas capaces de imitar dichas condiciones a la vez de que ponen al alcance de las personas estos objetos para su observación.

6. Sistemas para la preservación de documentos

Los mecanismos de daño y las estrategias de conservación preventiva dependen en gran medida, como se ha hecho hincapié, de las condiciones ambientales, pero un aspecto que per-

mite evaluar el desempeño de los sistemas diseñados para mantener los objetos históricos en las condiciones requeridas para su preservación consiste en la cuantificación de un conjunto de dichas condiciones a lo largo del tiempo.

El manejo sistemático de las condiciones del microclima para prevenir los mecanismos de daño es realizado a través de dispositivos capaces de alterar o mantener estas condiciones dentro de un rango permitido. Además, ofrecen protección y la posibilidad de permitir su exhibición simultánea. De esta forma, los dispositivos basados en la modificación de las variables internas del sistema de exhibición son los que se denominan activos, como consecuencia de que su principio de operación se basa en el intercambio de masa o energía. Por otra parte, los sistemas pasivos, logran la estabilización de las condiciones internas a través de la permeabilidad del aire (*air-tightness*) adecuada en conjunto con la posibilidad de alterar la inercia térmica y la capacidad de absorber vapor de agua.

El diseño de un sistema para preservación de objetos históricos, además de exhibirlo, pone énfasis en la capacidad de cerrar herméticamente un volumen en el que los factores ambientales pueden monitorearse y controlarse manual o automáticamente.

Los sistemas convencionales o permeables, por sí solos son una parte importante del mobiliario de los museos, un gran número de ellos emplean un modelo que se denomina “*box in a box*” como una estrategia para la preservación de objetos históricos [22].

Uno de los ejemplos de aplicación más claros de estos, son el caso de las exhibiciones compuestas por objetos de diferentes materiales y épocas, de tal modo que cada uno requiere niveles diferentes de humedad relativa y temperatura, por lo que lograr dicha meta para cada uno de ellos, se convierte en un reto considerable.

Es por esto que su uso resuelve la problemática antes mencionada, ya que se trata de un volumen pequeño confinado de aire o gas a las condiciones apropiadas para el objeto específico.

Es por las razones anteriores que los sistemas para preservación de objetos históricos cumplen con dos funciones principales: la de exhibir el artefacto y la de protegerlo de condiciones climáticas que lo ponen en riesgo. Lo que ha llevado a su adopción como herramientas para la preservación, dado que el daño y su prevención, dependen directamente de mantener las condiciones del microclima estables y seguras a lo largo del tiempo.

6.1. Características de un sistema para la preservación de objetos históricos

Estos sistemas tienen la forma de una caja, la cual está sellada y provista de al menos una cara de plástico o vidrio, cuyo volumen se llena con un gas inerte humidificado con el objetivo de obtener un ambiente con condiciones específicas para el objeto que se desea exhibir y preservar. Se componen de los siguientes subsistemas con base en la función que realizan [19]

▪ SOPORTE

Este se refiere a los elementos estructurales de este tipo de sistemas. Tiene la forma de una caja o vitrina compuesta por un conjunto de elementos que constituyen una cámara dentro de la que se deposita un objeto histórico.

La geometría, dimensiones y materiales dependen de los requerimientos de la exhibición y del objeto que se exhibirá. El material puede ser metálico (aluminio, acero inoxidable o titanio) o polimérico (plexiglás, policarbonato, acrílico, entre otros).

▪ SUJECIÓN

Son elementos que en conjunto se encargan de mantener en posición y orientación al objeto histórico dentro del sistema de preservación. Tienen la forma de grapas o pestañas que pueden ser de distintos materiales con la finalidad de evitar que el objeto (específicamente documentos) se deslice o sufra un cambio abrupto de posición, así como de permitir que este se expanda o contraiga como resultado de los cambios del microclima.

▪ ENSAMBLE DEL SISTEMA

Son los componentes que se encargan de mantener cada una de las piezas del sistema en su posición con respecto a los otros. Pueden ser tornillos o juntas especiales que permiten mantener la hermeticidad del sistema, así como tener acceso al objeto histórico en cuestión.

▪ OBSERVACIÓN

Este elemento permite la interacción del objeto con el público, es decir, que se trata de la frontera física entre el sistema de preservación y los espectadores. Se hace uso de vidrio

o plástico para facilitar la vigilancia de las alteraciones que experimenta a lo largo de la exhibición.

- **SELLADO (HERMÉTICO)**

Está conformado por los sellos de las juntas que evitan en cierta medida el intercambio de masa o volumen entre el gas que está en contacto directo con el objeto y el que se encuentra en el exterior, en este caso, el del lugar donde se encuentra instalado.

Dichos sellos pueden ser de algún elastómero, como Viton o silicona, de sección transversal circular o de otra geometría. También pueden ser o-rings metálicos, fabricados de indio o aleaciones de níquel-cromo.

- **MANTENIMIENTO DE LAS CONDICIONES DESEADAS PARA EL MICROCLIMA**

Este subsistema incluye los actuadores necesarios y aquellos elementos mecánicos o mecánicos para extraer o introducir el volumen de gas humidificado que, gracias al sellado del sistema representa una parte vital del mismo, ya que en él ocurren las reacciones físicas y químicas resultado de la interacción del microclima con el objeto histórico, sus características y propiedades únicas.

- **INSTRUMENTACIÓN**

Incluyen sensores para el monitoreo de las condiciones del microclima como humedad relativa, temperatura, iluminancia, irradiancia ultravioleta, concentración de compuestos volátiles orgánicos o material particulado, vibraciones a las que el objeto es sometido, entre otras.

7. Cámaras para preservación y exhibición de documentos

Los sistemas o cámaras para preservación representan una medida efectiva para mejorar las condiciones ambientales de obras de arte o de objetos históricos expuestas al público. Con base en un diseño cuidadoso, pueden proporcionar un control adecuado de las variables del microclima.

El objetivo de mantener las condiciones del microclima dentro de un rango de temperatura y humedad relativa determinados solo puede alcanzarse en una cámara sellada, la cual debe tener la capacidad de minimizar las pérdidas de aire o gas, al igual que la de suavizar las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa en su interior.

8. Estrategias para mantener las condiciones del microclima

Lo anterior se puede plantear como un objetivo de control realizable a tres niveles sin que estos sean equivalentes o que alguno sea prioritario sobre los demás, sin embargo, el orden en que se plantean impacta en el diseño del sistema, por lo que, en el ámbito del control de las condiciones interiores se pueden considerar los enfoques siguientes:

8.1. Control de frontera

Hace referencia a la frontera del microclima con el macroclima, es decir, depende en su totalidad del diseño, construcción y materiales de la cámara para que sea capaz de mantener el volumen de gas humidificado en su interior. En menor medida de los dispositivos instalados en su interior, tales como: pedestales, soportes o paneles internos [17].

Esta técnica funciona gracias a la interacción entre el gas y el vapor de agua del interior de la vitrina, de tal forma, que se comporta como un filtro de las variaciones del macroclima con respecto al microclima, desacoplando sus comportamientos termofísicos, convirtiéndolo en el primer elemento de amortiguamiento o mitigación de cambios en un corto a mediano plazo, retardando y disminuyendo el número de picos experimentados por la temperatura y la humedad relativa. Un ejemplo hipotético del comportamiento característico del microclima (obtenido mediante una simulación de un modelo numérico del comportamiento termo-higrométrico de un sistema de preservación) bajo esta estrategia de control se puede observar en la Figura 1.4.

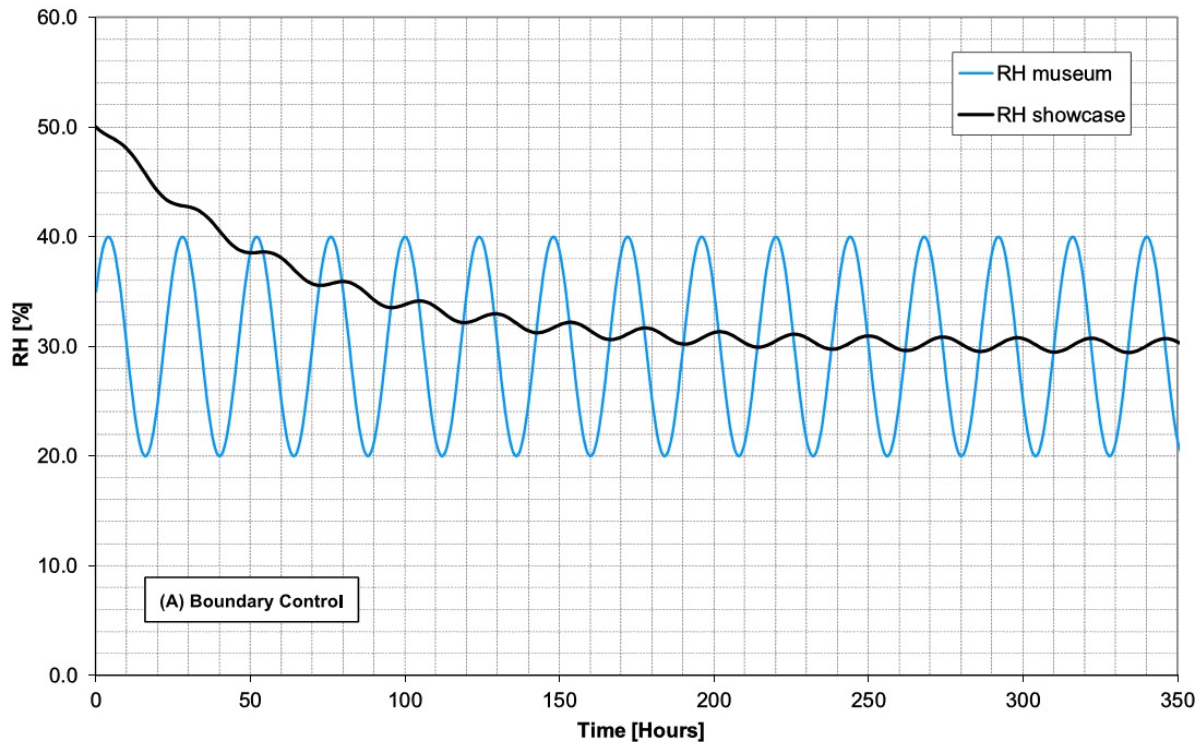


Figura 1.4. Comparación esquemática de la humedad relativa del microclima del sistema de preservación con respecto al del macroclima [17].

Para brindar un control de humedad relativa a través de esta estrategia se debe contemplar durante todo el proceso de diseño, la mayor hermeticidad posible y una baja permeabilidad de los materiales al gas que es introducido al sistema.

8.2. Control pasivo

Por razones que van desde la selección de los materiales hasta aspectos estéticos propios de la exhibición donde se emplean estos sistemas, el diseño y construcción de la frontera del sistema es insuficiente para alcanzar los rigurosos rangos establecidos para mantener en un nivel seguro el o los objetos que se desean preservar, es por esta razón que se recurre a la etapa de control pasivo [17].

Esta estrategia consiste en la introducción de materiales higroscópicos (que absorben o emiten vapor de agua) capaces de proveer amortiguamiento adicional (*buffer*) de la humedad relativa, comúnmente silica-gel calibrada al valor deseado, basándose en el incremento de la

inercia higrométrica del sistema. Dado que la tendencia de la humedad relativa es que se iguale la del microclima con la del macroclima, la acción de introducir materiales higroscópicos se traduce en una extensión del tiempo en el que el sistema es capaz de mantener un valor de humedad relativa entre el micro y macroclima.

Su implementación requiere de un proceso adicional dado que el material de amortiguamiento agregado se degrada con el tiempo. El efecto de esta acción se observa en la figura 1.5. Es por eso que, debe considerarse en el diseño del sistema la sustitución periódica de dicho elemento.

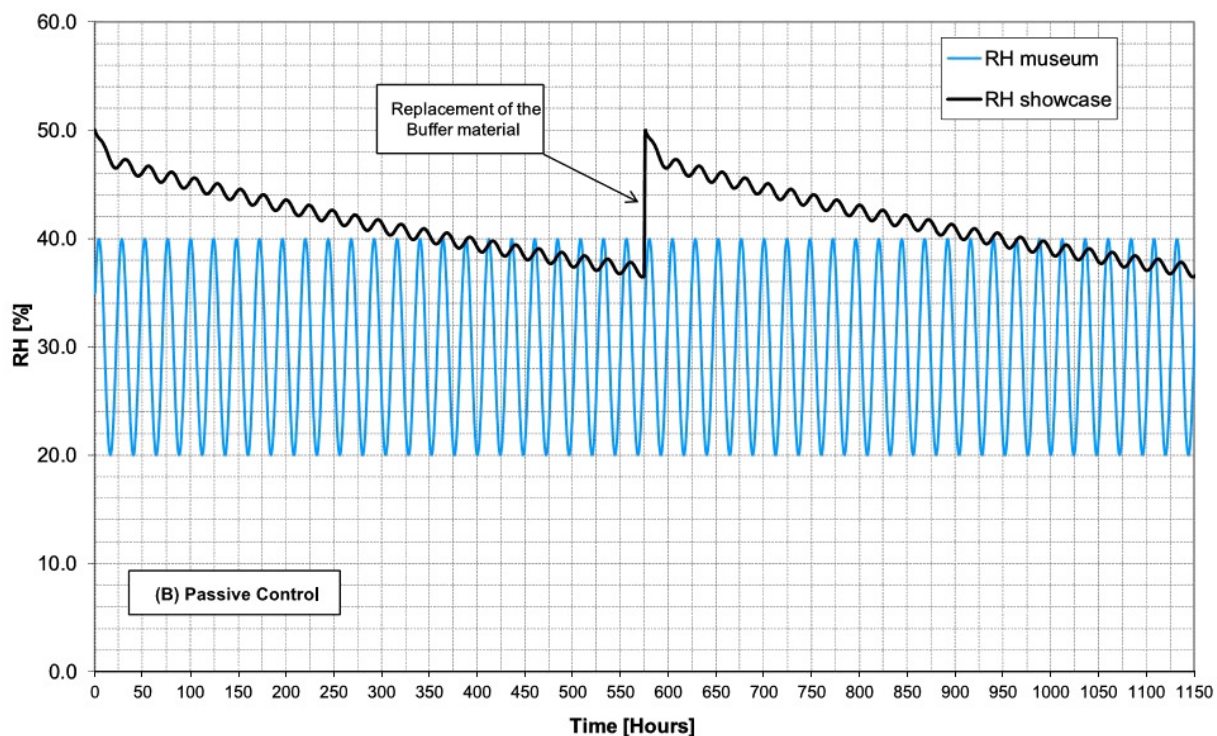


Figura 1.5. Gráfica esquemática de la humedad relativa del micro y macroclima obtenida mediante una simulación de un modelo numérico del comportamiento termo-higrométrico de un sistema de preservación con estrategia de control pasivo [17].

8.3. Control activo

Esta es la última de las estrategias cuando tanto el método de frontera como el pasivo son insuficientes para alcanzar la humedad relativa deseada y están recomendados únicamente en los casos en que es necesario mantener una temperatura distinta del macroclima con respecto

al microclima [17].

Representan la mejor solución posible dado que se basan en el uso de sistemas que son capaces de mantener las condiciones deseadas de temperatura y de humedad relativa del microclima a largo plazo, a través de intercambios de masa o de energía, proveyendo flexibilidad y precisión en el control de estas variables. El comportamiento de la humedad relativa del microclima se puede visualizar en la Figura 1.6.

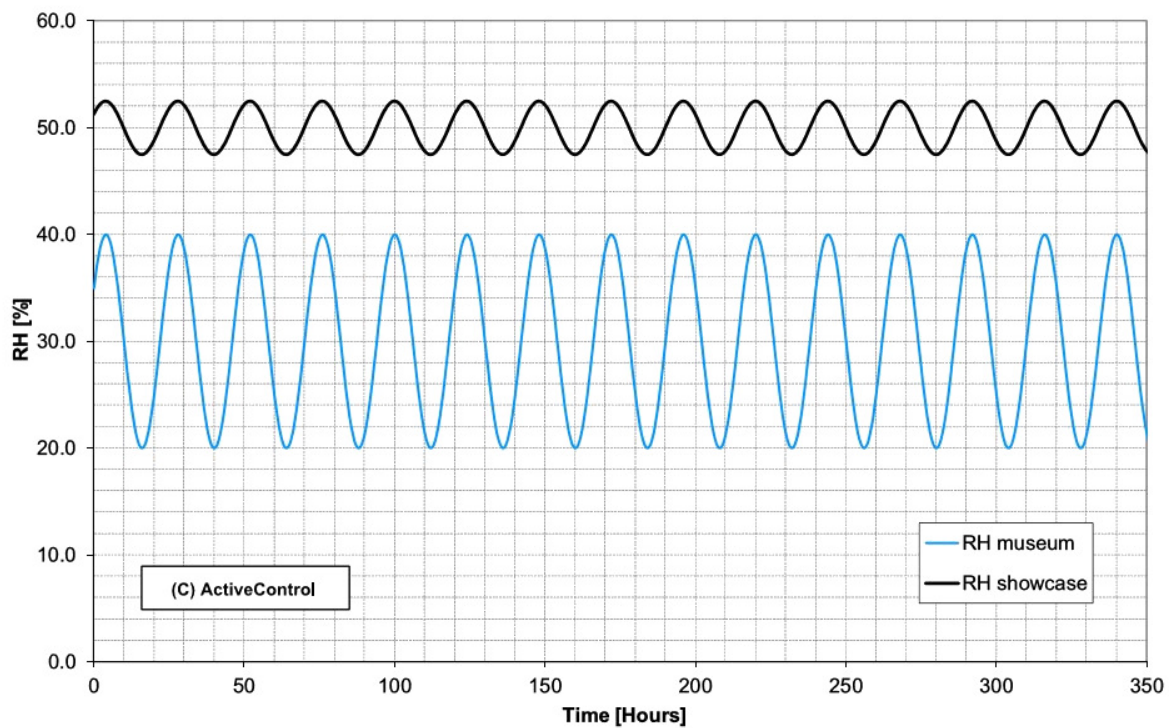


Figura 1.6. Ejemplo obtenido mediante una simulación de un modelo numérico del comportamiento termo-higrométrico de un sistema de preservación de como la estrategia de control activa puede mantener condiciones diferentes entre el micro y macroclima [17].

Sin embargo, su implementación se descarta con frecuencia dada la alta inversión inicial al igual que la de su mantenimiento y la necesidad de sistemas redundantes en caso de falla.

9. Caracterización de sistemas de preservación

Es importante señalar que cada sistema de preservación es único, ya que se diseña para un objeto histórico específico, es por esto que una vez construido se debe verificar su rendimiento con respecto al tiempo durante el cual mantendrá las condiciones del microclima, así como establecer un plan de ajuste de estas condiciones con base en la estrategia de control elegida y el plan de mantenimiento.

Son dos los parámetros necesarios que deben controlarse para obtener un sistema de preservación efectivo: Los cambios de aire por día y la resistencia de difusión equivalente. Existen dos procedimientos para verificar de manera precisa los mismos:

9.1. Prueba de permeabilidad

Esta consiste en monitorear la tasa de decaimiento de un gas trazador introducido al sistema mediante la evaluación de su concentración durante un periodo determinado de tiempo. De esta forma, se conoce la permeabilidad del sistema ante el gas trazador por difusión o convección en la frontera [17].

La información que proporciona permite conocer, a partir de un índice, los efectos de la ventilación y la permeabilidad del gas, es decir, el transporte por convección y por difusión.

Algunos de los gases que se pueden emplear para la prueba son: He_2 , SF_6 , N_2O o CO_2 .

Si bien, el coeficiente de los gases anteriores es distinto del vapor de agua, si un material tiene una alta permeabilidad ante alguno de los gases para trazabilidad, también lo será ante el vapor de agua.

9.2. Prueba de presurización

Esta busca medir la hermeticidad de la vitrina evaluando la influencia de la convección, creando una diferencia de presión con respecto a la atmósfera y cuantificando el flujo de aire. Se realiza en varias ocasiones mientras se incrementa la diferencia de presión[17].

Esta prueba es útil para revisar la efectividad de las juntas (en caso de que las incluya), sellos y mecanismos de cierre de la vitrina. Sin embargo, por sí sola, la información que proporciona

es independiente de la capacidad de estabilización de la humedad relativa del sistema tanto por medio del control de frontera como del pasivo.

