



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA - MECATRÓNICA

**SISTEMA DE MONITOREO DE HUMEDAD Y
TEMPERATURA DE CÁPSULAS DE CONSERVACIÓN A
TRAVÉS DE IoT**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

P R E S E N T A

DANIEL JOSUÉ PÉREZ CINENCIO

TUTOR PRINCIPAL

DR. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMÍREZ REIVICH

FACULTAD DE INGENIERÍA

CDMX ABRIL, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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. González Villela Víctor Javier
1er. Vocal Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.
2do. Vocal: Dra. Corona Lira María Del Pilar
3re. Vocal: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CIUDAD DE MÉXICO, CIUDAD UNIVERSITARIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

DR. RAMÍREZ REIVICH ALEJANDRO C

FIRMA

(Segunda hoja)

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi abuelita, que con la sabiduría de Dios me enseñó a ser quien soy hoy, gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor y apoyo incondicional que me diste.

A mis padres Enriqueta y Juan, por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años, por ser la razón y el más grande incentivo para el cumplimiento de mis objetivos que significan alegría y orgullo para mí y también para ellos. A mis hermanos que en el día a día con su presencia, respaldo y cariño me impulsan para seguir adelante. A Esther por compartir conmigo su tiempo, aprendizajes y permitirme crecer juntos.

A mi tutor Alejandro por la oportunidad de desarrollar este trabajo, por la confianza que me brindo y su mentoría en cada paso, por haber sido muy paciente y por su constante apoyo. También al Dr. Vicente por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso final de mi tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, mi alma mater, por enseñarme todo lo que sé y darme la oportunidad de seguir aprendiendo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT por la beca nacional que me otorgó para poder realizar mis estudios de maestría.

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo para un sistema de monitoreo de humedad y temperatura de cápsulas de conservación con ayuda de elementos de la industria 4.0, apoyado principalmente por IoT.

Para realizar esto se observarán las causas del deterioro de los archivos históricos, y se obtendrán los parámetros de conservación recomendados en las normas. Se analizarán los trabajos anteriores realizados en el CDMIT, y obtener las ventajas y desventajas de las soluciones propuestas.

Se realiza una propuesta de modificación de la metodología de Innovación de productos para ser aplicada en este trabajo, obteniendo las necesidades a partir de un estudio de diseño comparativo de 19 patentes. Este estudio se realizó con el fin de sintetizar el conocimiento existente sobre las diferentes cápsulas de preservación de documentos históricos y de esta manera encontrar áreas de oportunidad para el rediseño de una cápsula de conservación.

Se analizará elementos análogos de la industria 4.0 aplicables al proyecto y se implementarán a través de una propuesta de solución. Para la caracterización de microclimas con distintas condiciones iniciales y diferentes periodos de tiempo, para ver su estabilización sin ningún elemento estabilizador forzado.

Contenido

Resumen.....	4
Índice de Figuras	8
Índice de Tablas.....	11
Índice de Anexos.....	12
Capítulo 1. Introducción.....	13
Capítulo 2. Antecedentes	14
2.1 - Documentos Históricos.....	14
2.2 - Conservación de documentos históricos.....	15
2.2.1 - Causas y efectos del deterioro de documentos	16
2.3 - Trabajos anteriores.....	21
2.3.1 - Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para exponer documentos históricos	21
2.3.2 - Sistema de monitoreo para la preservación y trasportación de obras históricas	23
Capítulo 3. Planteamiento del problema	25
3.1 - Alcance del prototipo	25
3.2 - Objetivos.....	25
3.3 Alcances	25
Capítulo 4. Metodología.....	26
4.1 - Innovación de productos.....	26
4.2 - Tipos de productos	27
4.3 - Etapas del proceso de innovación de productos	28
4.3.1 - Identificación de necesidades.....	28
4.3.2 - Especificación del producto	28
4.3.3 - Diseño conceptual.....	29
4.3.4 - Ingeniería de detalle.....	30
4.3.5 - Prototipos y escalamiento	31
4.3.6 - Producción.....	31
4.3.7 - Comercialización.....	32
4.4 - Determinación del proceso de diseño	33
4.4.1 - Identificación de necesidades:.....	33

4.4.2 - Uso	33
Capítulo 5. Identificación de necesidades	34
5.1 - Metodología del Estudio de Diseño Comparativo	34
5.1.2 - Criterios	34
5.1.3 - Aspectos y elementos de cápsulas o sistemas de preservación	35
5.2 - Estudio de diseño comparativo	36
5.3 - Necesidades	52
Capítulo 6. Diseño conceptual y diseño de detalle.....	53
6.1 - Elementos de la Industria 4.0.....	53
6.1.1 - Aplicación de metodologías de la industria 4.0 a objetos análogos, Mapeo de almacenes	53
6.2 - Propuesta de concepto	63
6.3 - Lista de especificaciones.....	63
6.4 - Plataforma de Monitoreo Propuesta.....	64
6.4.1 - Implementación de la plataforma ThingsBoard	66
6.2.2 - Implementación de la plataforma ThingsBoard en las cápsulas prototipo del CDMIT.....	67
6.5 - Elementos del sistema.....	74
Capítulo 7. Prototipo	77
7.1 – Caracterización de Cápsula de Conservación	77
Prueba 1	77
Prueba 1.1	77
Prueba 1.2	78
Resultados prueba 1	78
Conclusiones prueba 1.....	81
Prueba 2	82
Prueba 2.1	82
Prueba 2.2	83
Resultados prueba 2	83
Conclusiones prueba 2.....	86
Prueba 3	87
Prueba 3.1	87

Prueba 3.2	87
Resultados prueba 3	89
Conclusiones prueba 3	91
Prueba 4	92
Prueba 4.1	92
Resultados prueba 4	93
Conclusiones prueba 4	96
Prueba 5	97
Prueba 5.1	97
Prueba 5.2	97
Resultados prueba 5	98
Conclusiones prueba 5	100
Prueba 6	101
Prueba 6.1	101
Prueba 6.2	102
Resultados prueba 6	103
Conclusiones prueba 6	106
Comparación 6.1 vs 5.1	107
Conclusiones comparación 6.1	109
Capítulo 8. Análisis de Resultados	110
Capítulo 9. Conclusiones	112
Referencias	114
Anexos	116

Índice de Figuras

FIGURA 1 - MODELO 3D DE LA CÁPSULA DE CONSERVACIÓN	21
FIGURA 2 - VISTA TRANSVERSAL DE LA CÁPSULA, SE OBSERVA EL LUGAR DONDE SE GUARDA EL DOCUMENTO	21
FIGURA 3 - APLICACIÓN DE LOS EMPAQUES A LA CÁPSULA.....	22
FIGURA 4 - CÁPSULA EN SOPORTE PARA EXHIBICIÓN	23
FIGURA 5 - CONCEPTO DEL SISTEMA DE HUMIFICACIÓN PROPUESTO.....	24
FIGURA 6 - PROTOTIPO DE SISTEMA DE HUMIFICACIÓN	24
FIGURA 7 - CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO	26
FIGURA 8 - CICLO DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN.....	28
FIGURA 9 - REALIMENTACIÓN EN EL CICLO.....	28
FIGURA 10 - ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL Y REALIMENTACIONES	29
FIGURA 11 - POSICIÓN DE INGENIERÍA DE DETALLE EN EL CICLO DE DISEÑO.....	30
FIGURA 12 - POSICIÓN DE PROTOTIPOS Y ESCALAMIENTO EN EL CICLO DE DISEÑO	31
FIGURA 13 - POSICIÓN DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN EN EL CICLO DE DISEÑO.....	31
FIGURA 14 - MODIFICACIÓN AL CICLO DE DISEÑO PROPUESTO	33
FIGURA 15 CONO DE JANUS.....	38
FIGURA 16 ESTRUCTURA FUNCIONAL DE UNA CÁPSULA DE PRESERVACIÓN	39
FIGURA 17 CANTIDAD DE PATENTES POR AÑO	41
FIGURA 18 CANTIDAD DE PATENTES EXISTENTES EN RELACIÓN A SU VOLUMEN DE EXHIBICIÓN	43
FIGURA 19 RELACIÓN DE VOLUMEN DE EXHIBICIÓN POR AÑO	44
FIGURA 20 PONDERACIÓN DE LA PRESERVACIÓN	45
FIGURA 21 PONDERACIÓN DE COMPLEJIDAD.....	46
FIGURA 22 - NÚMERO DE CÁPSULAS CON ELEMENTOS DE PRESERVACIÓN QUE POSEE	46
FIGURA 23 TENDENCIA EN LAS CÁPSULAS DE PRESERVACIÓN.....	50
FIGURA 24 NIVEL DE PRESERVACIÓN VS VOLUMEN DE EXHIBICIÓN VS NIVEL DE COMPLEJIDAD.....	51
FIGURA 25 - PASOS A SEGUIR PARA MAPEO DE ALMACENES	53
FIGURA 26 - DISTRIBUCIÓN EQUILIBRADA DE 15 SENSORES ES UN PATRÓN TÍPICO PARA REALIZAR UN MAPEO TRIDIMENSIONAL DE UN ESPACIO PEQUEÑO	55
FIGURA 27 - SENSORES COLOCADOS EN EL CENTRO DE LOS SOPORTES, REFLEJAN CON MAYOR PRECISIÓN LAS TEMPERATURAS DE LOS PRODUCTOS. EN ESTE EJEMPLO, NUEVE SENSORES ESTÁN UBICADOS EN CADA SOPORTE DOBLE DE ESTE ALMACÉN, MIDIENDO 30 METROS POR 30 METROS POR 15 METROS.....	56
FIGURA 28 - DISTRIBUCIÓN DE SENSORES Y CRITICIDAD DE LOS MISMOS.....	57
FIGURA 29 - EL INFORME DE MAPEO PUEDE MOSTRAR LÍMITES ALTOS Y BAJOS PARA VISUALIZAR RÁPIDAMENTE LOS UMBRALES	61
FIGURA 30 - EJEMPLO DE WIDGETS DE BARRAS.....	64
FIGURA 31 - COMPARACIÓN DE MEDICIONES EN TIEMPO REAL.....	65
FIGURA 32 - EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN DE REGLAS.....	65
FIGURA 33 - CÁPSULA DE PRUEBA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES.....	67
FIGURA 34 - SEGUNDA ITERACIÓN DE CABLEADO DE LOS SENSORES	68
FIGURA 35 - MICROCONTROLADOR IMPLEMENTADO	68
FIGURA 36 - IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRUEBAS DE MONITOREO.....	69
FIGURA 37 - MUESTRA DE HUMEDAD EN LA PLATAFORMA DE MONITOREO.....	69
FIGURA 38 - DATOS DE TEMPERATURA EN LA PLATAFORMA DE MONITOREO.....	70
FIGURA 39 - DIAGRAMA DE RADAR IMPLEMENTADO EN LA PLATAFORMA	70
FIGURA 40 - RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE HUMEDAD	71

FIGURA 41 - RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE TEMPERATURA	71
FIGURA 42 - SEGUNDA CARACTERIZACIÓN DE TEMPERATURA EN LA CÁPSULA	72
FIGURA 43 - SEGUNDA CARACTERIZACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS CÁPSULAS	72
FIGURA 44 - PANTALLA DE CONFIGURACIÓN DE HISTÓRICOS	73
FIGURA 45 - CONFIGURACIÓN DE ALARMAS	73
FIGURA 46 - PRUEBA 1.2 CÁPSULA CON RACORES DE VENTILACIÓN FORZADA ABIERTOS Y UN PUNTO DE SENSADO	77
FIGURA 47 - PRUEBA 1.2 -CÁPSULA SELLADA CON DOS PUNTOS DE SENSADO.....	77
FIGURA 48 - AMBIENTE COMPLETO DE CÁPSULAS 1.1 Y 1.2	78
FIGURA 49 - CARACTERIZACIÓN DE LA HABITACIÓN	78
FIGURA 50 - GRÁFICA DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE LA HABITACIÓN DE LA PRUEBA 1	79
FIGURA 51 - RESULTADOS DE CÁPSULA 1.1 DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	79
FIGURA 52 - RESULTADOS DE CÁPSULA 1.2 DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	80
FIGURA 53 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CÁPSULA 1.1 Y 1.2	80
FIGURA 54 - COMPARACIÓN DE CÁPSULA 1.1 VS 1.2 VS HABITACIÓN	81
FIGURA 55 - IMPLEMENTACIÓN EN CÁPSULA.....	82
FIGURA 56 - MUESTRA DEL SECADO DE LA MUESTRA	82
FIGURA 57 - CÁPSULA CON PAPEL HÚMEDO EN SU INTERIOR.....	83
FIGURA 58 - RESULTADOS CÁPSULA 2.2.....	83
FIGURA 59 - RESULTADOS CÁPSULA 2.1	84
FIGURA 60 - RESULTADOS HABITACIÓN PRUEBA 2	84
FIGURA 61 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CÁPSULA 2.1 VS 2.2	85
FIGURA 62 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRUEBA 2 CON ESCALA AJUSTADA.....	85
FIGURA 63 - RESULTADOS PRUEBA 2 CON ESCALA COMPLETA	86
FIGURA 64 - CÁPSULA CON PRUEBA 3.1.....	87
FIGURA 65 - CÁPSULA DE PRUEBA 3.2.....	88
FIGURA 66 - CÁPSULAS DE PRUEBA 3	88
FIGURA 67 - RESULTADOS PRUEBA 3.1	89
FIGURA 68 - RESULTADOS PRUEBA 3.2	89
FIGURA 69 - RESULTADOS HABITACIÓN PRUEBA 3	90
FIGURA 70 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS 3.1 VS 3.2	90
FIGURA 71 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRUEBA 3	91
FIGURA 72 - CÁPSULA PARA PRUEBA 4.1.....	92
FIGURA 73 - CÁPSULA PARA PRUEBA 4.2.....	92
FIGURA 74 - CONFIGURACIÓN FINAL DE PRUEBA 4.....	93
FIGURA 75 - RESULTADOS PRUEBA 4.1	93
FIGURA 76 - RESULTADOS PRUEBA 4.2	94
FIGURA 77 - RESULTADOS HABITACIÓN PRUEBA 4	94
FIGURA 78 - COMPARACIÓN DE DATOS DE PRUEBA 4.1 VS 4.2 ESCALA AJUSTADA	95
FIGURA 79 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRUEBA 4	95
FIGURA 80 - CÁPSULA PARA PRUEBA 5.1.....	97
FIGURA 81 - CÁPSULA PARA PRUEBA 5.2.....	97
FIGURA 82 - RESULTADOS PRUEBA 5.1	98
FIGURA 83 - RESULTADOS PRUEBA 5.2	98
FIGURA 84 - RESULTADOS HABITACIÓN PRUEBA 5	99
FIGURA 85 - COMPARACIÓN PRUEBAS 5.1 VS 5.2.....	99

FIGURA 86 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRUEBA 5	100
FIGURA 87 - CÁPSULA PARA PRUEBA 6.1	101
FIGURA 88 - CÁPSULA PARA PRUEBA 6.2	102
FIGURA 89 - AISLAMIENTO TÉRMICO PARA PRUEBA 6.2	102
FIGURA 90 - CONFIGURACIÓN FINAL DE PRUEBA 6.....	103
FIGURA 91 - RESULTADOS CÁPSULA 6.1.....	103
FIGURA 92 - RESULTADOS CÁPSULA 6.2.....	104
FIGURA 93 - RESULTADOS HABITACIÓN PRUEBA 6	104
FIGURA 94 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS 6.1 VS 6.2	105
FIGURA 95 - COMPARACIÓN DE RESULTADOS PRUEBA 6	106
FIGURA 96 - RESULTADOS CÁPSULA 6.1.....	107
FIGURA 97 - RESULTADOS CÁPSULA 5.1.....	108
FIGURA 98 - COMPARACIÓN DE CÁPSULAS 5.1 VS 6.1 CON ESCALAS ORIGINALES.....	108
FIGURA 99 - COMPARACIÓN DE CÁPSULAS 5.1 VS 6.1 CON ESCALA AJUSTADA	109

Índice de Tablas

TABLA 1 - TIPOS DE PRODUCTOS EN LA INNOVACIÓN DE PRODUCTOS [7]	27
TABLA 2 FUNCIONES Y SUBFUNCIONES PRINCIPALES DE UNA CÁPSULA DE PRESERVACIÓN.....	39
TABLA 3 TABLA DE FUNCIONES DE LA PRESERVACIÓN QUE POSEE CADA PATENTE ANALIZADA (0= NO, 1= Sí)	42
TABLA 4 PONDERACIÓN DE FUNCIONES PARA LA PRESERVACIÓN	47
TABLA 5 APLICACIÓN DE PONDERACIÓN EN CÁPSULAS	48
TABLA 6 TABLA DE COMPARACIÓN PARA EL NIVEL DE PRESERVACIÓN Y COMPLEJIDAD.....	49
TABLA 7 - ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	63

Índice de Anexos

Anexo A Artículo SOMIM XXVII.....	116
-----------------------------------	-----

Capítulo 1. Introducción

El estudio comparativo reportado en este trabajo es realizado con el fin de sintetizar el conocimiento existente sobre las diferentes cápsulas para la preservación de documentos históricos. En el diseño de cada una de ellas se identifican áreas de oportunidad para que, con base en sus mejores características, se mejore un sistema de cápsula o se rediseñe. La preservación de documentos históricos implica una metodología que se ha desarrollado a lo largo de varios años y se ha mejorado con el uso de la tecnología para controlar y cuantificar los factores que pueden dañar estos documentos. El daño a los documentos se puede realizar por los siguientes factores:

- Factores biológicos.
- Factores fisicoquímicos.
- Factores humanos.
- Factores internos.

Para realizar la preservación de un documento se emplean mecanismos, dispositivos y tecnologías que ayudan a disminuir el daño que los factores antes mencionados causan.

En este trabajo primero se abordarán los antecedentes de las cápsulas de conservación, su propósito y los elementos que pueden resguardar, así como el por qué, posteriormente se analizarán los aspectos y elementos de cápsulas o sistemas de preservación con bases en las patentes que se analizaron y marcando los principales aspectos de las cápsulas. Se realizará un estudio comparativo con la metodología propuesta por Ramírez [1], y finalmente se mostrarán los resultados del estudio de diseño comparativo.

Posteriormente se realizará el planteamiento del problema tomando como base los trabajos anteriores de cápsulas de conservación en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, CDMIT, para establecer los objetivos y el alcance de este trabajo.

Se revisarán los elementos análogos de las cápsulas de conservación que se puedan implementar usando características de la industria 4.0 y formas de analizar la información obtenida de la misma. De la misma manera se implementará una plataforma de monitoreo remoto, implementando elementos del IoT para lograr una autonomía en el monitoreo remoto de la cápsula de conservación. Y por último se propondrá una forma de caracterización de las cápsulas de conservación sin elementos externos de control, y la aplicación del mapeo de temperaturas y humedad, utilizado en la industria 4.0.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 - Documentos Históricos

Los archivos históricos son prueba o testimonio de hechos, garantía de transparencia y al cabo del tiempo se convierten en depósito de la memoria e identidad de sus generadores. En ellos, los profesionales interesados en la evolución histórica de un tema particular, pueden encontrar importantes fuentes primarias de información. Estos profesionales pueden ser de instituciones educativas, sector público, organizaciones de la sociedad civil, coleccionistas privados o empresas. Escribir la historia de un hecho, un personaje o un tema sólo se logra confrontando todas las metodologías y fuentes de información procedentes tanto de archivos públicos como privados, en donde los individuos hayan dejado inscrita su memoria. En ese contexto, los archivos generados por todas las personas e instituciones involucradas, pueden testimoniar diversos aspectos. La preservación y organización de estas fuentes de información histórica son una responsabilidad de las instituciones y organizaciones que las generan o las tienen en custodia, pero también son una responsabilidad que han asumido las instituciones gubernamentales tanto en el marco de ley como en la práctica. Este tipo de documentos también se encuentran en los archivos históricos de las Instituciones de Educación Superior donde es frecuente la incorporación de fondos documentales de personas o instituciones cuya trayectoria y desarrollo histórico son afines a los fondos resguardados por dichos archivos. [1]

Muchos escritos son fundamentales porque constituyen todos los registros existentes. Se debe procurar su permanencia en el tiempo, no sólo buscando preservar la información que contienen, sino también hay que darle importancia a las técnicas con las que fueron plasmados y los materiales que fueron utilizados, ya que su existencia en muchos casos reviste connotaciones de carácter nacional, político, legal, económico, etnológico, científico, tecnológico e incluso emocional.

El papel presenta una longevidad bastante engañosa, pues a pesar de que escritos antiquísimos han prevalecido hasta nuestros días, un gran número de material documental ha desaparecido para siempre.

Todos los materiales sufren un proceso de descomposición que implica deterioro; aún si los efectos resultan ser poco visibles y toman mucho tiempo [3]. Por lo anterior, todos los factores para la preservación de documentos se revisan minuciosamente ya que afectan el documento de distinta forma y sus consecuencias son variadas.

Por tales motivos, es necesario llevar a cabo un proceso de preservación de los documentos u objetos históricos ya que son una parte importante de la historia y del legado del pasado.

Los sistemas de preservación de documentos históricos están conformados principalmente por elementos mecánicos, como se explicará en los puntos siguientes.

2.2 - Conservación de documentos históricos

Por su naturaleza y al estar frecuentemente expuestos a factores y mecanismos de alteración, los documentos sufren constantes cambios en su composición física, afectando su funcionalidad y poniendo en peligro la información contenida en los mismos.

El manual de primeros auxilios en archivos históricos de la AHUNAM-ISSUE [2] definen los conceptos básicos de la siguiente manera:

Preservación: Las acciones político-administrativas que tienen como fin proteger de manera anticipada nuestro patrimonio a nivel de archivo.

Conservación: Es el conjunto de operaciones que tienen por objeto prolongar la vida de un ente material, a la previsión del daño o la corrección del deterioro, comprendiendo los planes y prácticas relativas a la protección del acervo documental.

Algunas causas y efectos del deterioro de documentos son las condiciones ambientales y las formas de almacenar pues impactan directamente en la conservación de los archivos. Por estas razones, las primeras medidas preventivas que se deben tomar para la conservación y preservación de los archivos tienen que ver con el adecuado control del medio ambiente, las buenas condiciones de almacenamiento, su adecuado uso y manipulación. [3]

El manual, indica que las condiciones óptimas para la preservación de documentos históricos de acuerdo a la norma ANSI/NISO Z39.79-2001; [4]

Humedad Relativa (HR) entre 35 y 50 [%]

Temperatura entre 18 y 20 [°C]

Materiales muy sensibles no más 50 [lux]

Materiales moderadamente sensibles no más de 100 [lux]

Esto aun depende del tipo de papel o elemento a conservar, pero este es el rango recomendado para la conservación, ya que una baja humedad (menor al 35% ocasionaría papel rígido y pérdida de resistencia mecánica y una humedad extrema (mayor o 70%) ocasionaría proliferación de microorganismos, hidratación excesiva, solubilidad de medios, pérdida de plano, disgregación, aumento de peso entre otras afectaciones.

La intensidad lumínica y la calidad lumínica pueden dañar de forma distinta los documentos ya que toda luz visible es nociva y su efecto es acumulativo e irreversible, sus efectos pueden reducir controlando tanto la intensidad como el tiempo de exposición.

A continuación, se enlistarán los causas y efectos más perjudiciales en la conservación de los documentos históricos.

2.2.1 - Causas y efectos del deterioro de documentos

Las condiciones ambientales y las formas de almacenar impactan directamente en la conservación de los archivos. En virtud de ello, las primeras medidas preventivas que se deben tomar para la conservación y preservación de los archivos tienen que ver con el adecuado control del medio ambiente, las buenas condiciones de almacenamiento su adecuado uso y manipulación.

Causa físico-materiales de alteración

Se encuentran determinadas por las condiciones de almacenamiento, protección y manipulación de los documentos. Una mala prevención atrae consigo golpes, roces, ataduras de los expedientes, clips, arillos metálicos y otros adornos de los expedientes, etc. El resultado puede ser la rotura de las hojas, la aparición de manchas de grasa producidas por los propios dedos en un uso continuo, sudor, saliva y demás fluidos, el desprendido de los bordes de la hoja cortados por la contundencia de un atado o por la menor dimensión de su portada, la rotura de una encuadernación por el continuo abrir y cerrar del expediente en su consulta o fotocopiado, etc. Todas ellas son causas ocasionales de la alteración de los documentos.

Causas físico-ambientales

Son las relacionadas con el clima del lugar en donde se resguardan los documentos. Tres son los factores ambientales básicos que afectan a la conservación de los acervos documentales: humedad, temperatura y luz.

Humedad y temperatura

En términos generales la humedad es la cantidad de agua que posee la atmósfera. Se debe referir a este factor en términos de relatividad, esto es, de humedad relativa; relación entre el agua que hay en determinada unidad de volumen (humedad absoluta) y la que dicha unidad debería albergar para estar saturada. La humedad relativa se expresa, por ello, en %. La humedad es un factor vinculado directamente con la temperatura. Cuando más alta es ésta, mayor es la cantidad de agua que un determinado volumen de aire necesita para su saturación y, por lo tanto, más reducida su humedad relativa.

Por lo contrario, las bajas temperaturas reducen el punto de saturación y aumentan, por consiguiente, la humedad relativa de la unidad atmosférica. Un descenso brusco de temperatura en una atmósfera podrá acarrear una eliminación de agua de aquella atmósfera

que ha rebasado su punto de saturación. Se producirá, entonces, una condensación de humedad y aparecerán gotas de agua.

La temperatura, factor íntimamente asociado a la humedad descrita en el punto anterior, se refiere al índice de calor que impera en el medio. Los documentos en soporte papel precisan de una determinada cantidad de humedad para que las fibras de celulosa se mantengan flexibles. El exceso provoca su descomposición y favorece la aparición de microorganismos (hongos y bacterias), insectos y roedores. Por el contrario, una atmósfera seca suprime humedad al papel, tornándolo frágil y susceptible a la desmoronación.

El exceso de humedad en los documentos puede acarrear problemas graves en su conservación, pues produce su descomposición por hidrólisis, favorece la formación de ácidos (sulfúrico, clorhídrico) derivados de sales y otros productos utilizados en la fabricación del papel o en la composición de las tintas, reblandece los hilos y el pegamento de los expedientes. Así mismo, un ambiente con alta humedad relativa y temperatura elevada favorecerá la aparición y desarrollo de microorganismos (hongos, bacterias) e insectos, causantes, a su vez, de la destrucción del papel.

Por otro lado, una atmósfera muy seca despojará de humedad al papel, disminuyendo así los puentes interfibrilares de la celulosa y, por consiguiente, haciéndole más frágil y friable. Sequedad y alta temperatura son factores acelerantes del envejecimiento natural del papel y causa de resquebrajamiento de los adhesivos que pierden su cualidad.

Las oscilaciones bruscas y continuadas de ambos factores, humedad y temperatura, prácticamente indisociables, someten al papel a fuertes tensiones de contracción dilatación que quebrantan sus enlaces estructurales.

Luz

La luz se define como una onda electromagnética compuesta por fotones (partículas energizadas), cuya frecuencia y energía determinan la longitud de onda de un color que puede ser percibido por el ojo humano. La luz no representa un inconveniente directo para la buena conservación de los documentos de soporte en papel siempre y cuando su intensidad sea controlada. La luz tiene además una importante acción germicida sobre determinados microorganismos y es, nociva para algunos insectos. Sin embargo, el exceso de ella, provoca reacciones químicas que alteran la composición del documento gráfico. Uno de los ejemplos más comunes, es el proceso de decoloración de las tintas la luz tiene un efecto directo sobre la celulosa, debilitándola. Además, en combinación con el papel que tiene elementos como la lignina, acelera su proceso de amarillamiento hasta oscurecerlo.

La luz más perjudicial es la que emana rayos ultravioletas ya que su onda es la más corta.

Los focos de luz incandescente emiten rayos infrarrojos (no tan dañinos como los ultravioleta), sin embargo, generan más calor. Las lámparas fluorescentes irradian más luz ultravioleta, aunque generan menos calor.

La luminosidad pues, a diferencia de la humedad y temperatura, no incide de modo directo sobre los archivos documentales, sin embargo, los mismos deben estar protegidos en cajas, para evitar cualquier deterioro por la luz mal controlada.

Causas químico-ambientales.

Estas son las relacionadas con elementos químicos (oxígeno, nitrógeno, ozono, carbono, etc.) que permiten la combustión, fermentación, hidrólisis y oxidación de los documentos. A esto se añade la polución y contaminación ambiental propios de zonas industriales. De todos estos componentes, el más dañino es el ácido sulfúrico, que, siendo transportado por el aire, ingresa a la superficie para alojarse en donde haya fisuras, tanto en paredes como en las unidades de conservación, cajas, atacando los documentos. También se encuentran los aerosoles, polvo, materiales metálicos como grapas, clips, alfileres, adhesivos, sudor, saliva, grasa, etc.

Causas biológicas

Se refiere a la presencia de agentes biológicos que producen alteraciones en los documentos, comenzando por el hombre mismo, los roedores, insectos, hongos y bacterias, son los que más destacan.

Roedores.

Ejercen una acción mecánica destructiva sobre el papel que roen. Frecuentemente se encuentran en los viejos edificios. Pueden, combatirse eficazmente por medio de los múltiples productos raticidas existentes.

Insectos biológicos.

Dentro de este rubro se encuentran más de cien variedades. Su presencia en los archivos origina una infestación de los mismos. La presencia y desarrollo de todos ellos se ve beneficiada por ambientes cálidos y húmedos; oscuridad y mala ventilación; rincones y zonas ocultas; ausencia de factores distorsivos; materiales y enseres contaminados; ausencia de revisiones periódicas e inexistencia de tratamientos preventivos.

Bibliófagos

Se alimentan fundamentalmente del papel (celulosa, pegamento), se les conoce, por ello, como insectos celulósicos. Dentro de toda la gama de estos insectos se encuentran:

Las cucarachas, ortópteros nocturnos, de la familia de los blátidos, que se alimentan tanto de sustancias vegetales como animales (papel, cuero, pergamino). Producen excrementos negruzcos que manchan los documentos.

Gusanos del libro, es un nombre muy genérico para designar las larvas de muchas especies bibliófagas de comportamiento muy similar. El insecto deposita sus huevos relativamente superficiales y es la larva la que ejerce la acción perforadora segregando una sustancia gomosa que pega las hojas entre sí.