Las técnicas que se emplean para realizar la caracterización provienen de la industria de la construcción, sin embargo, se presentan algunas diferencias entre la escala de los sistemas. El intercambio de gases entre el interior y el exterior de un edificio es gobernado en su totalidad por el transporte convectivo relacionado con los sistemas de ventilación, mientras que sus procesos de absorción o desorción tienen un efecto despreciable. En contraste, en el caso de volúmenes herméticos pequeños, la absorción y desorción, en conjunto con la convección, juegan un papel importante.

La adopción de esta clase de sistemas para la exhibición de objetos históricos tiene ventajas reflejadas en otros ámbitos, el más notable es el del ahorro de energía, ya que facilitan el manejo de niveles diferentes de humedad relativa del microclima. En consecuencia, la robustez y complejidad de los sistemas de aire acondicionado del macroclima es menor.

Para obtener un sistema de preservación con la menor permeabilidad posible es necesario tener en consideración desde la etapa de diseño los objetivos de control antes mencionados.

En conclusión, se hace hincapié que para validar el diseño de los sistemas de preservación, se deben realizar las pruebas de permeabilidad y presurización descritas anteriormente.

10. Sistemas existentes para la preservación y exhibición de objetos históricos

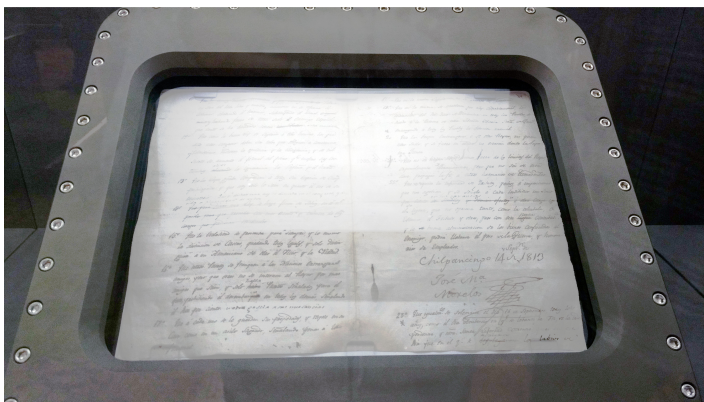
A continuación, se describirán sistemas que se han implementado para exhibir algún objeto o documento histórico, así como sistemas similares que han sido protegidos mediante patentes.

10.1. Desarrollos tecnológicos

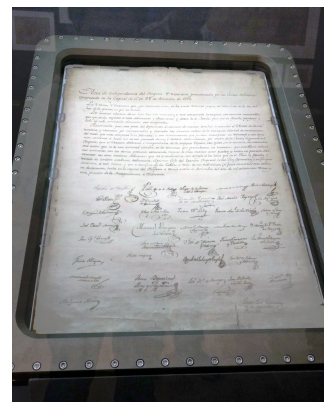
Los sistemas para la exhibición y preservación de patrimonio histórico, específicamente documentos que se encontraron en la literatura, se han desarrollado para el control de las variables ambientales para la exhibición de las colecciones de los museos. Estos se pueden encontrar primeramente en el sistema de preservación de las Cartas de Libertad de los Estados Unidos

desarrollado en 1951, que dio lugar al desarrollo del sistemas de preservación y exhibición de documentos tales como la Carta Magna de los Estados Unidos de América en 1980, Las momias de Egipto en 1989, la Constitución de la India en 1994, la Constitución de Puerto Rico en 1995, el reencapsulado de las Cartas de la Libertad de los Estados Unidos en 2001, el mapa de Waldseemüller World en 2005 y los archivos de Massachusetts en 2007 [23].

En México, se desarrollaron los sistemas de preservación y exhibición para el Acta de Independencia del Imperio Mexicano, el documento de Los Sentimientos de la Nación (escrito por José María Morelos y Pavón) en 2010, para el Códice Maya de México en el 2018, entre otros. Los sistemas mencionados, se pueden observar en la Figura 1.7.



(a) Sentimientos de la Nación



(b) Acta de Independencia



(c) Códice maya de México.

Figura 1.7. Sistemas de preservación desarrollados por el equipo del CDMIT durante exhibición.

10.2. Patentes

- **US2003/0029764 A1 Sistema de encapsulado sin tornillos [30]**

Se trata de un sistema para mostrar y proteger del ambiente diferentes clases de objetos prescindiendo del uso de tornillos. Se compone de dos secciones de acrílico, la superior capaz de filtrar un 90% de radiación ultravioleta y una inferior.

Posee un sello de silicona dispuesto entre ambas secciones y el espacio comprendido entre ellas se llena con argón. Se emplea un adhesivo permanente que se activa con radiación ultravioleta para mantenerlas unidas.

Tanto la sección superior como la inferior cuentan con cavidades para recibir la parte contraria y se ensamblan a presión, de tal manera que cuando están conectadas, se forma un espacio para colocar el objeto de interés, que de acuerdo con el texto de la patente, se encuentra sellado herméticamente, por lo que este objeto se encuentra protegido del ambiente.

Este sistema carece de monitoreo de las condiciones tanto de temperatura como de humedad relativa del ambiente dentro de la cámara, por lo cual no asegura que las condiciones adecuadas de la micro atmósfera sean las adecuadas cuando las condiciones del medio ambiente exterior cambien. Se aprecia un diagrama de esta en la figura 1.8.

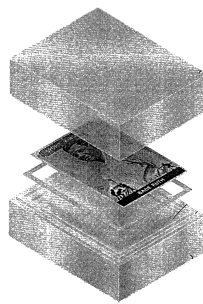


Figura 1.8. Diagrama de la patente US2003/0029764 A1.

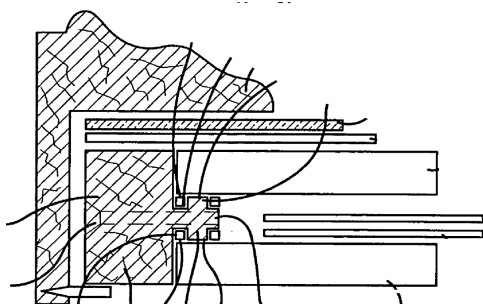
- **US20040154205 A1 Sistema de encapsulamiento o encapsulado [31]**

El campo de esta invención se encuentra en el del de las cámaras herméticas para mostrar diferentes tipos de objetos.

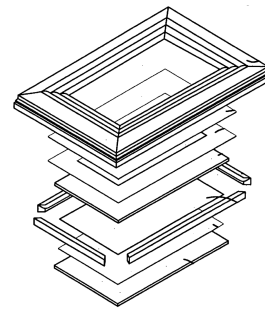
Está compuesta por una sección superior transparente que puede filtrar hasta 90% de la radiación ultravioleta y una sección inferior con una cavidad integral para recibir el objeto que se desee mostrar. Esta última, además posee un filamento para indicar la presencia de oxígeno.

Tiene una sección lateral adyacente a las anteriores para mantener sellada la cavidad para el objeto con una serie de canales para permitir la inyección de argón y extracción del aire de su interior, facilitar el sellado en contacto con las secciones superior e inferior y para contener el exceso de un adhesivo activado por radiación ultravioleta que se emplea para mantener unidas todas las secciones mencionadas.

Este sistema se describe en la patente y dos de sus diagramas se observan en la figura 1.9. Este sistema tampoco cuenta con el monitoreo de las condiciones del microclima y no es posible visualizarlas en una interfaz gráfica en el tiempo en que estos ocurren, además el sello utilizado no garantiza un ambiente libre de gases dañinos para el objeto contenido.



(a) Sección transversal del sistema.



(b) Vista de ensamblaje.

Figura 1.9. Diagramas de la patente US20040154205 A1.

■ **US 2009/0015114 A1 Sistema de encapsulado lleno(saturado) con gas [32]**

El campo de la invención de este sistema se encuentra en el del de las cámaras herméticas para mostrar diferentes tipos de objetos al igual que en la descrita anteriormente.

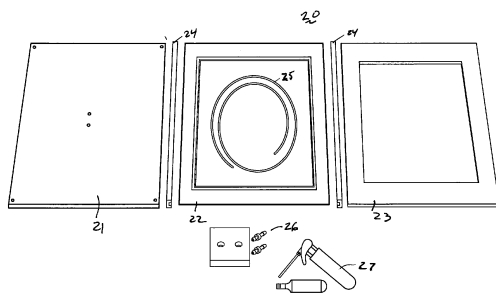
Está compuesta por una sección superior transparente con un tratamiento especial que le permite filtrar hasta 90% de la radiación ultravioleta y una inferior, ambas con un par de hombros de conexión dispuestos en una de sus caras y un canal para sellado en la opuesta,

además posee una base intermedia para recibir el objeto que se desea colocar en el interior del sistema como se observa en la figura 1.10a.

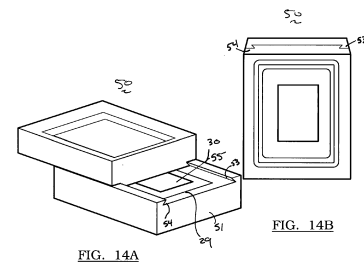
Esta base se ensambla con el canal de sellado correspondiente tanto de la sección superior como de la inferior que a la vez reciben un par de o-rings de goma que en conjunto forman una cavidad hermética para el objeto en cuestión como se visualiza en la figura 1.10b, gracias a un par de secciones laterales que se deslizan sobre los hombros mencionados anteriormente que de acuerdo al texto de la patente, aplican una fuerza de compresión constante sobre los o-rings.

La cavidad hermética cuenta con un filamento para indicar la presencia de oxígeno, así como un par de válvulas de flujo unidireccionales, una para extraer el aire de su interior y otra para suministrar nitrógeno a presión.

El sistema descrito cuenta con un sellado a base de diferencia de presiones que aseguran una compresión uniforme en los sellos que aíslan la cámara donde se encuentra el objeto del medio ambiente exterior sin dejar salir el gas contenido en el interior de ésta, además de contar con una serie de tornillos de seguridad.



(a) Partes que conforman el sistema.



(b) Sistema de encapsulado alternativo.

Figura 1.10. Diagramas de la patente US 2009/0015114 A1.

11. Consideraciones para el diseño de sistemas para preservación y exhibición de documentos

Para el diseño de esta clase de sistemas y para la selección de los materiales con los que serán construidos, se deben tener en cuenta dos factores primordiales:

El tiempo que se deben mantener las condiciones deseadas del microclima durante la exhibición es el factor más importante, ya que se relaciona directamente con el tipo de sistemas y su robustez, necesarios para mantener las condiciones del microclima estables. Es decir, que permite establecer el material del o los marcos, así como el tipo de sellos que se deberán incluir. Por otro lado, establece el tipo de medidas que deberán tenerse en cuenta para mantener el nivel de humedad relativa deseado.

El segundo factor es el rango permitido para las variables del microclima, especialmente la humedad relativa. Este aspecto se relaciona con los criterios establecidos por los expertos en el área de conservación de documentos que las variables deben cumplir, de tal forma, que se decida entre alguno de los tipos de control que se mencionaron anteriormente, como el de frontera, pasivo o el activo.

2 | Desarrollo de un sistema de preservación para un documento prehispánico del siglo XII

En el diseño del sistema de preservación para el documento del siglo XII fue necesario realizar una búsqueda de información acerca del mismo y el estado de la técnica, así como obtener los datos relacionados con la exhibición y sus condiciones específicas descritas por el equipo de conservación y museografía.

Con base en la información obtenida durante las reuniones con el equipo de conservación y museografía, se desarrolló la metodología que se describe en el capítulo 2. En ella, se identificaron y sintetizaron las necesidades asociadas a la exhibición del documento en cuestión y en conjunto con la experiencia del equipo de diseño se emplearon para especificar el sistema e implementarlo.

Las características identificadas para la exhibición, permitieron establecer el material de la estructura del sistema, el tipo de sellos que se incluyeron y las estrategias para mantener los niveles de las variables deseadas del microclima.

1. Metodología seguida para la implementación del sistema

Para la exhibición de un documento prehispánico del siglo XII, considerado como uno de los más antiguos en el país, el Instituto Nacional de Antropología e Historia recurrió al grupo de diseño del CDMIT (Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM para realizar el diseño, construcción y puesta en marcha de dicho sistema. La exposición tuvo lugar en el Museo Nacional de Antropología e Historia durante un mes.

1.1. El documento del siglo XII

Se trata de uno de los cuatro códices mayas precolombinos, además del de Dresde, Madrid y París. Al igual que los mencionados anteriormente, este documento consiste en un libro plegable cuyos materiales son: papel amate recubierto por ambos lados por una capa de estuco, sin embargo solo uno de los lados se encuentra pintado. Este códice está compuesto por diez piezas, denominadas folios, así como una sección adicional compuesta por cinco piezas separadas de papel amate [33].

1.2. Problemática

Se identificó que esta se encontraba en la exhibición del documento propiamente, ya que el objeto histórico sería sometido a un ambiente con condiciones diferentes a las del lugar en el que se encontraba resguardado en el museo con anterioridad.

Es por esta razón que se consideró primordial sobre los aspectos relacionados con la manera de presentar el documento a los visitantes, el de prevenir el deterioro del documento durante el periodo que se mantuviera en la sala de exhibición.

Finalmente, es importante mencionar que un factor que impactó en las decisiones del diseño fue el del tiempo proporcionado para realizar dichas actividades, construir e implementar el sistema.

1.3. Identificación de necesidades

Con base en las reuniones con el equipo de museografía y de preservación del objeto en cuestión, se encontró que el diseño del sistema debía cubrir las siguientes necesidades:

- Las diez piezas que conforman el documento deben exhibirse como una sola.
- La iluminación que se coloque debe ser indirecta y tener un efecto de “halo” alrededor del documento.
- Dada la antigüedad del documento, el perímetro del mismo debe evitar tocar cualquier guarda o cualquier componente del sistema directamente.
- El material con que se construya el sistema, así como el tipo de sellos que se deberán incluir deberán ser de materiales libres de ácidos para no afectar al documento.
- Debe ser agradable a la vista para los visitantes y acorde con las características de museografía de la exhibición.
- Debe carecer de tornillos para el cierre del sistema.
- Las condiciones de humedad relativa del interior del sistema deben mantenerse dentro de los valores permisibles durante el periodo de la exhibición.

1.4. Objetivos

Para solucionar la problemática expuesta, se plantearon los siguientes objetivos:

- Diseñar e implementar un sistema para preservación y exhibición para un documento prehispánico del siglo XII.
- Implementar un sistema que sea capaz de monitorear las condiciones ambientales del microclima del documento.
- Proporcionar información de valor sobre el comportamiento del documento para el equipo de conservación.

2. Diseño del sistema de exhibición y preservación del documento prehispánico del siglo XII

Cómo se mencionó en la sección *Características de un sistema para la preservación de objetos*

históricos, un sistema para preservar y exhibir un objeto histórico está compuesto por un conjunto de subsistemas básicos como por una estrategia para mantener el objeto de interés dentro de las condiciones del microclima deseadas.

En la presente sección, se discuten cada uno de los subsistemas, relacionándolos con cada una de las necesidades obtenidas de las reuniones con el equipo de museografía y conservación en conjunto con los objetivos planteados de la siguiente manera:

El objetivo de diseñar e implementar el sistema de preservación y exhibición para el documento engloba la totalidad de los subsistemas salvo el de instrumentación. Estas a su vez, se relacionan con las necesidades de la siguiente como se indica:

El subsistema de soporte y el de los dispositivos de fijación, tratan las necesidades de exhibir el documento como una sola pieza y de evitar que los bordes del mismo toquen alguna sección del dispositivo. En el caso del medio de ensamble del sistema y subsistema de observación, cubren las necesidades de eliminar los tornillos como medio de ensamble así como ser agradable para la vista de los visitantes. Finalmente, los subsistemas de sellado y de mantenimiento de las condiciones deseadas para el microclima engloban las necesidades de que el documento debía permanecer en un microclima similar al del lugar en que se encontraba almacenado previamente y a la selección del material de los sellos.

Con respecto al subsistema de instrumentación, este se relaciona con las condiciones de la humedad relativa al interior del sistema como al exterior del sistema, ya que debían monitorearse para proporcionar la información de valor para el equipo de conservación.

Finalmente, la necesidad de proporcionar un efecto de iluminación alrededor del documento, quedó fuera del alcance del diseño del sistema de preservación y exhibición ya que la prioridad fue mantener seguro el objeto histórico y esta acción podría ponerlo en riesgo.

2.1. Alternativas exploradas para el medio de ensamble

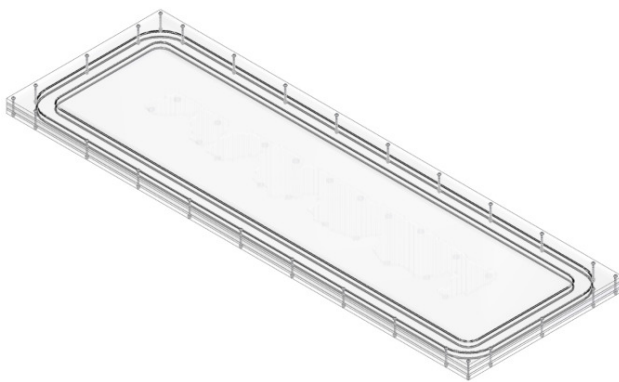
De acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo del CDMIT, el sistema diseñado debe tener la forma de una caja sellada provista de un frente de plástico o vidrio, cuyo volumen interno se llena con un gas inerte humidificado con el objetivo de obtener un ambiente con condiciones específicas para el objeto histórico que se desea exhibir y preservar. Este dispositivo está conformado por los siguientes sistemas:

2.2. Sistema de soporte

Este está formado por un conjunto de capas de policarbonato que constituyen un espacio en el que se coloca cada uno de los folios que componen al objeto histórico que se desea exhibir. Se seleccionó este material dado que:

- Para una exhibición menor de un año, no emite compuestos volátiles que dañarían el documento.
- Ofrece la posibilidad de ser maquinado.
- El tipo de policarbonato seleccionado integra un filtro contra radiación ultravioleta.

El modelo tridimensional, así como el dispositivo final de exhibición se muestran en las figuras 2.1a y 2.1b, respectivamente.



(a) Modelo tridimensional de la cámara.



(b) Dispositivo con documento en su interior.

Figura 2.1. Modelo y dispositivo final exhibición y preservación

2.3. Dispositivos de sujeción

Para la fijación, posicionamiento y orientación del objeto dentro del sistema de preservación y exhibición, se emplea una platina, que se muestra en la figura 2.2. con la silueta del documento que le proporciona un lugar específico a cada folio sin tener que sujetarlos con grapas o pestañas. A su vez, este componente recibe una base de papel batería que evita que la sección inferior del documento interactúe directamente con el material de la platina.

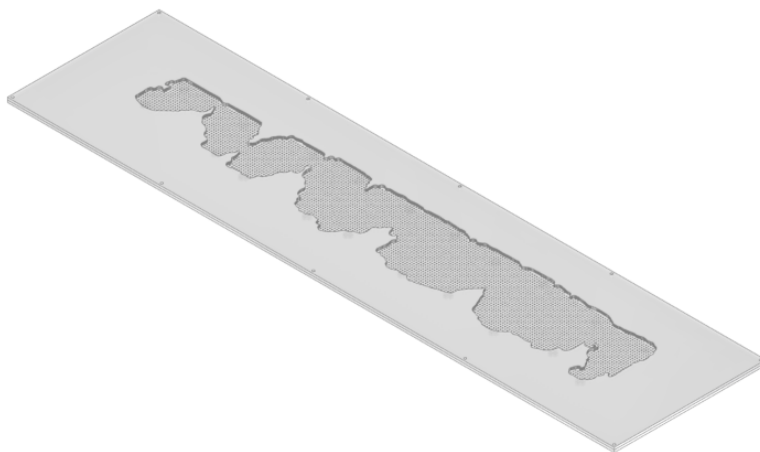


Figura 2.2. Modelo tridimensional de la platina ensamblada.

Diseño de la platina

Este elemento es importante para el dispositivo ya que mantiene el documento en su posición, además cuenta con un margen de 2.5 mm, que permite que este se expanda en el plano con dicho rango como resultado de los cambios de humedad relativa del microclima. Adicionalmente posee una rejilla que permite el flujo de gas humidificado a través de esta. De igual manera, se colocó un soporte adicional de papel secante que cumple con las funciones siguientes:

- Regular la humedad relativa al interior del sistema.
- Prevenir que el objeto esté en contacto directo con los elementos que componen la platina.

El proceso de diseño y construcción de este elemento consistió en los pasos siguientes:

- Digitalización de los contornos

Para este proceso se realizaron las siguientes actividades:

Estas fueron realizadas por el equipo de diseño industrial en la bóveda donde se resguarda el documento y siempre se mantuvo dentro de sus guardas transparentes. Es importante mencionar que todos los procedimientos se realizaron con la supervisión y soporte del personal de museografía y conservación.

- Copia a mano alzada de los contornos de cada uno de los folios en sus guardas transparentes sobre papel albanene. El resultado se muestra en la figura 2.3. Se realizó de esta forma debido a las irregularidades en los bordes, el método de almacenamiento y a las dimensiones de cada folio.



(a) Copia del tercer folio.



(b) Copia de los folios 8, 9 y 10.

Figura 2.3. Copia a mano alzada de cuatro folios del documento.

- Mediante un programa de edición de imágenes se conectaron cada una de las piezas digitalizadas y se realizaron correcciones en los archivos resultantes.

- Manejo del contorno generado, mostrado en la figura 2.4, en programas de diseño asistido por computadora.



Figura 2.4. Contorno digitalizado del documento.

Este paso fue el más importante dado el estado del documento. Fue necesario prevenir su contacto directo con los componentes del sistema al mantener una distancia constante entre ambos, en la figura 2.5 se observa una prueba del contorno.



Figura 2.5. Superposición de contorno para platina a 2.5mm y 5mm sobre guardas del documento.

Construcción de la platina

Con ayuda del archivo generado y del programa de diseño, se realizó una trama con circunferencias que constituyen la rejilla de la platina. Se muestra en la figura 2.6.

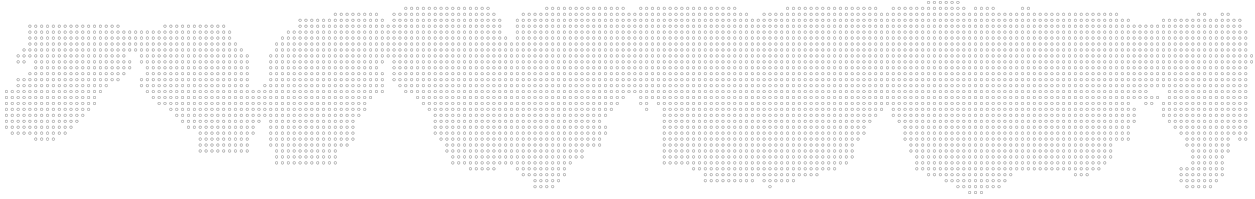


Figura 2.6. Esquema del archivo correspondiente a la rejilla de la platina.

Adicionalmente se cortaron mediante láser veinte separadores en forma de equis, mostrados en la figura 2.7 para elevar la platina 6mm con respecto a la base del sistema de preservación. Esto fue necesario para dejar libres los canales que comunican la cámara para el documento con las válvulas por donde se suministra y extrae el gas humidificado.

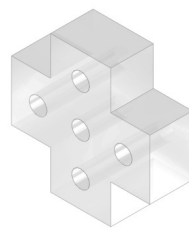


Figura 2.7. Modelo tridimensional del separador diseñado.

Finalmente, a partir de cada uno de los archivos resultantes se cortaron mediante láser las piezas de acrílico correspondientes que se pueden apreciar en la figura 2.8, así como las secciones del contorno de papel secante mostradas en la figura 2.9 que se coloca sobre estos componentes.

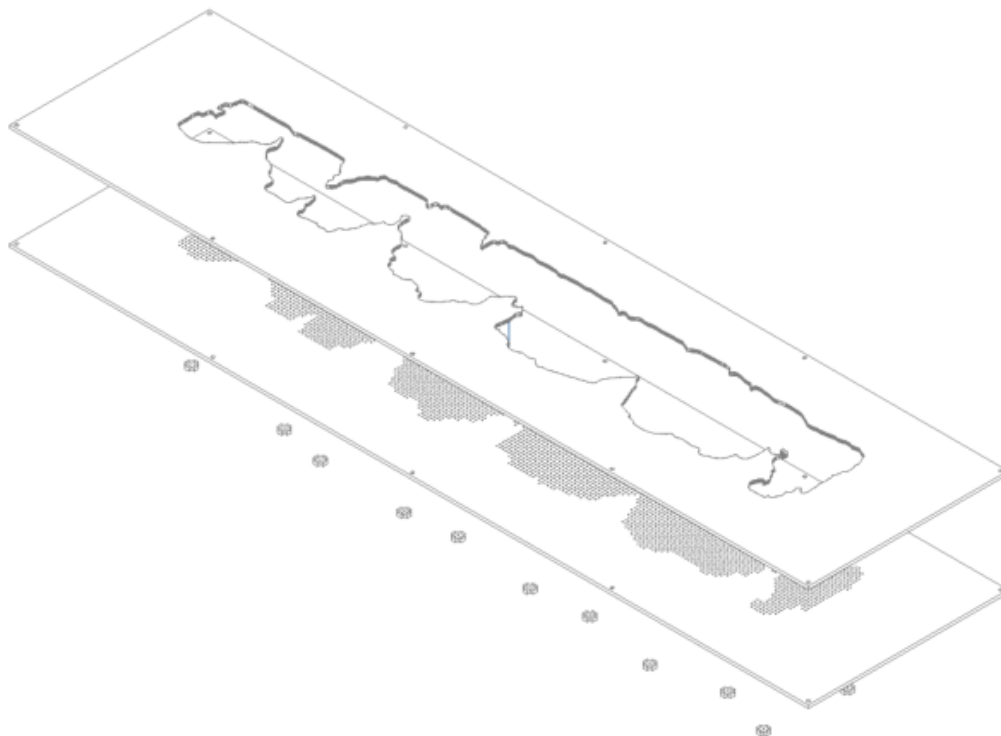


Figura 2.8. Vista de ensamblaje de la platina y la rejilla.



Figura 2.9. Secciones de papel secante.

2.4. Medio de ensamblaje del sistema

Se realizaron pruebas con el objetivo de explorar un método alternativo para el sellado del dispositivo prescindiendo del uso de tornillos y de esta manera satisfacer la necesidad planteada por el equipo de museografía.

El método alternativo para sellar el sistema consistió en utilizar diferencias de presión entre las cámaras que conforman del dispositivo. A continuación, se describen las mismas:

2.5. Pruebas de ensamble

Concepto de sellado por diferencia de presiones

Esta alternativa consiste en generar una diferencia de presiones entre el área donde se coloca el objeto histórico y la sección externa delimitada por dos o-rings. De esta manera, el volumen interno de la cápsula se somete a una presión positiva, mientras que la externa a una negativa, ambas con respecto a la atmósfera.

Se construyó un prototipo, mostrado en la figura 2.10 conformado por diferentes piezas de acrílico con espesores variables. La cámara interna del prototipo representa el área donde el gas humidificado se mantenga confinado a las condiciones deseadas de humedad relativa y, por lo tanto, en contacto con el objeto histórico. Mientras que el volumen externo, delimitado por los dos o-rings constituye la cámara que experimentará una presión negativa.

Es importante señalar que tanto la sección interna como la externa tienen barrenos donde se realizaron las conexiones para obtener las presiones deseadas, respectivamente.

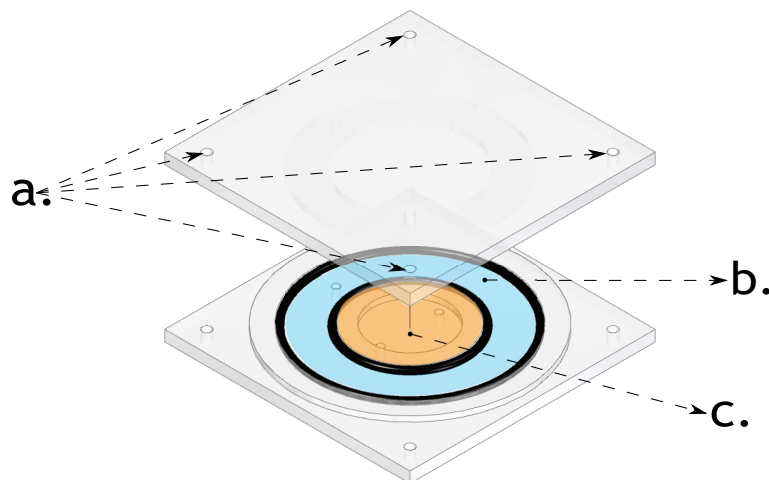


Figura 2.10. Modelo tridimensional del prototipo donde **a.** representa los barrenos, **b.** la sección externa y **c.** la sección interna.

En la figura 2.11 se muestra el prototipo con el que se verificó el principio de funcionamiento del diseño.



Figura 2.11. Sección inferior del banco de pruebas donde se realizaron los experimentos.

Se realizaron dos experimentos para establecer la diferencia de presiones entre la sección interna y externa del prototipo a la que se mantendría el sellado hermético. Adicionalmente, se midió el tiempo en que la diferencia de presiones se mantenía en el prototipo. Posteriormente, con la finalidad de incrementar el tiempo que el sistema era capaz de mantener la diferencia de presiones, se añadió un tanque a presión negativa.

Para realizar los experimentos, se emplearon los siguientes equipos:

- A. Compresor
- B. Generador de vacío
- C. Válvulas de paso de operación manual
- D. Tanque para presión negativa
- E. Vacuómetro
- F. Manómetro

En el diagrama de la figura 2.12 se pueden apreciar las conexiones empleadas para realizar las pruebas antes mencionadas.

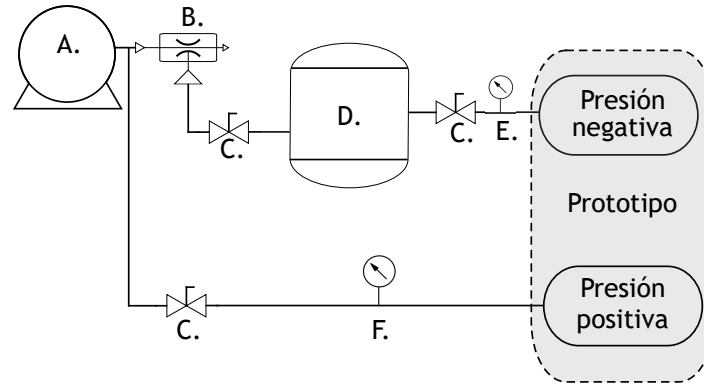


Figura 2.12. Diagrama de conexiones.

A continuación, se describe cada una de ellas:

- Diferencia de presiones sin tanque.

Este experimento se realizó de dos formas: partiendo del diagrama de la figura 2.12 o eliminando los elementos B y D, como se muestra en la figura 2.13.

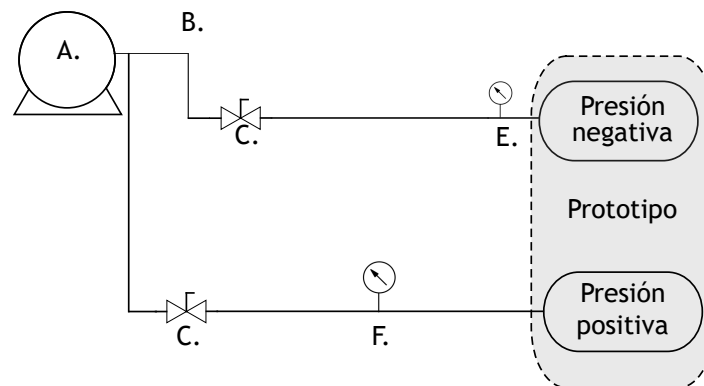


Figura 2.13. Diagrama de conexiones del experimento sin tanque.

En la figura 2.14 se presentan los resultados obtenidos.

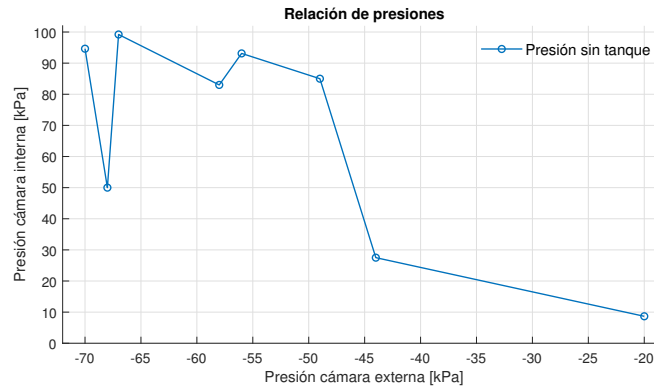


Figura 2.14. Experimento sin tanque.

Con base en los resultados de estos experimentos, se encontraron las siguientes desventajas de la propuesta de sellado mediante diferencia de presiones:

Por un lado, es necesario un mecanismo o sistema de control capaz de encender y apagar el compresor en el caso de que ocurra una disminución de la presión negativa en la cámara correspondiente.

Por otra parte, se propone añadir un tanque de reserva para mantener la presión negativa durante un periodo prolongado de tiempo, así como accesorios capaces de minimizar pérdidas y de operar a condiciones de presión negativa.

- Diferencia de presiones con tanque.

Posteriormente se replicó el mismo experimento utilizando un tanque, para mantener la presión negativa dentro de la cámara respectiva dentro del prototipo, en la figura 2.15, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de aplicación de las diferencias de presión agregando el tanque mencionado.

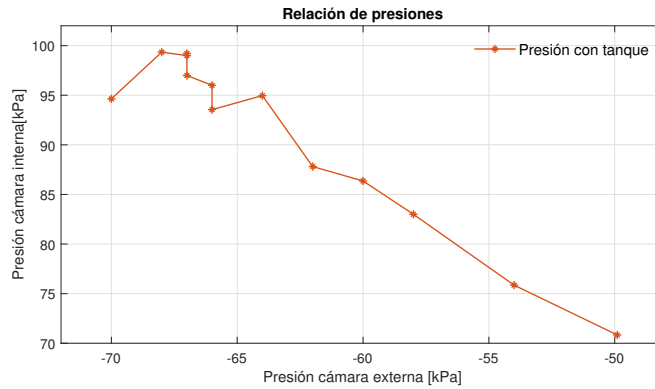


Figura 2.15. Experimento con tanque.

Con respecto a la propuesta original del sistema de sellado, se encontró que al incorporar el tanque, el sellado logró mantenerse durante un periodo de tiempo más prolongado, además de que la diferencia de presiones con tanque fue mayor para un 62.5% de los eventos, como se observa en la figura 2.16. Finalmente, con los promedios de las diferencias de presiones de la tabla 2.1, en el caso con tanque fue mayor en 18.73%. Sin embargo, presenta los mismos inconvenientes de accesorios para presión negativa y un sistema de control para activar el compresor.

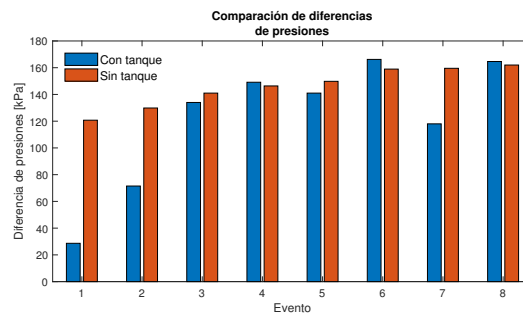


Figura 2.16. Comparación de la diferencia de presiones con y sin tanque.

Sin tanque	Con tanque
121.64 kPa	144.42 kPa

Tabla 2.1. Diferencias de presiones promedio.

Finalmente, se determinó la factibilidad de esta alternativa y para el caso de estudio, cumplía

con el objetivo de una disposición agradable para los visitantes al ser presentado sin interferencias de elementos adicionales de ensamble. Sin embargo, tras el análisis de resultados se determinó que el uso de un compresor y accesorios puede alcanzar la misma meta, reduciendo así, los gastos de operación.

Sellado mediante tornillos.

El objetivo principal de este experimento fue determinar la distancia máxima que los tornillos se podían colocar para que el o-ring se deformara asegurando la hermeticidad y minimizando la cantidad de estos.

Con el diagrama del sistema que se muestra en la figura 2.17 se realizó una prueba en la que se utilizaron:

- A. Un o-ring de Viton con sección transversal con diámetro de 7 mm.
- B. Dos secciones de acrílico con espesor de 3 mm.
- C. Dos secciones de policarbonato de 12 mm con dos pares de barrenos a 70 mm y 100 mm, respectivamente.
- D. Seis tornillos con tuerca con diámetro de 6.35 mm.

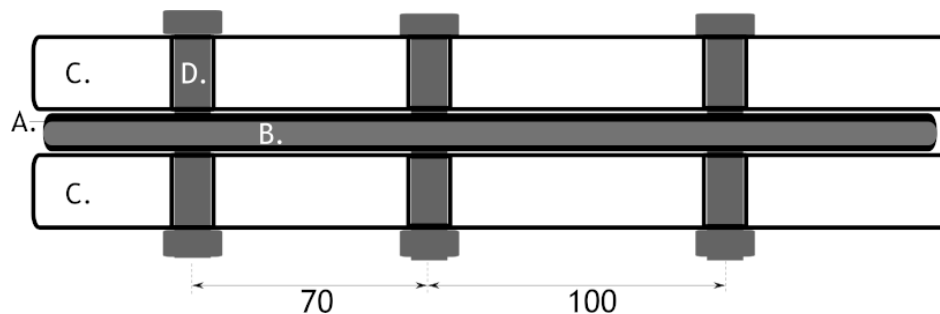


Figura 2.17. Diagrama con los elementos utilizados durante la prueba (dimensiones en mm).

El experimento consistió en colocar dos filas de tornillos donde dos pares se encontraban equidistantes entre sí, mientras que un tercero, estaba colocado a una distancia diferente respecto a los anteriores como se observa en la figura 2.17.

Se observó que la deformación del o-ring es independiente de la distancia entre los tornillos propuesta, ya que la línea que formada entre este y las tapas era visible en ambos casos, tal como se muestra en la figura 2.19a. Sin embargo, la deformación del o-ring, (obtenida a partir de la distancia entre las placas de policarbonato medida con un calibrador Vernier) alrededor de cada uno de los tornillos presentaba variaciones, estas se muestran en la tabla 2.2 y se encuentran ordenadas con base en el diagrama de la figura 2.18.

Arista	Posición		
	1	2	3
A	6.23	6.5	6.21
B	6.28	6.22	6.25
C	6.22	6.37	6.25
D	6.16	6.4	6.05

Tabla 2.2. Separación en milímetros de las placas del acrílico.

Con base en el hallazgo anterior, se encontró que la distribución de los tornillos debe ser equidistante entre ellos para disminuir las variaciones en la deformación que sufre el o-ring.

Por otra parte, se observó que este método elimina el uso de algún sistema de control para mantener la compresión sobre los o-rings y a través del uso de tuercas para cada uno de ellos, se evitan procesos de manufactura reduciendo la posibilidad que las estructuras que funcionan de apoyo para el sistema sufran daños en caso de realizar el proceso de apriete inapropiadamente.

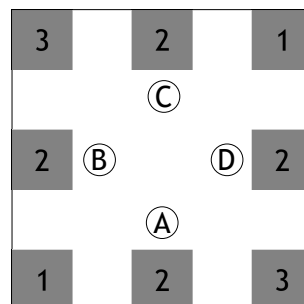
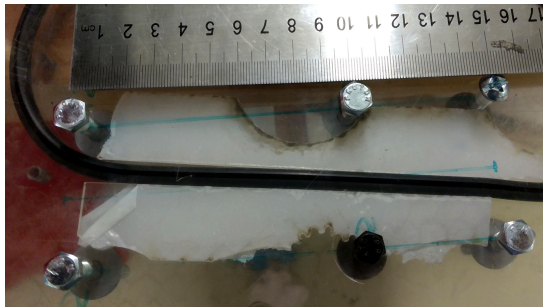


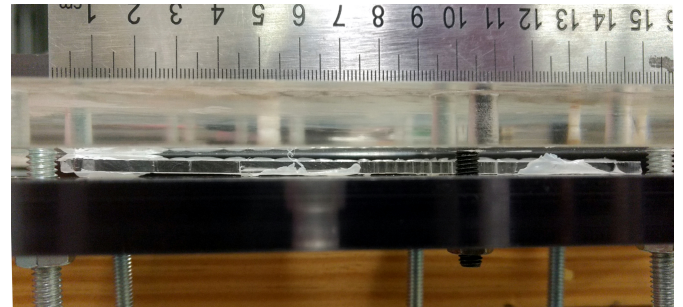
Figura 2.18. Diagrama de los puntos donde se realizaron las mediciones.