El piojo del libro del orden corodentia, familia lipocélida, de tamaño minúsculo. Pone los huevos en los lomos de los expedientes. Es prácticamente omnívoro. Se alimenta de pegamento e, incluso, de hongos existentes en el papel.

Xilógafos

Se alimentan mayormente de madera, aunque pueden llegar, de hecho, a anidar y atacar el propio papel. En este grupo predominan las termitas, insectos capaces de destruir la madera de un edificio (vigas, estanterías, puertas) y los propios libros y documentos que pueda albergar.

Microorganismos.

Formados por dos grandes grupos: los hongos y bacterias. Su presencia trae consigo la infección de los documentos. La acción de los microorganismos provoca reblandecimiento del papel en las zonas afectadas, adquiriendo un aspecto algodonoso, al extremo de llegar a desintegrarse. La señal de advertencia es la presencia de pigmentaciones que van desde el negro intenso hasta el blanco, pasando por variaciones de tono rojizo, violeta y marrón. Esto depende del tipo de microorganismo que esté afectando el papel, algunos incluso atacan las tintas produciendo su decoloración. El grado de pigmentación no es indicio de una mayor infección. Hay microorganismos que no pigmentan, motivo por el cual su acción puede permanecer oculta durante mucho tiempo hasta que los efectos sobre el papel sean prácticamente irremediables.

Causas extraordinarias.

También existen agentes extraordinarios de destrucción de documentos producidos por circunstancias catastróficas, en muchos casos de todo el acervo documental de una institución. Inundaciones e incendios figuran entre las más dramáticas.

La mejor manera de disminuir los efectos dañinos causados por las inundaciones e incendios, es la prevención y preparación de los documentos. La preparación para emergencias constituye un componente importante de un plan de conservación general. Un plan de emergencia debe considerar todos los peligros, incluyendo el agua y el fuego, que implican un riesgo para los acervos documentales. Un plan sistemáticamente organizado y formalmente escrito permitirá una respuesta rápida y eficiente ante una emergencia, minimizando así el peligro tanto para el personal como para el de los archivos e incluso para la edificación.

Incendios.

El fuego es uno de los grandes enemigos de los archivos. Los daños causados por un incendio van desde la total destrucción hasta su inutilización más o menos parcial. A ellos se unen los que produce el elemento extintor que, en incendios de gran magnitud, no puede ser otro que el agua cuyos efectos son altamente nocivos para los documentos, incluso catastrófico, a tal grado de perder toda la información.

Inundaciones

Los efectos de este fenómeno son fundamentalmente corrimiento de tintas, apelmazamiento de hojas, rotura de las mismas así como de las caratulas, manchas de barro y de cualquier producto que el agua lleve consigo y, con posterioridad, si la operación de restauración no se realiza correctamente o el número de documentos desborda las posibilidades de tratamiento inmediato, la aparición de hongos favorecidos en su desarrollo por el ambiente húmedo y la elevación de la temperatura, medio con el que, con frecuencia, se pretende acelerar el proceso de secado. Este riesgo biológico se evitará recurriendo a la congelación del material húmedo y posterior eliminación del hielo (liofilización).

Factor Humano.

El hombre es, en cierto modo, la causa directa o mediata de todos los procesos degradantes de los documentos aun cuando también contribuya, a su conservación y sea la última razón de la misma. La manipulación de los expedientes, incluso la más cuidadosa, lleva consigo, el deterioro de los archivos.

2.3 - Trabajos anteriores

2.3.1 - Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para exponer documentos históricos

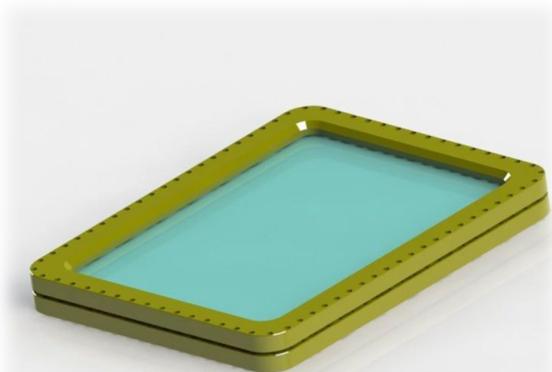


Figura 1 - Modelo 3D de la cápsula de conservación

En el trabajo realizado por Peña Belmont en su tesis “Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para exponer documentos históricos” [5] se obtuvieron los resultados siguientes enfocados principalmente al sistema de hermeticidad:

La cápsula generada para la conservación se muestra en la figura 1, en esta cápsula destaca su sistema de cerrado, teniendo un su perímetro elementos de fijación como empaques y tornillos para apretar los dos lados de la cápsula y asegurar la hermeticidad.

La cápsula generada para la conservación se muestra en la figura 1, en esta cápsula destaca su sistema de cerrado, teniendo un

En la figura 2, se observa el espacio destinado para guardar el documento histórico y la forma en que se ajustan los elementos de la cápsula, el vidrio, los empaques, y los elementos de fijación. Se observa que se implementa un doble sello por dos empaques para tratar de asegurar la hermeticidad y de esta forma la atmosfera de conservación. Se observa en la figura 3 de forma más detallada dicha configuración y el espesor de debería existir en la cápsula para que el sellado sea uniforme evitando una deformación excesiva del empaque de gaucho.



Figura 2 - Vista transversal de la cápsula, se observa el lugar donde se guarda el documento

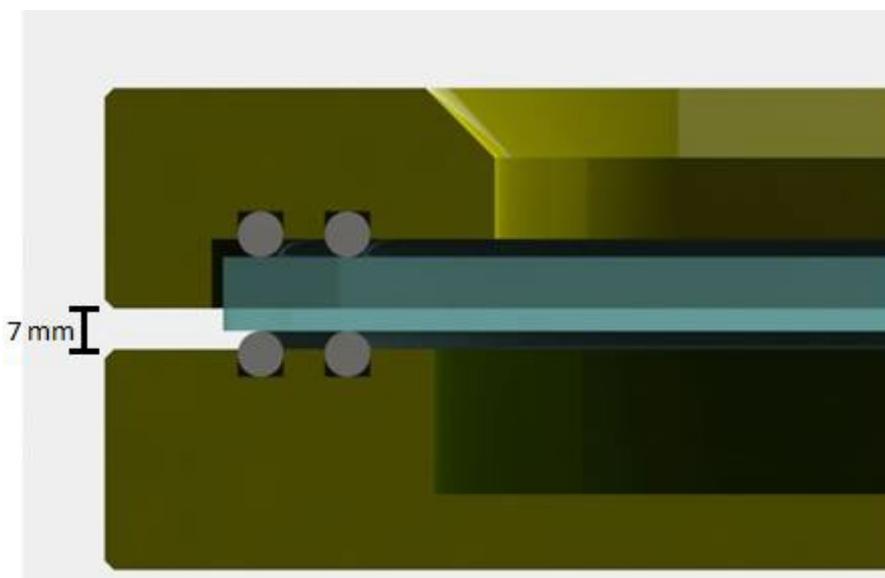


Figura 3 - Aplicación de los empaques a la cápsula

Los resultados de esta cápsula se comprobaron con la hermeticidad de doble sello, y una atmósfera de gas inerte en la cual durante el año en el que se mantuvo la exhibición los parámetros se mantuvieron estables dentro de los rangos de conservación. Aunque estos se mantenían en constante vigilancia, para asegurar que el sistema fuera fiable. Cuando se reubicó la cápsula se efectuó un análisis nuevamente para evaluar la zona de exhibición, encontraron que existía una elevada exposición de luz solar dentro de la nueva galería, afectando el documento en su interior.

2.3.2 - Sistema de monitoreo para la preservación y trasportación de obras históricas

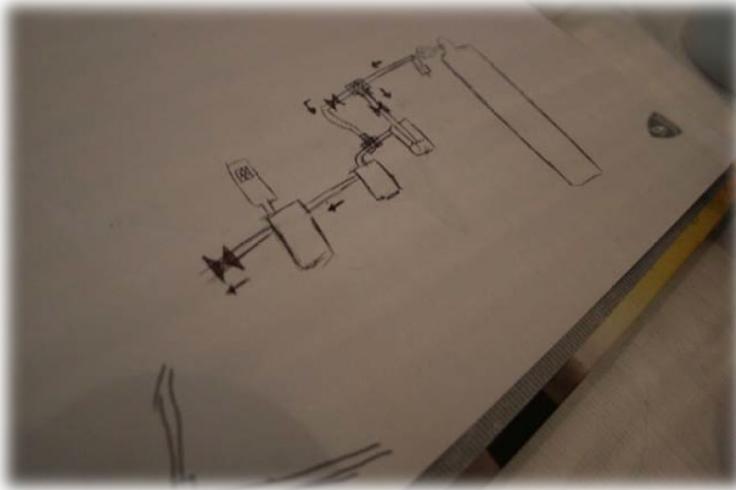
En el trabajo realizado por David Ibarra en sus tesis “Sistema de monitoreo para la preservación y trasportación de obras históricas” [6] la cual está enfocada al monitoreo de la atmosfera interna. Obteniendo como resultado lo siguiente:



Figura 4 - Cápsula en soporte para exhibición

Para la realización del monitoreo se utilizaron sensores de humedad, temperatura y presión, así mismo se consideró como un sistema complejo por lo cual para el monitoreo se realizó con un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, SCADA, debido a la complejidad de la adquisición de los datos y monitoreo en tiempo real. Este sistema SACADA se realizó con diferentes sensores y protocolos de comunicación en los mismos, el manejo de datos histórico en archivos ajenos al sistema y el análisis de los mismos se hacían con ayuda de otros programas. La visualización de los datos en tiempo real se necesitaba desde distintos puntos de visualización y la limitante del sistema SCADA es que solo se puede observar desde un solo punto de acceso.

Los problemas que se documentaron fue la intermitencia en las señales en los primeros 4 meses de exhibición, debido a causas energéticas y no se percataban de que el sistema estaba abajo hasta su revisión. El monitoreo de las variables se realizaba dos veces al día.



Así mismo realizaron el diseño de un sistema humidificador con los siguientes componentes

Figura 5 - Concepto del sistema de humidificación propuesto

- Cilindro de gas: Gas con argón
- Regulador de presión de salida de cilindro
- Fluviómetro
- Saturado
- Sensor para la medición de temperatura y humedad
- Válvulas
- Tubo flexible



Figura 6 - Prototipo de sistema de humidificación

Este concepto fue implementado como un prototipo, el cual se muestra en la figura 6, e implementado en la cápsula de conservación. El cual logro mantener la atmósfera de la cápsula durante el tiempo de exhibición en la variable de humedad.

Capítulo 3. Planteamiento del problema

3.1 - Alcance del prototipo

En el capítulo anterior se estableció la problemática de la conservación de los documentos históricos y los trabajos realizados para realizar dicha labor por parte del CDMIT. Que concluyó con las variables de preservación, el efecto en los documentos de cada uno de estas variables y el rango correcto para su conservación. Con base en los trabajos anteriores se encontró la problemática en cada parte del desarrollo y monitoreo de las cápsulas, desde las variables a monitorear y controlar, como las problemáticas en el seguimiento del proyecto.

En este trabajo se plantea realizar un prototipo de cápsula de conservación con elementos de la industria 4.0, monitoreo remoto, análisis de la información recabada y caracterización de su comportamiento de una cápsula de prueba.

3.2 - Objetivos

Objetivo general

- Diseño de un sistema de monitoreo y control de humedad en una cápsula de conservación, a través del IoT

Objetivos específicos

- Caracterización del comportamiento del microambiente en las cápsulas de prueba
- Monitoreo de variables relacionadas a la conservación en tiempo real.

3.3 Alcances

El impacto de este proyecto se refleja en la forma como se realizará la implementación de nuevas tecnologías en el proceso de diseño.

- Aplicación de la metodología de diseño comparativo para detección de necesidades y áreas de oportunidad
- Establecimiento de necesidades para una cápsula de conservación
- Caracterización de una cápsula de conservación prototipo
- Prototipo de plataforma de monitoreo y control IoT
- Propuesta de diseño de un humidificador/secador controlado y monitoreado por IoT

Capítulo 4. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se decidió utilizar el cuaderno de gestión de tecnología “Innovación de productos” [7], esto debido a que se desea que este cumpla con los requisitos de innovación y utilice las herramientas de la industria 4.0 para su funcionamiento y análisis de datos.

4.1 - Innovación de productos

La innovación en los productos inicia por el ciclo de vida de los mismos, ya que pasan por una serie de etapas desde que surgen como ideas hasta que son desechados, en procesos completos de una forma iterativa, y esto ayuda a entender todos los aspectos a considerar durante el desarrollo del producto.



Figura 7 - Ciclo de vida de un producto

Etapas del ciclo de vida de un producto [7]

- **Necesidad:** Identificación de la oportunidad cuando un cliente o empresa solicitan un producto.
- **Desarrollo:** Son las actividades en las que el producto es diseñado.
- **Producción:** Etapa en la que el producto es manufacturado.
- **Distribución:** Incluye el almacenamiento, distribución y venta.
- **Uso:** Incluye lo relativo a la instalación, uso, operación, o consumo del producto.
- **Desecho:** Considera los aspectos relacionados con una destrucción apropiada del producto.

4.2 - Tipos de productos

Los productos a desarrollar determinan su proceso de innovación, las etapas a seguir, su duración y los recursos requeridos varían dependiendo de ello. [7] Cualquier producto pertenece a cuando menos uno de los siguientes tipos:

Tabla 1 - Tipos de productos en la innovación de productos [7]

Tipo de producto	Descripción
Productos originados por el mercado Market-pull	La empresa responde a una solicitud expresa o detectada de sus clientes o bien a productos lanzados al mercado por sus competidores
Productos originados por la tecnología Technology-push	La empresa tiene una nueva tecnología y realiza un proyecto para lograr un producto exitoso en el mercado basado en ella.
Productos basados en plataformas	En este caso, una serie de modelos o variantes de productos se basan en el mismo componente que incorpora la base de su tecnología
Productos determinados por su proceso de producción.	Dependen totalmente de su proceso de producción, por lo que tienen que ser desarrollados de forma simultánea
Productos hechos bajo especificaciones del cliente.	Son variantes de los productos de línea que son realizados bajo una orden específica.

4.3 - Etapas del proceso de innovación de productos

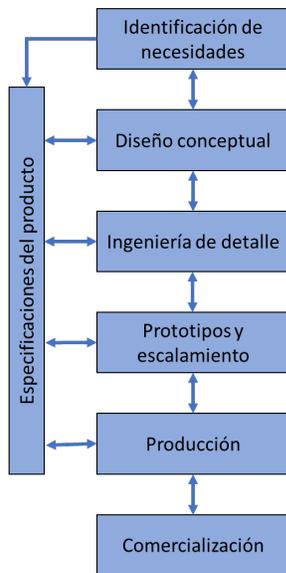


Figura 8 - Ciclo de las etapas del proceso de innovación

El proceso de innovación de productos depende del tipo de producto, conocimientos y procedimientos de desarrollo, preferencias, capacidad de trabajo, recurso y tiempo disponible. [7]

Se toma como base el cuaderno de gestión de tecnología para desarrollar un proceso propio e implementarlo a producto seleccionado. Este proceso este compuesto por los elementos de la figura 8, y se puede desglosar de la siguiente manera:

4.3.1 - Identificación de necesidades

Identificación de necesidad u oportunidad, esta surge expresada o detectada por el cliente, es un resultado propio de los procesos de estudios estratégicos de clientes, mercados y Benchmarking.

Este paso es el más importante ya que las necesidades pasaran los requerimientos y estas deben de ser documentadas de forma clara y útil, pues serán la base de las especificaciones a las que el producto se debe ajustar. Estas deben de sintetizarse en una frase que cumpla con:

- Decir lo que el producto debe hacer y no como debe hacerlo
- Ser tan específicas o detalladas como la información proporcionada/recolectada
- Ser formuladas en forma positiva y no negativa
- Expresar la información en términos de atributos del producto.

Con el propósito de identificar los requerimientos críticos, es importante asignares un factor de peso,

4.3.2 - Especificación del producto

Las especificaciones de un producto expresan de forma precisa y medible lo que el producto debe hacer. Para definir las especificaciones, cada requerimiento debe ser estudiado y traducido en una o más propiedades, características u otros aspectos técnicos. Esta es una etapa que se realimenta con cada etapa del diseño, con el objetivo de cumplir con las necesidades identificadas.

Las especificaciones deben ser medibles en una escala cuantitativa o cualitativa. Para posteriormente definir valores objetivos de cada requerimiento y un rango aceptable de variación. Es importante revisar

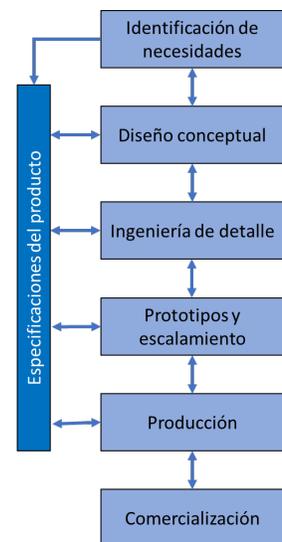


Figura 9 - Realimentación en el ciclo

que se haya formulado al menos una especificación para cada requerimiento, así como un factor de importancia. La lista de especificaciones suele sufrir cambios conforme se avanza en el proceso de diseño.

4.3.3 - Diseño conceptual

Para el diseño conceptual del producto es recomendable dividir el problema, es decir, el dividir el desarrollo del producto. Esto para facilita el resolver problemas complejos dividiéndolos en partes y permite organizar mejor el trabajo.

Algunas formas de realizar esto son:

- De acuerdo a funciones o elementos
- De acuerdo a las acciones del usuario para el uso del producto
- De acuerdo a los requerimientos importantes

La búsqueda de información es una actividad constante durante el proceso de innovación, en esta etapa es útil para encontrar soluciones existentes al problema o a una parte del mismo. Se debe buscar tanto en productos como en tecnologías relacionadas, en lo general como en los subproblemas.

Una fuente de información recomendada por los autores es la búsqueda de patentes, ya que estas incluyen información y dibujos técnicos, así como explicaciones del funcionamiento del producto. Revisar literatura publicada con respecto al tema de interés, así como hacer estudios comparativos de productos relacionados con el producto a desarrollar [7].

El resultado de esta investigación es la generación de alternativas de solución con base en la información analizada. Durante la generación de alternativas de solución es importante considerar:

- Considerar todas las soluciones generadas
- Generar muchas opciones de solución
- Reducir las ideas a esquemas o diagramas
- Analizar la posibilidad de combinar soluciones para generar nuevas alternativas.

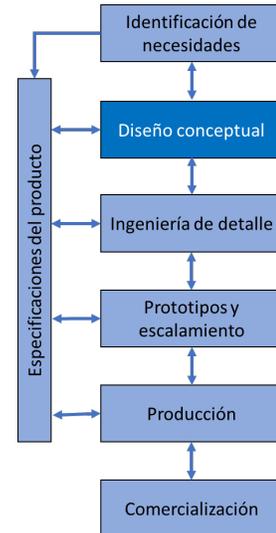


Figura 10 - Etapa de diseño conceptual y realimentaciones

Por último, las soluciones generadas se deben evaluar considerando las especificaciones del producto y criterios de selección. La selección puede ser un proceso iterativo en el que paulatinamente se descarten alternativas.

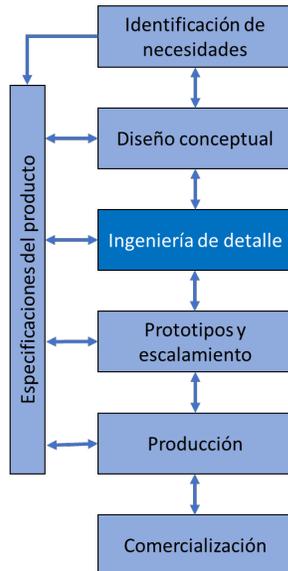


Figura 11 - Posición de ingeniería de detalle en el ciclo de diseño

4.3.4 - Ingeniería de detalle

El diseño conceptual ha planteado los componentes principales del producto, en esta etapa esos componentes serán revisados y se verificará que estén completamente definidos en sus valores de dimensión, cantidad, tolerancia, rango, material, proceso y características relevantes.

Se identifican componentes disponibles en el mercado, y en el caso de que sean componentes no comerciales sus formulaciones deben de ser completamente definidas, estas pueden ser: geometría, dimensiones, tolerancias, superficies, materiales, propiedades físicas, especificaciones químicas, entre otras.

A continuación, se enlistan los principales aspectos a considerar en la identificación de componentes:

- El producto pueda ser manufacturado o producido por procesos disponibles
- Definir el producto y sus componentes para lograr la calidad requerida a un costo competitivo
- Detallar el producto y sus componentes
- Todos los aspectos relacionados a su producción deben de ser incluidos y cuantificados
- Que pueda ser realizado y entregado en el tiempo requerido
- Que exista uno o varios proveedores que puedan surtir el material.

Otro aspecto relevante es la identificación de componentes que deban cumplir con alguna normativa y asegurarse que la cumplan. Así como la identificación de aspectos relacionados con diferentes etapas de su ciclo de vida.

4.3.4.1 - Documentación para producción

Con base en las actividades anteriores, es necesario preparar los siguientes documentos para la etapa de producción:

- Procesos de manufactura
- Procesos de ensamble
- Dibujos de fabricación (planos de partes)
- Diagramas de ensambles
- Dibujos de ensamble
- Lista de componentes y de materiales
- Procedimientos de inspección
- Pruebas de aceptación de calidad
- Especificaciones del producto final

4.3.5 - Prototipos y escalamiento

Un prototipo es la manera de demostrar de forma tangible una o varias funciones o atributos de nuestro producto. Existen diferentes formas de realizar prototipos ya sea en forma de dibujo o esquema, modelos matemáticos, simulación en computadora o maquetas. La realización de estos nos sirve para:

- Conocer la forma en que funciona un producto
- Comunicación de ideas de forma tangible
- Demostrar la integración de distintos componentes
- Simulación rápida y flexible de algún atributo de nuestro producto
- Reducción las iteraciones costosas
- Generación de datos que permiten analizar, generar y completar decisiones.

4.3.6 - Producción

En el caso de la producción de nuevos productos, puede ser necesario realizar innovaciones de procesos. A continuación, se enumeran aspectos relevantes del mismo:

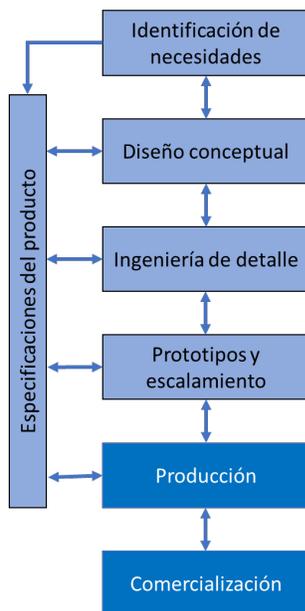


Figura 13 - Posición de Producción y Comercialización en el ciclo de diseño

- Aspectos administrativos de la producción
- Calendario para cumplir con el plan de producción
- Recursos e infraestructura necesaria para la producción
- Recursos humanos para la manufactura
- Requerimientos de capacitación, considerando operación, mantenimiento y calibración de equipos a utilizar.
- Materias primas y componentes comerciales
- Recursos de validación y pruebas
- Herramientales y accesorios para la producción
- Proceso de flujo de manufactura
- Procedimientos y controles de calidad
- Documentación necesaria para soportar la manufactura del producto
- Empaque y embalaje
- Estimación de la demanda futura del producto y planeación

4.3.6.1 - Documentación para el usuario final

La documentación para el usuario debe de ser incluida en el producto final ya que es una manera de transmitir parte del diseño al usuario, los aspectos a considerar son:

- Instrucciones de uso, operación y mantenimiento
- Especificaciones del producto
- Términos y condiciones de la garantía

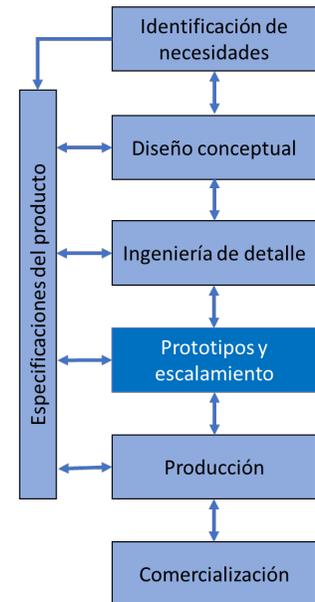


Figura 12 - Posición de prototipos y escalamiento en el ciclo de diseño

4.3.7 - Comercialización

La comercialización del producto en realidad inicia desde la identificación de necesidades, al identificar los requerimientos del cliente, los mercados primarios y secundarios del producto y las características básicas del producto que serán especialmente apreciadas por el cliente. A demás es fundamental la participación del área de mercadotecnia en el desarrollo del producto, para asegurar las consideraciones del mercado en todas las actividades de la innovación de productos.

Para la comercialización se consideran los siguientes pasos:

- Preparar un plan de lanzamiento del producto
- Evaluar la aceptación del producto mediante la realimentación de los clientes representativos
- Identificar y establecer canales de ventas
- Estimar requerimientos de cambios en los productos basados en información y análisis del mercado
- Preparar anuncios y forma de hacer propaganda
- Entrenar el personal de ventas, servicio y soporte
- Tener un mecanismo de revisión que confirme que todos los aspectos relevantes han sido considerados
- Asegurar que los distribuidores, los canales de distribución y almacenes de producto terminado cuenta con la cantidad de producto adecuada
- Lanzar el producto cuando todo esté listo

4.4 - Determinación del proceso de diseño

El proceso de diseño se determina a partir de la experiencia de los involucrados en este para implementar un proceso de diseño propio, que se adapte a las necesidades del proyecto, recordando que estos procesos deben de mejorarse y aplicar de una forma iterativa, considerar el nivel tecnológico y tipo del producto, su ciclo de vida, fomentar el trabajo y documentación de actividades de los resultados obtenidos.

En este trabajo se propone la modificación del proceso de diseño antes mencionado utilizando como base un producto de plataforma, donde se supone que el nuevo producto se construirá alrededor de un subsistema tecnológico establecido. En este caso el subsistema tecnológico se refiere a los elementos que componen la industria 4.0, enfocándonos particularmente en el internet de las cosas, mejor conocido como IoT.

A continuación, se describirán las etapas en las cuales se propone una modificación al proceso de innovación de productos.

4.4.1 - Identificación de necesidades:

La identificación de necesidades se realiza por medio de un estudio comparativo. Considerando los pasos que involucra la realización de este para la obtención de las necesidades del producto a desarrollar.

Posteriormente a la identificación de necesidades y de forma iterativa del desarrollo del producto se propone implementar un análisis funcional de las partes que componen el producto con el objetivo de mejorar las especificaciones del producto.

4.4.2 - Uso

Los pasos de producción y comercialización se sustituyen por uso, ya que debido a la implementación de nuevas tecnológicas en el desarrollo del producto y en el producto final, se espera que el usuario tenga que aprender a utilizarlo, aunque eso no significa que el uso o implementación del producto final sea complicado o laborioso.

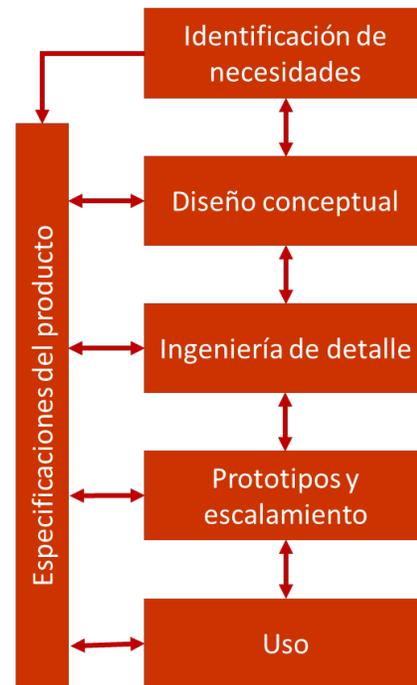


Figura 14 - Modificación al ciclo de diseño propuesto

Capítulo 5. Identificación de necesidades

En los capítulos anteriores se estableció la problemática de la preservación y conservación de documentos históricos ya sea para exhibición o para acervos documentales. Por otra parte, en los trabajos previos sobre cápsulas de conservación por parte del CDMIT, los resultados de estos proyectos se observaron los hallazgos sobre la hermeticidad con diferentes sellos y configuraciones de sellos, la atmósfera de conservación con variables de humedad, temperatura, presión, y luxes en la cápsula. Estos resultados ayudaron a concluir en algunas necesidades en la realización de cápsulas de conservación y en el monitoreo de la atmósfera interna de las mismas.

En este capítulo se realizará un análisis de estudio comparativo para obtener las oportunidades de diseño de 19 patentes, verificar la problemática planteada en las cápsulas del CDMIT y ver las tendencias en el diseño de estas patentes; se establecerán los objetivos y alcances, que se utilizarán en el proceso de diseño.

5.1 - Metodología del Estudio de Diseño Comparativo

Para realizar el estudio de diseño comparativo se utiliza la metodología propuesta por el Dr. Alejandro Ramírez Reivich en su tesis doctoral “Estudio de Diseño Comparativo de Actuadores de Válvulas Neumáticas de Cuarto de Vuelta” [1]

5.1.2 - Criterios

Los criterios para el estudio de diseño comparativo, que se establecen en este capítulo, se han definido a partir de las declaraciones de la tesis Doctoral de Dr. Reivich, las declaraciones tratan sobre la etapa de diseño conceptual y los procedimientos para comparar el diseño, alternativas o soluciones.

En un procedimiento normal, para la etapa de diseño conceptual, se procede a tomar la declaración del reto y generar amplias soluciones en forma de esquemas o arboles de decisión para comparar y seleccionar la solución que más se adapte a las necesidades. Sin embargo, en el estudio de diseño comparativo a diferencia del procedimiento normal de diseño, se procede a la recopilación de información y soluciones existentes al problema específico y a continuación se procede a entender los aspectos de diseño involucrados en el problema.

Este enfoque explota herramientas, ideas y métodos para resolver problemas de diseño conceptual lo cual nos permite obtener una gama más amplia de soluciones y encontrar áreas de oportunidad de la misma.