Inicialmente se consideró el uso de tornillos como una medida complementaria al sellado

mediante diferencia de presiones, sin embargo, durante el desarrollo del proyecto y como resultado de los experimentos desarrollados para dicha alternativa, se determinó su uso ya que permiten mantener el sellado del sistema sin necesidad de elementos adicionales, tales como un compresor o conexiones neumáticas.



(a) Toma frontal del banco de pruebas.



(b) Toma superior del prototipo.

Figura 2.19. Banco de pruebas donde se realizaron los experimentos.

Se hizo uso de veintiocho tornillos, colocados desde la tapa superior, para mantener las piezas del sistema en su posición, con sus respectivas tuercas, dispuestos en un patrón separado regularmente, como se observa en la figura 2.20; permitiendo la aplicación de una carga, lo más uniforme posible, sobre los sellos para que se deformen y logren mantener la hermeticidad del sistema.

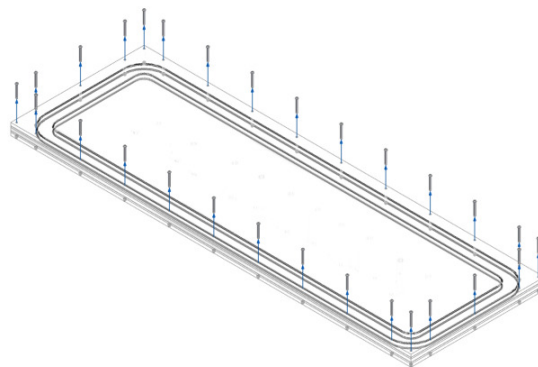
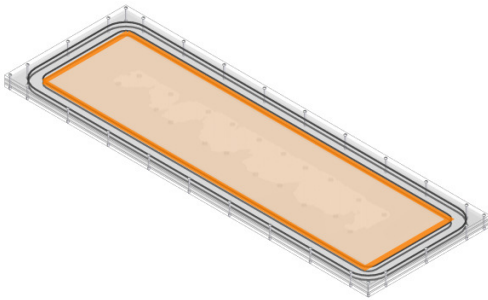


Figura 2.20. Modelo tridimensional del sistema con los tornillos en su disposición final.

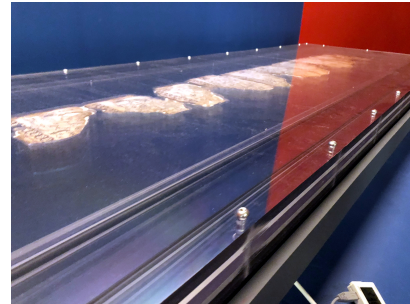
2.6. Puerto o puertos de observación

El puerto de observación corresponde con la tapa superior del sistema y permite a los visitantes apreciar el documento histórico.

Todos los componentes del sistema son de policarbonato, salvo los correspondientes a la platina que constituye el 59.26% del área de 1.08 m^2 total, esto se puede apreciar en el área sobreada del diagrama de la figura 2.21a .



(a) Área del puerto de observación.



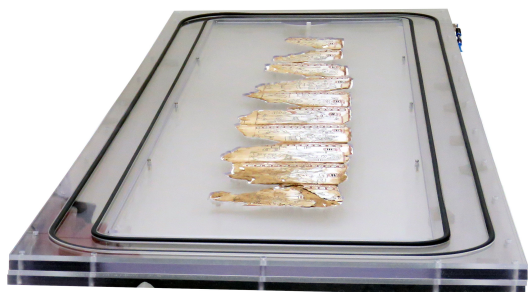
(b) Durante la exhibición.

Figura 2.21. Diagrama y fotografía del puerto de observación.

2.7. Sistema de cierre hermético

Para el sistema de preservación y exhibición del documento se emplearon dos pares de o-rings de sección circular de Viton. Se encontró que es un material muy estable y que ofrece un espacio reducido entre sus cadenas poliméricas evitando los gases lo atraviesen con facilidad. Además, al ser comprimidos, ofrecen un cierre hermético y la ventaja de no despedir compuestos orgánicos volátiles mientras realizan su función.

La longitud de cada pareja de o-rings es de 4.186 m y de 3.975 m para los externos y los internos, respectivamente. Se pueden apreciar instalados en el sistema en la figura 2.22 .



(a) Pareja de o-rings de la sección superior.



(b) Parejas superior e inferior.

Figura 2.22. Fotografías de los o-rings colocados en el sistema.

2.8. Mantenimiento de las condiciones deseadas para el microclima

El gas inerte introducido en el sistema de preservación es argón humidificado. Este es una parte vital para el sistema en su conjunto, ya que en él ocurren las reacciones físicas y químicas resultado de la interacción entre, el documento, el papel de soporte (en este caso el papel batería) y el ambiente en el que está inmerso.

Es importante mencionar que la respuesta ante los cambios de humedad relativa del documento es única, por lo que, para alcanzar la condición natural del mismo, se requiere de un proceso de estabilización en el que suceda un intercambio de humedad entre este y el gas humidificado.

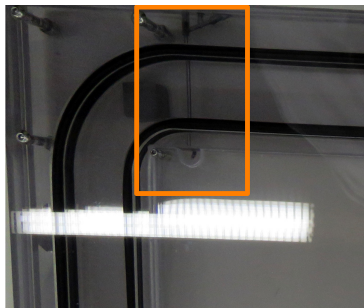
Una vez que el documento reacciona, es recurrente que sufra cambios en su apariencia, es decir, pueden aparecer pliegues en el material o, por el contrario, desaparecer algunos que tuviera previamente, incluso podrá contraerse o alisarse, pues en ocasiones antes de introducir los documentos en los encapsulados, se encuentran sometidos a condiciones de microclima distintas a las de equilibrio.

Es importante saber que el proceso de estabilización es iterativo y debe repetirse hasta conseguir las condiciones deseadas de preservación, estos valores dependen del comportamiento de los materiales y propiedades del documento.

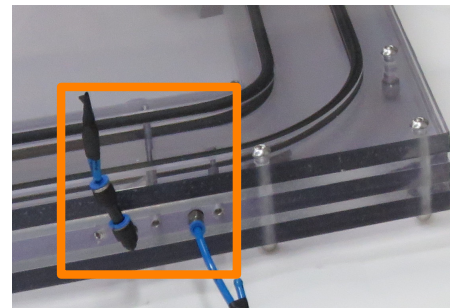
El proceso para introducir el gas humidificado, así como el proceso de estabilización de las condiciones del microclima se describe en el anexo A.

2.9. Actuadores (y componentes para regulación de flujo)

El sistema incluye dos componentes para regular el flujo de argón humidificado que se introduce a la cámara y para permitir la salida del aire de su interior, que corresponden con las válvulas mostradas en la figura 2.23. Además tiene dos actuadores temporales: los primeros corresponden a las válvulas, para manejar el flujo de gas tanto hacia la cámara hermética como hacia afuera de la misma. Se encuentran integradas en una de las capas que conforman el sistema de preservación y están compuestas por: un prisionero de acero inoxidable, una sección de sello de Viton y un balín de acero inoxidable. Mientras que los segundos se tratan de una bomba peristáltica y una válvula de estrangulamiento observadas en la figura 2.24 que permiten introducir el gas y humidificarlo. Las especificaciones de la bomba, se pueden consultar en el Anexo B.

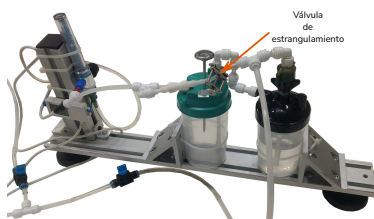


(a) Detalle de la válvula de salida.



(b) Detalle de la válvula de entrada.

Figura 2.23. Actuadores permanentes del sistema.



(a) Humidificador.



(b) Cabezal.



(c) Motor y controlador de velocidad.

Figura 2.24. Actuadores temporales: válvula de estrangulamiento en humidificador y bomba peristáltica.

2.10. Instrumentación

Se emplearon tres elementos para el registro de variables de interés durante la exhibición:

Los primeros dos se tratan de registradores automáticos, mostrados en la figura 2.25 , para la humedad relativa y temperatura tanto del microclima, como del macroclima.



(a) Para el microclima del documento.



(b) Para el macroclima.

Figura 2.25. Actuadores permanentes del sistema.

El tercero, cuyo modelo tridimensional se muestra en la figura 2.26, está constituido por un registrador automático de humedad relativa, temperatura, irradiancia ultravioleta e iluminancia. Este sistema fue diseñado y construido en el CDMIT, para registrar temperatura ambiente y de dos punto sin contacto, aceleraciones cerca del sistema de preservación y concentraciones de material particulado de 10 μm , 2.5 μm y 1 μm . Este sistema, registra los datos fuera de línea en una memoria microSD, y es capaz de mantenerse energizado en el caso de un corte del suministro de energía eléctrica del lugar. Los sensores, registradores y tarjetas de desarrollo utilizadas se encuentran en las tablas 2.3 y 2.4, mientras que las hojas de especificaciones en el anexo B.

Tipo	Modelo	Variables
Registadores automáticos	UX100-023	Humedad relativa y temperatura
	UX100-011	
	TR-74ui	Humedad relativa, temperatura, iluminancia e irradiancia
Sensores	MLX90614	Temperatura ambiente y sin contacto
	PMS5003	Concentración de material particulado
	ADXL335	Aceleraciones lineales

Tabla 2.3. Sensores y registradores utilizados.

Modelo	Función
Arduino UNO	Microcontrolador de propósito general
Adaptador para MicroSD	Adafruit card breakout board+
DS3231	Reloj de tiempo real
PowerBoost 1000 charger	Fuente de alimentación continua

Tabla 2.4. Tarjetas de desarrollo utilizadas.

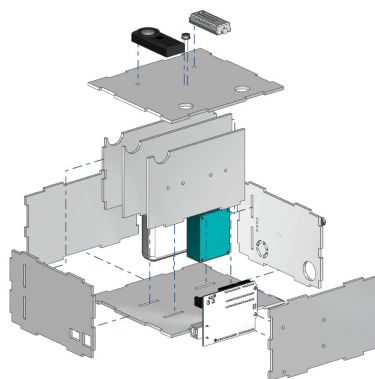
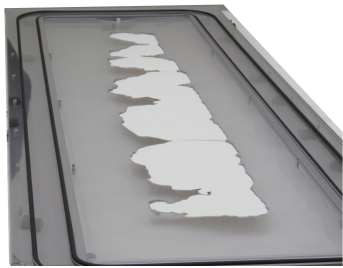


Figura 2.26. Vista de ensamble del módulo desarrollado en el CDMIT.

3. Resultados de la exhibición

Se diseñó y desarrolló un sistema de soporte conformado por la platina y la rejilla, mostrado en la figura 2.27a que además de recibir el papel de soporte, permite el libre desplazamiento del documento como respuesta a las variaciones de humedad relativa y temperatura sin ocasionarle daños. El sistema completo hacia el final de la exhibición se observa en la figura 2.27b.



(a) Papel batería colocado en platina.



(b) Para el macroclima.

Figura 2.27. Sistema cerrado con documento y papel batería en su interior.

Durante el periodo de la exhibición, se registraron tanto el microclima del documento como el macroclima en la sala, estos se observan en las figuras 2.28 y 2.29, respectivamente.

Para evaluar el funcionamiento del sistema construido, se realizó la comparación de temperaturas y humedades relativas entre el micro y macroclima, las gráficas correspondientes se muestran en la figura 2.30. Para facilitar la comprensión de las diferencias entre estas, se obtuvieron los valores promedio para estas variables, su desviación estándar (σ) y sus máximos y mínimos globales. Estos se presentan en la tabla 2.5 para la humedad relativa y en la tabla 2.6 para la temperatura.

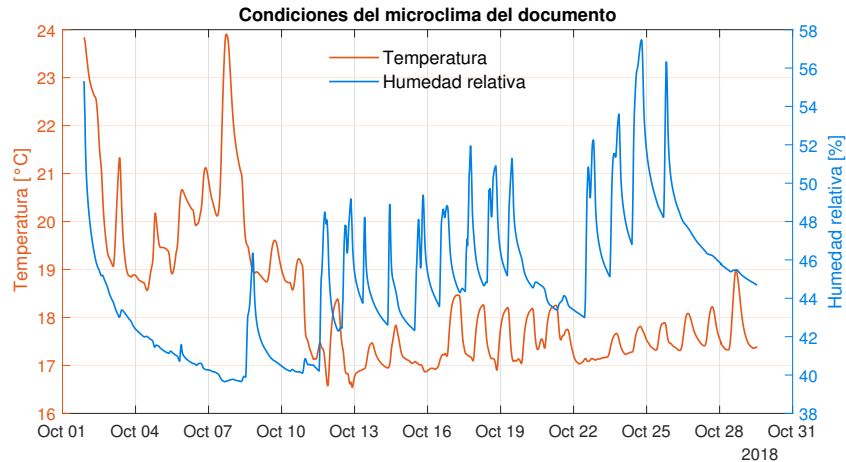


Figura 2.28. Datos registrados del microclima.

Se puede observar que las condiciones de humedad relativa del microclima tuvieron una variación del 18.77% a lo largo de la exhibición, mientras que su valor promedio fue del 44.8%, por lo que se mantuvo dentro del rango especificado. Por otra parte, la respuesta del documento dentro del sistema fue distinta a la de la figura 1.4, que correspondía con la esperada para la estrategia de control de frontera. Adicionalmente, en el comportamiento de la humedad relativa se observan picos que corresponden con el proceso de estabilización realizado durante el periodo de exhibición.

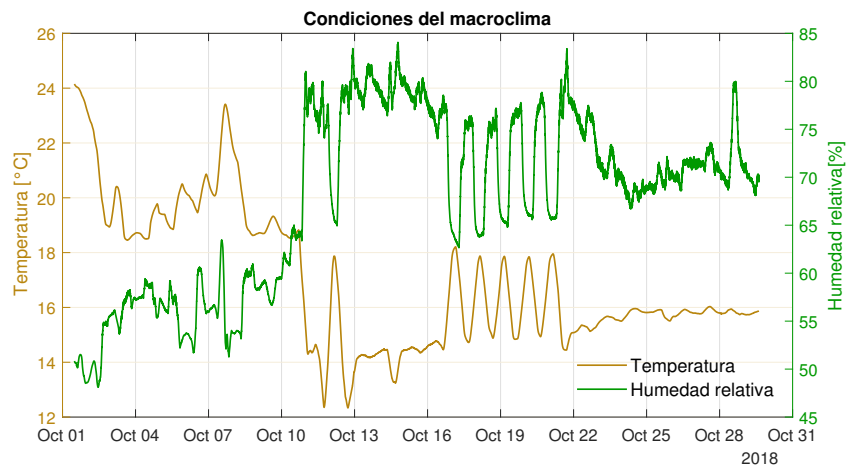
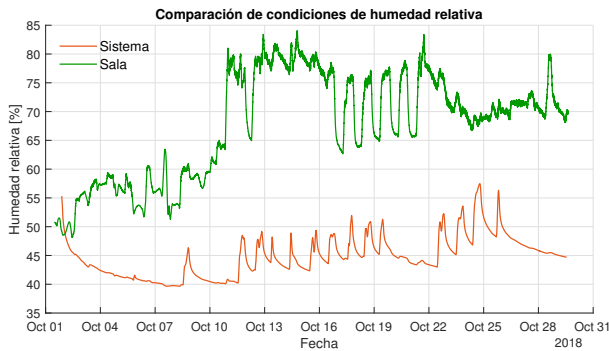


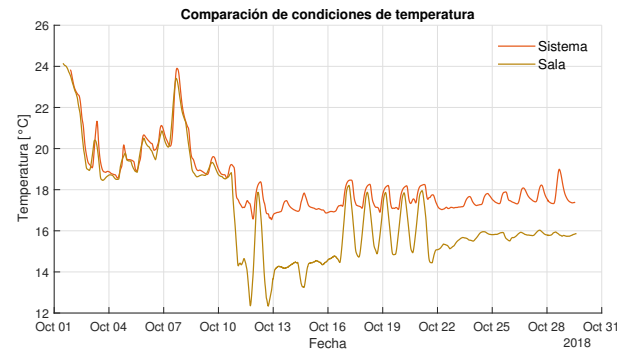
Figura 2.29. Datos registrados del macroclima.

Con respecto al macroclima en la sala, se observa que las fluctuaciones de la humedad relativa durante el mismo periodo fueron del 49.67%. Con lo que la diferencia entre ambos fue

del 30.9%.



(a) Humedad relativa.



(b) Temperatura.

Figura 2.30. Comparaciones de humedad relativa y temperatura entre el micro y macroclima.

Humedad relativa (%)				
	Promedio	Máximo	Mínimo	σ
Microclima	44.8	58.36	39.59	3.5
Macroclima	67.66	96.07	46.4	12.3

Tabla 2.5. Comparación mensual de humedades relativas.

Temperatura (°C)				
	Promedio	Máximo	Mínimo	σ
Microclima	18.3	23.93	16.49	1.47
Macroclima	16.94	24.51	10.78	2.5

Tabla 2.6. Comparación mensual de temperaturas.

Para el caso de la temperatura, con base en la gráfica de la figura 2.30b, se puede observar que las fluctuaciones en la sala fueron mayores que las que experimentó el microclima a partir del 10 de octubre y que como se esperaba, existe una reducción en la amplitud y un desfase entre ambas. Para cuantificar las variaciones de magnitud entre el micro y macroclima, se analizan los máximos, mínimos y valor promedio por semana y se presentan en las tablas 2.7 y 2.8.

Temperatura microclima (°C)				
	Máxima	Mínima	Promedio	Semana
	23.934	18.836	20.344	
Fecha	7/10	4/10		1
	19.63	16.49	17.741	
Fecha	9/10	12/10		2
	18.488	16.847	17.525	
Fecha	17/10	18/10		3
	19.035	17.109	17.594	
Fecha	28/10	22/10		4

Tabla 2.7. Registro semanal de temperaturas del microclima.

Temperatura macroclima (°C)				
	Máxima	Mínima	Promedio	Semana
	24.513	17.941	20.39	
Fecha	1/10	4/10		1
	21.68	10.788	15.83	
Fecha	8/10	12/10		2
	18.346	13.091	15.868	
Fecha	17/10	21/10		3
	16.418	14.723	15.733	
Fecha	28/10	22/10		4

Tabla 2.8. Registro semanal de temperaturas del macroclima.

En la tabla 2.7 asociada al microclima, se observa que entre la primera y segunda semana, la temperatura promedio tuvo una disminución de 2.6°C, de tal manera, que a partir de la segunda, la diferencia se mantuvo dentro del rango de 0.2°C. Por otra parte, la variación entre la máxima y la mínima estuvo entre 5°C para la primera semana y 1.9°C a partir de la segunda.

En el caso del macroclima, en la tabla 2.8, se puede apreciar que la diferencia promedio semanal fue de un rango de 4.5°C a 4.6°C para el periodo de la exhibición. Mientras que la fluctuación máxima y mínima a lo largo del mes fue de entre 10.8°C y 1.6°C.

Para la humedad relativa se presentan los datos de la gráfica mostrada en la figura 2.30a divididos por semana en las tablas 2.9 y 2.10 para el microclima y el macroclima, respectivamente.

Humedad relativa microclima (%)				
	Máxima	Mínima	Promedio	Semana
	58.367	39.598	42.189	
Fecha	1/10	1/10		1
	50.236	40.039	43.178	
Fecha	8/10	10/10		2
	53.14	42.962	45.849	
Fecha	22/10	22/10		3
	57.735	44.677	48.146	
Fecha	24/10	29/10		4

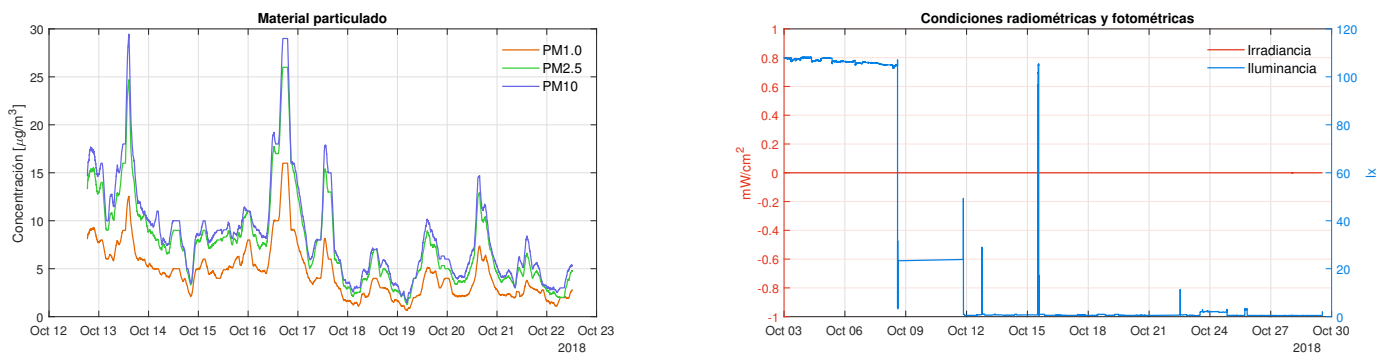
Tabla 2.9. Registro semanal de humedad relativa del microclima.

Si bien en la figura 2.30a, se puede apreciar que la humedad relativa del micro y macroclima se comportan de manera distinta, ya que la primera se alteraba mediante el sistema de humidificación y la segunda dependía en su totalidad de los sistemas de aire acondicionado de la sala, el valor promedio de esta variable dentro de la cámara se alteró un 6.95%. Mientras que las variaciones por semana estuvieron en el rango del 18.79% al 10.19%.

En el caso de las condiciones de la humedad relativa de la sala, la variación del valor promedio fue de entre el 17.8% y el 3.58% a lo largo de la exhibición. Por otra parte, las fluctuaciones semanales de esta se mantuvieron en el rango del 19.43% al 46.5%.

Humedad relativa macroclima (%)				
	Máxima	Mínima	Promedio	Semana
	65.838	46.404	55.139	
Fecha	6/10	2/10		1
	96.072	53.352	71.791	
Fecha	14/10	8/10		2
	95.79	49.274	72.974	
Fecha	21/10	18/10		3
	94.186	47.612	69.386	
Fecha	22/10	23/10		4

Tabla 2.10. Registro semanal de humedad relativa del macroclima.



(a) Concentración de material particulado.

(b) Fotométricos y radiométricos.

Figura 2.31. Datos obtenidos mediante el módulo diseñado.

En lo concerniente a los datos recabados mediante el módulo mencionado en la sección 2.10, permitieron establecer que se logró proteger el documento del material particulado presente en la sala, por otra parte, las condiciones de iluminación del lugar fueron las adecuadas para el documento. Los de la concentración de material particulado se muestran en la figura 2.31a, mientras que los radio y fotométricos, en la figura 2.31b.

Con relación a la concentración de material particulado en la gráfica de la figura 2.31a se muestran las concentraciones que el documento experimentaría en caso de carecer de un

sistema como el diseñado. En la tabla 2.11 se observa que los máximos para partículas de 1 μm , 2.5 μm y 10 μm se presentan de manera simultánea el 16 de octubre.

Con respecto a la irradiancia, en la gráfica de la figura 2.31b se observa que tuvo un valor constante de $0 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$, lo que significa que el tipo de luz empleada para la exhibición carecía de componente UV. En el caso de la iluminancia tuvo un valor máximo de 108 lx. Estos resultados son consecuencia de la ubicación del módulo en la exhibición, ya que debía ser invisible para el público.

Concentración de material particulado ($\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$)	
Tamaño (μm)	Máxima
1	16
2.5	26
10	29

Tabla 2.11. Concentraciones máximas de material particulado.

Se cumplieron con las especificaciones de los museógrafos para que el público observara el documento lo más cerca posible durante su visita a la exhibición como se aprecia en la figura 2.32.



Figura 2.32. Sistema durante exhibición.

Un hallazgo importante de estos resultados fue el del comportamiento de la humedad relativa mostrado en la figura 2.28, que se tradujo en que el proceso de humidificación se tuviera

que realizar de manera permanente para lograr mantener el valor deseado de esta variable. Este comportamiento fue distinto al esperado, correspondiente con el de la figura 1.4, por lo que se planteó el desarrollo de sistemas experimentales para la simulación de diferentes condiciones de microclima, además de un protocolo para estudiar la respuesta de estos materiales ante las fluctuaciones de la humedad relativa.

3 | Caracterización de la respuesta de los materiales de acuerdo con los cambios de la humedad relativa durante el proceso de estabilización

Como se mencionó, el proceso de estabilización es muy importante para que las condiciones de preservación permanezcan en el umbral establecido y que los materiales que se encuentren presentes en el interior del sistema reaccionen naturalmente a los cambios de humedad relativa y temperatura. Por lo tanto, es de suma importancia caracterizar el comportamiento de diferentes tipos ante variaciones de humedad relativa del microclima.

Con base en el conocimiento adquirido del desarrollo del sistema de preservación, se sabe que uno de los elementos que componen al documento, es el papel amate, por otro lado, como elemento secante y de soporte, se utilizó papel batería. De esta manera, se buscó caracterizar su respuesta, así como el tiempo de estabilización para cada uno de los tipos de ellos y en conjunto.

Se diseñaron y construyeron seis cámaras para experimentación con el objetivo de realizar las pruebas del proceso de estabilización con muestras de los materiales involucrados. En la figura 3.1 se muestra el diseño de dichas cámaras de prueba.

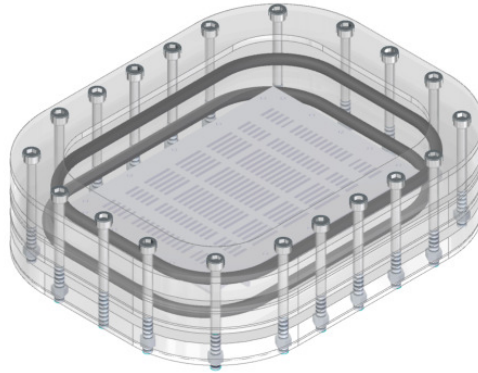


Figura 3.1. Modelo tridimensional del sistema para experimentación.

1. Diseño de cámaras para experimentos

El proceso de diseño de estas cámaras fue similar al del sistema de preservación descrito anteriormente, particularmente en el material seleccionado y el medio de ensamble.

Sin embargo, el objetivo buscado para estos sistemas se centra en la posibilidad de caracterizar diferentes materiales ante variaciones de las condiciones del microclima, específicamente de la humedad relativa. Por otra parte, se buscó que tuvieran las siguientes características:

- Flexibilidad para desarrollar experimentos de manera simultánea.
- Posibilidad de probar o-rings de distintos materiales.
- Permitir la introducción de sensores y otros sistemas electrónicos para el registro de temperatura y humedad relativa, como de otras variables al interior de la cámara.

Además, como sistema complementario para el desarrollo de los experimentos, se propuso el desarrollo e implementación de un sistema de humidificación mecatrónico.

Finalmente, un aspecto importante de estas cámaras se encuentra en que permite el uso de un amplio rango de instrumentación y materiales ya que las muestras que se introducen en ellas carecen de valor histórico.

2. Especificaciones de las cámaras para experimentación

A continuación se describen las características de las cámaras con base en su función.

2.1. Sistema de soporte

Al igual que el sistema anterior, están formados por un conjunto de capas de policarbonato que constituyen el espacio donde se coloca la muestra de material que se desea caracterizar. La geometría, al igual que las capas se pueden apreciar en la figura 3.2.

La diferencia más significativa entre estos sistemas se encuentra en las dimensiones ya que las de estos son de : 253.9 mm x 203.9 mm x 59.36 mm (con los o-rings sin comprimir).

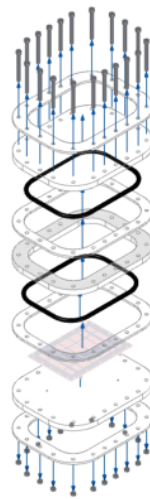


Figura 3.2. Vista de ensamblaje del sistema.

2.2. Dispositivos de sujeción

En este caso, se diseñó únicamente una rejilla con un patrón rectangular para permitir que la mayor superficie de la muestra esté en contacto directo con el volumen de gas humidificado como se observa en la figura 3.3. Por otra parte, cuenta con veintidós barrenos para colocar elementos que permitan sujetar las muestras a la misma. Este elemento ofrece la posibilidad de ser producido en policarbonato o por manufactura aditiva.

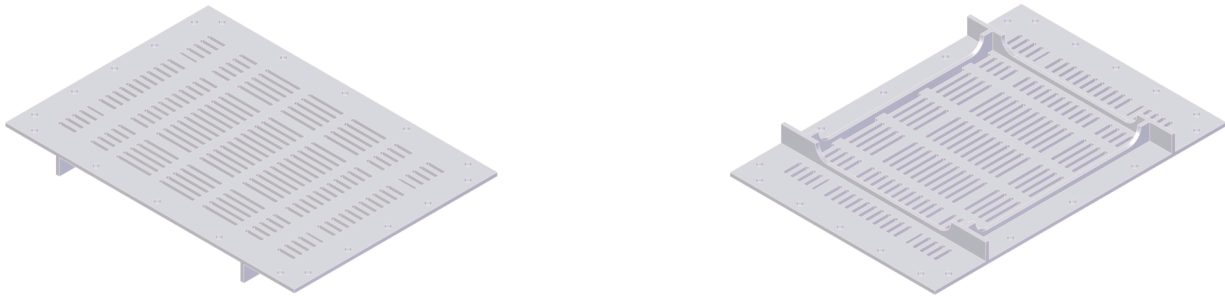


Figura 3.3. Diferentes vistas del modelo tridimensional de la rejilla.

2.3. Sistema de cierre hermético

Para este sistema se emplearon un par de o-rings de Viton, silicona y nitrilo para cada dos cámaras. La disposición de estos en el banco de pruebas se muestra en la figura 3.4.

La longitud de cada pareja de o-rings es de 546 mm.



(a) Vista superior.



(b) Vista lateral.

Figura 3.4. Vistas de los o-rings del sistema.

2.4. Volumen de gas humidificado

En este caso se empleó aire humidificado. El proceso empleado para su introducción a la cámara de experimentación se encuentra descrito en el anexo A.

Cada una de las cámaras cuenta con dos conexiones neumáticas para con la finalidad de conectar y verificar el funcionamiento de diferentes tipos de válvulas.

Adicionalmente se propuso la implementación de un humidificador mecatrónico compuesto por los elementos que se encuentran en el diagrama de la figura 3.5.

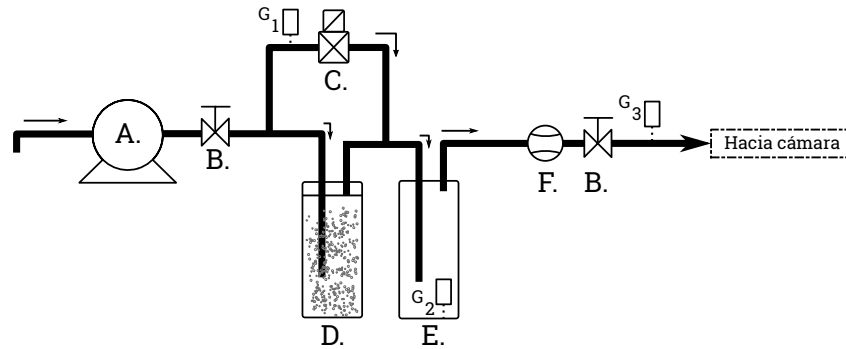


Figura 3.5. Diagrama del humidificador mecatrónico propuesto.

Donde:

- A. Bomba peristáltica.
- B. Válvulas de paso.
- C. Electroválvula proporcional.
- D. Contenedor de burbujeo.
- E. Trampa de condensación.
- F. Flujómetro.
- G. Sensores de humedad relativa.

2.5. Instrumentación

En este aspecto, el sistema de experimentación permite la introducción de sensores o registradores automáticos para medir diferentes tipos de variables que van desde la humedad relativa y temperatura, hasta concentraciones de material particulado, irradiancia, entre otras.

En el diagrama de la figura 3.6 se muestra una propuesta de la implementación de un conjunto de sensores para medir temperatura sin contacto, denominados **IR**, de tal manera que permiten conocer esta variable sin necesidad de tocar la muestra. A su vez, el identificado con el subíndice **1** permite conocer la temperatura o la presencia de una persona que interactúe con la cámara. Por otro lado, se incluye un sensor de humedad relativa y temperatura, para

realizar el registro de las condiciones del microclima. En la tabla 3.1 se muestran los sensores considerados para dicho objetivo.

Propuesta de sensores para el sistema experimental	
Variable	Modelo
Temperatura de la muestra	MLX90614
Humedad relativa y temperatura al interior de la cámara	HDC1010

Tabla 3.1. Modelos de sensores propuestos para el sistema experimental.

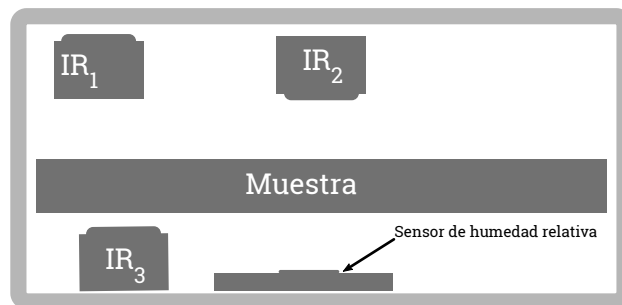


Figura 3.6. Sensores empleados para la propuesta.

3. Protocolo

Con base en las mediciones obtenidas de humedad relativa y temperatura de las condiciones del microclima durante la exhibición. Se plantearon dos fases de experimentos que consisten en:

- La variación de humedad relativa resultante de colocar un volumen conocido de agua en una muestra de papel amate y de papel batería.
- Conocer la proporción de volumen que representa el agua que absorbieron las muestras a través del uso del sistema de humidificación.

3.1. Objetivos generales

- Caracterizar la respuesta del papel amate y del papel batería después del proceso de estabilización a condiciones de temperatura ambiente en el laboratorio del CDMIT.
- Caracterizar el comportamiento de una de las cámaras experimentales.
- Comparar la respuesta experimental con la que se obtuvo durante la exhibición.

3.2. Objetivos particulares

- Obtener el porcentaje de agua absorbida por el papel amate y por el papel batería, respectivamente mediante un analizador de humedad.
- Comparar el comportamiento de la respuesta de la humedad ante la adición de un volumen de agua conocido.

3.3. Metodología

Para realizar las pruebas se requieren los siguientes materiales:

1. Cuatro cámaras de experimentación con rejilla.
2. Cuatro sensores o registradores para cuantificar humedad relativa y temperatura del volumen del aire al interior de las cámaras.
3. Un humidificador.
4. Tres muestras de papel amate de 100 mm x 150 mm.
5. Tres muestras de papel batería 100 mm x 150 mm..
6. Analizador de humedad. Mostrado en la figura 3.7.
7. Jeringa o pipeta graduada.



Figura 3.7. Analizador de humedad.

Se usarán tres pares de muestras de cada papel, como se muestra en la tabla 3.2:

Muestras	Condición
De papel amate	Variación de la humedad relativa con humidificador
De papel batería	
De papel batería con papel amate	
De papel amate	Variación de la humedad relativa con volumen de agua aplicado directamente en la muestra
De papel batería	
De papel batería con papel amate	

Tabla 3.2. Muestras para los experimentos.

Fase 1

Para este experimento se emplea una cámara con papel batería y una con papel amate, respectivamente. En este caso se emplea un volumen conocido de agua y se aplica directamente sobre las muestras.

- Con ayuda de la jeringa, colocar 5 ml de agua destilada a las muestras de papel batería y la de papel amate, respectivamente como se muestra en la figura 3.8.

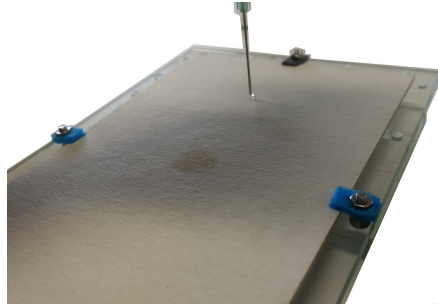


Figura 3.8. Aplicación del volumen de agua destilada sobre la muestra de papel batería.

- Colocar cada muestra en una cámara con un registrador de humedad relativa y temperatura, como se aprecia en la figura 3.9.

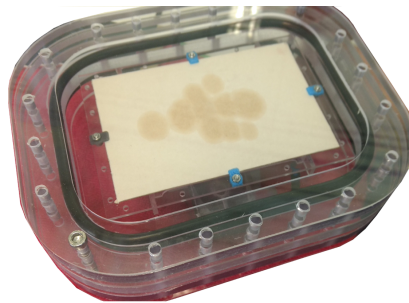


Figura 3.9. Cámara cerrada con muestra de papel batería en su interior.

- Como control, colocar un registrador de humedad relativa y temperatura en una cámara sin muestra ni rejilla.
- Cerrar las válvulas de las cámaras.
- Registrar la humedad relativa del microclima dentro del sistema durante 1 mes.

Fase 2

Para este experimento se emplea el humidificador y se divide en dos etapas que se describen a continuación.

A. Etapa uno

- Obtener la proporción del volumen inicial de agua de una muestra de 50 mm x 50 mm de papel batería y de papel amate, tomadas de las muestras principales, mediante el analizador de humedad.
- Colocar cada muestra principal del papel dentro de cada cámara con un registrador automático de humedad relativa y temperatura.
- Establecer el valor de humedad relativa objetivo del 55% durante 1 hora mediante el sistema de humidificación por burbujeo.
- Una vez concluido este ciclo, mantener cerradas las válvulas de las cámaras durante 1 mes.
- Extraer las muestras de papel batería, papel amate y en conjunto para obtener la proporción de volumen de agua de una sección de 50 mm x 50 mm terminado el periodo después del cierre de las válvulas mediante el analizador de humedad.
- Obtener los datos de los sensores de humedad relativa al interior de las cámaras.
- Graficar el comportamiento de cada una de las muestras colocadas dentro de las cámaras.

B. Etapa dos

- Al igual que en la primera etapa, obtener la proporción del volumen inicial de agua de una muestra de 50 mm x 50 mm de papel batería y de papel amate mediante el analizador de humedad.
- Con base en el dato de la proporción de volumen de agua absorbido por las muestras obtenido mediante el analizador de humedad en la primera etapa, se realizará lo siguiente:
 - Con la jeringa o pipeta graduada, colocar dicho volumen en cada una de las muestras.
 - Cerrar las válvulas de las cámaras.
 - Registrar la humedad relativa del microclima dentro del sistema durante 1 mes.
 - Finalmente, extraer las muestras de papel batería, papel amate y en conjunto para obtener la proporción de volumen de agua presente en cada muestra después del periodo de registro mediante el analizador de humedad.

- Con respecto a los datos obtenidos durante la exhibición del documento, se utilizará una sección de la gráfica total del código para comparar el comportamiento de los datos generados durante el experimento.

3.4. Resultados de los experimentos de la fase 1

A continuación se muestran las gráficas con los resultados de los experimentos realizados para las muestras de papel batería, papel amate y la cámara de control, respectivamente. En la figura 3.10, se presenta la comparación del comportamiento de la humedad relativa en los tres sistemas, así como el del ambiente, mientras que en la figura 3.11 la comparación de temperatura.

Para los tres experimentos, se observa que la temperatura inicial de los registradores empleados corresponde con las condiciones del ambiente, como se observa en la tabla 3.3, la diferencia máxima es de 0.55°C. En el caso de la humedad relativa, se presentan los valores iniciales en la tabla 3.4. En ella se puede observar que el registrador control, así como el del ambiente tuvieron una diferencia del 1 %, mientras que los del papel amate, como del papel batería 13.1 % y 16.79%, respectivamente.

Temperaturas iniciales	
Muestra	Dato (°C)
Amate	19.15
Batería	19.3
Control	19.7
Ambiente	19.27

Tabla 3.3. Condiciones iniciales de temperatura.

Con respecto a la figura 3.10 se aprecia que las dos muestras, así como el experimento control, presentaron un comportamiento distinto al ambiente. La cámara de control tuvo un comportamiento prácticamente constante, alrededor del 46% con un rango de 46.3% a 46.9%. En cambio las cámaras con muestra, tuvieron un decaimiento, que se presenta en la tabla

Humedad relativa inicial	
Muestra	Dato (%)
Amate	62.27
Batería	58.67
Control	44.48
Ambiente	45.48

Tabla 3.4. Condiciones iniciales de humedad relativa.