Para iniciar el estudio comparativo primero se analizaron los aspectos y elementos de las cápsulas de conservación.

5.1.3 - Aspectos y elementos de cápsulas o sistemas de preservación

Existe una amplia diversidad de cápsulas de preservación de documentos u objetos históricos y que al mismo tiempo puedan presentarse para su exhibición. Éstas varían en su funcionamiento, que puede ir desde controlar la humedad relativa dentro del encapsulado para evitar que el papel u objeto tienda a modificar sus características fisicoquímicas, hasta controlar la temperatura para evitar distintos efectos fisicoquímicos o el tipo y la intensidad de la radiación luminosa que tienen contacto con la misma. Estos productos son creados como sistemas de propósito especial, los cuales no están disponibles comercialmente, sólo se muestran como resultados de trabajos de investigación científica o en patentes que en su mayoría son presentadas por instituciones académicas o museos.

Se logró obtener una muestra representativa de estas patentes para el estudio comparativo. Tras hacer una minuciosa revisión de las patentes, se observa que los aspectos en los cuales enfocan sus reivindicaciones son los siguientes:

- Diseño del área de exhibición.
- Mecanismos de apertura.
- Movilidad.
- Preservación del objeto en su interior.

A continuación, se describen los aspectos anteriores y las funciones principales que se identificaron en las patentes.

Diseño de área de exhibición

Este espacio en la cápsula cumple dos propósitos:

- Exhibir
- Contener la atmósfera de preservación

Éste último es el más importante de todos, ya que marcará el volumen de la atmósfera de preservación y al mismo tiempo no debe de tener ningún mecanismo o sensor

que impida que se pueda visualizar correctamente el objeto en su interior.

Mecanismo de apertura

El mecanismo de apertura es el que nos permite tener acceso al objeto dentro de la cápsula ya sea para su manipulación o mantenimiento.

Movilidad

Esta función permite que la cápsula o el sistema de preservación se mueva o desplace de un lugar a otro sin necesidad de quitar el objeto de su interior.

Preservación del objeto en su interior

La función de preservar se considera que es la más importante de la cual todos los aspectos o funciones dependen. Ésta debe

impedir los factores mencionados en el capítulo de conservación de documentos históricos [8]. Para realizar esta función se requiere que los siguientes elementos también sean considerados:

- Control de humedad relativa.
- Control de temperatura
- Control de intensidad lumínica.

Estos elementos de preservación se realizan con diferentes dispositivos y sistemas de control [9].

5.2 - Estudio de diseño comparativo

Para realizar un estudio comparativo, Ramírez [2] [5] señala la relevancia de sintetizar la información comparativa de forma visual en tablas, gráficas, diagramas, etc. No menciona una metodología generalizada para este propósito, pero propone medir los valores cualitativos o cuantitativos de las especificaciones de los productos similares.

A continuación, se proponen los pasos a seguir para realizar el estudio de diseño comparativo:

1. Listar aspectos de diseño.
2. Listar productos análogos y homólogos.
3. Sintetizar información relativa a los productos y funciones.
4. Estudiar la muestra representativa de patentes.
5. Comparar por funcionalidad.
6. Establecer cuáles son los mejores productos.
7. Identificar y proponer métricas
8. Estudiar las tendencias de los aspectos de diseño considerados.

Los pasos 6, 7 y 8 se realizan de forma conjunta en la comparación por funcionalidad al realizar su análisis.

5.2.1 - Aspectos de diseño

Los aspectos de diseño [6] considerados en este estudio comparativo son los siguientes:

- Volumen papel/objeto
- Volumen de la atmósfera de preservación
- Volumen del mecanismo
- Volumen de los componentes electrónicos
- Volumen muerto
- Volumen total
- Método de apertura
- Hermeticidad
- Tipo de sello
- Tipo de cierre
- Atmósfera interna controlada
- Control de humedad
- Control de temperatura
- Accesibilidad (Método de apertura)
- Soporte para el objeto
- Restringe el movimiento

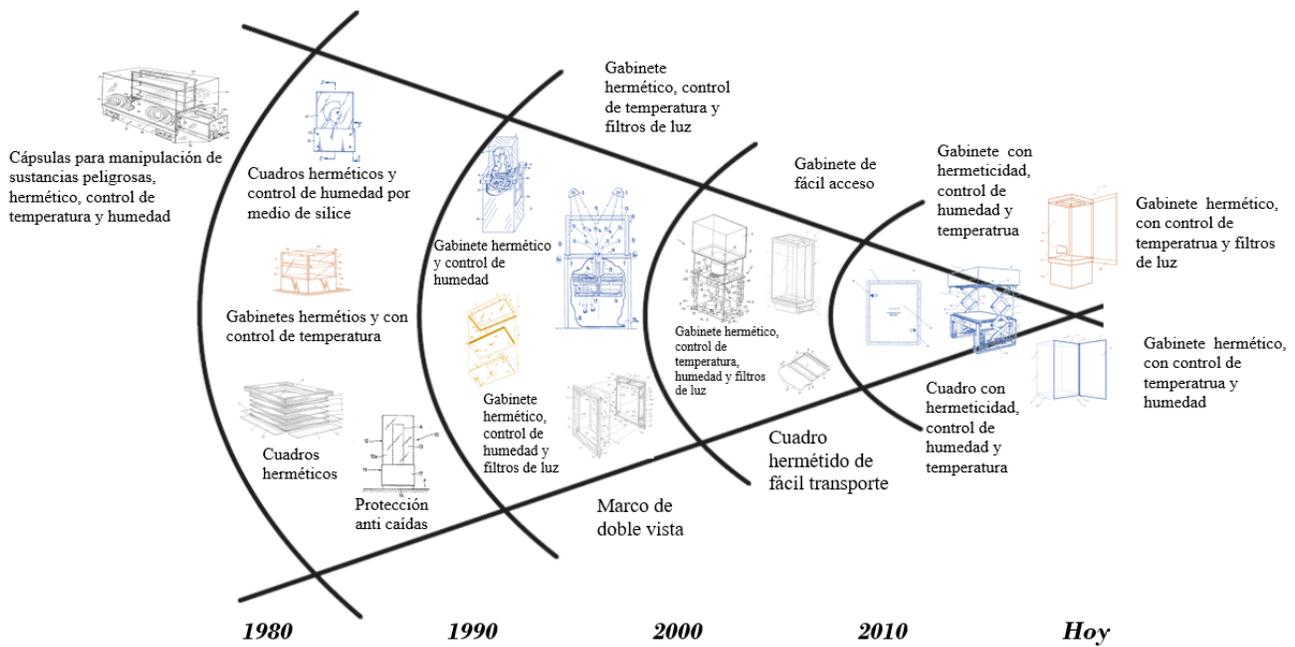


Figura 15 Cono de Janus

5.2.2 - Lista de productos análogos y homólogos

En la figura 15 se muestran las patentes analizadas de un total de 19, se menciona brevemente su característica principal y el año en que se solicitó la patente.

En la figura 15 se observa que en el año de 1980 aproximadamente empiezan a ser patentadas las cápsulas de preservación. Aunque es importante aclarar que la primera cápsula identificada tenía funciones análogas a las dedicadas a la conservación de documentos (permitía la manipulación de los objetos en su interior y su propósito era el de trabajar con sustancias peligrosas teniendo un ambiente controlado y seguro).

Los colores de las figuras indican la función principal para la preservación que tiene cada patente identificada.

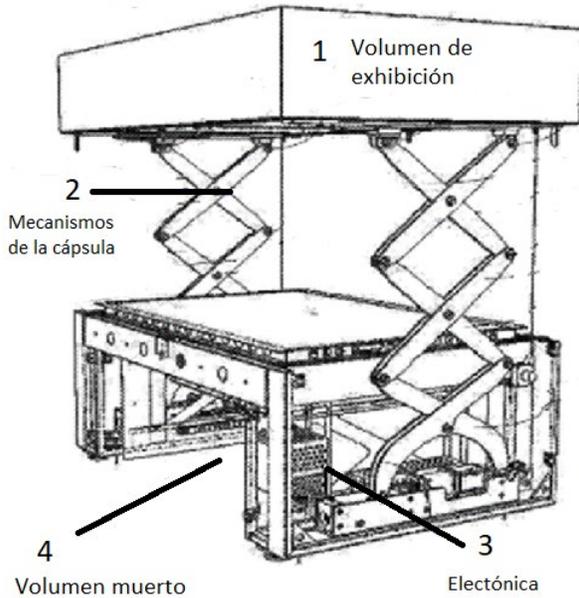
- Azul: Control de Humedad
- Naranja: Control de temperatura.
- Gris: Hermeticidad.
- Amarillo: Control de intensidad lumínica.
- Gris claro: Tienen otra característica principal.

En la figura 15 se observa que la tendencia ha sido trabajar más sobre la hermeticidad y el control de humedad por encima del control de intensidad lumínica y el control de temperatura.

Se observan algunas funciones principales que tenían estas cápsulas además de la preservación, o en lugar de la preservación del objeto en su interior.

Algo que se detectó es que la mayoría de las cápsulas no perduran en el tiempo ya que cumplen con la función de preservar el documento o artefacto durante su exhibición, más no durante toda su existencia.

5.2.3 - Síntesis de información relativa a los productos y funciones



Para analizar la información de las patentes, se identificaron 4 funciones o aspectos.

En la Figura 16 se da el ejemplo de la estructura funcional de una cápsula de preservación de una de las patentes analizadas.

Las funciones principales son los siguientes:

Figura 16 Estructura funcional de una cápsula de preservación

Función	Subfunción
FP1: Exhibir	SF 1a: Contener el documento
	SF 1b: Restringir el movimiento
	SF 1c: Preservar el documento
FP2: Acceder	SF 2 a: Facilitar acceso a la zona de contención
	SF 2b: Sellar
FP3: Controlar	SF 3 a: Medir
	SF 3b: Regular suministro de energía
FP4: Apoyar	SF 4a: Soportar
	SF 4b: Elevar cápsula

Tabla 2 Funciones y subfunciones principales de una cápsula de preservación

Como se observa en la tabla 2, las funciones principales de las cápsulas de preservación tienen a su vez subfunciones o funciones-secundarias que ayudan a cumplir la función

principal. En la figura 16 se muestra a que parte de la cápsula le pertenece la función indicada.

Desarrollando las funciones principales podemos decir lo siguiente:

FP1: Exhibir: Ésta es la función principal de las cápsulas de preservación estudiadas, ya que la mayoría tienen como objetivo mostrar, observar, analizar o estudiar el documento u objeto dentro de un museo o sala de exhibición.

Para que esta cumpla con su función se apoya de las siguientes funciones secundarias:

- **SF 1a:** Contener documentos u objetos: Esta función permite que el área de exhibición tenga el documento u objeto en su interior.
- **SF 1b:** Disminuir movimientos: Esta función permite que el documento/objeto en su interior tenga movimientos restringidos, más no impide el desplazamiento por completo, esto debido a que los objetos en su interior pueden sufrir dilataciones térmicas o vibraciones mecánicas, que, aunque pueden ser imperceptibles, si se restringe el movimiento por completo, provocaría un daño al objeto en cuestión.
- **SF 1c:** Preservar: Esta función conlleva el control de los factores mencionados que dañan un documento/objeto. Para realizar esto, se debe de crear una atmósfera idónea dentro del área de la exhibición y es aquí donde se debe controlar la temperatura, humedad relativa, intensidad lumínica y garantizar una atmósfera hermética (debido a que es el volumen que contiene al documento y tiene contacto directo con él) y a su vez es donde el usuario final puede observar el objeto sin dañarlo.

FP2 - Acceder: Como se había mencionado antes, uno de los elementos importantes de las cápsulas es la forma en la que se accede a su interior, ya que debe permitir dar el mantenimiento al documento/objeto en su interior.

Esta función se divide en las siguientes dos subfunciones:

- **SF 2a** Mecanismo de acceso: Es el elemento que poseen algunas de las cápsulas analizadas que permiten un fácil acceso al interior de la cápsula (volumen de exhibición).
- **SF 2b** Mecanismo de cierre: Es el elemento con el cual es sellada la cápsula, éste puede ser un sello permanente o temporal.

FP3 Controlar: Son los elementos que permiten hacer la atmósfera idónea para la preservación dentro de la cápsula

- **SF 3a:** Microprocesadores: Es el sistema lógico programable el cual permitirá implementar un control para obtener la atmósfera deseada.
- **SF 3b:** Sensores: Son los elementos que alimentaran con datos de la atmósfera del volumen de exhibición al sistema de control.
- **SF 3c:** Fuente de energía: Es el encargado de alimentar a los sensores, actuadores y sistema de control para su correcto funcionamiento.

FP4: Apoyar: Es una función auxiliar que nos permite que la exhibición se pueda visualizar correctamente.

5.2.4 - Comparar funcionalidad

Para realizar el análisis de las patentes, primero se ordenaron por el año en que fueron registradas, posteriormente se les asignó un código a cada patente para que fuese más sencillo trabajar con las mismas, ya que como son de distintos países y fechas, usar el número de patente o nombre como identificador complicaba el análisis.

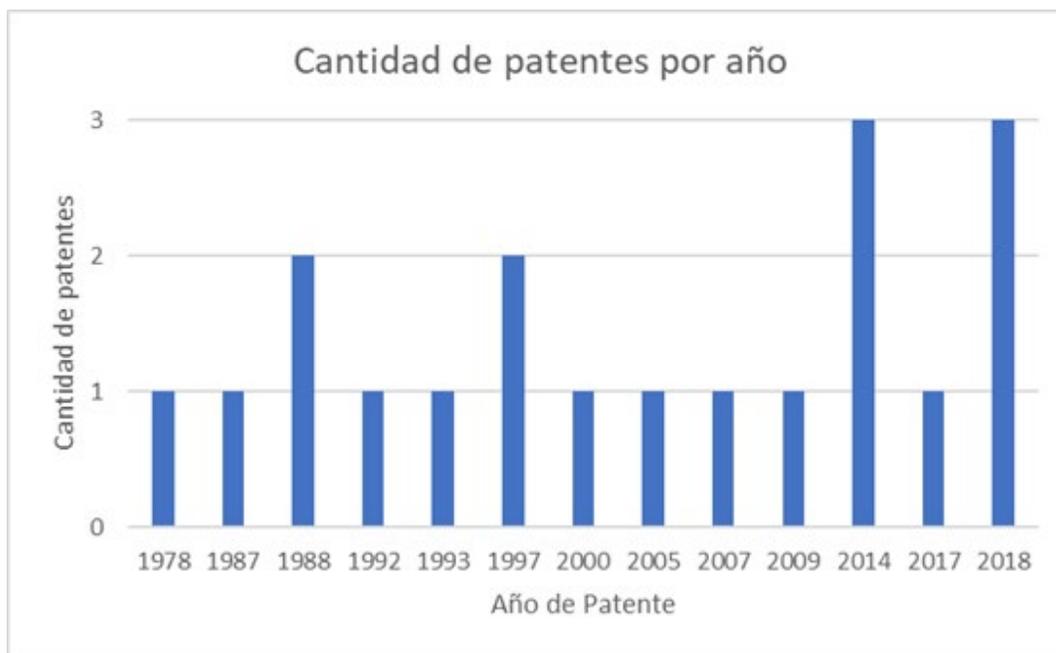


Figura 17 Cantidad de patentes por año

En la figura 17 se observa que la cantidad de patentes generadas por año casi siempre fue constante en el transcurso del tiempo teniendo como promedio una patente por año. Esto es sencillo de entender ya que, al ser dispositivos de propósito especial, sólo surgen cuando hay alguna necesidad específica que cubrir para determinado objeto o documento. En los años donde hay más de una patente, se puede observar que la funcionalidad principal que tratan de proteger es distinta.

Para comparar la funcionalidad de las cápsulas se hizo una tabla que indica los elementos para la preservación que posee cada una de éstas, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 3 Tabla de funciones de la preservación que posee cada patente analizada (0= No, 1= Sí)

Identificador	Hermeticidad	Ctrl. Humedad	Ctrl. Temp.	Ctrl. Intencidad Lumínica
1	1	1	1	0
2	1	0	0	0
3	1	0	1	0
4	1	1	0	0
5	1	1	0	0
6	1	1	0	1
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	1	0	1	1
10	1	1	1	1
11	1	1	0	0
12	0	0	0	0
13	1	1	1	0
14	1	0	0	0
15	1	0	0	1
16	1	0	0	0
17	1	1	1	0
18	1	0	1	1
19	1	1	1	0

Ya que cada cápsula hace la función mencionada de distinta forma y con diferentes tecnologías, sólo se está comparando si realiza dicha función o no. Para indicar que sí hace la función, se le colocó un 1, y para indicar que no la realiza, se colocó un 0.

Dado que las cápsulas estudiadas son de diferente tamaño (ya que el propósito de cada una es distinto), se propuso la comparación entre ellas a través de la relación de volumen de exhibición, que es una relación del volumen total de la cápsula respecto al volumen que cumple con la función de exhibir.

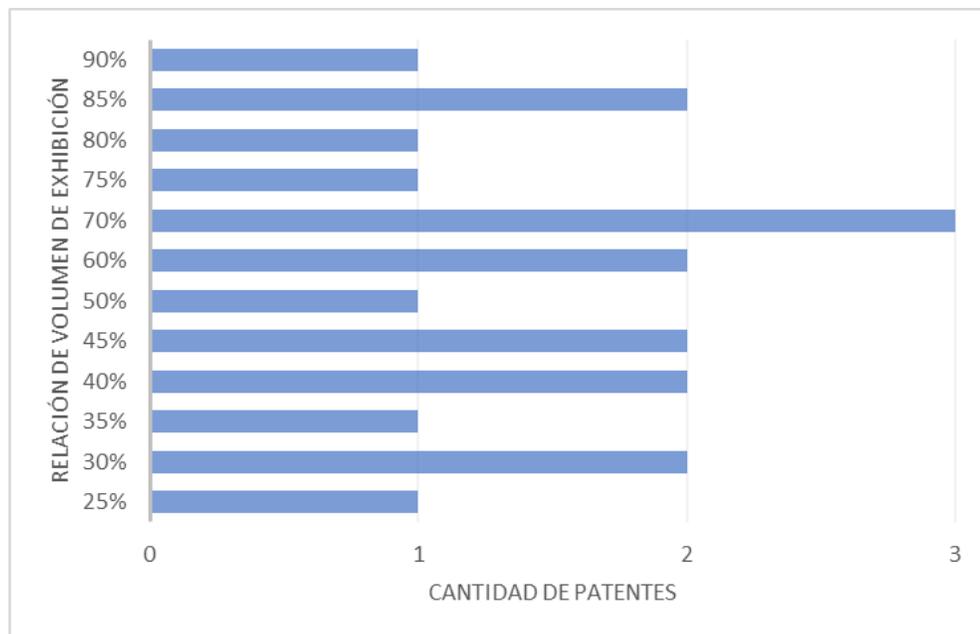


Figura 18 Cantidad de patentes existentes en relación a su volumen de exhibición

Como se muestra en la figura 18, el porcentaje de exhibición no está cerrado ni limitado a valores estrictos, aunque hay algunas patentes que tienen el mismo volumen de exhibición. Lo anterior, aunque revisando a detalle se observa que la función principal de la cápsula es distinta, así como el método de preservación.

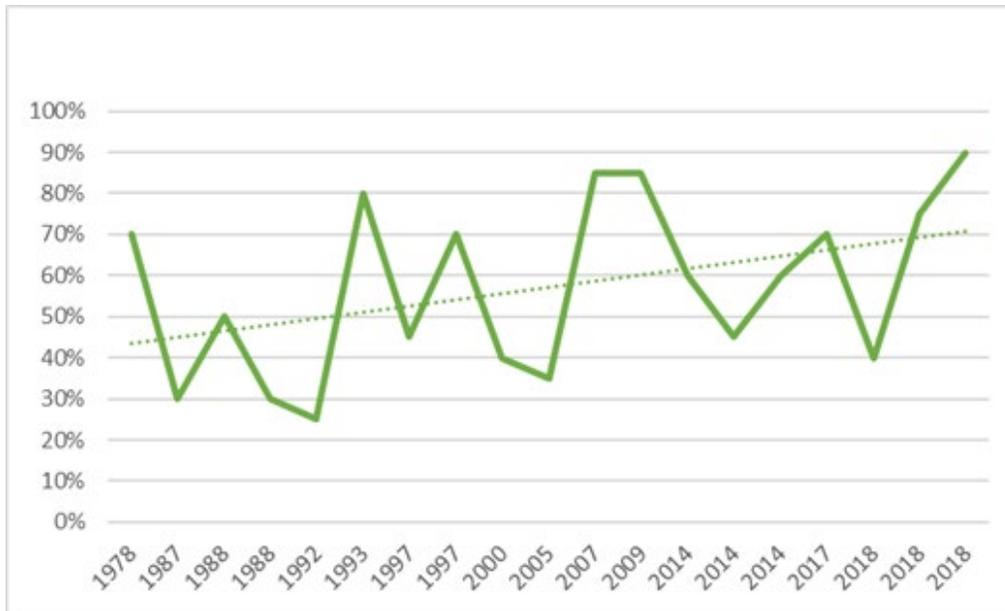


Figura 19 Relación de volumen de exhibición por año

Se aprecia que la tendencia en el volumen de exhibición aumenta con los años. Como se observa en la figura 19, es posible identificar una tendencia en realizar cápsulas con un mayor volumen de exhibición, pero recordemos que estas cápsulas se realizan con base en lo que contendrán, esto representa que se enfrentan a dar soluciones a documentos más grandes y complejos de preservar.

Para continuar con la comparación de la funcionalidad, se hicieron dos ponderaciones para comparar las cápsulas entre sí, sin considerar la tecnología que utilizan, para lograr una atmósfera de preservación y el factor de complejidad que involucra cada uno de éstos.

Debido a que algunas funciones que se utilizan para lograr la atmósfera de preservación podrían entenderse de distintas maneras y para evitar confusiones, se define cómo es que se manejan en este artículo a continuación:

- Hermeticidad: Reducir la permeabilidad del sello.
- Control de humedad: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular el porcentaje de agua que existe en el interior de la cápsula.
- Control de temperatura: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular la temperatura al interior de la cápsula.
- Control de intensidad lumínica: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular la radiación ultravioleta o radiación UV, cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 10 (nm) y los 400 (nm) [3]

Los principales factores que pueden dañar un documento se pueden dividir a su vez en elementos que se pueden controlar con ayuda de las funciones antes mencionadas. A continuación, se procederá a mencionar los factores que pueden dañar un documento. [9]

Factores Biológicos

- Microorganismos
- Insectos
- Roedores

Factores fisicoquímicos

- Temperatura
- Humedad
- Filtros de luz

- Contaminación

Factores Humanos

- Uso y manejo

Factores internos

- Mala calidad de papel
- Acidez en el papel
- Acidez en tintas

Con base en esto, se realizó una tabla para obtener una ponderación. Relacionando las funciones para la preservación y los factores presentes.

En este análisis observamos que hay factores que dañan los documentos que están fuera de nuestro control, pero hay que tratar de reducir el daño provocado lo más posible.

Para realizar este estudio se realizó una tabla de ponderación cuantitativa, considerando los elementos de preservación encontrados en las cápsulas estudiadas. Y se relacionó con las afectaciones causadas dependiendo de los factores que pueden causar afectaciones.

En la figura 20 se muestra la ponderación realizada, en esta se observa que la función para

Elemento de preservación	Factores Biológicos			Factores fisicoquímicos				Factores Humanos	Factores internos			Resultado
	Microrganismos	Insectos	roedores	Temperatura	humedad	Filtros de luz	Contaminación	Uso y Manejo	Mala calidad de papel	Acidez en el papel	Acidez en tintas	
Hermeticidad	1	1	1	0.5	0.5	0	1	1	0	0	0	6
C. de humedad	0.2	0	0	0.5	1	0	0	0	0.3	0	0	2
C. de Temperatura	0.2	0	0	1	0.5	0	0	0	0.3	0	0	2
C. de intensidad lumínica	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

1=Protégé mucho, 0=No protégé nada

Figura 20 Ponderación de la preservación

preservar que tiene más peso es la que protege contra un mayor número de los factores de daño mencionados anteriormente.

Dando como resultado que la hermeticidad es el elemento más importante, seguido del control de la humedad relativa y el control de temperatura. El elemento menos relevante para la preservación de los documentos es el control de la intensidad lumínica.

Como se observa en la figura 12 y considerando que la hermeticidad es el elemento más importante para la preservación, corroboramos que en la mayoría de las patentes se presenta esa función.

Para analizar el nivel de complejidad, se realizó una tabla de ponderación considerando los elementos de preservación vistos y los factores de medición o control que implican de una forma global.

Factor de complejidad	Medición directa	Medición secundaria	Tiempo de Respuesta	Exactitud	Repetibilidad	Tamaño	Intervalos de operación	Resistencia a perturbaciones	Tiempo en llegar al valor deseado	Gasto energético	Resultado
Hermeticidad	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
C. de humedad	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	5
C.de Temperatura	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	4
C. de intensidad lumínica	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9

1=Se puede, buena 0=No se puede, malo

Figura 21 Ponderación de complejidad

Para hacer la tabla, se revisaron los elementos que se pueden controlar y medir en cada una de estas funciones, por medio de sensores o actuadores que se puedan encontrar comercialmente, para decidir cuál elemento conlleva más complejidad de aplicación. Así, el elemento de preservación que tenga más factores de los antes mencionados será el menos complejo para su aplicación ya que existen diferentes alternativas para poder llevarla a cabo, así como su monitoreo y control.

Dando como resultado la tabla de la figura 22, donde se observa que el menos complejo es el control de intensidad lumínica seguido de la hermeticidad, control de humedad y control de temperatura.

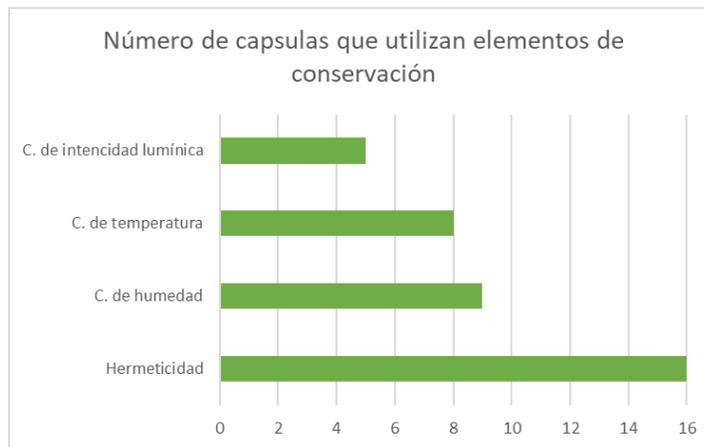


Figura 22 - Número de cápsulas con elementos de preservación que posee

Con base en las ponderaciones realizadas, se obtuvo la tabla 4 de ponderación:

Tabla 4 Ponderación de funciones para la preservación

Elemento	Preservación	Complejidad
Hermeticidad	3	2
Control de Humedad	2	3
Control de Temperatura	2	4
Control de IL	1	1

Para la ponderación de la tabla 4, se consideró que en la preservación el 3 es más importante y el 1 es menos importante; mientras que en la complejidad el 4 es más complejo y el 1 es menos complejo.

Con base en la tabla 3, se multiplica el elemento de preservación por su ponderación correspondiente en preservación y complejidad, posteriormente se suma el resultado dando un nivel de preservación y complejidad por cada patente. En ella se considera que el mayor número posible en la preservación es el 8 y en la complejidad es el 10. Para tener el porcentaje de cada cápsula estudiada se asignó un valor de volumen de exhibición, nivel de preservación y complejidad dependiendo de los elementos de preservación que tienen y sacando el porcentaje de cada cápsula con respecto al máximo de su categoría. Teniendo como resultado lo mostrado en la tabla 4.

Tabla 5 Aplicación de ponderación en cápsulas

Identificador	Hermeticidad	Control de humedad	Control de Temperatura	Control intensidad	Volumen exhibición	Nivel de preservación	Nivel de completitud
1	1	1	1	0	70%	7	9
2	1	0	0	0	30%	3	2
3	1	0	1	0	50%	5	6
4	1	1	0	0	30%	5	5
5	1	1	0	0	25%	5	5
6	1	1	0	1	80%	6	6
7	0	0	0	0	45%	0	0
8	0	0	0	0	70%	0	0
9	1	0	1	1	40%	6	7
10	1	1	1	1	35%	8	10
11	1	1	0	0	85%	5	5
12	0	0	0	0	85%	0	0
13	1	1	1	0	60%	7	9
14	1	0	0	0	45%	3	2
15	1	0	0	1	60%	4	3
16	1	0	0	0	70%	3	2
17	1	1	1	0	40%	7	9
18	1	0	1	1	75%	6	7
19	1	1	1	0	90%	7	9

La tabla 6 está ordenada de forma ascendente en el volumen de exhibición para un mejor entendimiento. El porcentaje de cada columna indica el nivel de cumplimiento con respecto al valor máximo de cada categoría.

Tabla 6 Tabla de comparación para el nivel de preservación y complejidad

Identificador	Año	Nivel de preservación	Volumen de exhibición	Nivel de Complejidad.
5	1992	63%	25%	50%
2	1987	38%	30%	20%
4	1988	63%	30%	50%
10	2005	100%	35%	100%
9	2000	75%	40%	70%
17	2018	88%	40%	90%
7	1997	0%	45%	0%
14	2014	38%	45%	20%
3	1988	63%	50%	60%
13	2014	88%	60%	90%
15	2014	50%	60%	30%
1	1978	88%	70%	90%
8	1997	0%	70%	0%
16	2017	38%	70%	20%
18	2018	75%	75%	70%
6	1993	75%	80%	60%
11	2007	63%	85%	50%
12	2009	0%	85%	0%
19	2018	88%	90%	90%

Con esta información se realizó una gráfica de tendencias ordenada por el año en que se presentó la patente, figura 23, para visualizar de mejor manera los resultados.

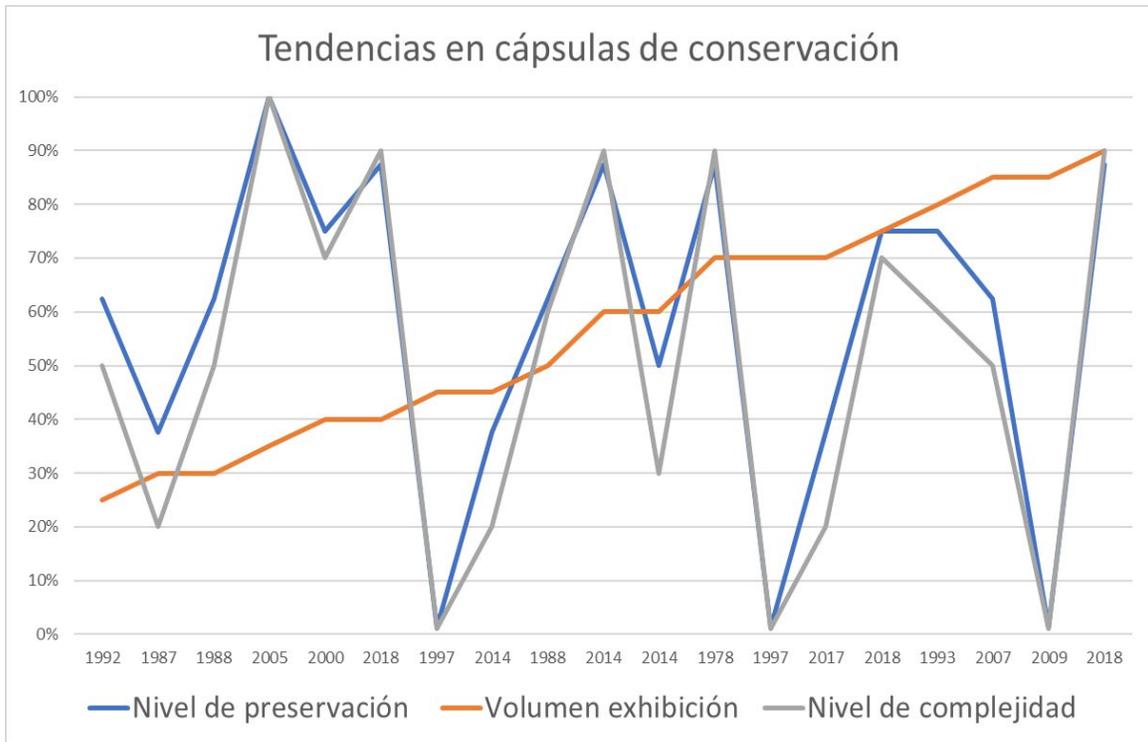


Figura 23 Tendencia en las cápsulas de preservación

En la figura 23 se observa cómo es que se han comportado las cápsulas de preservación a través de los años. Como se había mencionado con anterioridad, no hay una tendencia clara en las cápsulas, pero sí en el comportamiento que existe entre el nivel de preservación y en la complejidad ya que van casi de la mano considerando que para tener mayor nivel de preservación es necesario aumentar la complejidad. En la figura 23 también se observa que el volumen de exhibición se comporta de una manera inversa al nivel de preservación.

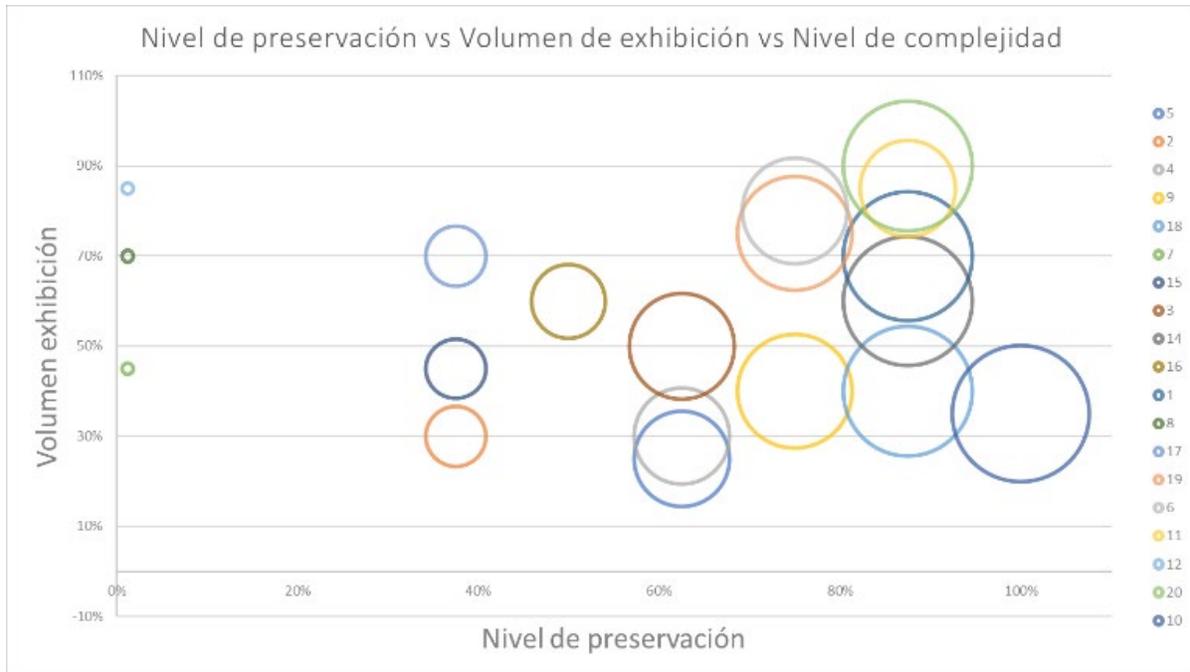


Figura 24 Nivel de preservación vs volumen de exhibición vs nivel de complejidad

Como se observa en la figura 24, para tener un nivel de preservación grande existe una mayor complejidad y la única cápsula que cuenta con un 100% de preservación también tiene un 100% de complejidad y tiene un volumen de exhibición pequeño. También se observa que, a mayor nivel de preservación, el volumen de exhibición es menor y esto concuerda con la figura 15

5.2.6 - Resultados estudio comparativo

En la figura 15 se aprecia que el camino a seguir para el desarrollo de nuevos productos y la tendencia en la que se desarrolla este tema es en aumentar el volumen de exhibición, aunque la complejidad aumenta significativamente si es que se desea tener un nivel de preservación adecuado. En la figura 24, observamos que la tendencia actual está en niveles de preservación entre el 40% y 90% con volúmenes de exhibición entre 20% y 80%. Y que no existe un nivel de preservación alto con un volumen de exhibición grande ya que la complejidad para lograr esto aumentaría demasiado.

Se observa que las cápsulas de conservación son un desarrollo constante que no representan demanda a través de los años, por lo cual es un tema donde hay poca evolución, pero con una gran oportunidad de innovación. No todas las funciones que se presentan existen en todas las cápsulas, pudiera parecer que un sistema complejo tendría que integrar todas las funciones, pero esto no ocurre así, en donde se observa que hay una oportunidad de desarrollo futuro al tener sistemas que integren todas las funciones identificadas, ya que el aumento de las funciones de conservación aumenta la complejidad y por ende es son mejores cápsulas de conservación.

La relación de volúmenes propuesta nos permite ver la tendencia de aumentar el volumen de exhibición, por lo que la combinación de sistemas complejos con grandes volúmenes es otra línea de oportunidad en el desarrollo de estos sistemas.

Se observa que a pesar de que se analizaron un número bajo de patentes fueron suficientes para encontrar una tendencia de evolución de las mismas.

La ponderación ayudo a diferenciar y discriminar los diferentes factores en dos clasificaciones: nivel de preservación y nivel de complejidad en las cápsulas, estos son suficientes para iniciar el proceso de diseño de estos sistemas.

5.3 - Necesidades

Con base en los capítulos de antecedentes y diseño comparativo se pueden obtener las siguientes necesidades para la conservación de documentos históricos:

Humedad Relativa, Temperatura, Intensidad Lumínica.

Cabe destacar que estos parámetros dependen del tipo de documento que se desee conservar y las condiciones del mismo y materiales, estos parámetros son los parámetros generales recomendados.

Y las necesidades en una capsula de conservación son los siguientes.

Hermeticidad, Control de Humedad, Control de Temperatura, Control de intensidad lumínica

Quedando la redacción de las necesidades de la siguiente manera:

- El sistema de monitoreo mide valores de humedad relativa dentro de la cápsula de conservación, y vigila que este en el rango aceptable.
- El sistema de monitoreo mide los valores de temperatura dentro de la cápsula de conservación, y vigila que este en el rango aceptable.
- El sistema de monitoreo permite conocer los valores de sus principales variables de conservación remotamente.
- El sistema de monitoreo permite conocer el estado general de la atmósfera dentro de la cápsula sin requerir supervisión humana.
- El sistema de monitoreo despliega la información de las variables a través del tiempo en gráficas.
- El sistema de monitoreo es inalámbrico.
- El sistema de monitoreo permite flexibilidad en cuanto a sensores, marca y modelo a implementar.
- El sistema de monitoreo almacena la información.
- El sistema de monitoreo tiene una frecuencia de muestreo de 2 segundos.

Capítulo 6. Diseño conceptual y diseño de detalle

6.1 - Elementos de la Industria 4.0

6.1.1 - Aplicación de metodologías de la industria 4.0 a objetos análogos, Mapeo de almacenes

Los organismos reguladores de las buenas prácticas de fabricación (GMP) de Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea, Japón, Australia y China han centrado su atención en las prácticas de almacenamiento y distribución en los almacenes. Esta tendencia obedece a un cambio en el concepto de regulación, que ha pasado de los sistemas de calidad por pruebas

a los sistemas de calidad por diseño, haciendo hincapié en el nivel de riesgo, la calidad del producto y la seguridad del paciente. Otros factores son la mayor demanda de instalaciones de almacenamiento por la globalización de fabricación, el aumento de los productos biofarmacéuticos sensibles a la temperatura y los cambios en la tecnología. [10]



Figura 25 - Pasos a seguir para Mapeo de almacenes

Las autoridades reguladoras de esos países exigen que se realice un «mapeo» de los perfiles de temperatura y humedad relativa de los depósitos de productos de ciencias biológicas sensibles al medio ambiente. En esta guía paso a paso, se describe cómo trazar el mapa de un depósito para cumplir con las GMP reconocidas internacionalmente, que incluyen muchas de las publicadas o revisadas recientemente.

La GMP, recomienda un proceso de nueve puntos para el mapeo exitoso de un almacén o de otro espacio de almacenamiento regulado:

Estos nueve pasos le ayudarán a diseñar y ejecutar un plan de mapeo exitoso. Le asegurarán que no olvide los elementos de validación más importantes, especialmente comprender en dónde la temperatura y la humedad presentan riesgos para la calidad del producto. Siguiendo estos pasos podrá demostrar a cualquier inspector de regulación que su empresa cumple con las GMP.

6.1.1.1 - Paso 1: Crear un plan de validación

El plan de validación, o plan maestro de validación, es el documento usado para especificar las decisiones de la empresa sobre la calificación de cada aspecto de la instalación, el equipamiento y los procesos para mantener un entorno que cumpla con las GMP. El plan debe adoptar un enfoque que esté basado en los riesgos, con una fundamentación basada en datos verificables. El plan debe concentrarse en el lugar en donde se almacenarán los productos y materiales sensibles al medio ambiente y debe considerar si los controles ambientales pueden cumplir los requisitos de almacenamiento especificados.

6.1.1.2 - Paso 2: Identificar las áreas de riesgo

Para trazar un mapa de un almacén o espacio de almacenamiento, primero debe identificar las zonas en las que puede haber riesgo para la calidad del producto debido a fluctuaciones inadmisibles de temperatura y humedad. Muchos factores afectan el control o la variabilidad de su espacio. (Dado que la humedad relativa depende de la temperatura, las variaciones de la temperatura afectarán a la humedad). Al tener en cuenta cada uno de estos factores, podrá identificar los riesgos con mayor facilidad:

- Volumen del espacio. Un almacén grande supone tareas de control diferentes a las de uno pequeño, ya que tiene mayores demandas en el sistema HVAC y la posibilidad de mayores variaciones de temperatura y la humedad en distintas posiciones.
- La capacidad de los difusores o ventiladores para que el aire circule correctamente.
- Los gradientes de temperatura entre el suelo y el aire más caliente cerca del techo.
- Fuentes de energía independientes, como calentadores de ambiente, aires acondicionados y ventiladores, que crean lugares más calientes o fríos.
- Disposición de soportes, estantes y palés, que obstruyen el flujo de aire.
- Ubicación de los sensores de control de HVAC. Por ejemplo, un termostato colocado cerca de una fuente de calor o frío puede causar que la temperatura del ambiente cambie demasiado.
- Ubicaciones cerca de fuentes de calor o frío, como el techo y las paredes exteriores, las ventanas y las zonas de carga.
- Zonas de mucho tráfico por las que se mueven con frecuencia productos o equipos.
- Cambios de temperatura estacionales o fenómenos meteorológicos inusuales.
- Nota regulatoria: Puede cumplir con las GMP mediante una justificación sólida de su enfoque para identificar el riesgo. Cuantas más consideraciones aborde el protocolo, mejor será su fundamentación.

6.1.1.3 - Paso 3: Desarrollar información sobre protocolos

Una vez identificadas las zonas de riesgo, desarrolle un protocolo para el estudio de mapeo que describa lo siguiente, con justificaciones para cada decisión:

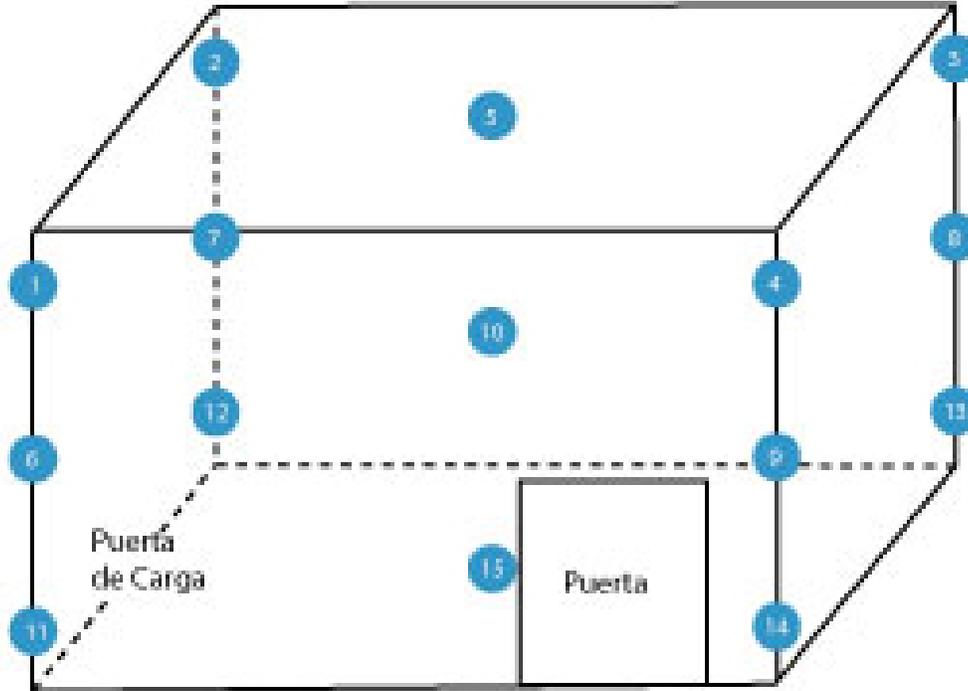


Figura 26 - Distribución equilibrada de 15 sensores es un patrón típico para realizar un mapeo tridimensional de un espacio pequeño

- Tipos de datos que se generarán, por ejemplo, temperatura, humedad relativa e intervalos de medición. Los intervalos de cinco minutos ofrecen más datos para evaluar tendencias y modificar la configuración del depósito (ver paso 8). Cuando esté conforme con que la temperatura y la humedad se mantengan relativamente estables, puede ser conveniente pasar a intervalos de 15 minutos para el mapeo final.
- Cantidad de sensores a utilizar (ver paso 4: Determinar la distribución de los sensores).
- Esquema o diagrama de las ubicaciones de los sensores.
- Duración del estudio. Su fundamentación y protocolo pueden sustentar una serie de pruebas, cada una con una duración de dos días durante operaciones normales y en un fin de semana. Un protocolo diferente e igualmente justificable podría especificar una sola ejecución durante un período de dos semanas para dar cuenta de diversas actividades, tales como la apertura de las puertas de la zona de carga, en el almacén.



Figura 27 - Sensores colocados en el centro de los soportes, reflejan con mayor precisión las temperaturas de los productos. En este ejemplo, nueve sensores están ubicados en cada soporte doble de este almacén, midiendo 30 metros por 30 metros por 15 metros

Requisitos de calibración de los registradores de datos.

Rango de variación aceptable en tiempo y espacio, que dependerá del producto almacenado.

Límites admisibles para las variaciones de temperatura o humedad relativa.

Requisitos de la presentación de informes.

Nota regulatoria: Una vez que desarrolle un protocolo, debe seguirlo de forma consistente. Si el protocolo cambia, documente los motivos.

La ubicación de los registradores de rutina dependerá de aquellos puntos donde la temperatura y humedad presentaron valores máximos o mínimos, con respecto a los valores promedios.

Para espacios cuyo volumen sean $< 20 \text{ m}^3$ se recomienda 9 dataloggers a utilizar para el mapeo 9, que se colocarán tomando en cuenta:

El techo, paredes y piso, desde el centro del cubo (datalogger central) según la siguiente configuración

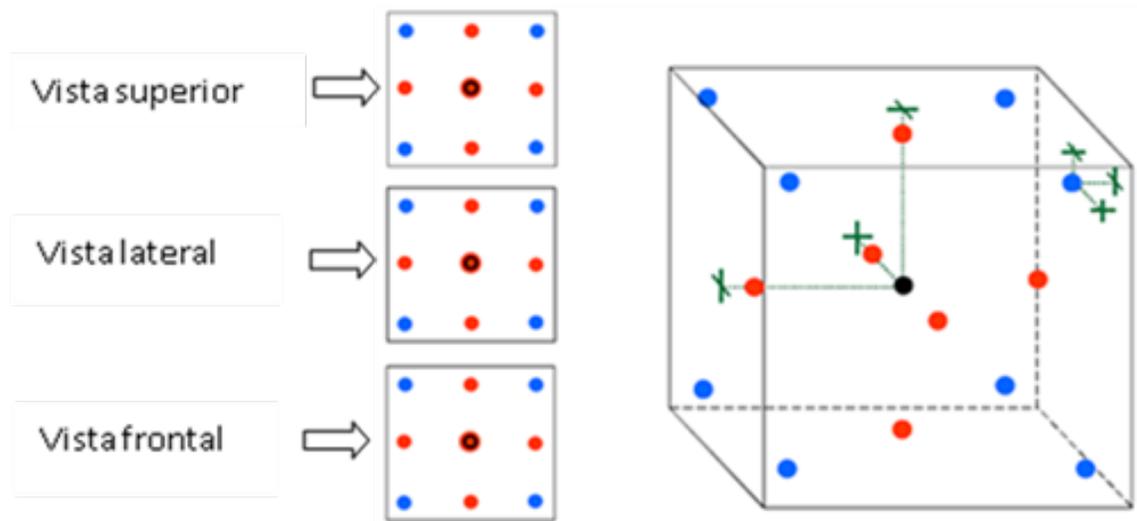


Figura 28 - Distribución de sensores y criticidad de los mismos

6.1.1.4 - Paso 4: Determinar la distribución de los sensores

¿Cuántos sensores necesitará para trazar un mapa de un determinado espacio? ¿Dónde los colocará? No hay respuestas simples. Para evaluar la uniformidad de la temperatura, la distribución de los sensores debe ser correcta. Una buena práctica consiste en usar un número suficiente de sensores para comprender el entorno, especialmente las zonas en donde el riesgo es mayor.

Tendrá que colocar los sensores en un patrón uniforme en las tres dimensiones del espacio: de arriba a abajo, de izquierda a derecha y del frente hacia atrás. Agregue sensores adicionales en los lugares en los que sospeche que hay zonas frías o cálidas, y también cerca de los sensores de control y monitoreo. La colocación de los sensores de temperatura y humedad relativa es una consecuencia de los riesgos identificados en el paso 2.

Una cámara walk-in de grandes dimensiones o un almacén pequeño se suele mapear en tres dimensiones con 15 sensores (Ver Figura 26). El protocolo debe incluir directrices para la distancia entre los sensores, por ejemplo, no más de seis metros.

Al trazar el mapa de un gran almacén, se colocan los sensores a una distancia de hasta 30 metros, con sensores adicionales en las zonas vulnerables afectadas por:

- Calor o frío de las paredes externas, calentamiento solar, ventanas, iluminación
- La circulación del aire o las corrientes de aire provenientes de las entradas, el tráfico, o el sistema HVAC
- Temperaturas extremas en zonas mal aisladas
- Efectos localizados de los calentadores de ambiente y acondicionadores de aire

Se tiene que anticipar el flujo de aire y los gradientes de temperatura pueden variar en función de si los estantes están vacíos o llenos de productos. Los soportes más altos estarán

sujetos a mayores gradientes de temperatura, y esto necesitará más sensores de arriba a abajo.

Se puede montar sensores en áreas abiertas (por ejemplo, fuera de los soportes o corredores), en donde sea conveniente instalarlos. Sin embargo, la conveniencia no debe prevalecer sobre la eficacia. Los sensores deben medir las condiciones a las que se exponen los productos.

Si no se tiene un número adecuado de sensores para trazar un mapa del almacén completo en un estudio, puede realizar éste por secciones. El trazado de mapas por secciones lleva más tiempo, y puede ser conveniente ampliar el tiempo de mapeo de cada sección para compensar la incertidumbre de trazar el mapa del espacio por secciones. Para decidir, calcule los ahorros en equipamiento a partir de un enfoque de mapeo seccional contra el tiempo adicional necesario para completar el proyecto.

Si la humedad relativa alta o baja puede influir negativamente en la calidad del producto, entonces debe trazar un mapa de la humedad relativa y la temperatura. Hay dos enfoques para determinar el número y la ubicación de los sensores de humedad relativa.

6.1.1.4.1 - Determinación de la densidad del sensor de humedad

El primer enfoque consiste en utilizar comparativamente algunos sensores de humedad distribuidos por el depósito (tan solo uno por cada seis sensores de temperatura). En este caso, usted dependerá de la uniformidad de la temperatura para que la humedad también esté dentro de los límites. Este enfoque deberá estar fundamentado en un historial de mapeo de la temperatura en diferentes estaciones con resultados consistentes. Con este historial, un especialista que comprenda la medición de la humedad puede argumentar eficazmente ante un auditor o inspector que las mediciones de la humedad no son necesarias en todos los puntos de datos. Si decide adoptar esta estrategia y reducir el número de sensores de humedad, es fundamental colocar los pocos sensores de humedad que utiliza en áreas con mala circulación de aire, entre ventiladores de HVAC o difusores, y donde la temperatura sea más variable.

6.1.1.4.2 - Consideraciones sobre la humedad

En comparación con los sensores de temperatura, los sensores de humedad relativa son mucho más propensos a perder la precisión o a «desviarse» con el tiempo. La desviación puede deberse a un mal diseño, una mala calibración o a la contaminación por saturación de vapor de agua o vapores químicos. Una única lectura equivocada en el momento de la recalibración llamará la atención sobre su decisión de usar menos sensores de humedad. Comenzar con menos sensores de humedad crea el riesgo de no conformidad, porque si uno falla o está fuera de las especificaciones, ese único sensor representará un alto porcentaje en sus mediciones de humedad total. Si se interpola la humedad relativa a partir de los datos de temperatura, será necesario que un empleado de la empresa con este conocimiento especializado se reúna con el auditor o inspector. Lo ideal es que su empresa reduzca al mínimo el número de contactos necesarios durante una inspección como forma de agilizar el proceso y minimizar la posibilidad de que se produzcan errores.

Si le preocupa la humedad relativa, una estrategia de mapeo más justificable es rastrear la temperatura y la humedad en todas las ubicaciones con registradores de datos que registren ambas mediciones. Es importante utilizar registradores de datos de alta calidad estables y que sean calibrados con regularidad.

El realizar el mapeo con sensores de temperatura y humedad relativa integrados ofrece varias ventajas con respecto a la deducción de la humedad de la temperatura. Un mapeo de temperatura y humedad en todas las ubicaciones de los sensores proporciona un mapa más específico de todo el espacio de almacenamiento para que los inspectores y auditores lo comprendan fácilmente, sin necesidad de una explicación detallada. Y las desviaciones de la humedad relativa serán más fáciles de identificar con más puntos de datos de humedad.

6.1.1.5 - Paso 5: Seleccionar la tecnología adecuada

Utilice equipos diseñados para el mapeo. El software que acompaña a los sensores se utiliza para configurar el equipo y descargar datos. El software debe producir informes en forma de tablas y gráficos que cumplan todos los requisitos de la FDA Título 21 CFR Parte 11 y de normas internacionales comparables, como el Anexo 11 de la Comisión Europea, y aquellos contenidos en el volumen 4 de las Directrices de la UE sobre las buenas prácticas de fabricación (GMP).

Al elegir los registradores de datos, busque las siguientes características:

Fuentes de error mínimas, es decir, baja incertidumbre en la medición.

Alta precisión en el rango de medición. Los registradores de datos de Vaisala DL2000, por ejemplo, tienen una precisión de $\pm 0,1$ °C en un rango de +20 °C a +30 °C, con una precisión de humedad de ± 1 %RH en un rango de 10 a 80 %RH.

Sensibilidad a pequeños cambios de temperatura (alta resolución). Cuanto más rápida sea la respuesta, más fielmente se puede vincular el punto de datos con el tiempo de la medición.

Estabilidad a largo plazo, particularmente para los sensores de humedad relativa. Los equipos de baja calidad deben ser calibrados antes y después de cada estudio.

Calibración trazable realizada dentro del rango de medición y con un equipo que usa una cadena ininterrumpida de comparaciones en un estándar reconocido internacionalmente, como el del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST).

Registros de calibración claros, completos y accesibles.

Nota regulatoria: Las GMP necesitan procedimientos escritos para calibrar, inspeccionar y verificar el equipamiento automatizado, mecánico y electrónico (21 CFR 211.68). Como las mejores prácticas para la calibración se reconocen estándares internacionales como ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.

6.1.1.6 - Paso 6: Configurar el equipamiento de mapeo

Una vez que se han identificado las áreas de riesgo y establecido la distribución de los sensores, es el momento de instalar el equipo de mapeo y de realizar una prueba del espacio de almacenamiento. El propósito de esta prueba inicial es determinar en dónde las condiciones varían y en dónde la temperatura y la humedad son uniformes y adecuadas para almacenar el producto.

6.1.1.7 - Paso 7: Realizar una prueba y analizar los datos

Deberá establecer la información del informe que usará para evaluar la prueba. Una vez completada la prueba, el software leerá los archivos seguros de los registradores de datos, mostrará los datos registrados, realizará cálculos y graficará los resultados seleccionados para un informe de estudio de mapeo. Por lo general, el documento de la prueba mostrará la información de la Figura 23:

- Datos sin procesar con horas y fechas.
- Valores calculados como la temperatura mínima, máxima y promedio.
- Un gráfico de todos los sensores durante el período de prueba.
- Ajustes del instrumento.
- Información de calibración.
- Fecha y hora de la prueba.
- Espacio para firmas de revisión y aprobación en informes impresos.

Se puede compilar los datos de tendencia de cada sensor en un solo gráfico para proporcionar una visión general. Las líneas predeterminadas, como los límites mínimo y máximo aceptables, pueden ser útiles para el análisis.

Una representación gráfica puede ayudar a identificar las ubicaciones de alto riesgo, especialmente en aquellos lugares donde se pueden producir problemas de forma esporádica. Por ejemplo, un pico de temperatura puede estar relacionado con el momento en el que las puertas de carga estaban abiertas.

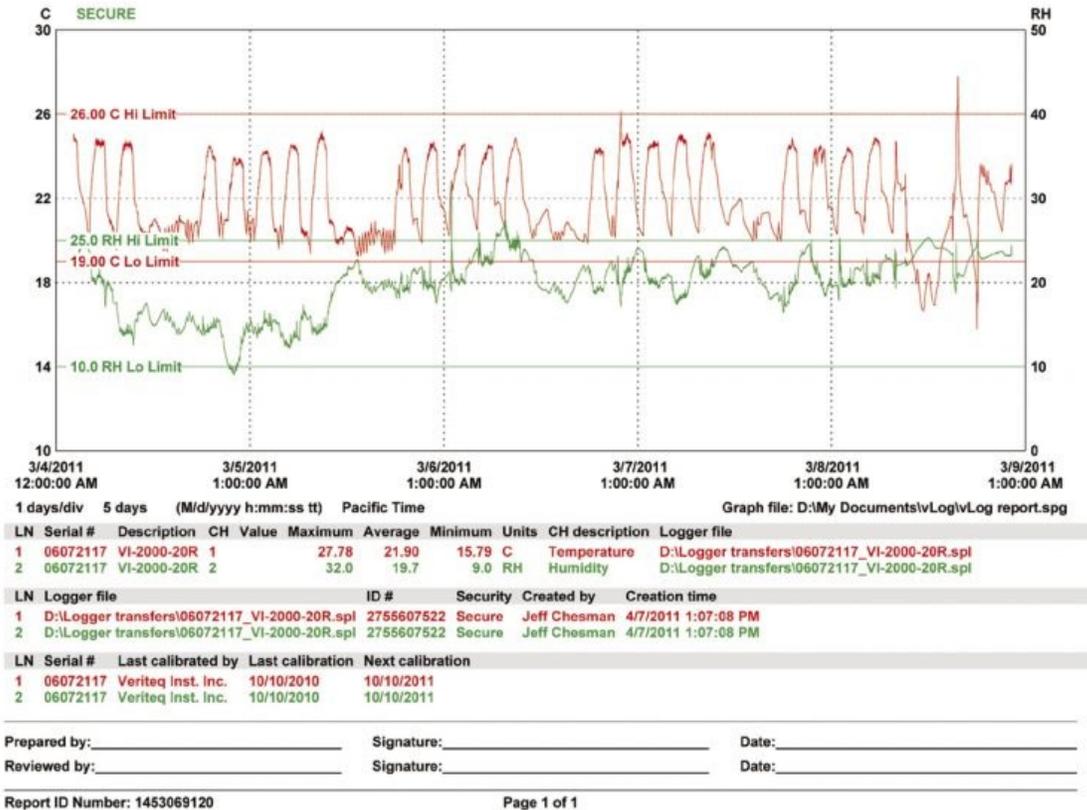


Figura 29 - El informe de mapeo puede mostrar límites altos y bajos para visualizar rápidamente los umbrales

Esa variación podría indicar un riesgo provocado por actividades habituales en el lugar de trabajo o sugerir la necesidad de una zona de contención.