3.5, hasta alcanzar un valor de equilibrio en un periodo de veintiún días a partir de que se introdujeron a las cámaras (14 de diciembre de 2018).

Decaimiento de la humedad relativa (%)				
Muestra	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Amate	3.87	1.68	1.51	0.37
Batería	2.3	0.86	0.72	0.35

Tabla 3.5. Disminución de la humedad relativa en las cámaras con muestra de papel batería y papel amate.

Con respecto a la temperatura, se observa que tanto la cámara control, como las que contienen las muestras, responden a los cambios en el ambiente. Sin embargo se presenta un desfase y un cambio de amplitud con respecto a este. Estos datos, son variables a lo largo del periodo de la prueba, por lo que se seleccionó arbitrariamente un día cuya gráfica se observa en la figura 3.11b para obtenerlos y se presentan en la tabla 3.6 y 3.7, respectivamente.

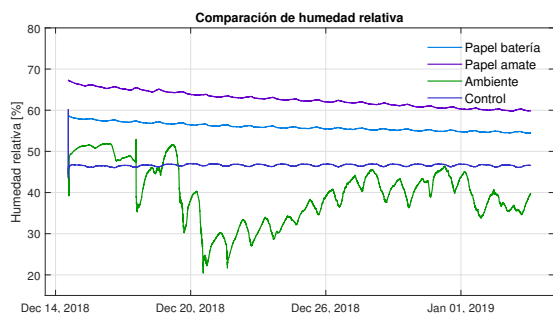
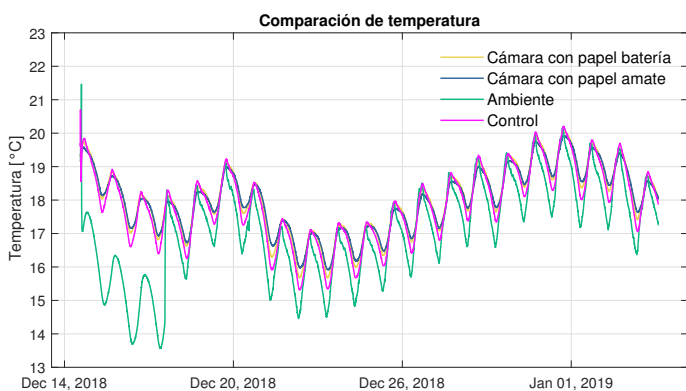
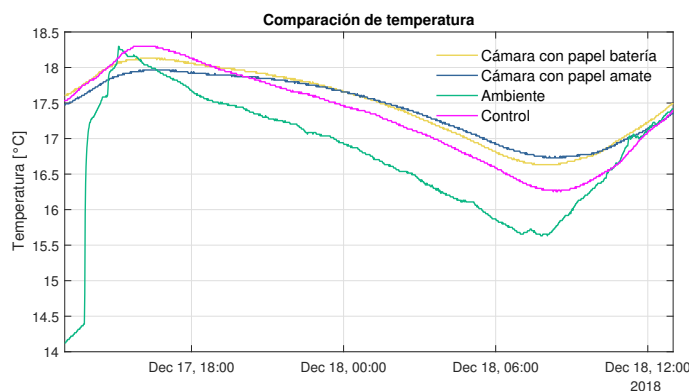


Figura 3.10. Comparación de humedad relativa entre muestra de papel amate, papel batería y experimento control.

Con estos resultados se demuestra que los sistemas experimentales diseñados logran mantener una condición de humedad relativa distinta a la del ambiente, y por otro lado, se verifica lo encontrado en la literatura con relación a la temperatura, ya que es visible un desfase y un cambio de amplitud al interior de ellos. Sin embargo, es necesario realizar más experimentos durante un periodo de tiempo mayor para validar el tiempo de estabilización, así como incorporar los experimentos de la segunda fase del protocolo.



(a) Temperaturas de las cámaras con muestras, experimento control y ambiente.



(b) Segmento de datos entre el 17 y 18 de diciembre de 2018.

Figura 3.11. Temperatura registrada en los sistemas experimentales.

En la figura 3.12, se observa la comparación de la de una sección de los datos de humedad relativa del documento con respecto a la de las muestras de papel batería y papel amate. Es importante señalar que los datos fueron registrados en diferentes periodos y lugares, por lo que los valores correspondientes a las abscisas solo contienen el número de muestra. Se tomaron

Desfasamiento de la temperatura	
Muestra	Tiempo
Amate	1h06min
Batería	1h02min
Control	1h01min

Tabla 3.6. Medición del desfasamiento de las temperaturas con respecto a la ambiente.

Amplitud de la temperatura	
Muestra	Valor (°C)
Ambiente	2.64
Amate	1.71
Batería	1.5
Control	2.03

Tabla 3.7. Amplitud de las temperaturas.

datos de siete días de cada una de las muestras, así como del documento, ya que posteriormente se desarrolló el proceso de estabilización para llevarlo a las condiciones objetivo de la exhibición. Sin embargo, con base en el tiempo de estabilización de mas de veinte días resultante de los experimentos, se observa que el documento se encontraba en una condición distinta a la de equilibrio. Por otro lado, la disminución de la humedad relativa al interior de la cámara para exhibición fue más rápida, ya que fue del 16% en un solo día.

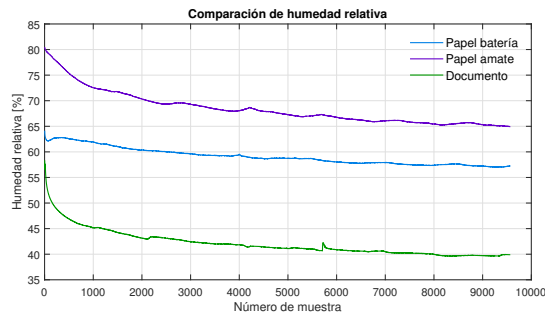


Figura 3.12. Comparación de la respuesta del documento contra respuesta de los sistemas experimentales.

4 | Conclusiones

Con respecto al sistema de preservación diseñado y construido, logró satisfacer las necesidades expresadas por los responsables de la exhibición como de preservación del documento.

Dadas las particularidades del documento que se introdujo, el sistema de preservación diseñado es único en su tipo. Por una parte, las necesidades de la exhibición para presentar el objeto como una pieza única, así como su antigüedad tuvieron un impacto directo en las especificaciones del sistema, lo que se tradujo en primera instancia en las dimensiones y geometría de este y por otro lado en la estructura y método de sujeción dentro de la cámara hermética. Los materiales que constituyen al documento presentaron una respuesta única cuando se colocaron dentro del sistema de preservación, lo que se tradujo en el planteamiento de un protocolo para caracterizarlos.

Además, demostró ser un dispositivo capaz de atenuar los cambios de humedad relativa del microclima del documento y en menor medida los de temperatura. También fue capaz de disminuir el deterioro del documento ante otros agentes externos, tales como la interacción con el público que acudió a la exhibición, con lo que se abre la posibilidad a exponer otros documentos de este tipo en un sistema similar.

En el caso de las alternativas de sellado de la cámara, el uso de diferencias de presión lograba el objetivo de eliminar en su totalidad los tornillos. Sin embargo, las implicaciones de este método culminaron en el descarte de esta alternativa dado que era necesario un sistema de control adicional para los elementos disponibles durante la exhibición o de una bomba para mantener la presión negativa.

Es importante mencionar que se logró balancear el número de tornillos para mantener una compresión uniforme sobre los o-rings asegurando la hermeticidad de la cámara, cubriendo la necesidad museográfica original.

Por otra parte, es complicado establecer un parámetro específico de humedad relativa para un documento de ese tipo ya que sus materiales y sus características físicas son únicas. Por ejemplo, la longitud total al colocar los folios adyacentemente, ocasionan que el volumen y el área de contacto del gas humidificado con el objeto sean considerables con lo que la respuesta a las variaciones de la humedad relativa eran desconocidas al inicio de la exhibición.

Dados los cambios de condiciones en el microclima ocasionados por el traslado de la bóveda hacia la sala del museo, fue necesario que el proceso de estabilización se realizara a la par de la exhibición. Esta experiencia sirvió para el planteamiento de un sistema mecatrónico capaz de realizar esta actividad de manera continua y con intervención mínima de alguna persona.

Las cámaras para la realización de experimentos permitieron caracterizar el material que se utilizó como soporte, durante la exhibición, conociendo de esta manera, su respuesta ante variaciones de humedad relativa. De igual manera, proveen de una infraestructura con la que se pueden generar diferentes condiciones de microclima sin las implicaciones ni la rigurosidad de un objeto histórico y con la flexibilidad de verificar diferentes soluciones para la instrumentación de estos sistemas, alternativas de sujeción para los documentos, entre otras características.

Los resultados de los experimentos anteriores permitieron observar que la respuesta del papel batería como del papel amate por separado tendieron a un valor similar al que se observó durante la exhibición del documento.

Es necesario obtener un modelo dinámico que permita predecir la respuesta de la humedad relativa con base en las especificaciones del tipo de papel, para conocer de esta forma la cantidad necesaria del mismo para ser empleado como un medio de regulación de esta variable y que proporcione un elemento para decidir la estrategia de control a emplear, entre la de frontera o la pasiva.

Finalmente, el trabajo en conjunto con el área de la preservación de objetos históricos es un ejemplo visible de como la ingeniería y en particular el diseño mecánico, la mecatrónica y el diseño industrial se conjuntan para la obtención de un producto único en su tipo que ofrece una solución asequible ante la necesidad de poner el patrimonio histórico al alcance de un gran número de personas.

5 | Trabajo a futuro

Culminar con la fase dos del protocolo propuesto en la sección 3.3 para cerrar la validación del diseño del sistema para preservación y exhibición con respecto a los resultados obtenidos durante el mes de exposición en la sala del museo.

Además del punto anterior, se debe seguir con la caracterización de materiales que generalmente se utilizan como soporte para predecir su comportamiento durante el proceso de estabilización.

Por otro lado, es necesario evaluar el funcionamiento de las válvulas que se incorporaron al sistema, para conocer el tiempo que se mantendrá una atmósfera anóxica en su interior.

En el caso del policarbonato, se propone el desarrollo de un protocolo o sistema para eliminar la carga electrostática de sus componentes para prevenir movimientos indeseados del documento exhibido.

Se propone la incorporación de sensores de temperatura sin contacto, para conocer directamente la temperatura de las muestras que se evalúan y caracterizar la interacción de las personas, priorizando la visibilidad del objeto histórico.

Con respecto al humidificador mecatrónico, es necesario realizar el modelado de la humedad relativa objetivo con respecto al gas introducido y relacionarlo con el porcentaje de apertura de la electroválvula para obtener la cantidad necesaria de burbujas en el contenedor del agua destilada. De esta forma, la necesidad de que un miembro del equipo esté presente para la vigilancia de esta variable y del burbujeo se limita o elimina completamente.

Finalmente, a través del empleo de algoritmos de visión por computadora, se propone obtener una cuantificación de la deformación de las muestras de papel colocadas en los sistemas de experimentación para correlacionar esta medida con los cambios de la humedad relativa del microclima.

Referencias

- [1] D. Camuffo, *Microclimate for cultural heritage : conservation and restoration of indoor and outdoor monuments*. Elsevier, 2014. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001864387&lang=es&site=eds-live>.
- [2] *Definition of the cultural heritage: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. dirección: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/unesco-database-of-national-cultural-heritage-laws/frequently-asked-questions/definition-of-the-cultural-heritage/>.
- [3] K. Borowiecki, *Cultural Heritage in a changing world*. Springer International Publishing, 2016. dirección: <https://www.springer.com/gp/book/9783319295428>.
- [4] *What is Cultural Heritage*. dirección: http://www.cultureindevelopment.nl/Cultural_Heritage/What_is_Cultural_Heritage.
- [5] D. Camuffo, R. Van Grieken, H.-J. Busse, G. Sturaro, A. Valentino, A. Bernardi, N. Blades, D. Shooter, K. Gysels, F. Deutsch, M. Wieser, O. Kim y U. Ulrych, «Environmental monitoring in four European museums.», *Atmospheric Environment*, vol. 35, n.º Supplement 1, S127-S140, 2001, ISSN: 1352-2310. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231001000887>.
- [6] D. Thickett, «Frontiers of Preventive Conservation.», *Studies in Conservation*, vol. 63, págs. 262-267, 2018, ISSN: 00393630. dirección: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00393630.2018.1504455>.

- [7] M. F. Mecklenburg, «Determining the Acceptable Ranges of Relative Humidity and Temperature in Museums and Galleries, Part 1, Structural Response to Relative Humidity.», *DSpace Home*, 2007. dirección: <https://repository.si.edu/handle/10088/7056>.
- [8] Lucchi, V. Grieken, Busse, Valentino, Bernardi, D. Bock, Wieser, Kim, V. Grieken, Busse y et al., «Microclimatic analysis in the Museum of Physics, University of Turin, Italy: A case-study», *The European Physical Journal Plus*, ene. de 1970. dirección: <https://link.springer.com/article/10.1140/epjp/i2018-12367-4>.
- [9] E. Lucchi, «Review of preventive conservation in museum buildings.», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 29, págs. 180-193, 2018, ISSN: 1296-2074. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S1296207416302217&lang=es&site=eds-live>.
- [10] S. Staniforth, «Conservation and Exhibitions, packing, transport, storage and environmental considerations.», *Studies in Conservation*, vol. 33, n.º 2, págs. 103-104, 1988, ISSN: 00393630. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=33287300&lang=es&site=eds-live>.
- [11] N. Stolow, *Conservation standards for works of art in transit and on exhibition*. Ép. Museums and monuments: 17. UNESCO, 1979, ISBN: 9231016288. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000386971&lang=es&site=eds-live>.
- [12] G. Pavlogeorgatos, «Environmental parameters in museums.», *Building and Environment*, vol. 38, n.º 12, págs. 1457-1462, 2003, ISSN: 0360-1323. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0360132303001136&lang=es&site=eds-live>.
- [13] V. A. Iyishu, W. O. Nkanu y F. O. Ogar, «Preservation and conservation of library materials in the digital age.», *Information Impact: Journal of Information and Knowledge Management*, 2016, ISSN: 2141-4297. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsair&AN=edsair.78975075580c..874c4ae13cd7cc620290a100b0cce7b0&lang=es&site=eds-live>.

- [14] G. Maino y U. Lucia, «A thermodynamic approach to the microclimate environment of museums», *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 517, págs. 66-72, 2019, ISSN: 0378-4371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.08.121>. dirección: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437118310641>.
- [15] M. L. Ritzenthaler, *Preserving archives and manuscripts*. Society of american archivist, 1993, ISBN: 0-931828-94-5. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000672601&lang=es&site=eds-live>.
- [16] P. J. Boylan, *Running a museum: a practical handbook*. ICOM, 2004.
- [17] M. Perino, «Air tightness and RH control in museum showcases: Concepts and testing procedures.», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 34, n.º Technoheritage 2017, págs. 277-290, 2018, ISSN: 1296-2074. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S129620741730609X&lang=es&site=eds-live>.
- [18] J. V. Schijndel, «Evaluation of the Climate Control Performance and Reliability of Active Display Cases.», *Energy efficiency and new approaches; 4th International Building Physics Conference, Istanbul, June 2009*, págs. 679-686, 2009, ISSN: 978-975-561-350-5. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsnar&AN=edsnar.oai.pure.tue.nl.publications.22dd160c.abed.47be.8616.44f1f1f95481&lang=es&site=eds-live>.
- [19] K. (V. Durand, «Hermetically sealed encasements for historic document display and preservation.», Ph. D, Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Mechanical Engineering, 2011. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.oai.union.ndltd.org.MIT.oai.dspace.mit.edu.1721.1.65279&lang=es&site=eds-live>.
- [20] A. Schieweck y T. Salthammer, «Indoor air quality in passive-type museum showcases.», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, n.º 2, págs. 205-213, 2011, ISSN: 1296-2074. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S1296207410001019&lang=es&site=eds-live>.

- [21] *Relative Humidity & Temperature*. dirección: <http://www.jbdco.com/uploads/PapNotesRH-Humidity.pdf>.
- [22] D. CAMUFFO, G. STURARO y A. VALENTINO, «Showcases : a really effective mean for protecting artworks?», *Preservation of Cultural Heritage. The Application of Thermal Analysis and other Advanced Analytical Techniques to Cultural Objects*, n.º 1-2, pág. 65, 2000, ISSN: 0040-6031. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edscal&AN=edscal.857173&lang=es&site=eds-live>.
- [23] S. Maekawa, *Oxygen-free museum cases*. Getty Conservation Institute, 1998, ISBN: 0892365293. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000914423&lang=es&site=eds-live>.
- [24] T.-R. Gregor, R. James y F. Patricia, «The Massachusetts Experiment: The Role of the Environment in Collection Preservation.», *The American Archivist*, vol. 77, n.º 1, pág. 133, 2014, ISSN: 03609081. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.43489588&lang=es&site=eds-live>.
- [25] F. G. France y M. Toth, «‘The Waldseemüller Map’ – A Gift of Germany to the World», *The Cartographic Journal*, vol. 50, n.º 3, págs. 286-293, 2013. DOI: 10.1179/1743277413Y.0000000060. eprint: <https://doi.org/10.1179/1743277413Y.0000000060>. dirección: <https://doi.org/10.1179/1743277413Y.0000000060>.
- [26] S. PAOLO CORGNATI, V. FABI y M. FILIPPI, «A methodology for microclimatic quality evaluation in museums : Application to a temporary exhibit.», *Building and environment*, n.º 6, pág. 1253, 2009, ISSN: 0360-1323. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edscal&AN=edscal.21261958&lang=es&site=eds-live>.
- [27] E. M. Arcadia Barrón y A. C. Ramírez Reivich, «Evaluación del desempeño de un sistema de preservación de documentos históricos con base en el deterioro colorimétrico.», Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. dirección: <http://pbidi.unam>.

- mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02029a&AN=tes.TES01000707620&lang=es&site=eds-live.
- [28] D. Ibarra Gonzalez y A. Ramirez Reivich, «Sistema de monitoreo para la preparación y transportación de obras históricas.», Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02029a&AN=tes.TES01000687649&lang=es&site=eds-live>.
- [29] F. Romano, L. P. Colombo, M. Gaudenzi, C. M. Joppolo y L. P. Romano, «Passive control of microclimate in museum display cases: A lumped parameter model and experimental tests», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 16, n.º 4, págs. 413-418, 2015, ISSN: 1296-2074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.10.001>. dirección: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207414001368>.
- [30] G. A. Vihos, «Screwless encasement system.», US 2003/0029764A, 2003. dirección: <https://patentimages.storage.googleapis.com/17/b0/c5/d930d700df661f/US20030029764A1.pdf>.
- [31] —, «Encasement system.», US20040154205A1, 2004. dirección: <https://patentimages.storage.googleapis.com/46/1a/c2/6ccf04c4a16ba1/US20040154205A1.pdf>.
- [32] —, «Gas filled art encasement system.», US 2009/0015114A, 2009. dirección: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f3/b8/86/876677f9d9e784/US20090015114A1.pdf>.
- [33] M. D. Coe y J. Kerr. dirección: http://www.famsi.org/mayawriting/codices/pdf/grolier_kerr.pdf.
- [34] J. Vergara, *Conservacion y restauracion de material cultural en archivos y bibliotecas*. Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura i Educacio, Direccio General del Llibre, Arxius i Biblioteques, 2002, ISBN: 8448230779. dirección: <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000954701&lang=es&site=eds-live>.

A | Procedimientos

A continuación, se describen los procesos realizados con el sistema de preservación y exhibición de documentos para el documento prehispánico del siglo XII.

Es importante señalar que el proceso de humectación también se emplea en las cámaras experimentales de la sección 2.4.

1. Proceso de Presurización

Este se realizó sin el objeto histórico presente en el sistema con la finalidad de verificar el método de sellado por diferencia de presiones.

Para realizar el procedimiento, se emplearon los siguientes materiales:

1. Compresor.
2. Generador de vacío por efecto Venturi o bomba manual.
3. Válvulas de paso de operación manual.
4. Comparador de carátula.

Las conexiones del sistema se realizaron con base en el diagrama de la figura A.1.

1. Para extraer el aire de la cámara externa del sistema, se utiliza una bomba manual de vacío o un compresor provisto con un generador de vacío por efecto Venturi.
2. Tanto para la bomba manual, como para el generador de vacío, deberán conectarse con una manguera a la válvula que se encuentra en la parte superior del sistema de preservación, esta válvula deberá estar abierta, mientras que la de la parte inferior, deberá estar cerrada.