Nota regulatoria: Es mejor presentar un gráfico de resumen con una conclusión clara que un informe demasiado detallado que podría dar lugar a preguntas adicionales.

6.1.1.8 - Paso 8: Realizar modificaciones

Use los resultados de la prueba inicial para identificar aquellos sitios donde el producto puede estar expuesto a condiciones inadmisibles. A continuación, haga ajustes, por ejemplo, en los soportes de almacenamiento o en el sistema de HVAC, para corregir esta variación. O simplemente decida en qué lugares no se almacenarán los productos. Por ejemplo, muchos depósitos tienen un nivel de entresuelo designado como fuera de los límites para las materias primas o los productos terminados, porque allí los controles de HVAC no son eficaces. Denomine y describa estos lugares y modifique el plan de validación.

Además, modifique su protocolo de validación a la luz de los resultados de su prueba de mapeo inicial.

Nota regulatoria: Las modificaciones de un depósito recién puesto en funcionamiento no necesitan aparecer en el registro de inspección. Pero una vez que su empresa aprueba un plan maestro de validación, éste debe documentar todos los cambios posteriores.

6.1.1.9 - Paso 9: Documentar y programar el estudio de mapeo

Una vez que se haya ajustado la variabilidad ambiental en el almacén, es el momento de realizar y documentar un estudio de mapeo para su aprobación.

6.2 - Propuesta de concepto

Concepto del producto

Sistema de monitoreo remoto de humedad y temperatura, el cual consta del uso de sensores distribuidos dentro de la cápsula según el sensado de almacenes, y en el cual, se aplica tecnologías de la industrial 4.0 como el internet de las cosas a través de la plataforma ThingsBorad que permite desplegar, consultar, y almacenar información del estado de la atmósfera dentro de la cápsula de conservación en tiempo real.

6.3 - Lista de especificaciones

Las especificaciones del proyecto se han comenzado a definir desde la investigación de antecedentes para este trabajo, y complementaron con el estudio de diseño comparativo aplicado. En esta sección se definirán con métricas y unidades.

Tabla 7 - Especificaciones del proyecto

No	Métrica	Intervalos	Unidades
1	Resolución de sensado de humedad relativa	1 - 2	%
2	Resolución de sensado de temperatura	0.1 - 0.4	°C
3	Resolución de sensado de intensidad luminica	1 - 5	Lux
4	Rango de medida sensor humedad relativa	20 - 100	%
5	Rango de medida sensor temperatura	10 - 100	°C
6	Rango de medida intensidad luminica	20 - 100	Lux

6.4 - Plataforma de Monitoreo Propuesta

Una plataforma de monitoreo que ayuda a la supervisión, control y adquisición de datos no es una tecnología concreta, si no un tipo de aplicación. Cualquier aplicación que obtenga datos operativos acerca de un sistema con el fin de controlar y optimizar ese sistema es una aplicación SCADA. La automatización con estos tipos de aplicaciones se sencillamente un medio para llegar a un fin y no un fin por sí mismo. La limitante de los sistemas es que suelen ser de forma local y con marcas específicas de sensores ya que forman parte de un sistema cerrado. La ventaja de utilizar una aplicación SCADA es el poder de decisión que otorga sobre los elementos o el sistema que se este monitoreando.

Para la realización de este proyecto se decidió utilizar la plataforma de código abierto llamada “ThingsBoard”, este es un sistema SCADA orientado a la industria 4.0



ThingsBoard es una plataforma de IoT de código abierto para la recopilación, el procesamiento, la visualización y la gestión de dispositivos de datos. Permite la conectividad de dispositivos a través de protocolos de IoT estándar de la industria: MQTT, CoAP y HTTP, y admite implementaciones tanto en la nube como en las instalaciones On premise. ThingsBoard combina escalabilidad, tolerancia a fallas y rendimiento para que nunca pierda sus datos.

La plataforma ThigsBoard permite la recopilación, visualización de datos, y almacenamiento de datos de telemetría de manera escalable y tolerante a fallas. Capaz de visualizar los datos con widgets integrados o personalizados y paneles de control flexibles

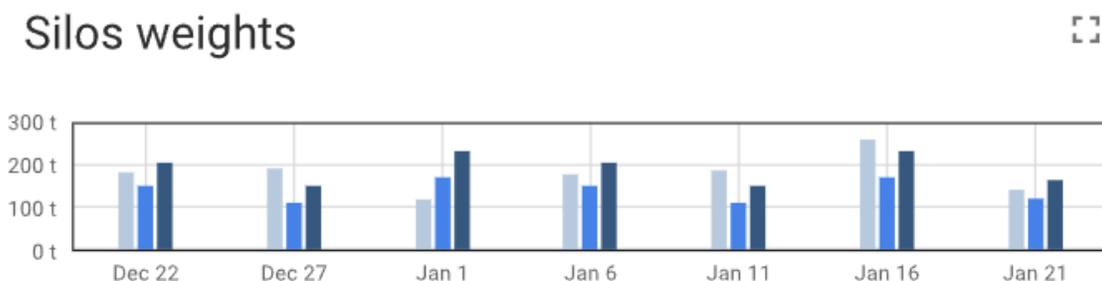


Figura 30 - Ejemplo de widgets de barras

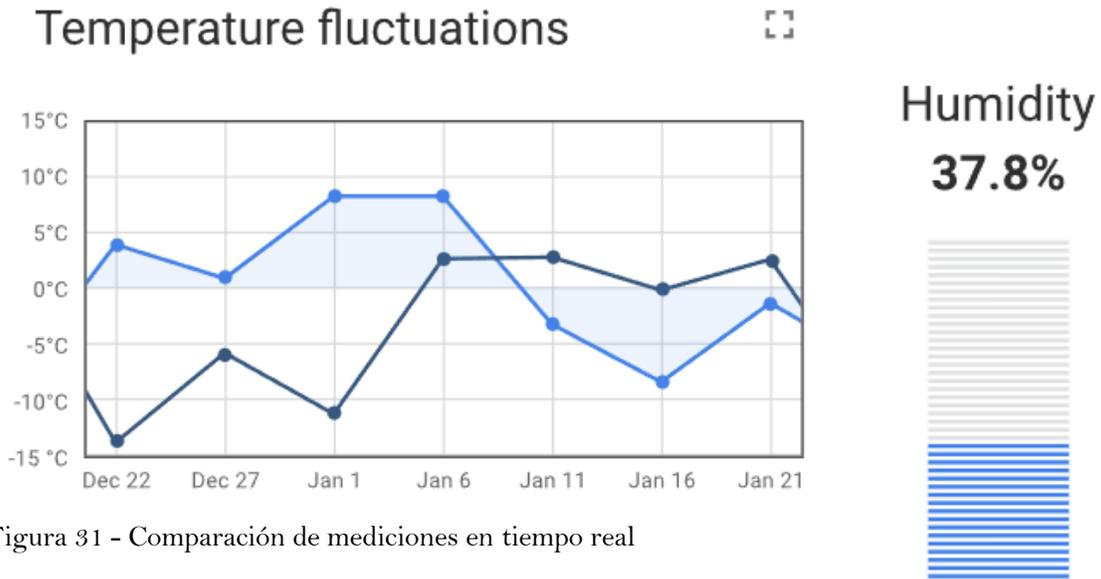


Figura 31 - Comparación de mediciones en tiempo real

La plataforma incluye un módulo para procesar y reaccionar a los eventos, definiendo cadena de reglas de procesamiento de datos, transforma y normaliza los datos por dispositivo y genera alarmas sobre eventos de telemetría entrantes, actualizaciones de atributos, inactividades del dispositivo y acciones del usuario.

También incluye paneles de IoT en tiempo real, como complementos para la visualización de datos y el control remoto de dispositivos en tiempo real, permitiendo crear una cadena de reglas complejas para procesar datos de dispositivos y hacer coincidir los casos de uso específicos de la aplicación a realizar.

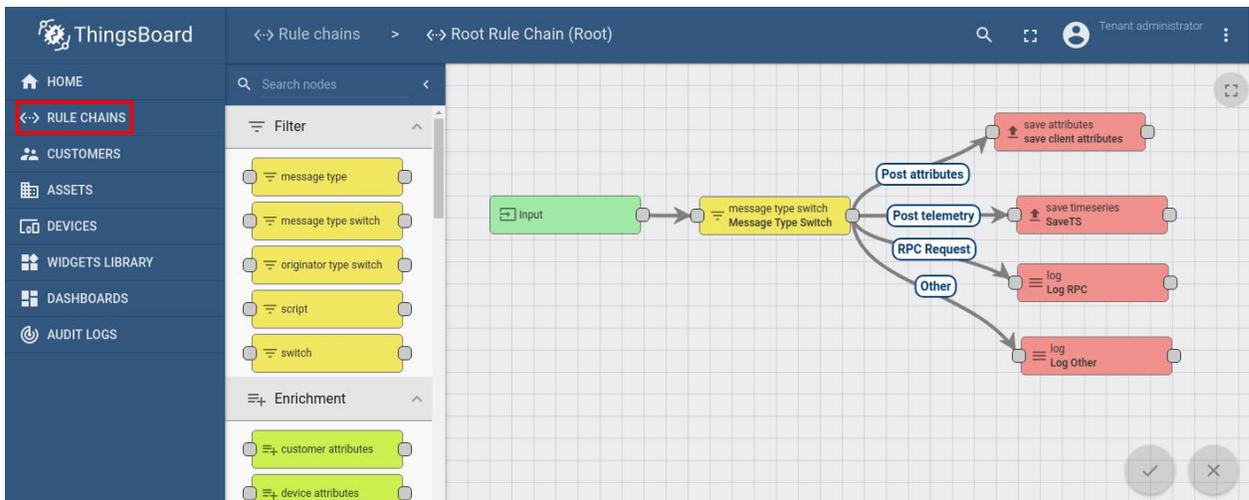


Figura 32 - Ejemplo de implementación de reglas

Gestión de alarmas, brindando capacidad para crear y administrar alarmas relacionadas a las identidades, dispositivos o activos. Permite el monitoreo de alarmas en tiempo real y la programación de alarmas a la jerarquía de entidades relacionadas, incluso en caso de desconexión del dispositivo o eventos de inactividad.

ThingsBoard tiene la licencia Apache License 2.0, por lo que puede ser usado en productos comerciales y no comerciales de forma gratuita y ser una solución SaaS o Paas, 100% en código abierto (En su versión community)

6.4.1 - Implementación de la plataforma ThingsBoard

Para ejecutar la plataforma ThingsBoard y PostgreSQL (Base de datos open source) en una máquina, se necesitará al menos 2 GB de Ram.

El primer paso es instalar Java 11, ya que el servicio de Things Board se ejecuta en este, por eso es necesario instalarla OpenJDK 11. Este trabajo utilizará la versión community de la plataforma ThingsBoard lo que la instalación del servicio se realizará desde un repositorio donde se encuentra esta versión del programa. Este se descargará desde la siguiente dirección

<https://github.com/thingsboard/thingsboard/releases/download/v3.3.2/thingsboard-windows-3.3.2.zip>

Una vez descargado el paquete y alojado en la raíz del disco C, se procederá a instalar PostgreSQL 11.7 o versiones más recientes. Durante la instalación se pidió la contraseña de super usuario, esta es de suma importancia ya que se utiliza durante la configuración de la plataforma.

Una vez instalado Postgres se crea una base de datos llamada “Thingsboard” con el propietario “Postgres” es en esta base donde se alojarán todos los datos de los sensores que registre la plataforma. Y ya que la base de datos está alojada en la misma máquina donde se ejecuta el servicio de ThingsBoard no es necesario configurar el envío de datos de la plataforma a la base. Por último, se ejecutará el script de instalación desde el Shell de Windows como administrador, ejecutando el script install.bat (Archivo que se encuentra en la carpeta descargada del repositorio) para instalar ThingsBoard como un servicio de Windows. Para comenzar el servicio de ThingsBoard, se tiene que abrir el Shell de Windows y ejecutar el siguiente comando.

net start thingsboard

Una vez iniciado, se puede abrir la interfaz de usuario web mediante la dirección

<http://localhost:8080>

El usuario por defecto en el sistema es

SU: sysadmin@thingsboard.org/sysadmin

Por último y para que la plataforma pueda recibir datos de los sensores, se tiene que crear una regla en el firewall de Windows y del antivirus donde permita la comunicación por el protocolo TCP de los puertos 8080, 1883, 5683.

6.2.2 - Implementación de la plataforma ThingsBoard en las cápsulas prototipo del CDMIT

Con base en el mapeo de almacenes se propuso una configuración de 4 sensores, para poder adquirir los puntos críticos de medición. Estos entregan los valores de humedad y temperatura distribuidos en las esquinas de la parte inferior de la cápsula prototipo, como se muestra en la figura 33.

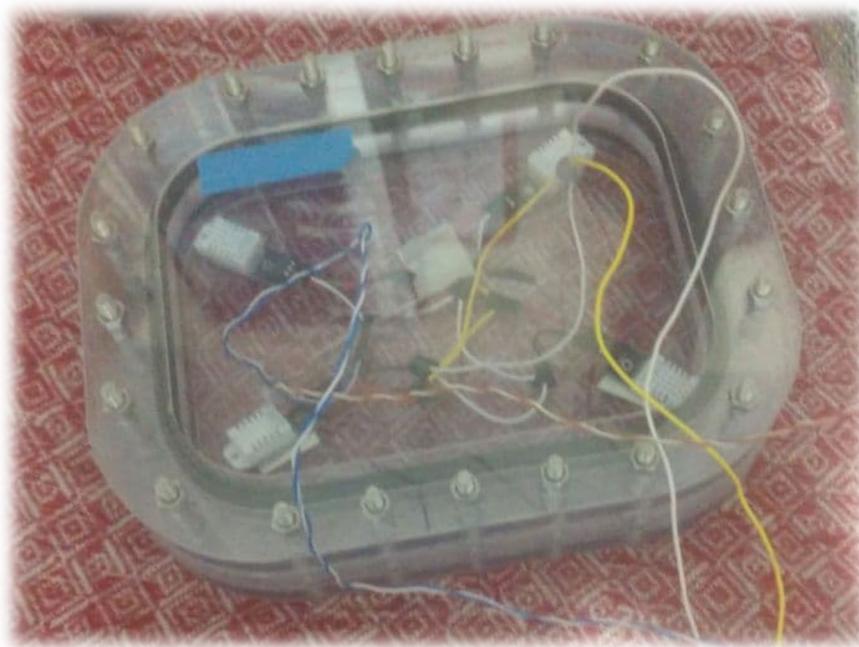


Figura 33 - Cápsula de prueba con la implementación de sensores

La adquisición de los datos se realizó por medio de un microcontrolador NODE MCU ya que tiene integrado un chip de Wi-fi para el envío de la información a la plataforma.

La figura 33, muestra el primer prototipo de cápsula con los sensores de humedad distribuidos como en el mapeo de almacenes pequeños. En la parte inferior de la fotografía se observa la placa Node MCU y la alimentación por medio de una fuente de poder.

Se pudo observar que el cableado no era el correspondiente para la implementación en una cápsula debido a que estos podrían afectar la atmosfera por el desorden que presentaba por lo que se realizó el cableado y configuración nuevamente, como se muestra en la figura 34.

En esta segunda iteración de cableado se utilizó un mismo cable en configuración de Daisy-Chain en la conexión de los sensores, otorgando una mayor limpieza en el cableado y presentación en la cápsula, quedando los cables levantados debido al cable implementado, pero se implementó masking para mantenerlos en posición y sin movimientos.

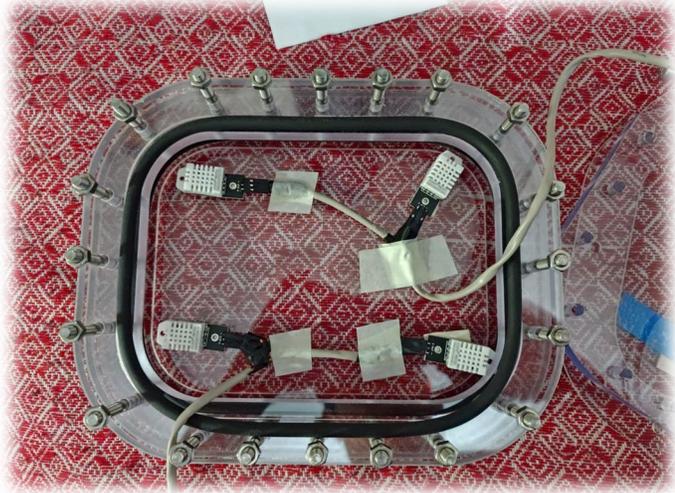


Figura 34 - Segunda iteración de cableado de los sensores



Figura 35 - Microcontrolador Implementado

Para la implementación de la prueba con ayuda de la plataforma se colocó la cápsula en el mismo lugar donde se estaban realizando las distintas pruebas de caracterización, así mismo se colocó el microcontrolador a un lado y se configuro la plataforma para leer temperatura y humedad de los sensores cada 2 segundos, implementando distintos análisis dentro de la plataforma. Quedando de la siguiente manera.

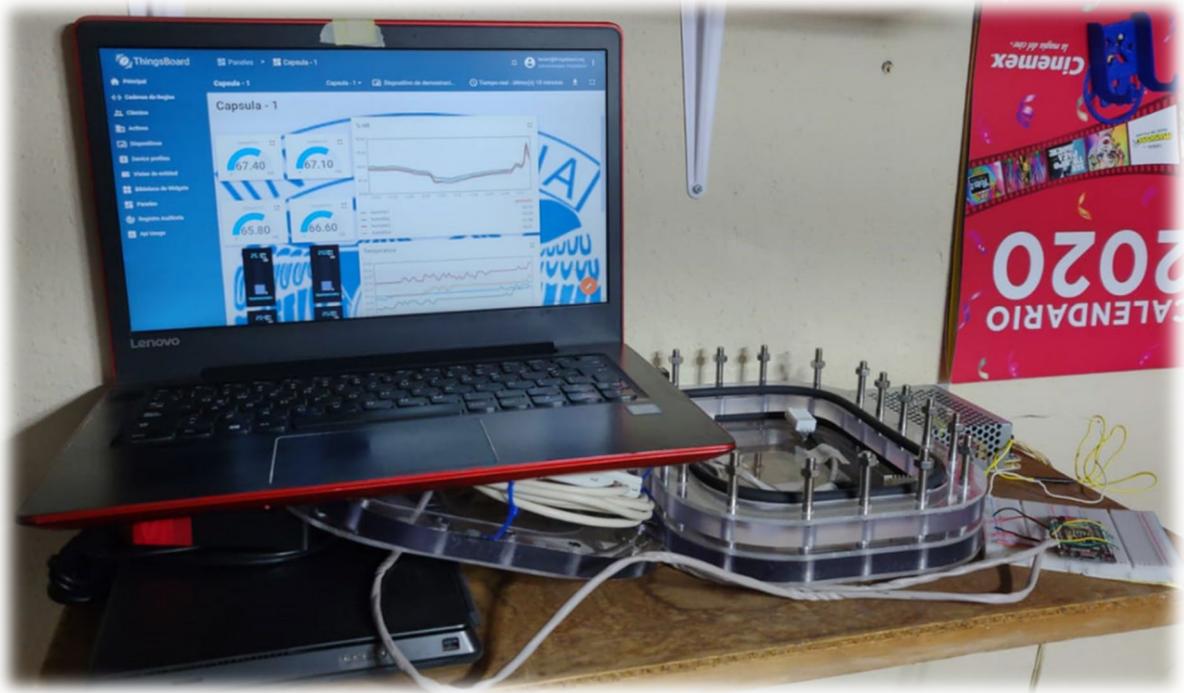


Figura 36 - Implementación de las pruebas de monitoreo

Resultados de la caracterización por medio de la plataforma.

Antes de comenzar con la caracterización de la cápsula por medio de la plataforma, se calibraron los sensores aplicados en esta por medio de un sensor de referencia HOBO, para disminuir la posibilidad de error.

En la siguiente imagen se muestran los datos de la cápsula al momento de cerrarla, observando en los cuadros de la izquierda la humedad en tiempo real de los sensores y en la gráfica de la derecha la tendencia de los sensores ya en tiempo real.



Figura 37 - Muestra de humedad en la plataforma de monitoreo

A continuación, se muestra en el panel de la izquierda la lectura de la temperatura en tiempo real de los sensores al cierre de la cápsula y en el gráfico de la derecha los valores en tiempo real de la temperatura.

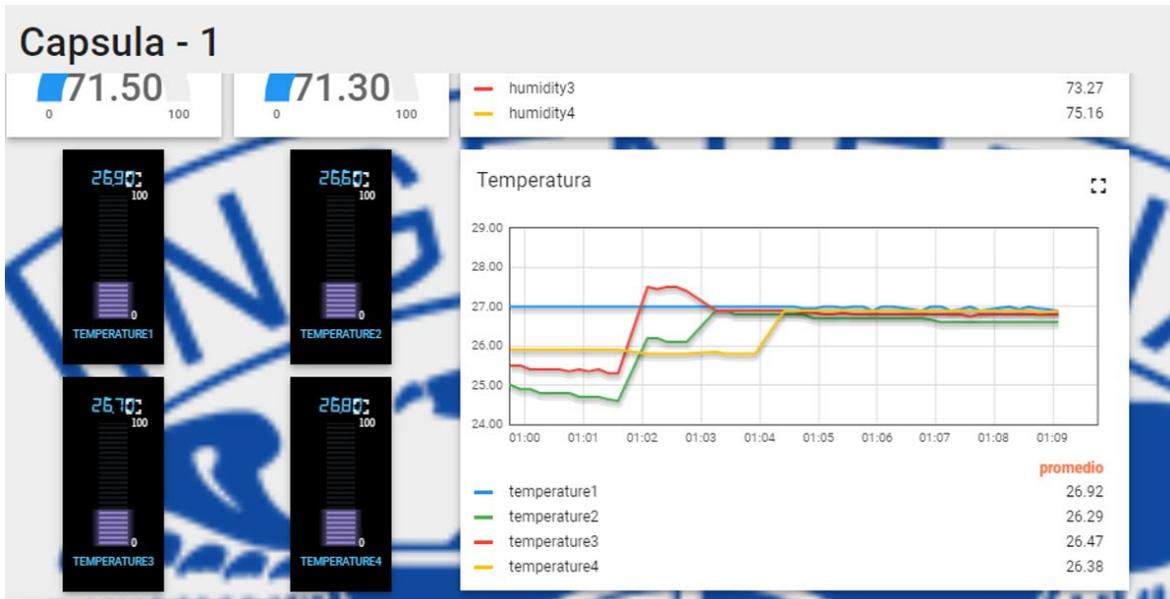


Figura 38 - Datos de temperatura en la plataforma de monitoreo

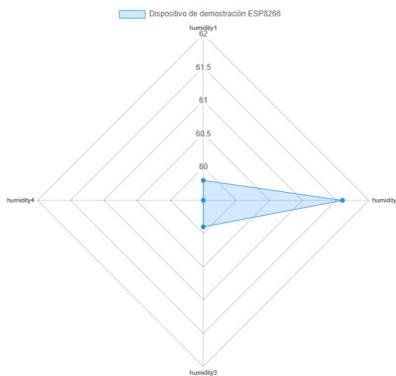


Figura 39 - Diagrama de radar implementado en la plataforma

Por último, se implementó un gráfico de radar para ver cuál es el sensor que estaba más alejado del resto el cual nos indicaría el punto al cual deberíamos enfocar los esfuerzos por estabilizar siguiendo la metodología de caracterización de almacenes.

La caracterización de la cápsula se realizó durante 2 meses, sin ningún objeto en su interior y sin métodos de estabilización de humedad o temperatura, dando las siguientes graficas de resultado.

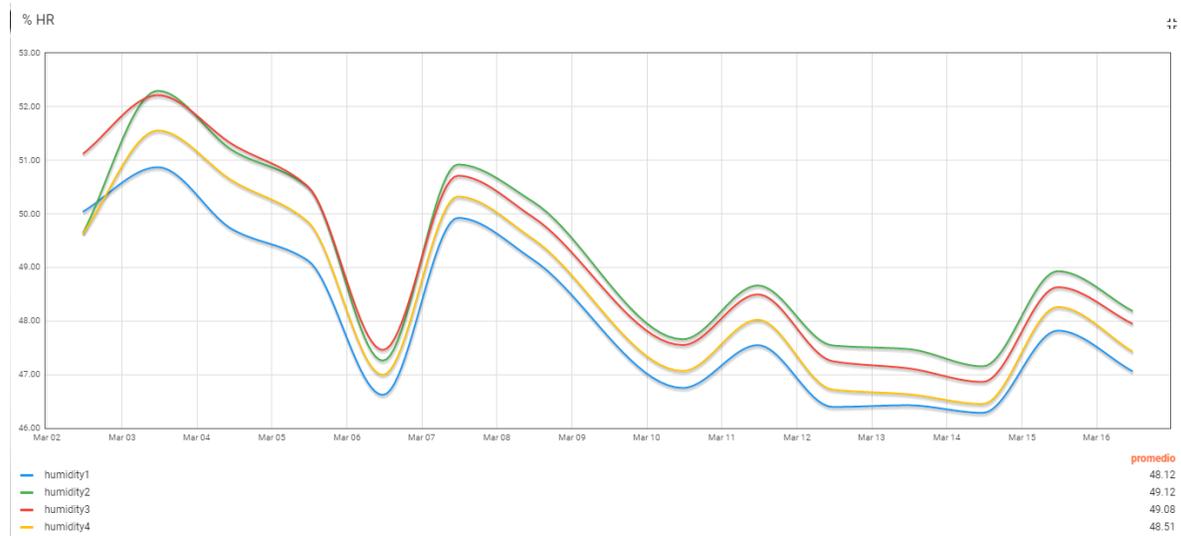


Figura 40 - Resultados de caracterización de humedad

Temperatura en el mismo periodo de tiempo

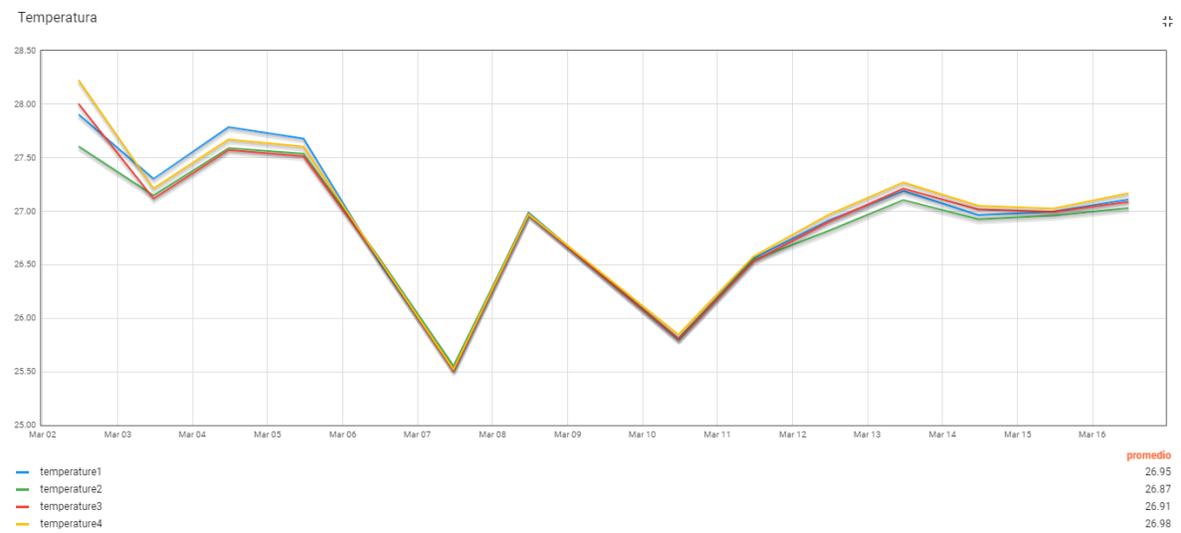


Figura 41 - Resultados de caracterización de temperatura

Segundo periodo de tiempo analizado, humedad

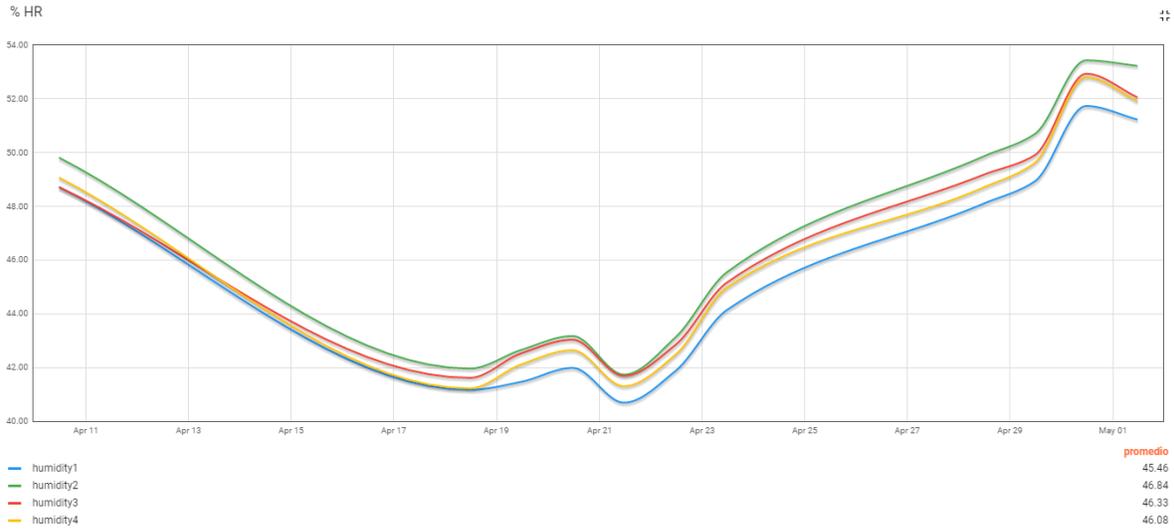


Figura 42 - Segunda caracterización de temperatura en la cápsula

Temperatura en el mismo rango de tiempo

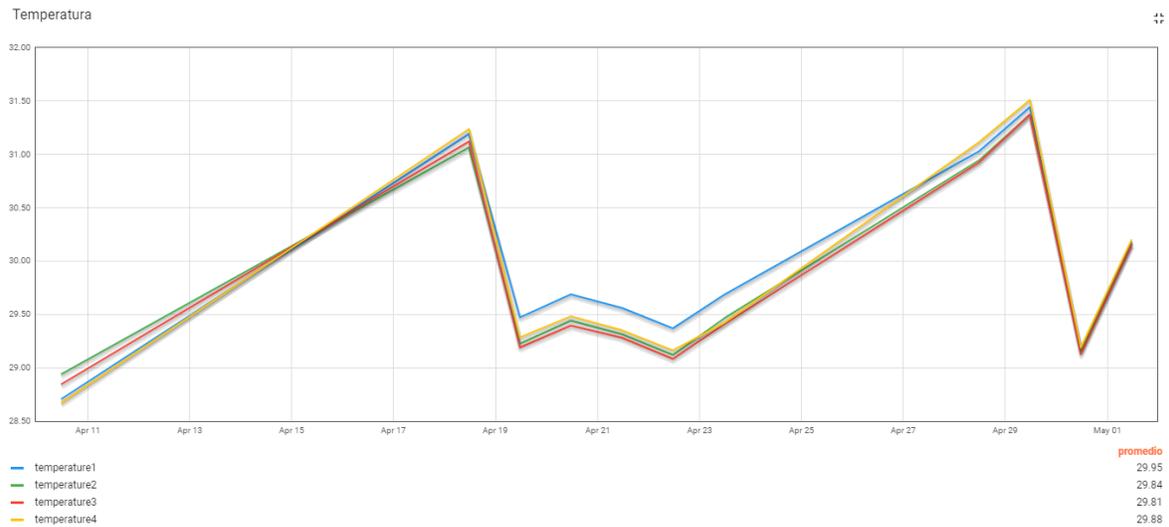


Figura 43 - Segunda caracterización de temperatura en las cápsulas

Como se observa en las gráficas anteriores existe una variación en la humedad promedio de 1% HR y de 0.8°C entre los valores máximos y mínimos de los sensores y si observamos la tendencia en las gráficas, esta no pasa de los valores dichos antes y hay puntos en donde converge en el mismo dato. Por medio del diagrama de radar, se observó que donde se encontraba el sensor 2 era un punto de riesgo, ya que el valor de este sensor era mayor a los demás. En la segunda prueba se cambió el sensor, pero arrojó la misma tendencia, por lo que podría indicar un problema con el sello de la cápsula en ese punto, aunque no es considerable ya que la desviación es poca con respecto a los otros puntos.