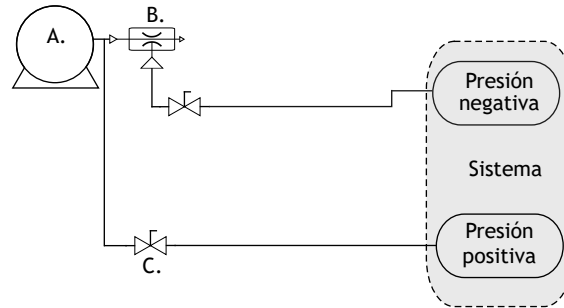


Figura A.1. Diagrama de conexiones.

3. Cuando la extracción del aire del interior del sistema ocasiona una deformación en la tapa de este, se emplea un comparador de carátula para cuantificarla, como se aprecia en la figura A.2. Por lo que, un miembro del equipo debe vigilar la lectura de este dispositivo.

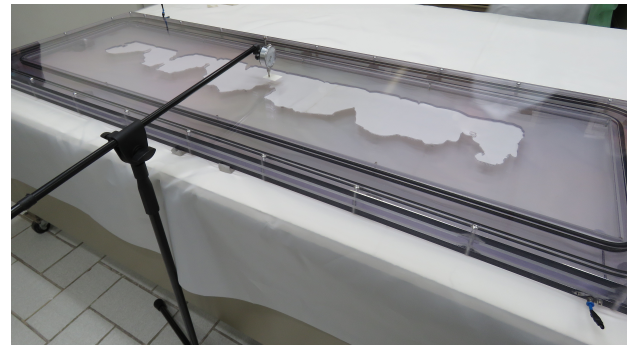
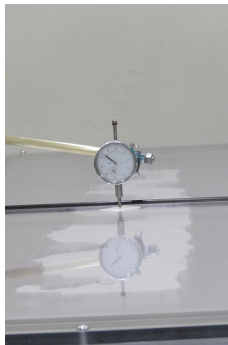


Figura A.2. Posicionamiento del comparador de carátula.

4. Una vez que la totalidad del aire del interior del sistema se haya desalojado, se debe cerrar la válvula en la que se conectó la bomba manual o el generador de vacío y posteriormente desconectarlo.
5. En este punto se debe observar una línea que recorre longitudinalmente el o-ring resultado de la compresión ocasionada por la presión negativa en la cámara interna del sistema como se observa en la figura A.3.

Para generar el ambiente deseado, se deben realizar las siguientes tareas:

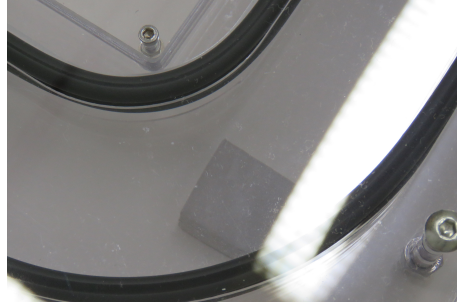


Figura A.3. Ejemplo de línea que recorre longitudinalmente los o-rings.

2. Humectación

Este proceso consiste en la introducción de un gas (o mezcla de ellos) humidificado a la cámara interna del sistema de preservación.

En el caso del Argón se realiza utilizando la densidad del gas a favor. Se hace circular este gas húmedo por la válvula que se encuentra en la parte inferior del sistema. La válvula superior deberá permanecer abierta.

Ya que el Argón tiene una mayor densidad que el aire, este se queda en la parte inferior de la cámara, mientras que el oxígeno es desplazado hacia el exterior, de tal manera que el primero ocupa la totalidad del volumen de la cámara hermética.

La humectación del gas se logra a partir de hacerlo circular a través de un recipiente con agua destilada que burbujea como resultado de una válvula de estrangulamiento como se muestra en el diagrama de la figura A.4.

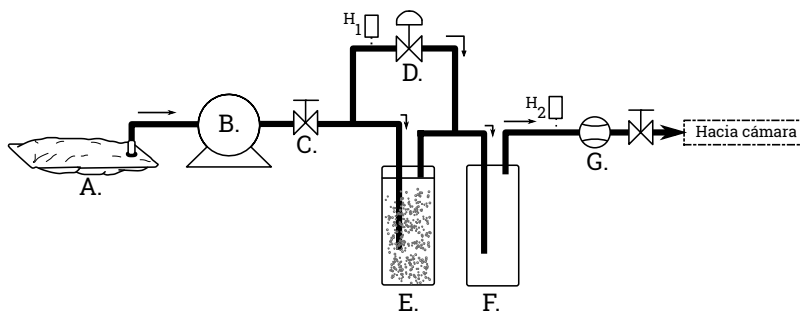


Figura A.4. Diagrama del humidificador.

De tal manera que, a mayor burbujeo mayor la humedad relativa del gas y viceversa.

Los elementos que componen al sistema son:

- A. Bolsa o recipiente con gas.
- B. Bomba peristáltica.
- C. Válvulas de paso de operación manual.
- D. Válvula de estrangulamiento.
- E. Contenedor para burbujeo.
- F. Contenedor para condensado.
- G. Rotámetro.
- H. Registradores de humedad relativa y temperatura.

A partir del diagrama mostrado en la figura A.4 se describirá el proceso de llenado del sistema de preservación con Argón humidificado:

A la entrada del sistema se pueden se pueden realizar las siguientes modificaciones:

- Un tanque de Argón. De tal manera que se sustituyen los elementos **A.** y **B.** del diagrama de la figura A.4.
- En caso de utilizar aire como fluido para el sistema, se sustituye el elemento **A.** mientras que el puerto de entrada de la bomba peristáltica se mantiene abierto al ambiente.

Con base en la conexión de la entrada del sistema de humidificación, el control del flujo de gas se realiza mediante:

- El regulador del tanque, o
- La velocidad del motor de la bomba peristáltica.

Posteriormente la totalidad del flujo de gas seco pasa hacia la válvula de estrangulamiento de tal forma que el flujo de gas, como se observa en el diagrama de la figura A.5:

- **En la posición abierta:**

Continúa hacia el contenedor dos, con lo que el valor de la humedad relativa a la salida del humidificador será el mismo que el de la entrada.

- **En la posición cerrada:**

Continúa hacia el contenedor con agua destilada, con el 100% de burbujeo.

- **En posiciones intermedias:**

Se divide entre el contenedor uno y dos de tal forma que el nivel de burbujeo será proporcional al de la posición de la válvula.

Cuando el Argón ingresa al contenedor E., se produce una niebla con gotas de agua destilada resultado del flujo que pasa a través del contenedor. Con lo que la humedad relativa del gas se incrementa.

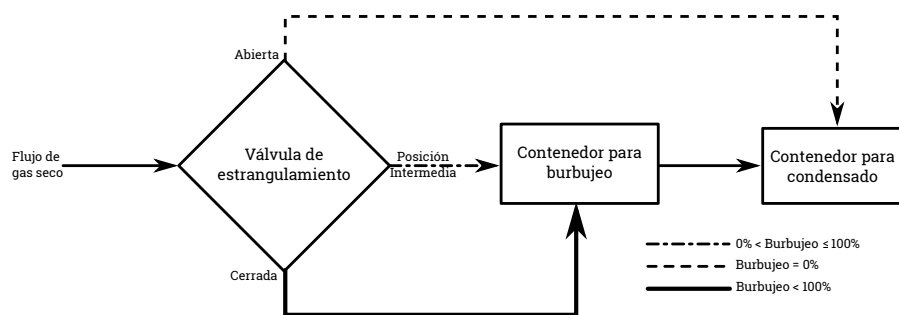


Figura A.5. Diagrama del flujo del gas con respecto a la posición de la válvula de estrangulamiento.

El contenedor F. funciona como una trampa de agua, de tal forma que previene que esta se condense antes de que salga del humidificador.

La duración del proceso de humectación depende del volumen de la cámara hermética del sistema y del flujo volumétrico del gas.

Una vez que se llenó el espacio donde se encuentra el documento, se deben cerrar las válvulas de entrada y de salida del sistema.

Este proceso es muy importante y se realiza de forma lenta para prevenir cambios drásticos en el microclima y como consecuencia algún daño en el objeto histórico.

3. Proceso de estabilización

Mediante este, se logra que el documento que se introduce al sistema de preservación reaccione de forma natural al cambio de las condiciones del microclima resultado de acciones como el traslado de la bóveda hacia el lugar de exhibición o de la introducción a este.

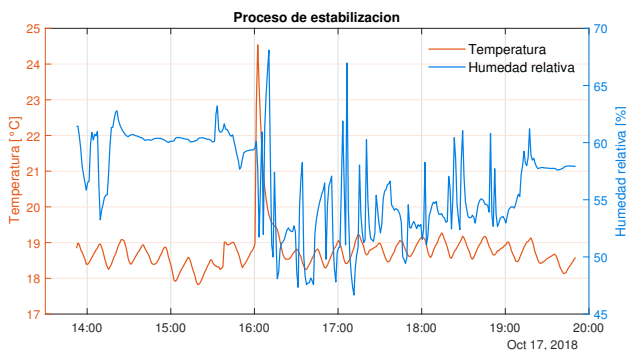
En él, el o los materiales que conforman el documento buscan una condición de equilibrio en la que absorberán o liberarán vapor de agua hacia el ambiente, con lo que se modifica la humedad relativa del interior del sistema de preservación.

Una vez que el documento reacciona, es recurrente que sufra cambios en su apariencia, es decir, pueden aparecer pliegues en el material o, por el contrario, desaparecer algunos que tuviera previamente, incluso podrá contraerse o alisarse.

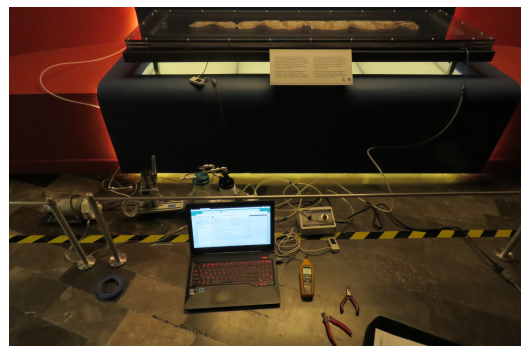
Todos estos cambios físicos pueden correlacionarse con la humedad dentro de la cámara del sistema de preservación, así como con el comportamiento del material, pues en ocasiones antes de introducir los documentos en los encapsulados, se encuentran sometidos a condiciones atmosféricas distintas a las de equilibrio.

Es importante saber que el proceso de estabilización es iterativo y debe repetirse hasta conseguir las condiciones deseadas de preservación, estos valores dependen del comportamiento de los materiales y propiedades del documento.

En la figura A.6a, se muestra una gráfica de humedad relativa y temperatura durante el proceso de estabilización del documento en cuestión, mientras que en la figura A.6b se observan tanto el sistema de humidificación como el de preservación durante dicho proceso.



(a) Gráfica del proceso de estabilización.



(b) Sistemas durante el proceso.

Figura A.6. Proceso de estabilización.

B | Hojas de especificaciones

■ UX100-023

HOBO® External Temp/RH Data Logger (UX100-023) Manual



The HOBO External Temp/RH data logger records temperature and relative humidity in an indoor environment with its external sensor. Using HOBOWare®, you can easily configure the logger alarm to trip for specific high or low sensor readings. Or, you can set up burst logging in which the logger records data at a different interval during certain conditions. The logger can also calculate minimum, maximum, average, and standard deviation statistics. This compact data logger has a built-in LCD screen to monitor the current temperature, relative humidity, logging status, battery use, and memory consumption in between readouts.

HOBO External Temp/RH Data Logger

UX100-023

Included Items:

- Command™ strip
- Double-sided tape
- Hook & loop strap

Required Items:

- HOBOWare 3.4 or later (download at www.onsetcomp.com/hoboware-free-download)
- USB cable

Specifications


Temperature Sensor

Range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.024°C at 25°C (0.04°F at 77°F), see Plot A
Response Time	6 minutes in air moving 1 m/s (2.2 mph)
Drift	<0.1°C (0.18°F) per year

RH Sensor

Range	1% to 100% RH at -40° to 75°C (-40° to 167°F), non-condensing; exposure to conditions below -20°C (-4°F) or above 95% RH may temporarily increase the maximum RH sensor error by an additional 1%
Accuracy	±2.5% from 10% to 90% RH typical to a maximum of ±3.5% including hysteresis at 25°C (77°F); below 10% and above 90% ±5% typical
Resolution	0.05%
Response Time	5 minutes to 90% in airflow of 1 m/s (2.2 mph)
Drift	<1% per year typical
Cable Length	1.83 m (6 ft)

Logger

Logger Operating Range	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F); 0 to 95% RH (non-condensing) Launch/Readout: 0° to 50°C (32° to 122°F) per USB specification
Logging Rate	1 second to 18 hours, 12 minutes, 15 seconds
Logging Modes	Fixed interval (normal), burst, or statistics
Memory Modes	Wrap when full or stop when full
Start Modes	Immediate, push button, date & time, or next interval
Stop Modes	When memory full, push button, or date & time
Restart Mode	Push button
Time Accuracy	±1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot B
Power Source	One 3V CR2032 lithium battery and USB cable
Battery Life	1 year, typical with logging rate of 1 minute and sampling interval of 15 seconds or greater
Memory	128 KB (84,650 measurements, maximum)
Download Type	USB 2.0 interface
Full Memory Download Time	20 seconds
LCD	LCD is visible from 0° to 50°C (32° to 122°F); the LCD may react slowly or go blank in temperatures outside this range
Size	3.66 x 8.48 x 1.52 cm (1.44 x 3.34 x 0.6 in.)
Weight	30 g (1.06 oz)
Environmental Rating	IP50
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

■ UX100-011

HOBO® Temp/RH 2.5% Data Logger (UX100-011) Manual



The HOBO Temp/RH data logger records temperature and relative humidity (within 2.5% accuracy) in indoor environments with its integrated sensors. Using HOBOWare®, you can easily configure the logger alarm to trip for specific high or low sensor readings. Or, you can set up burst logging in which the logger records data at a different interval during certain conditions. The logger can also calculate minimum, maximum, average, and standard deviation statistics. This compact data logger has a built-in LCD screen to monitor the current temperature, relative humidity, logging status, battery use, and memory consumption in between readouts.

HOBO Temp/RH 2.5% Data Logger

UX100-011

Included Items:

- Command™ strip
- Double-sided tape
- Hook & loop strap

Required Items:

- HOBOWare 3.4 or later (download at www.onsetcomp.com/hoboware-free-download)
- USB cable

Specifications

Temperature Sensor

Range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.024°C at 25°C (0.04°F at 77°F), see Plot A
Response Time	4 minutes in air moving 1 m/s (2.2 mph)
Drift	<0.1°C (0.18°F) per year

RH Sensor

Range	1% to 95% (non-condensing)
Accuracy	±2.5% from 10% to 90% typical to a maximum of ±3.5% including hysteresis at 25°C (77°F); below 10% and above 90% ±5% typical
Resolution	0.05%
Response Time	11 seconds to 90% in airflow of 1 m/s (2.2 mph)
Drift	<1% per year typical

Logger

Logger Operating Range	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F); 0 to 95% RH (non-condensing) Launch/Readout: 0° to 50°C (32° to 122°F) per USB specification
Logging Rate	1 second to 18 hours, 12 minutes, 15 seconds
Logging Modes	Fixed interval (normal), burst, or statistics
Memory Modes	Wrap when full or stop when full
Start Modes	Immediate, push button, date & time, or next interval
Stop Modes	When memory full, push button, or date & time
Restart Mode	Push button
Time Accuracy	±1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot B
Power Source	One 3V CR2032 lithium battery and USB cable
Battery Life	1 year, typical with logging rate of 1 minute and sampling interval of 15 seconds or greater
Memory	128 KB (84,650 measurements, maximum)
Download Type	USB 2.0 interface
Full Memory Download Time	20 seconds
LCD	LCD is visible from 0° to 50°C (32° to 122°F); the LCD may react slowly or go blank in temperatures outside this range
Size	3.66 x 8.48 x 2.29 cm (1.44 x 3.34 x 0.9 in.)
Weight	30 g (1.06 oz)
Environmental Rating	IP50



The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

■ TR-74ui

TR-74Ui Specifications

	TR-74Ui		TR-74Ui-S	
	Temperature-Humidity Sensor			
Measurement Channels	Temperature 1ch	Humidity 1ch	Temperature 1ch	Humidity 1ch
Sensor	THA-3151		SHA-3151 High-Precision Type	
	Thermistor	Polymer Resistance	Thermistor	Polymer Resistance
Measurement Units	°C, °F	%RH	°C, °F	%RH
Measurement Range	0 to 55 °C	10 to 95%RH	-25 to 70 °C	0 to 99 %RH (*1)
Accuracy	±0.5 °C	±5%RH at 25°C, 50%RH	±0.3°C at 10 to 40 °C ±0.5°C all other temperatures	±2.5 %RH at 15 to 35 °C, 30 to 80 %RH
Measurement Resolution	0.1 °C	1%RH	0.1 °C	0.1 %RH
Responsiveness	Response Time (90%): Approx. 7 min.		Response Time (90%): Approx. 7 min.	
	Illuminance-UV Sensor			
Measurement Channels	Illuminance: 1ch UV Intensity: 1ch			
Sensor	ISA-3151			
Measurement Units	Illuminance: lx, klx UV Intensity: mW/cm ²			
Measurement Range	Illuminance: 0 lx to 130 klx UV Intensity: 0 to 30 mW/cm ²			
Units of Cumulative Measurement	Cumulative Illuminance: lxh, klxh, Mlxh Cumulative amount of UV Light: mW/cm ² h, W/cm ² h			
Display Range of Cumulative Measurement	Illuminance: 0 lxh to 90 Mlxh UV Intensity: 0 mW to 62 W/cm ² h			
Accuracy	Illuminance 10 lx to 100 klx: ±5 % at 25°C, 50 %RH UV Intensity 0.1 to 30 mW/cm ² : ±5% at 25°C, 50 %RH (*2)			
Relative Spectral Response	Illuminance: Approximated to the CIE standard response function V (λ) UV Intensity: 280 to 400 nm (UVA / UVB)			
Measurement Resolution	Illuminance: Minimum: 0.01 lx UV Intensity: Minimum of 0.001 mW/cm ²			
Responsiveness	Response Time (90%) 3 sec. at recording interval of 1 sec. 6 sec. at other intervals			
Logging Capacity	8,000 data sets (One data set consists of readings for all channels in that type of unit.)			
Recording Interval	Select from 15 choices: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 sec. or 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60 min.			
Recording Mode	Endless (Overwrite oldest data when capacity is full) or One Time (Stop recording when capacity is full)			
LCD Display Items	Measurements, Battery Life Warning, etc. -Measurements: Illuminance / UV Intensity / Temperature / Humidity / Cumulative Illuminance / Cumulative amount of UV Light -Display Pattern: Alternating or Fixed display -Display Digits: Up to 4 digits			
Communication Interfaces	USB Communication Infrared Communication IrPHY 1.2 low power (*3) Serial Communication RS-232C (*4)			
Power	AA Alkaline Battery x 1			
Battery Life (*5)	Approx. 6 months			
Dimensions	H 55 mm x W 78 mm x D 18 mm			
Dimensions	Approx. 40 g			
Operating Environment	Temperature -10 to 60°C Humidity 90%RH or less (no condensation)			
Accessories	Temperature-Humidity Sensor THA-3151 Illuminance-UV Sensor ISA-3151		High Precision Temperature-Humidity Sensor SHA-3151 Illuminance-UV Sensor ISA-3151	
	AA Alkaline Battery LR6, USB Mini-B Cable US-150, Software CD-ROM, User's Manual Set (Warranty Included)			

*1: When continually used in environments with temperatures above 60°C, accuracy of humidity measurements will decrease over time. Also, humidity cannot be measured at temperatures below -20°C.

*2: Compared to the value measured by the T&D standard sensor for calibration under our calibration light source.

*3: If you wish to use infrared communication to download recorded data, it is necessary to purchase the Data Collector TR-57DCI (sold separately).

*4: Customers wishing to write their own software, please contact your local distributor for the serial communications protocol specifications. (Note: Optional serial communication cable TR-070 is also required.)

*5: Battery life varies depending upon multiple factors including ambient temperature, recording interval, frequency of communication, and battery performance. All estimates are based on operations carried out with a new battery and are in no way a guarantee of actual battery life. When infrared communication function is enabled, battery life may be shortened if the unit is used under the inverter type fluorescent lighting.