La ventaja al utilizar la plataforma ThingsBoard es que el análisis se puede realizar de forma sencilla ya que cuenta con un menú de análisis histórico o tiempo real, donde se puede seleccionar el rango de tiempo de la información a analizar, así como rangos de tiempo en hora y minutos.

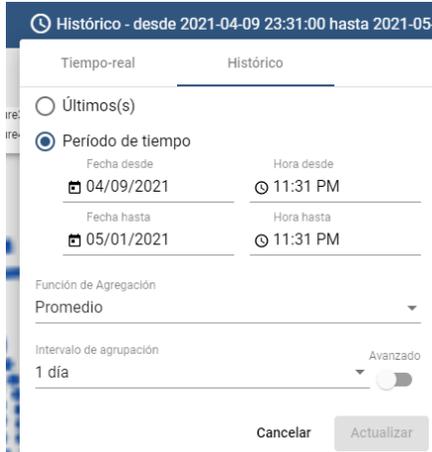


Figura 44 - Pantalla de configuración de históricos

También es posible configurar alarmas a los valores y realizar acciones mandando señales al microprocesador, ya sean automáticas o que sean detonadas por una alarma o una serie de reglas predefinidas. Asegurando las condiciones que se establezcan como rango aceptable.



Figura 45 - Configuración de alarmas

Conclusión de implementación de plataforma ThingBoard

Como se observa en la implementación de la plataforma IoT y siguiendo la metodología de mapeo de temperatura y humedad en almacenes se observa un gradiente entre la temperatura y humedad de los sensores colocados en su interior, por lo cual se podría considerar que la atmósfera no es homogénea. Si consideramos que la cápsula de prueba es pequeña y existe una diferencia en los puntos críticos, se recomendaría hacer el mapeo en cápsulas de mayor tamaño o que existiera una circulación de atmósfera para asegurar que ésta sea lo más homogénea posible.

6.5 - Elementos del sistema

Estos elementos son los que se utilizaron en las pruebas del capítulo 6.4, estos cumplen con las especificaciones obtenidas en la propuesta de concepto.

Sensor de humedad - DHT22

Sensor DHT22 AM2302 permite obtener lecturas de temperatura y humedad relativa, es un sensor de bajo costo y excelente rendimiento. El cual está integrado por un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, el cual muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

Especificaciones y características

Modelo: DHT22 AM2302

Voltaje de funcionamiento: 3.3 V a 5.5 V

Consumo de corriente: 2.5 mA

Dimensiones: 20 mm x 15 mm x 8 mm

Señal de salida: Digital

Interfaz digital: Standard digital single-bus (bidireccional)

Velocidad de muestreo: 2 segundos

Resolución: 16 bits

Rango de medición Temperatura: -40°C a 125°C

Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Resolución de Temperatura: 0.1°C

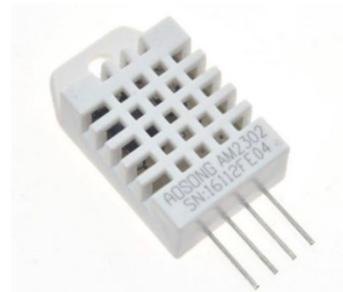
Rango de medición Humedad: 0% hasta 100% RH 0.5°C de variación

Precisión de medición de humedad: 2% RH

Resolución Humedad: 0.1% RH

Distancia máxima de cable de datos: 20 m

Peso: 3g



NodeMCU Cuadrado CP2102

Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC

Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC

SoC: ESP8266 (Módulo ESP-12E)

Voltaje de Alimentación (VIN): 5V a 9V Max.

USB UART CP2102

CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)

Frecuencia de Reloj: 80MHz/160MHz

RAM: 32KB

SRAM: 96KB

Memoria Flash Externa: 4MB

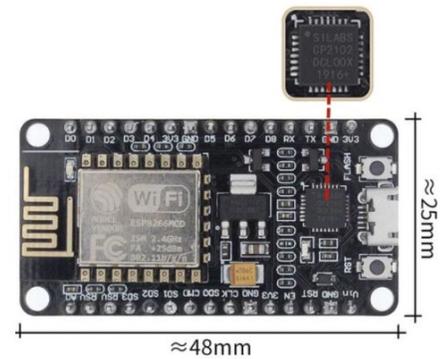
Pin Analógico ADC: 1 (0-1V)

Pines Digitales GPIO: 17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V)

Wi-Fi 2.4 GHz, 802.11 b/g/n

Modos de operación: STA/AP/STA+AP

Mecanismo de seguridad: WPA / WPA2



Fuente conmutada 5V a 40 A

Especificaciones y características

Voltaje de salida: 5V DC

Corriente de salida: 40A

Voltaje de entrada: AC110-220V

Frecuencia: 50/60Hz

Potencia máxima de salida: 200W

Interruptor para seleccionar el voltaje de entrada

Dimensiones: 19.9cm X 9.9cm X 4.3cm (L * W * H)

Protección: cortocircuito / sobrecarga / sobretensión

Temperatura de trabajo: -10 ~ + 50 y el grado; c

Temperatura de almacenamiento: -20 ~ 85 y el grado; c

Humedad ambiente: 20% ~ 95 % sin condensación

Material de Shell: metal / base de aluminio

Conexión en regleta para toma de VCD:

-V: terminal negativa

+V: terminal positiva

ADJ: ajuste del voltaje de salida al ± 0.05 volts

Conexión en regleta para ingresar VCA:

T: terminal a Tierra física del toma corriente

N: terminal Neutra del toma corriente

L: terminal Línea o fase del toma corriente



Capítulo 7. Prototipo

7.1 – Caracterización de Cápsula de Conservación

Debido a que la caracterización de las cápsulas se desea realizar por periodos de tiempo grandes para ver si logran estabilizarse, dicha caracterización se realizó con sensores locales HOBO, los cuales incluyen un datalogger y las cápsulas de prueba del CDMIT

Lo que se desea en las cápsulas, es que exista una atmosfera de preservación para conservar lo que se encuentre en su interior. Por tal motivo se desea verificar el comportamiento de las variables involucradas en la preservación: humedad, temperatura y luminosidad, estas en diferentes situaciones, para establecer los parámetros que afectan las cápsulas por sí mismas.

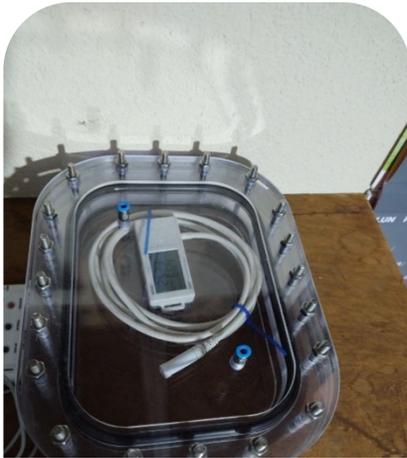


Figura 46 - Prueba 1.2 Cápsula con racores de ventilación forzada abiertos y un punto de sensado

ventilación forzada abiertos

Se realiza el sensado por medio del sensor HOBO onset UX100-023 en un solo punto aproximadamente a la mitad de la cápsula como se muestra a continuación

Prueba 1

Caracterización de las cápsulas sin elementos en su interior, con los siguientes objetivos:

- 1.1. Comparación del comportamiento de la habitación vs la cápsula abierta, esto se realiza para verificar que el encapsulado por sí mismo está estabilizando la atmósfera interna
- 1.2. Comparación del comportamiento en dos puntos distintos de la cápsula completamente sellada.

Prueba 1.1

Caracterización de la cápsula sellada, con los racores de



Figura 47 - Prueba 1.2 -Cápsula sellada con dos puntos de sensado

Prueba 1.2

Caracterización de la cápsula sellada con los racores de ventilación forzada cerrados y dos puntos de muestreo en el sensado.

Se cierra completamente la cápsula y se bloquean los racores, con ayuda de dos sensores HOBO onset MX – 110 se obtienen los datos en los extremos de la misma como se muestra a continuación:

Para establecer un parámetro de referencia se mide las variables que se están midiendo dentro de las cápsulas en la habitación donde se encuentran. Para lograr esto se hace uso del sensor UV Record TR 74-UV, este se coloca lo más cercano a las cápsulas para no afectar las mediciones como se muestra a continuación:



Figura 49 - Caracterización de la habitación



Figura 48 - Ambiente completo de Cápsulas 1.1 y 1.2

Resultados prueba 1

Se mantienen las cápsulas en las condiciones descritas en las pruebas durante 8 días, posterior a esto, se obtiene los datos de los sensores con las siguientes condiciones. Se extraer humedad relativa, temperatura y punto de rocío. En intervalos de una hora. Obteniendo los resultados siguientes.

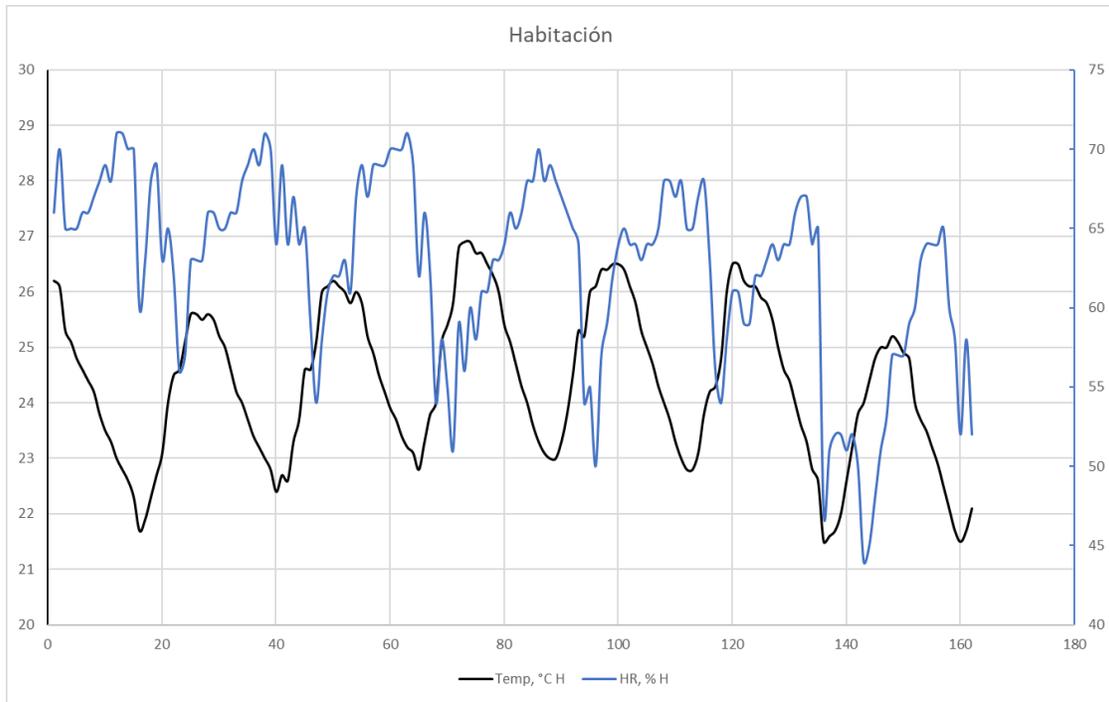


Figura 50 - Gráfica de humedad y temperatura de la habitación de la prueba 1

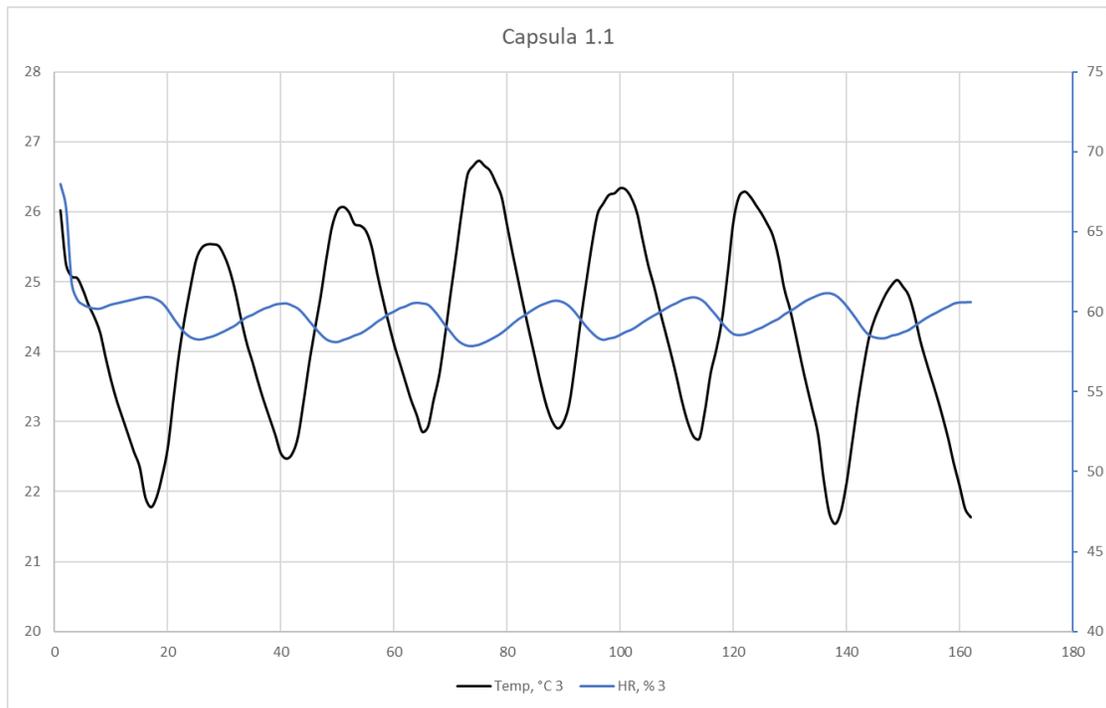


Figura 51 - Resultados de cápsula 1.1 de humedad y temperatura

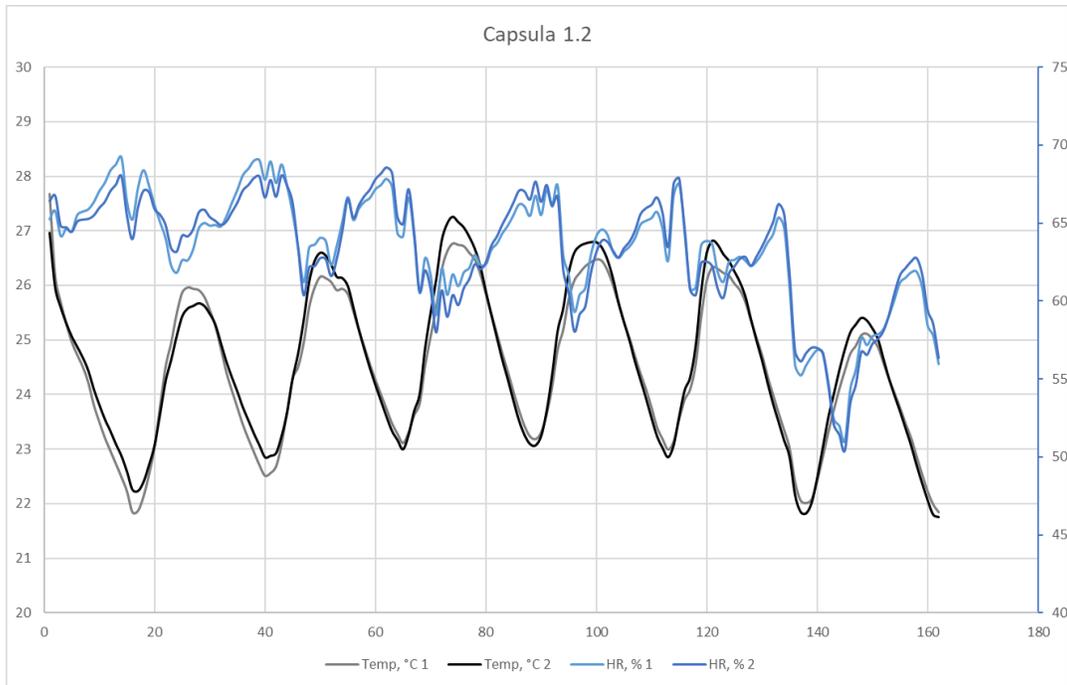


Figura 52 - Resultados de cápsula 1.2 de humedad y temperatura

A continuación, se observa la comparación de la cápsula 1.1 vs 1.2

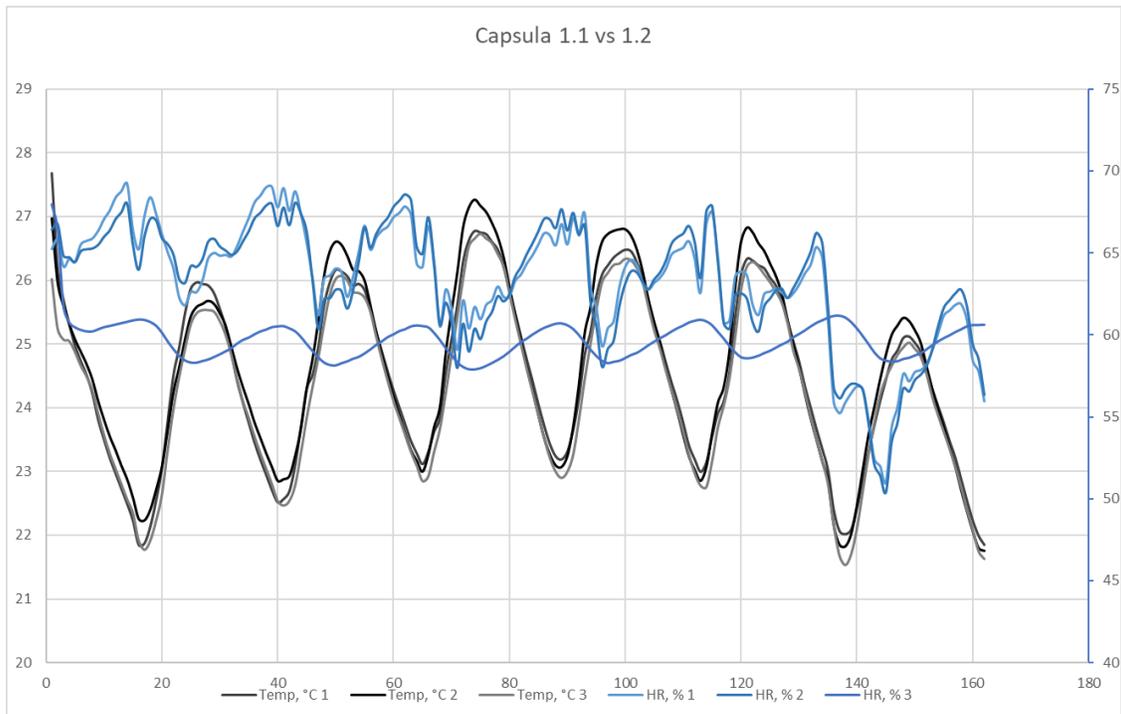


Figura 53 - Comparación de resultados de cápsula 1.1 y 1.2

Por último, se hace la comparación del comportamiento de las variables entre las cápsulas y la habitación

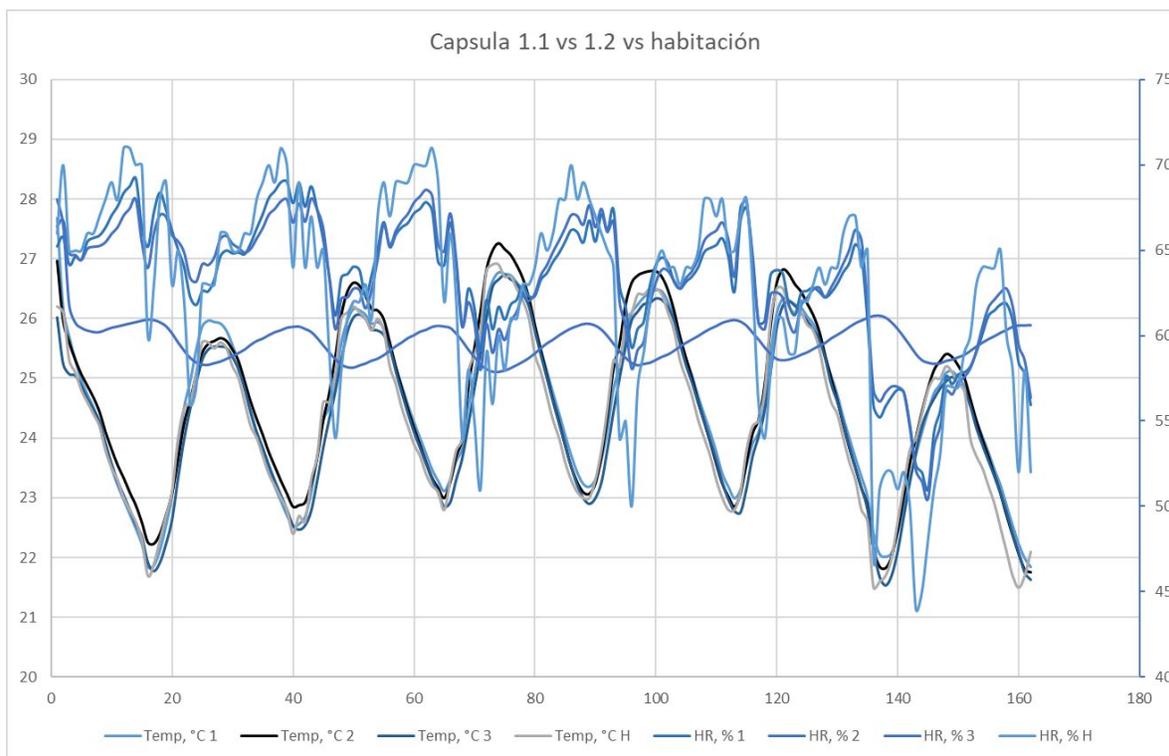


Figura 54 - Comparación de cápsula 1.1 vs 1.2 vs habitación

Conclusiones prueba 1

Como se observó comparando la habitación que es la referencia y la atmósfera de la interna, hay un cambio de comportamiento evidente el cual confirma que la cápsula ayuda a evitar cambios bruscos de temperatura y humedad en su interior al ser hermética y no presentar fugas. También se observa que la colocación de dos sensores dentro de la misma cápsula en distintas posiciones vs un sensor tiende a comportarse de forma similar pero los dos sensores que se encuentran en la misma cápsula tienen un ligero desfase en sus mediciones.

Prueba 2

Caracterización de la cápsula con condiciones opuestas del elemento en su interior

2.1 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento seco en su interior vs la habitación.

2.2 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento humedecido en su interior vs la habitación.

Para esta prueba se utiliza una muestra de un cuadrado de papel bond blanco de fibra reciclada >85% con un tamaño de 11x9 [cm]

Prueba 2.1

A la muestra mencionada se seca en horno eléctrico a 200 [°C] por 20 segundo y posteriormente se ingresa en el interior de la cápsula.



Figura 56 - Muestra del secado de la muestra



Figura 55 - Implementación en cápsula

Prueba 2.2

A una hoja de papel con las características mencionadas anteriormente se moja con 1.5 ml de agua, esparcida por toda la hoja tratando de que sea uniforme, posteriormente se ingresa en la cápsula y se procede a sellar.