The specifications listed above are subject to change without notice.



■ MLX90614

MLX90614 family

Datasheet Single and Dual Zone
Infra Red Thermometer in TO-39



Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
-40°C...+125°C for sensor temperature and
-70°C...+380°C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C in a wide temperature range (0°C...+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8V...16V applications
- Sleep mode for reduced power consumption
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Application Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning
- Windshield defogging
- Automotive blind angle detection
- Industrial temperature control of moving parts
- Temperature control in printers and copiers
- Home appliances with temperature control
- Healthcare
- Livestock monitoring
- Movement detection
- Multiple zone temperature control – up to 127 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay / alert
- Body temperature measurement

Ordering Information



Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code	Standard part	Packing form
MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)	-000	-TU
(1) Supply Voltage/ Accuracy A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy		(2) Number of thermopiles: A – single zone B – dual zone C – gradient compensated*		(3) Package options: A – Standard package B – Reserved C – 35° FOV D/E – Reserved F – 10° FOV G – Reserved H – 12° FOV (refractive lens) I – 5° FOV K – 13°FOV	

Example:
MLX90614ESF-BAA-000-TU * : See page 2

■ PMS5003

2016 product data manual of PLANTOWER

Technical Index

Parameter	Index	unit
Range of measurement	0.3~1.0; 1.0~2.5; 2.5~10	Micrometer (μ m)
Counting Efficiency	50%@0.3μ m 98%@>=0.5μ m	
Effective Range (PM2.5 standard)	0~500	μ g/m ³
Maximum Range (PM2.5 standard) *	≥1000	μ g/m ³
Resolution	1	μ g/m ³
Maximum Consistency Error (PM2.5 standard data)*	±10%@100~500μ g/m ³ ±10μ g/m ³ @0~100μ g/m ³	
Standard Volume	0.1	Litre (L)
Single Response Time	<1	Second (s)
Total Response Time	≤10	Second (s)
DC Power Supply	Typ:5.0 Min:4.5 Max: 5.5	Volt (V)
Active Current	≤100	Milliampere (mA)
Standby Current	≤200	Microampere (μ A)
Interface Level	L <0.8 @3.3 H >2.7@3.3	Volt (V)
Working Temperature Range	-10~+60	°C
Working Humidity Range	0~99%	
Storage Temperature Range	-40~+80	°C
MTTF	≥3	Year (Y)
Physical Size	50×38×21	Millimeter (mm)

Note 1: Maximum range means that the highest output value of the PM2.5 standard data is not less than 1000.

Note 2: "PM2.5 standard data" is the "data2" in the appendix.

■ ADXL335

ADXL335

SPECIFICATIONS

T_A = 25°C, V_S = 3 V, C_X = C_Y = C_Z = 0.1 µF, acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT					
Measurement Range	Each axis	±3	±3.6		g
Nonlinearity	% of full scale		±0.3		%
Package Alignment Error			±1		Degrees
Interaxis Alignment Error			±0.1		Degrees
Cross-Axis Sensitivity ¹			±1		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC)²					
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	Each axis V _S = 3 V	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature ³	V _S = 3 V		±0.01		%/°C
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 g Voltage at X _{OUT} , Y _{OUT}	V _S = 3 V	1.35	1.5	1.65	V
0 g Voltage at Z _{OUT}	V _S = 3 V	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			±1		mg/°C
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density X _{OUT} , Y _{OUT}			150		µg/√Hz rms
Noise Density Z _{OUT}			300		µg/√Hz rms
FREQUENCY RESPONSE⁴					
Bandwidth X _{OUT} , Y _{OUT} ⁵	No external filter		1600		Hz
Bandwidth Z _{OUT} ⁵	No external filter		550		Hz
R _{BILT} Tolerance			32 ± 15%		kΩ
Sensor Resonant Frequency			5.5		kHz
SELF-TEST⁶					
Logic Input Low			+0.6		V
Logic Input High			+2.4		V
ST Actuation Current			+60		µA
Output Change at X _{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	-150	-325	-600	mV
Output Change at Y _{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+325	+600	mV
Output Change at Z _{OUT}	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+550	+1000	mV
OUTPUT AMPLIFIER					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High	No load		2.8		V
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		1.8		3.6	V
Supply Current	V _S = 3 V		350		µA
Turn-On Time ⁷	No external filter		1		ms
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		-40		+85	°C

¹ Defined as coupling between any two axes.

² Sensitivity is essentially ratiometric to V_S.

³ Defined as the output change from ambient-to-maximum temperature or ambient-to-minimum temperature.

⁴ Actual frequency response controlled by user-supplied external filter capacitors (C_X, C_Y, C_Z).

⁵ Bandwidth with external capacitors = 1/(2 × π × 32 kΩ × C). For C_X, C_Y = 0.003 µF, bandwidth = 1.6 kHz. For C_Z = 0.01 µF, bandwidth = 500 Hz. For C_X, C_Y, C_Z = 10 µF, bandwidth = 0.5 Hz.

⁶ Self-test response changes cubically with V_S.

⁷ Turn-on time is dependent on C_X, C_Y, C_Z and is approximately 160 × C_X or C_Y or C_Z + 1 ms, where C_X, C_Y, C_Z are in microfarads (µF).

■ HDC1010



HDC1010

SNAS685A—MAY 2016—REVISED AUGUST 2016

HDC1010 Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor

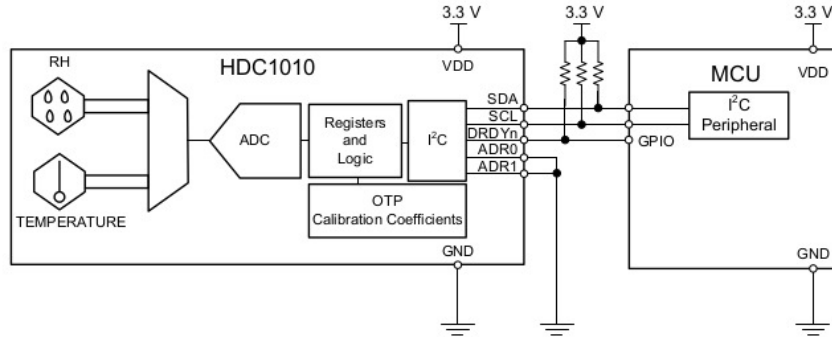
1 Features

- Relative Humidity Accuracy $\pm 2\%$ (typical)
- Temperature Accuracy $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (typical)
- Excellent Stability at High Humidity
- 14 Bit Measurement Resolution
- 100 nA Sleep Mode Current
- Average Supply Current:
 - 710 nA @ 1 sps, 11 bit RH Measurement
 - 1.3 μA @ 1 sps, 11 bit RH and Temperature Measurement
- Supply Voltage 2.7 V to 5.5 V
- Tiny 2 mm x 1.6 mm Device Footprint
- I²C Interface

2 Applications

- HVAC
- IoT Smart Thermostats and Room Monitors
- Refrigerators
- Printers
- White Goods
- Medical Devices
- Wireless Sensor (TIDA: 00374, 00484, 00524)

4 Typical Application



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

3 Description

The HDC1010 is a digital humidity sensor with integrated temperature sensor that provides excellent measurement accuracy at very low power. The HDC1010 operates over a wide supply range, and is a low cost, low power alternative to competitive solutions in a wide range of common applications. The innovative WLCSP (Wafer Level Chip Scale Package) simplifies board design with the use of an ultra-compact package. The sensing element of the HDC1010 is placed on the bottom part of the device, which makes the HDC1010 more robust against dirt, dust, and other environmental contaminants. The humidity and temperature sensors are factory calibrated and the calibration data is stored in the on-chip non-volatile memory.

Device Information (1)

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
HDC1010	DSBGA (8-bump)	2.04 mm x 1.59 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

▲ An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

■ Electroválvula

SOLENOID VALVES 820 SERIES • 2/2

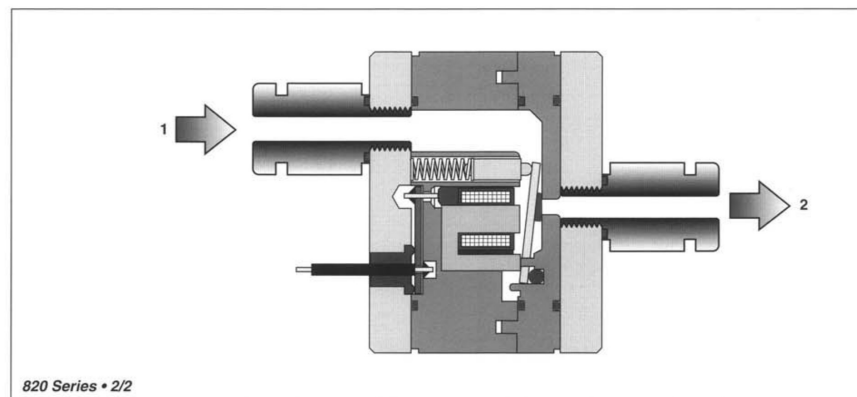
The Pneumatic Solenoid Valves 820 Series are NC 2/2 type.

The research about materials and new technological solutions allowed the realization of a shutter solenoid valve with an extremely simple operation principle and with avant-garde dynamic characteristics. The mass of the moving elements has been reduced to the minimum and every inner friction has been eliminated: in this way, we obtained response times of milliseconds and an operation life over 500 million cycles. Due to the possibility of controls of speed-up type, their dynamic characteristics are even more improved. Standard solenoid valves with 24 VDC control have a response time lower than 5 ms in opening and 2 ms in closing, with a maximum operation frequency of 200 Hz. On the contrary, solenoid valves with speed-up control have a response time lower than 1 ms, both in opening and in closing, with a maximum operation frequency of 500 Hz.

Besides high-speed characteristics, solenoid valves 820 Series offer flow rate values up to 180 l/minute (ANR), with feeding pressure from 0 to 8 bar.

Controlling the valve through either PWM (Pulse Width Modulation) or PFM (Pulse Frequency Modulation) technique, it is possible to vary the passing flow rate and to obtain, in this way, a solenoid valve, having a proportional flow rate.

820 Series is available both in-line assembly and sub-plate version, equipped with such accessories as multi-position manifolds or speed-up driver boards.



Advantages

- Compact dimension.
- High duct diameter and flow rate.
- Short response times.
- Insensitivity to frequency work and to vibrations.
- Low absorbed power.
- Precision, repetitiveness and flexibility.
- Long operating life.

Applications

- Process and precision instrumentation.
- Pressure and flow rate control devices.
- Positioning systems.
- Selection systems.
- Metering systems.
- Biomedical and measure sector.

Materials

- Body in PPS.
- Flanges in Al.
- Seals in NBR.

■ Bombas peristálticas



Specifications & Description

Pump Series	L/S
Control Type	Variable speed
Speed	Variable
Speed Control	±2%
Max Flow Rate (mL/min)	3400
Min Flow Rate (mL/min)	0.36
Reversible Motor	Yes
No. of Pump Heads Accepted	2
Type of Pump Heads Accepted	L/S® Standard, Easy-Load®, Easy-Load® II, Quick-Load, High-Performance, Cartridge, Multichannel, PTFE-Tubing, PTFE-Diaphragm
Motor (watts)	75
Controller IP rating	IP 23
Drive IP rating	IP 21
Power (VAC)	90 to 130
Power (amps)	1.5
Controller Length (in)	4.9375
Controller Width (in)	7.0625
Controller Height (in)	4.0625
Controller Length (mm)	125
Controller Width (mm)	179
Controller Height (mm)	103
Motor Length (in)	7.675
Motor Width (in)	3.8125
Motor Height (in)	4.625
Motor Length (mm)	200
Motor Width (mm)	97
Motor Height (mm)	117
Motor hp	1/10
Description	L/S variable-speed modular drive, 6 to 600 rpm, 115 VAC.



MORE ABOUT THIS ITEM

Drive includes a 6-ft (1.8-m) cable to connect motor to controller. Extend that distance with 25-ft (7.6-m) extension cable 07553-72 sold separately.



Specifications & Description

Pump Series	L/S
Control Type	Variable-Speed Analog
Min RPM	20
Max RPM	600
Number of Channels	1
Max Flow Rate Per Channel (mL/min)	1700
Min Flow Rate Per Channel (mL/min)	56
Drive	07555-00 (L/S Economy Console Drive)
Pump Head	77200-62 (L/S Easy-Load II Pump Head)
Tubing	06434-24, 10-ft (C-FLEX Ultra, L/S 24)
Tubing sizes accepted	L/S 15, 24, 35, 36
Drive IP rating	IP 22
Power (VAC)	115
Power (amps)	1.5
Power (Hz)	50/60
Width (in)	9
Height (in)	5.25
Length (in)	9.28
Width (cm)	22.86
Height (cm)	13.34
Length (cm)	23.57
Housing Material	Painted Steel and ABS Plastic
Remote I/O	Start/Stop



INCLUDES

console drive 07555-00, Easy-Load II pump head 77200-62, 10-ft C-Flex ULTRA tubing, and 6-ft (1.8 m) line cord with IEC 320/CEE22 socket. Shipped with country-specific cord/plug set; please specify ultimate destination when ordering.

KEY FEATURES

- Simple operation with single-turn speed control
- Separate power switch enables you to maintain speed setting when turning drive on/off; front-panel LED indicates power on
- Reversible motor lets you easily prime/purge tubing and pump in either direction
- Remote control of start/stop via DB9 connector on back of drive
- Flow rate 56 to 1700 mL/min with included L/S tubing—flow rate depends on drive rpm, pump head, and tubing size

MORE ABOUT THIS ITEM

Choose a convenient, complete system all with one catalog number.

■ Analizador de humedad

MB90 Moisture Analyzer

Model	MB90
Capacity	90 g
Readability	0.01%/0.001 g
Repeatability (Std Dev) (g)	0.18% (3 g sample) 0.02% (10 g sample)
Moisture Range	0.01% to 100% (0.01% to 1000% for regain mode)
Output	RS232, USB Host, USB Device
Heating Element	Halogen
Temperature Range	40–200 °C
Power	120 VAC 60 Hz
Operating Temperature Range	50–104 °F/10–40 °C
Display Type	4.3 in/109 mm, QVGA, TFT touch screen
Display Results	%moisture, %solids, %regain, time, temperature, weight, method name, drying curve and statistics
Pan Size	3.5 in/90 mm
Dimensions (W × H × D)	8.3 × 7.7 × 14.0 in/211 × 180 × 355 mm
Net Weight	11.5 lb/5.23 kg
Shipping Weight	18.4 lb/8.35 kg

Compliance

- **Product Safety:** IEC/EN 61010-1; IEC/EN 61010-2-010; CAN/CSA C22.2 61010-1; CAN/CSA C22.2 61010-2-010; UL 61010-1
- **Electromagnetic Compatibility:** IEC/EN 61326-1 Class B, Basic environments; FCC Part 15 Class A; ICES-003 Class A

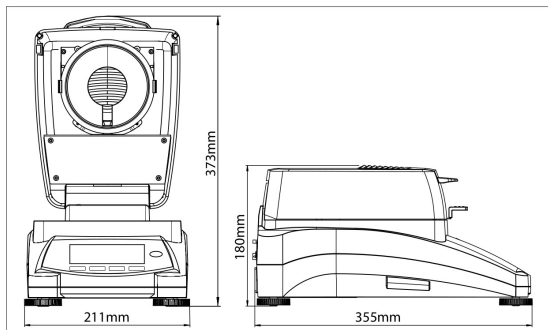
Additional Features

ABS top housing, stainless steel pan support, in-use cover, storage up to 2 methods and 100 test results for each method, user-guide, 14 operational languages

Accessories

Pan Handler	30246947
In-Use-Cover	30284478
Scoop	30284477
Temperature Calibration Kit	11113857
Anti-Theft Device	80850043
Aluminum Pan (set of 80)	80850086
Glass Fiber Pads (set of 200)	80850087
Cage, Sample	80252477
Reusable Pan Set of 3, 7mm High	80252478
Reusable Pan Set of 3, 14mm High	80252479
SF40A Impact Printer	30064203

Outline Dimensions



OHAUS CORPORATION
 *7 Campus Drive
 Suite 310
 Parsippany, NJ 07054 USA
 Tel: 800.672.7722
 973.377.9000
 Fax: 973.944.7177

www.ohaus.com

With offices throughout
 Europe, Asia and
 Latin America

*ISO 9001:2008
 Registered Quality
 Management System



80775052 © Copyright OHAUS Corporation

■ DS3231

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μP reset.

Benefits and Features

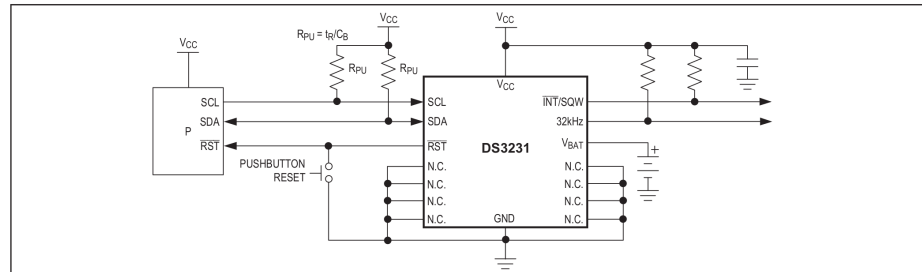
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ±2ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ±3.5ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: ±3°C Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

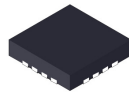
Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.



■ PowerBoost1000 Charger(TPS61090)



Actual Size
(4,15 mm x 4,15 mm)

TPS61090
TPS61091, TPS61092

SLVS484A—JUNE 2003—REVISED APRIL 2004

**SYNCHRONOUS BOOST CONVERTER
WITH 2A SWITCH**

FEATURES

- ∞ Synchronous (96% Efficient) Boost Converter With 500-mA Output Current From 1.8-V Input
- ∞ Available in a 16-Pin QFN 4 x 4 Package
- ∞ Device Quiescent Current: 20- μ A (Typ)
- ∞ Input Voltage Range: 1.8-V to 5.5-V
- ∞ Adjustable Output Voltage Up to 5.5-V Fixed Output Voltage Options
- ∞ Power Save Mode for Improved Efficiency at Low Output Power
- ∞ Low Battery Comparator
- ∞ Low EMI-Converter (Integrated Antiringing Switch)
- ∞ Load Disconnect During Shutdown
- ∞ Over-Temperature Protection

APPLICATIONS

- ∞ All Single Cell Li or Dual Cell Battery, or USB Powered Operated Products as MP-3 Player, PDAs, and Other Portable Equipment

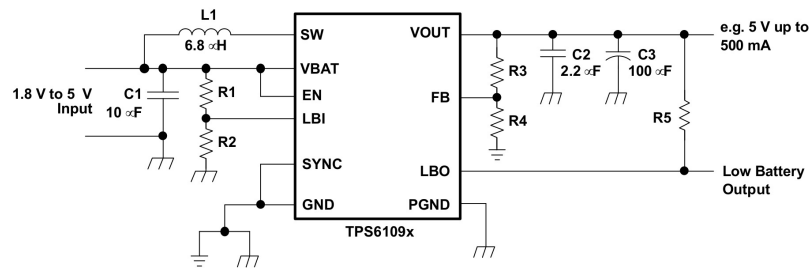
DESCRIPTION

The TPS6109x devices provide a power supply solution for products powered by either a one-cell Li-Ion or Li-polymer, or a two-cell alkaline, NiCd or NiMH battery and required supply currents up to or higher than 1 A. The converter generates a stable output voltage that is either adjusted by an external resistor divider or fixed internally on the chip. It provides high efficient power conversion and is capable of delivering output currents up to 0.5 A at 5 V at a supply voltage down to 1.8 V. The implemented boost converter is based on a fixed frequency, pulse-width- modulation (PWM) controller using a synchronous rectifier to obtain maximum efficiency. Boost switch and rectifier switch are connected internally to provide the lowest leakage inductance and best EMI behavior possible. The maximum peak current in the boost switch is limited to a value of 2500 mA.

The converter can be disabled to minimize battery drain. During shutdown, the load is completely disconnected from the battery. A low-EMI mode is implemented to reduce ringing and, in effect, lower radiated electromagnetic energy when the converter enters the discontinuous conduction mode.

The output voltage can be programmed by an external resistor divider or is fixed internally on the chip.

The device is packaged in a 16-pin QFN 4 x 4 mm (16 RSA) package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003–2004, Texas Instruments Incorporated