Figura 57 - Cápsula con papel húmedo en su interior

Resultados prueba 2

Se observan los resultados de graficar la temperatura, y humedad de las cápsulas antes mencionadas durante un periodo de 7 días

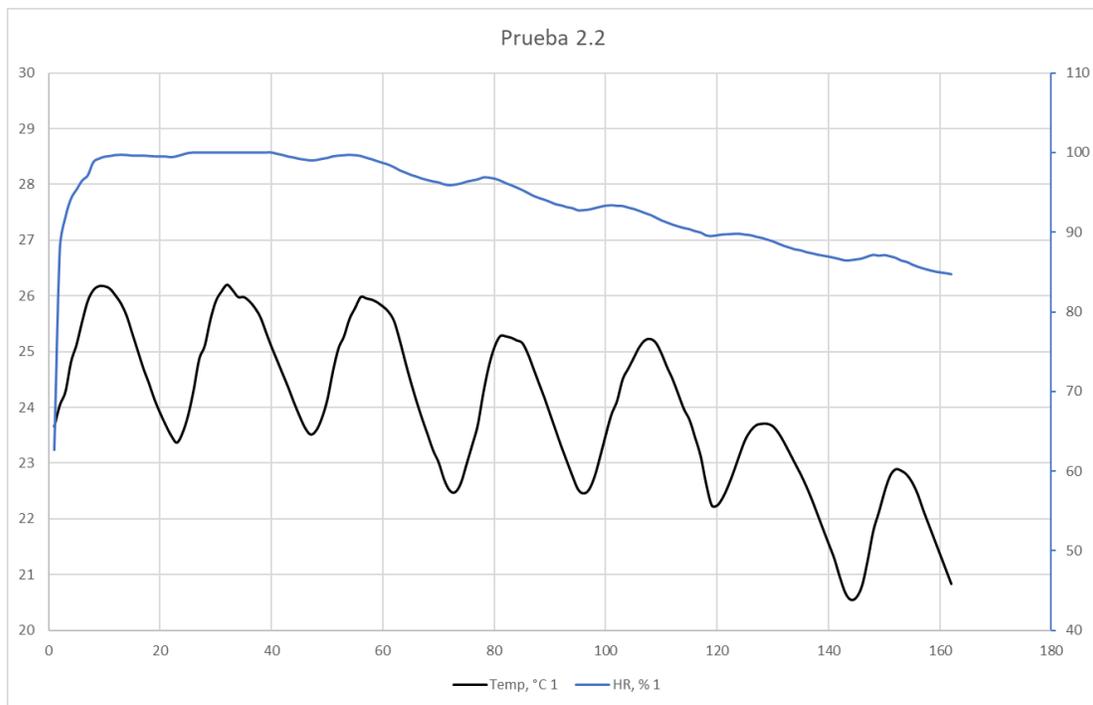


Figura 58 - Resultados cápsula 2.2

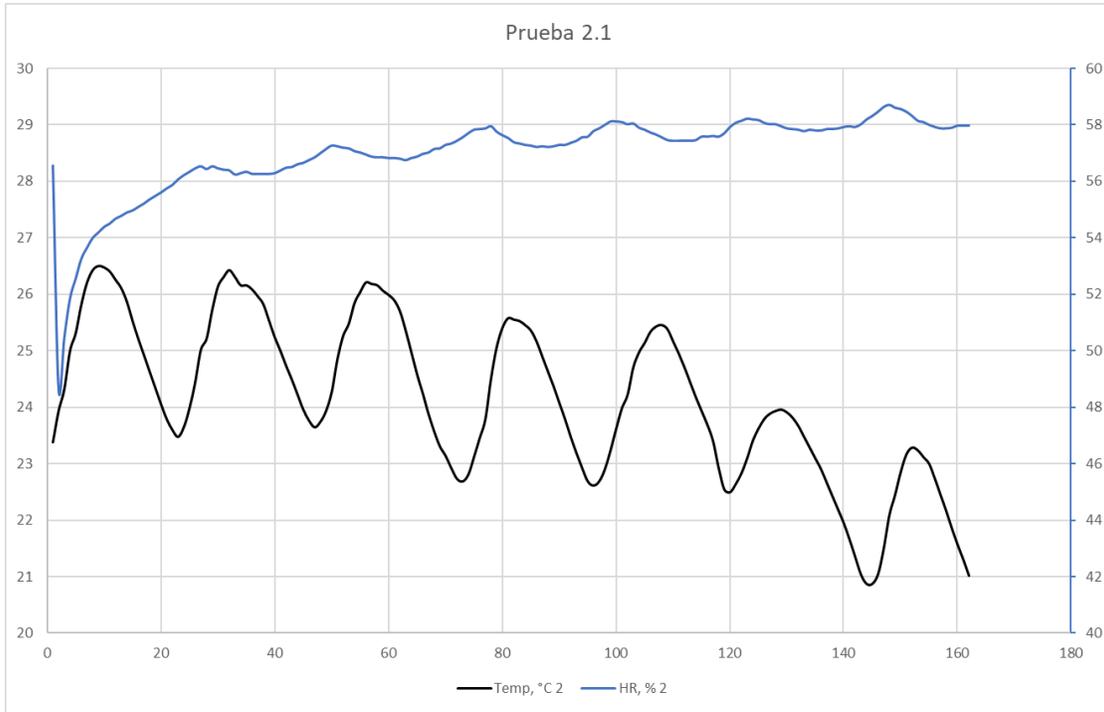


Figura 59 - Resultados Cápsula 2.1

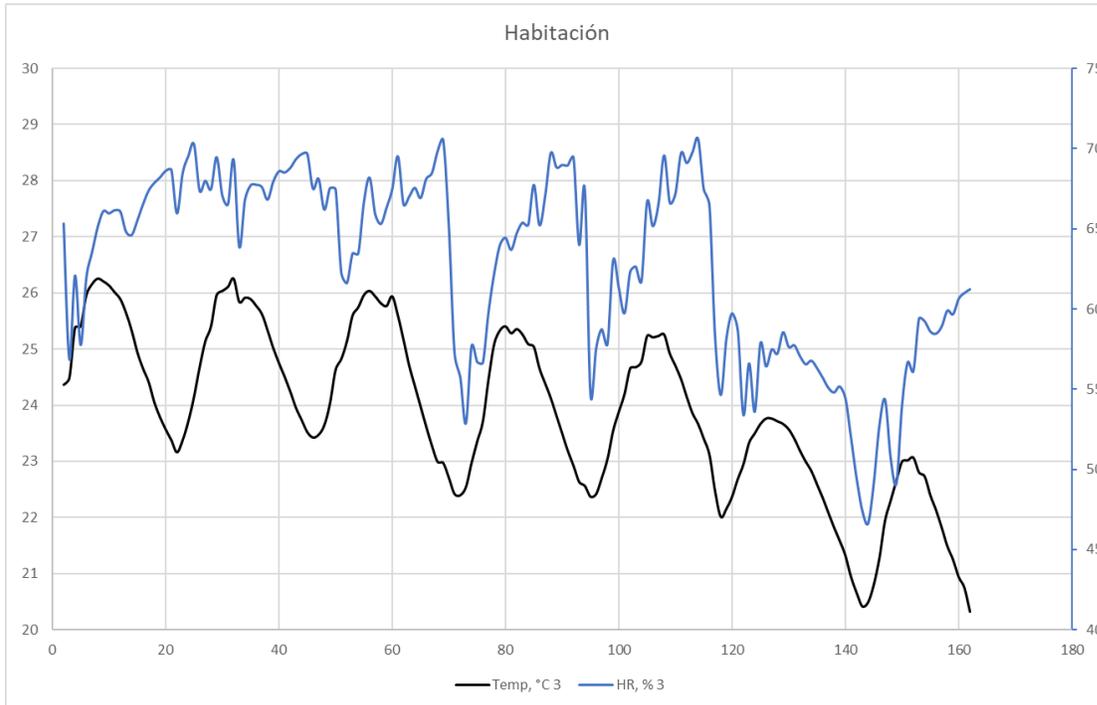


Figura 60 - Resultados habitación prueba 2

A continuación, se proceden a realizar las comparaciones de las pruebas 2.1 vs 2.2

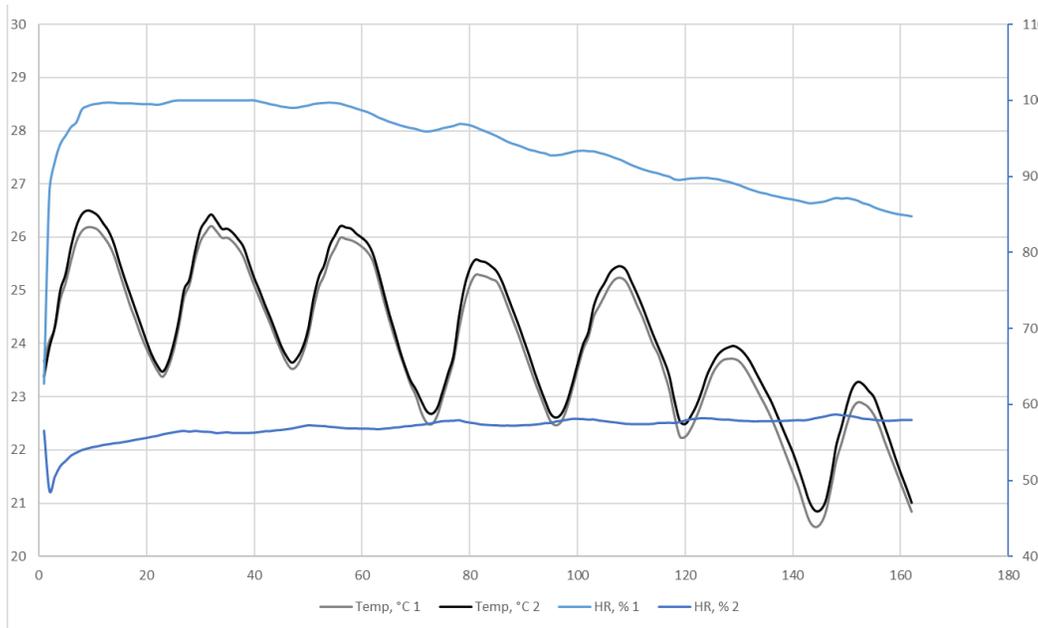


Figura 61 - Comparación de resultados de cápsula 2.1 vs 2.2

Y por último se comparan los resultados anteriores con respecto a las variables ambientales.

Con escala estándar en la gráfica

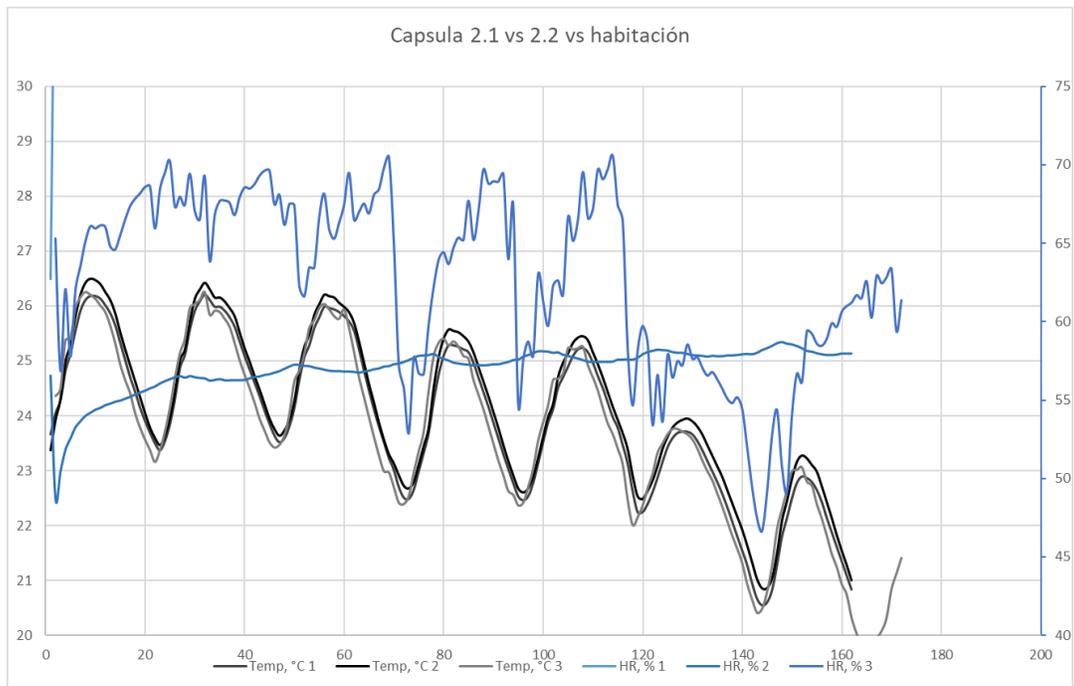


Figura 62 - Comparación de resultados prueba 2 con escala ajustada

Con escala completa

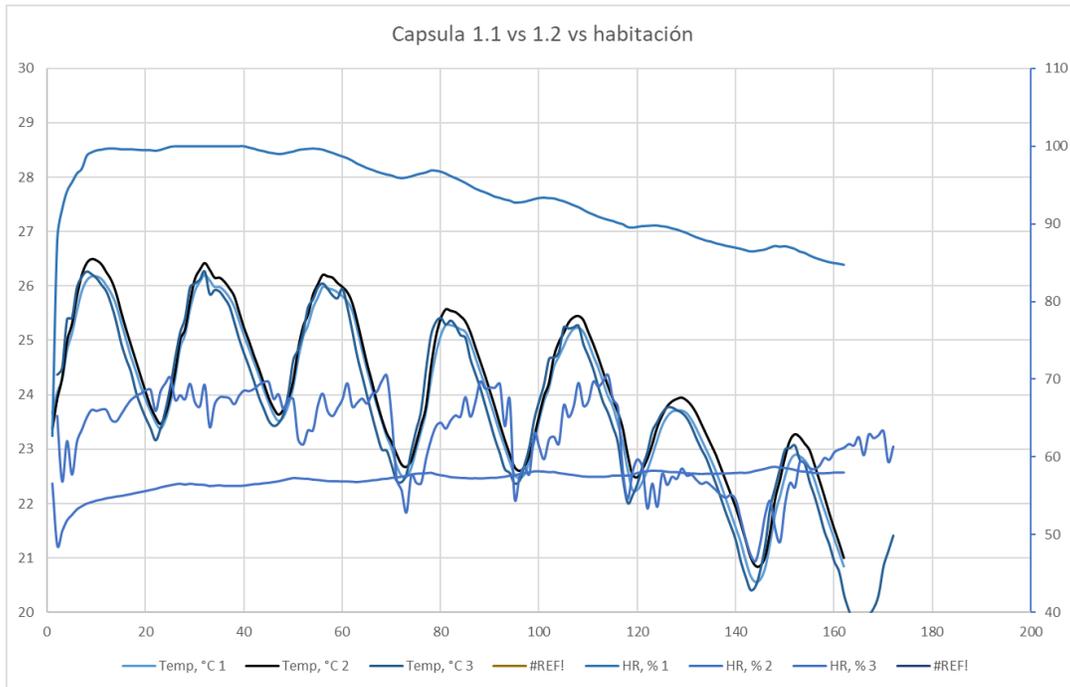


Figura 63 - Resultados prueba 2 con escala completa

Conclusiones prueba 2

Como se observa en la comparación de las dos cápsulas la temperatura no se ve afectada por la humedad del objeto en su interior, pero la humedad dentro de la cápsula si, saturando o disminuyendo la humedad e toda la cápsula, y con el tiempo tender a un punto.

Prueba 3

Caracterización de la cápsula con diferente tipo de sello con un elemento en su interior semejante

3.1 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento en su interior con un sello no permanente

3.2 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento en su interior con un sello permanente

Para esta prueba se utiliza un cuadrado de cartón con 3 [mm] de espesor y un tamaño de 11x9 [cm]

Prueba 3.1

En esta prueba se utiliza la cápsula número uno y se ingresa en su interior el sensor y el pedazo de cartón con las características antes mencionadas, posteriormente se sella la cápsula con ayuda de mangueras neumáticas y tapones como muestra la ilustración siguiente



Figura 64 - Cápsula con prueba 3.1

Prueba 3.2

En esta prueba se ingresa en el interior de la cápsula 2 un elemento parecido al de la otra cápsula pero en este el sello de la misma se realiza con silicón líquido en los racores de ventilación forzada de la misma como se muestra a continuación.



Figura 65 - Cápsula de prueba 3.2

Posteriormente se colocan sensores en la habitación donde se encuentran estas para medir las mismas condiciones que se están midiendo dentro de la cápsula.

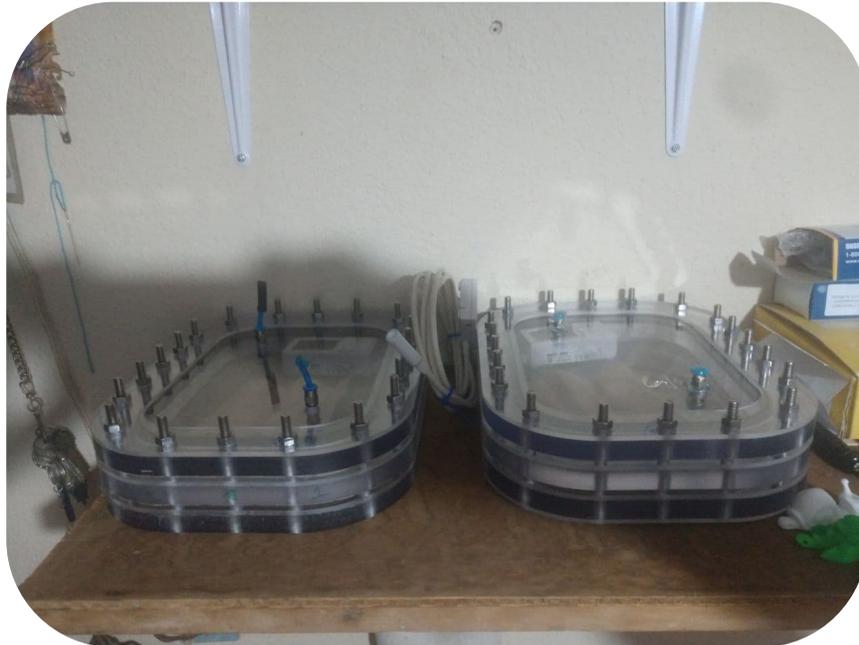


Figura 66 - Cápsulas de prueba 3

Resultados prueba 3

Se observan los resultados de las gráficas de la temperatura y humedad de las cápsulas antes mencionadas durante un periodo de 28 días

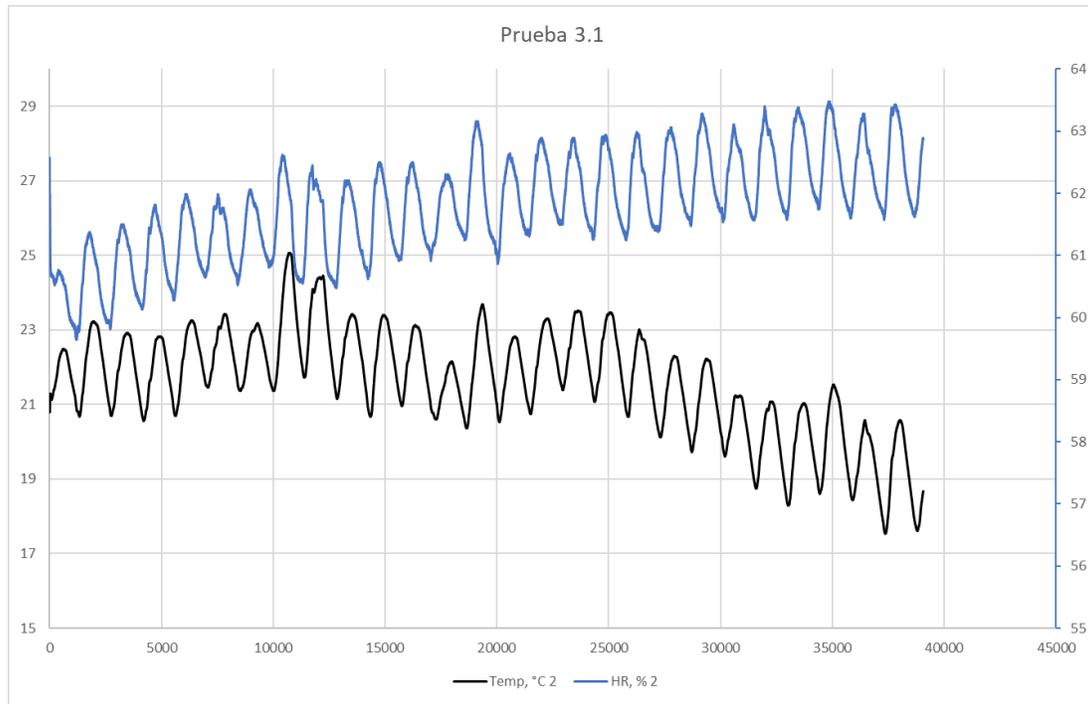


Figura 67 - Resultados prueba 3.1

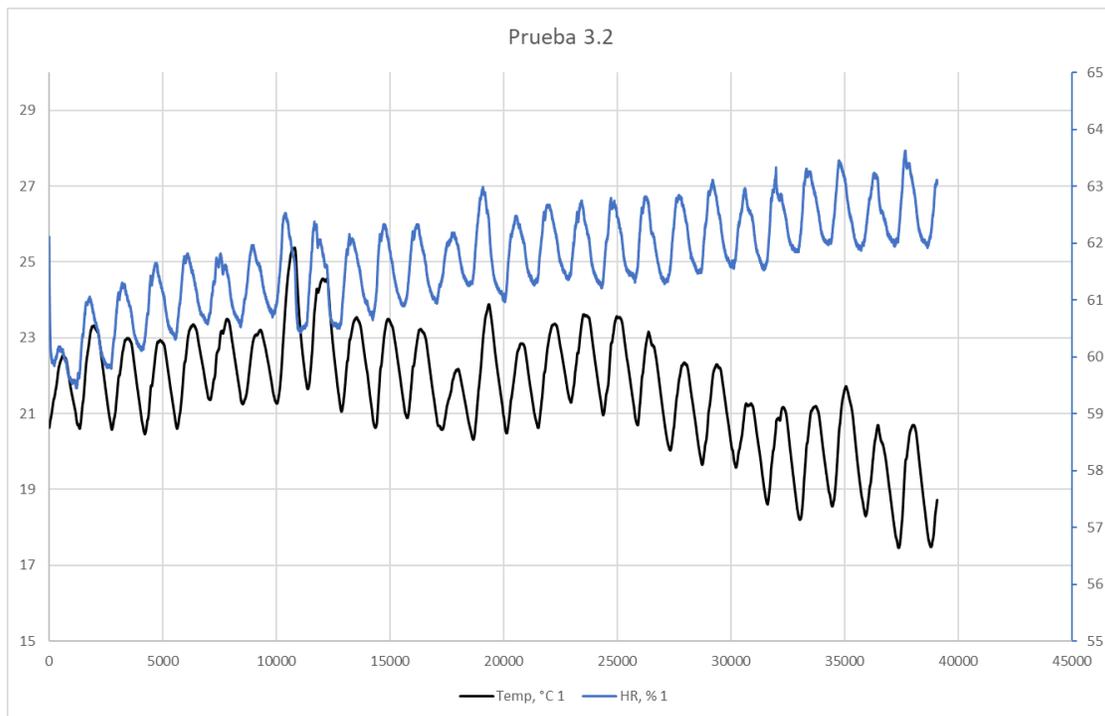


Figura 68 - Resultados prueba 3.2

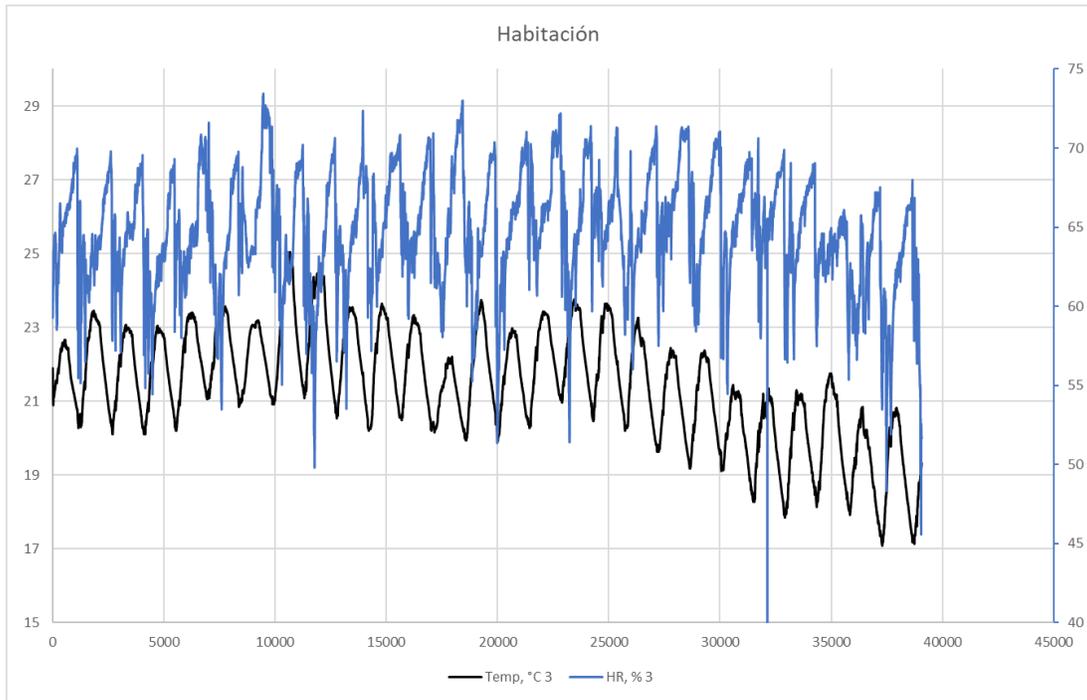


Figura 69 - Resultados habitación prueba 3

Comparación entre prueba 3.1 y 3.2

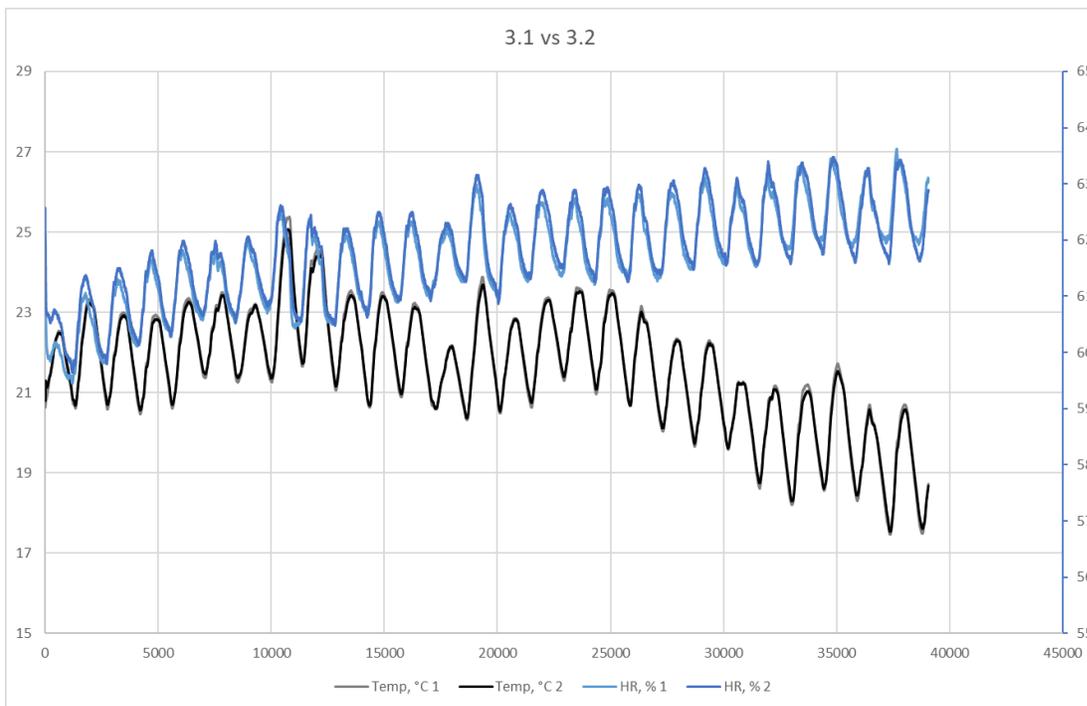


Figura 70 - Comparación de resultados 3.1 vs 3.2

Comparación de pruebas 3.1 vs 3.2 vs habitación

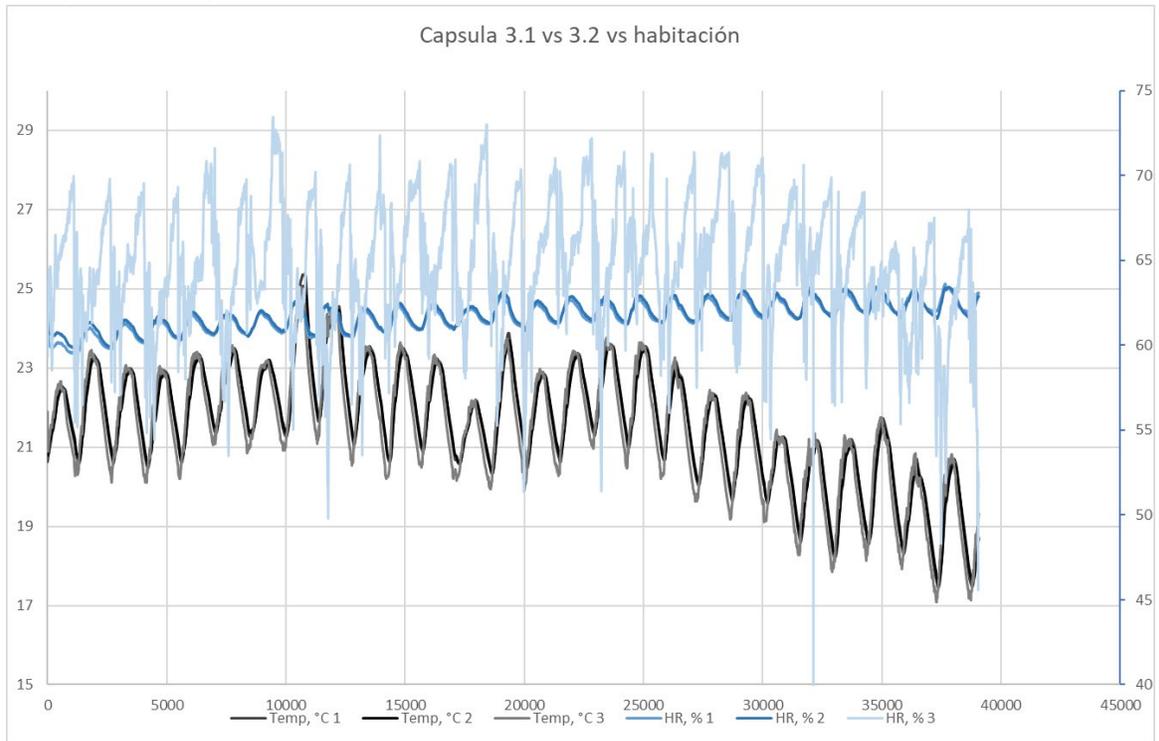


Figura 71 - Comparación de resultados prueba 3

Conclusiones prueba 3

Se observa que un sello permanente como lo es el silicón y los taponos neumáticos sellan la cápsula teniendo la misma eficiencia por lo cual se pueden cambiar los sellos o implementar los de silicón sin riesgo de que cambien significativamente los datos en posteriores pruebas. También se puede apreciar que la muestra de cartón dentro de las cápsulas hace que el comportamiento de la humedad y temperatura en la atmosfera interna varíe con mayor facilidad.

Prueba 4

Caracterización de la cápsula con condiciones opuestas del elemento en su interior y una mayor saturación de agua

4.1 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento seco en su interior vs la habitación.

4.2 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento humedecido en su interior vs la habitación.

Para esta prueba se utiliza una hoja cuadrada de papel bond blanco de fibra reciclada >85% con un tamaño de 11x9 [cm]

Prueba 4.1

A la hoja de papel mencionada se seca en horno eléctrico a 200 [°C] por 20 segundo y posteriormente se ingresa en el interior de la cápsula.

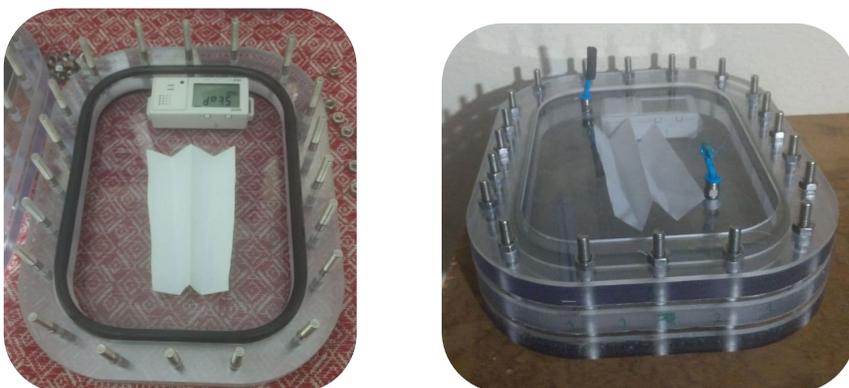


Figura 72 - Cápsula para prueba 4.1

Prueba 4.2

Una hoja de papel con las características mencionadas anteriormente se moja con 3 ml de agua, esparcida por toda la hoja tratando de que sea uniforme, dentro de la cápsula para asegurar que los 3 ml sean los que se mantengan en esta.



Figura 73 - Cápsula para prueba 4.2

Cápsulas con sensor de habitación



Figura 74 - Configuración final de prueba 4

Resultados prueba 4

Se observan los resultados después de 4 días.

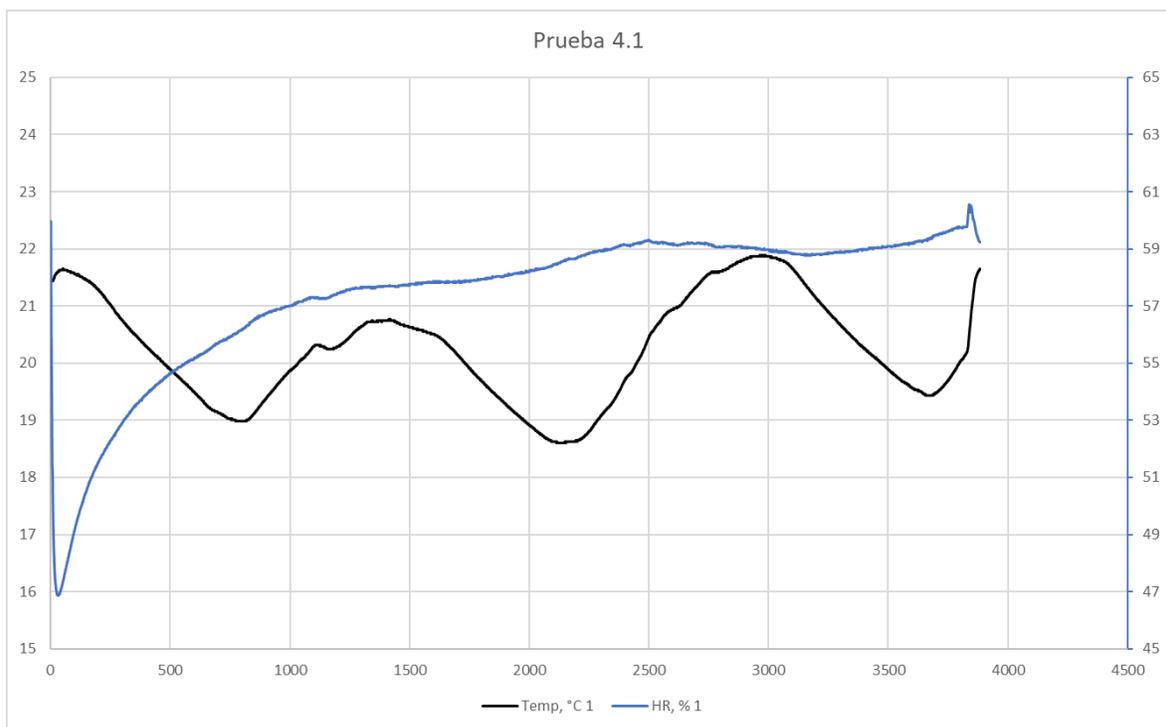


Figura 75 - Resultados prueba 4.1

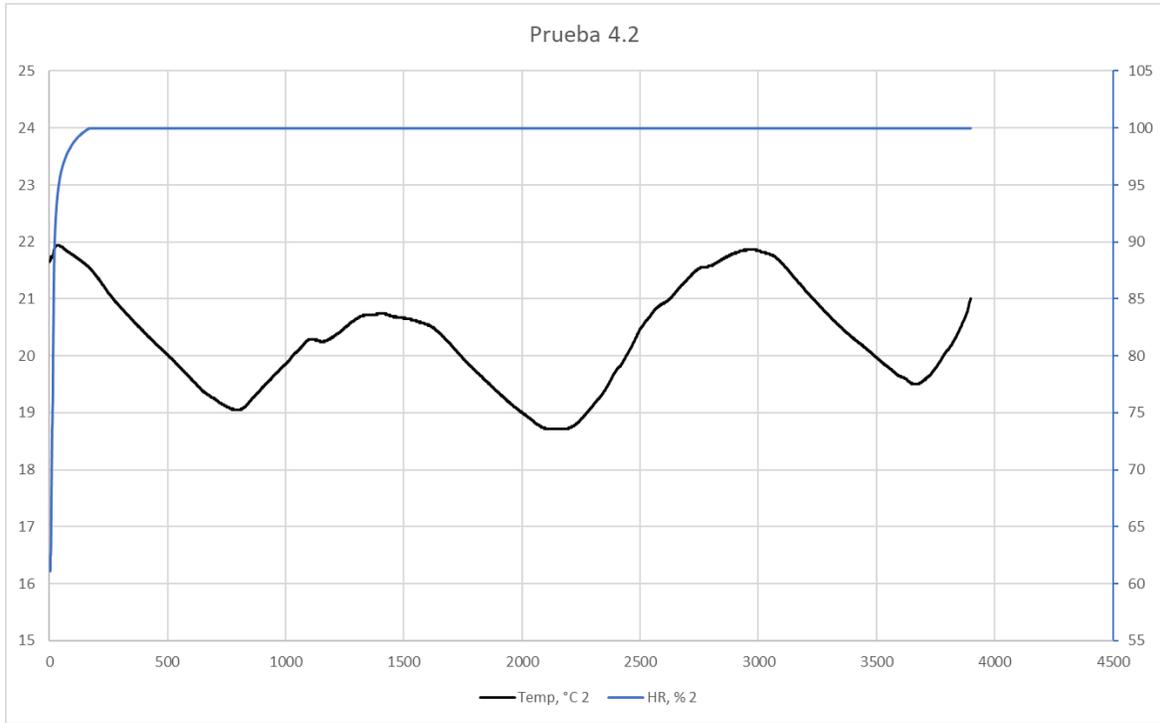


Figura 76 - Resultados prueba 4.2

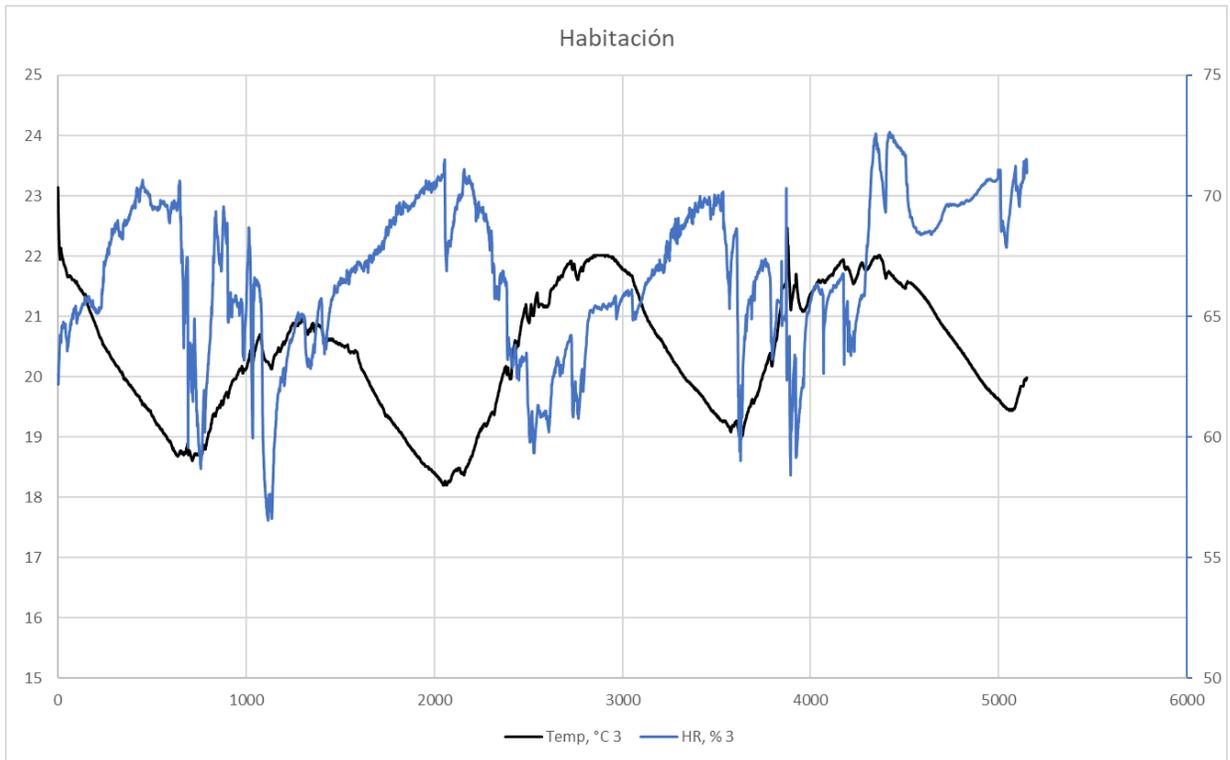


Figura 77 - Resultados habitación prueba 4

Comparación de datos de la cápsula 4.1 y 4.2 con escala ajustada

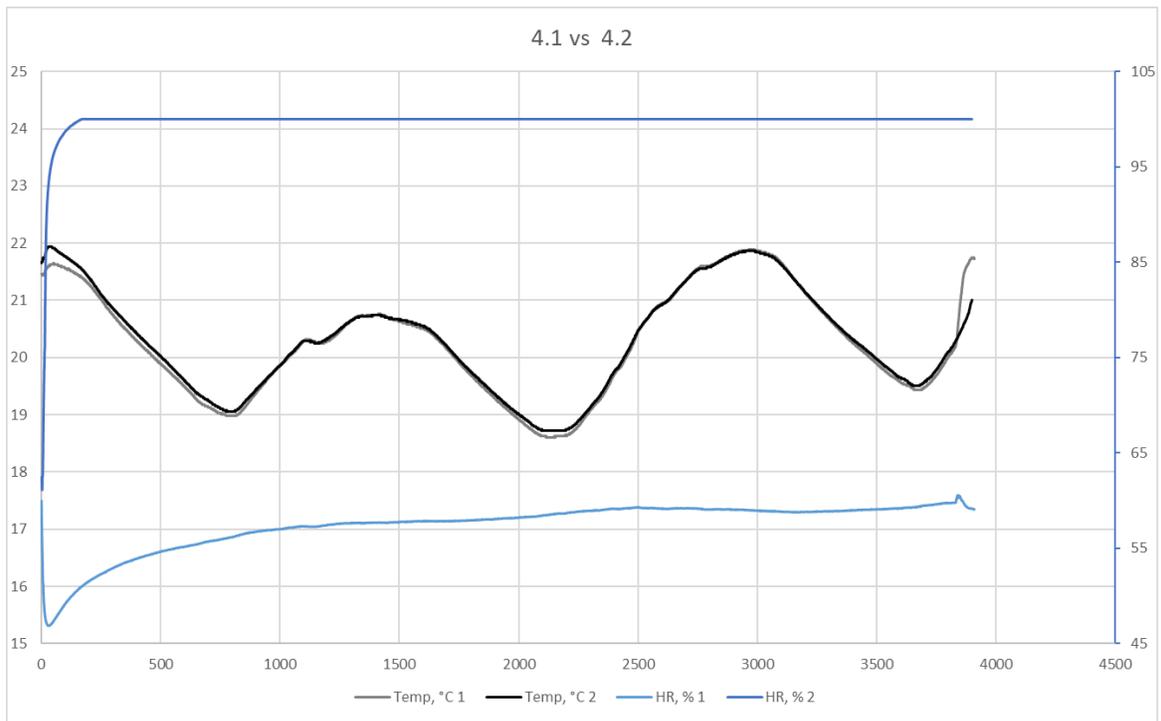


Figura 78 - Comparación de datos de prueba 4.1 vs 4.2 escala ajustada

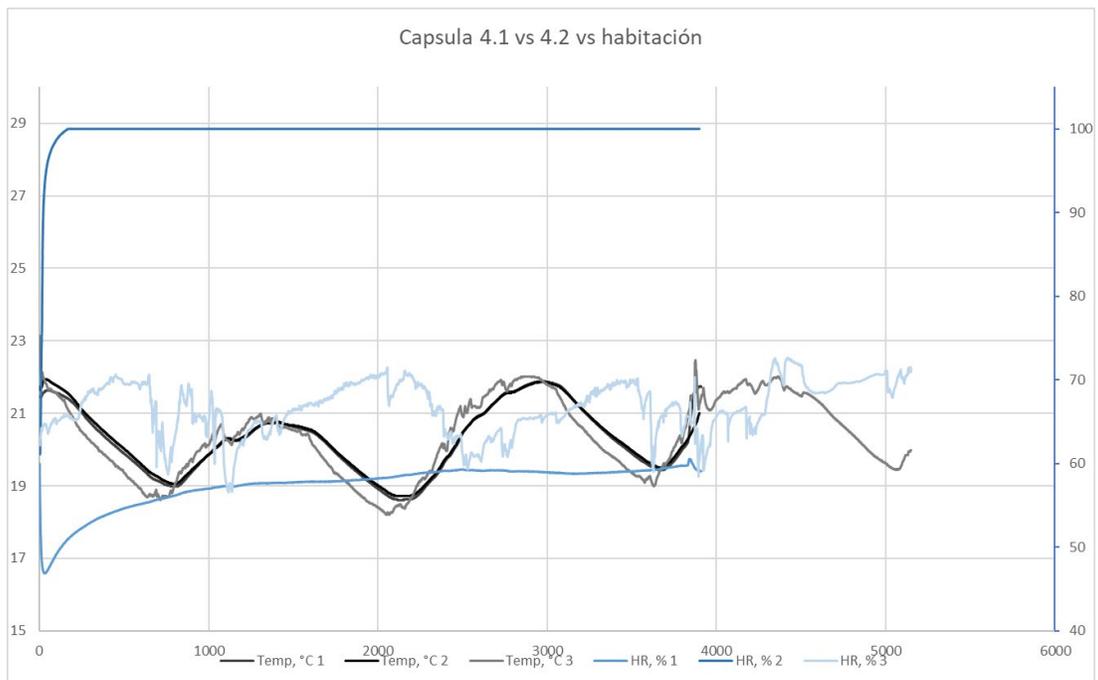


Figura 79 - Comparación de resultados prueba 4

Conclusiones prueba 4

En esta prueba se observa la saturación completa en la cápsula de humedad, esto debido a que el volumen de agua en el papel y posterior humedad relativa fue mayor en el volumen implementado, saturando por completo la atmosfera, y al ser una cápsula sellada herméticamente, nunca disminuyo la saturación, lo cual ayuda a verificar la hermeticidad de la cápsula. En la cápsula con el papel seco, se observa una disminución de la HR en la cápsula que posteriormente se estabiliza, lo que estaría indicando que el papel trata de absorber la humedad de la atmosfera y para encontrar el equilibrio se tarda aproximadamente 2 semanas, no logrando una constante de humedad.

Prueba 5

Caracterización de la cápsula con condiciones opuestas del elemento en su interior y una mayor saturación de agua por un periodo mayor de tiempo prueba realizada del 8/II/2021 a 11/V/2021

5.1 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento seco en su interior vs la habitación.

5.2 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento humedecido en su interior vs la habitación.

Para esta prueba se utiliza un cuadrado de papel bond blanco de fibra reciclada >85% con un tamaño de 11x9 [cm]

Prueba 5.1

A la hoja de papel mencionada se seca en horno eléctrico a 200 [°C] por 20 segundo y posteriormente se ingresa en el interior de la cápsula.

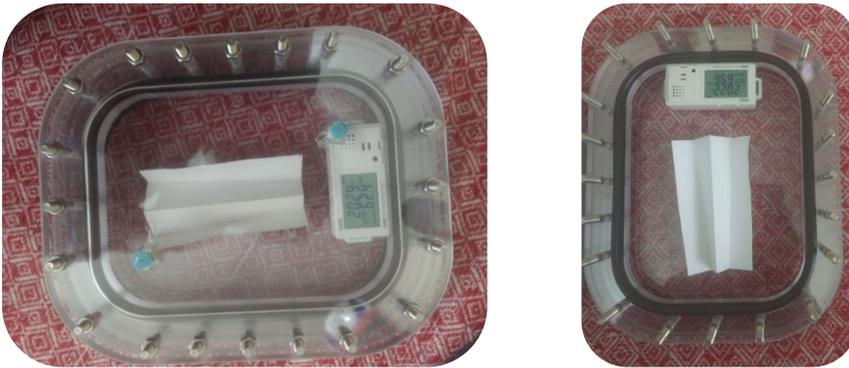


Figura 80 - Cápsula para prueba 5.1

Prueba 5.2

A una hoja de papel con las características mencionadas anteriormente se moja con 1 ml de agua, esparcida por toda la hoja tratando de que sea uniforme, dentro de la cápsula para asegurar que los 1 ml sean los que se mantengan en esta.



Figura 81 - Cápsula para prueba 5.2

Resultados prueba 5

Se observan los resultados después de aproximadamente 2 meses de monitoreo

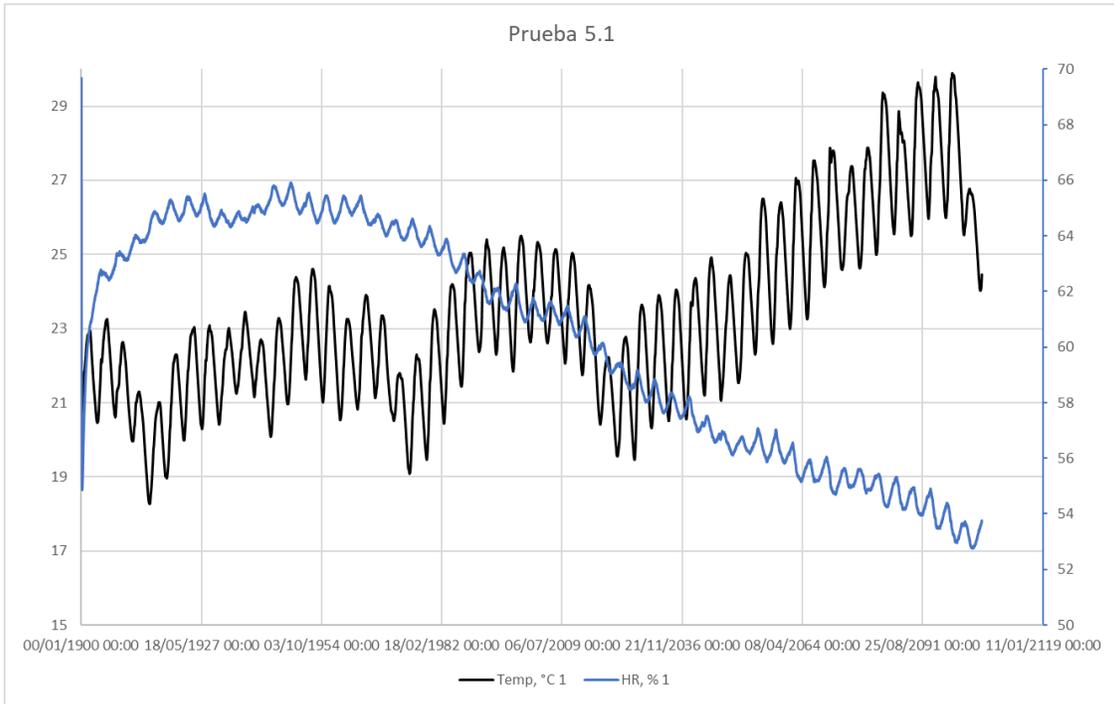


Figura 82 - Resultados prueba 5.1

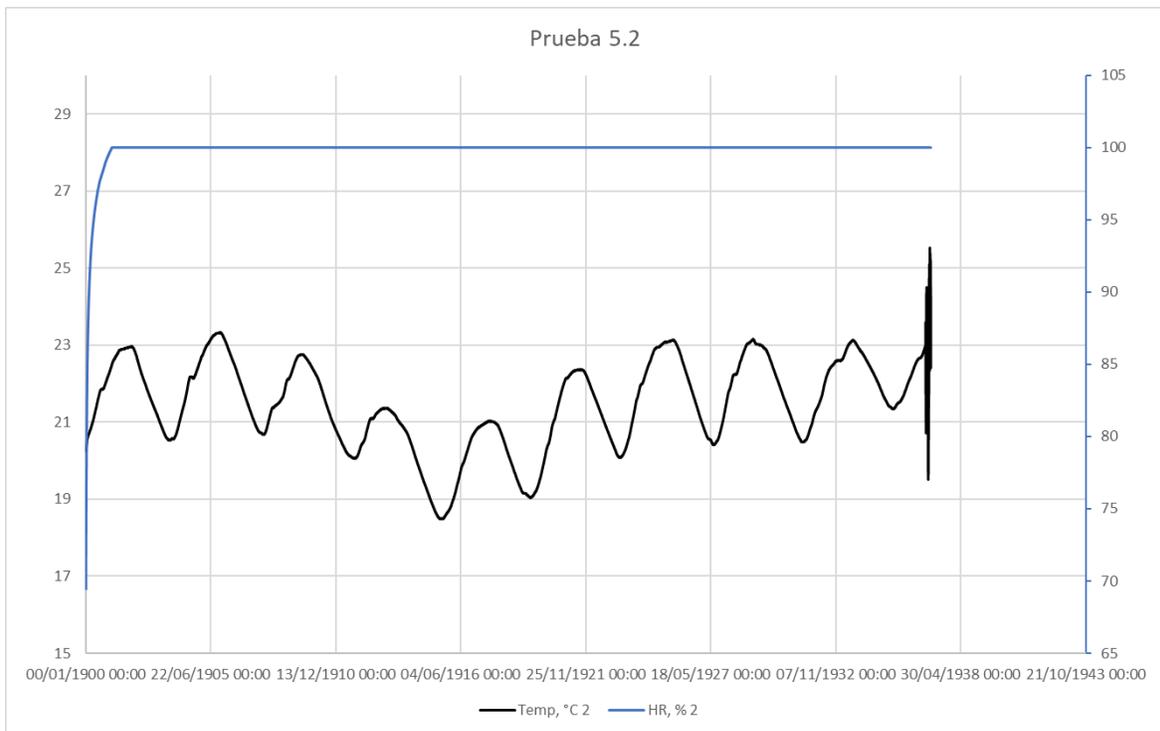


Figura 83 - Resultados prueba 5.2

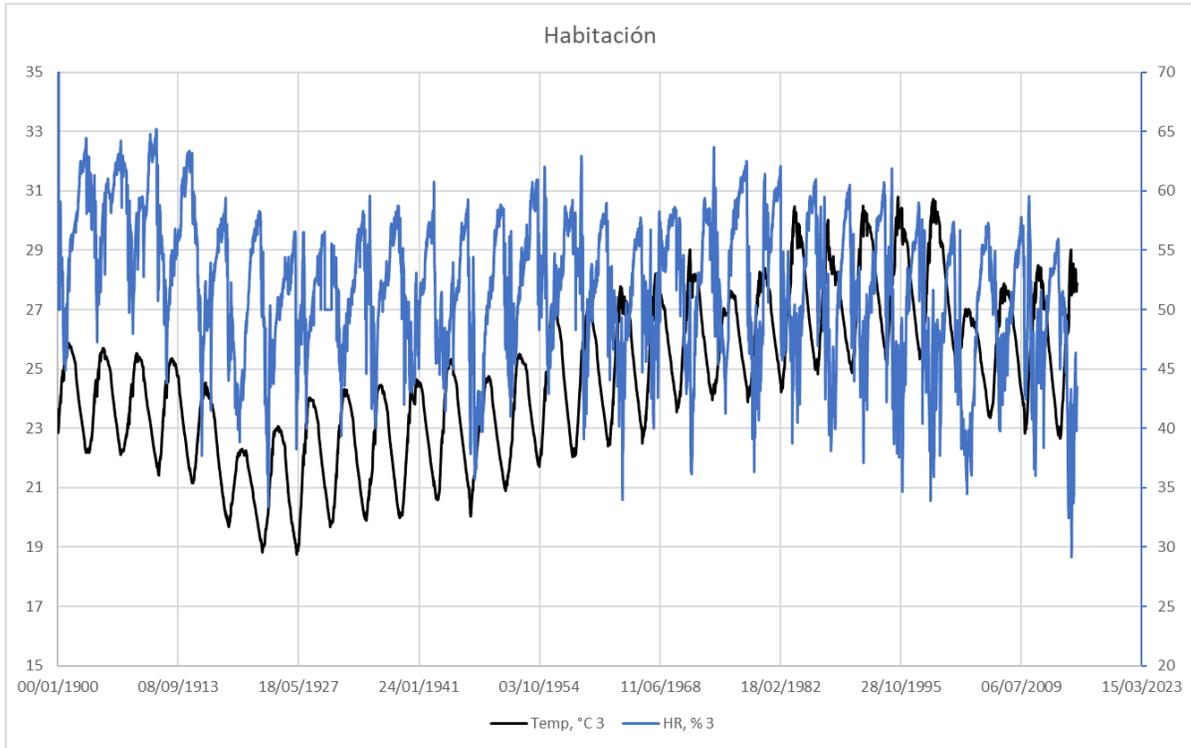


Figura 84 - Resultados habitación prueba 5

Comparando la prueba 5.1 vs 5.2

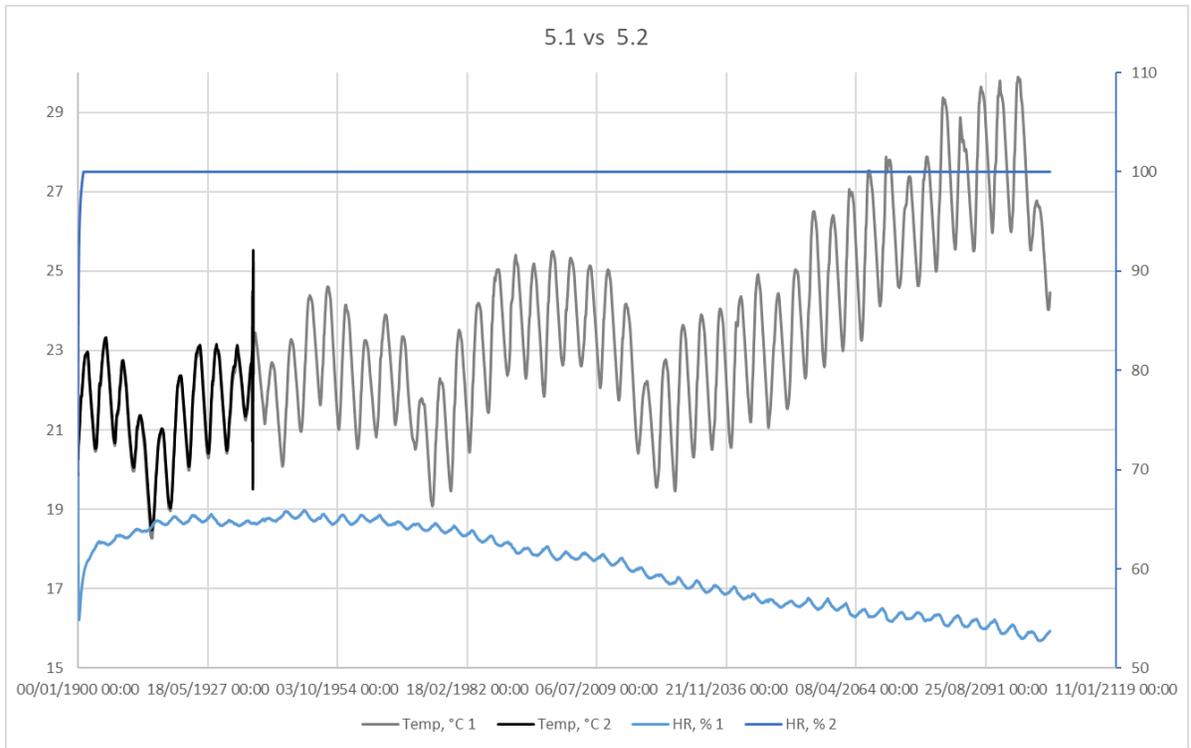


Figura 85 - Comparación pruebas 5.1 vs 5.2

Comparando las pruebas 5.1 vs 5.2 vs habitación

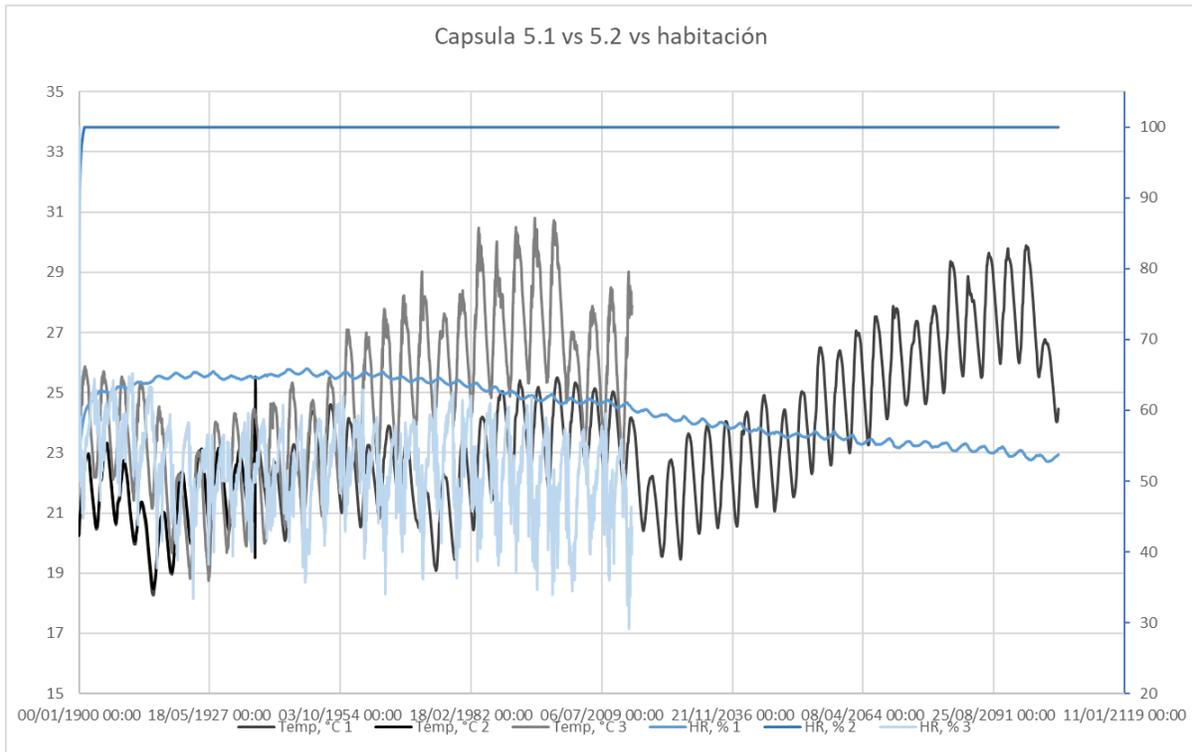


Figura 86 - Comparación de resultados prueba 5

Conclusiones prueba 5

De igual manera que en la prueba anterior el papel humedecido saturó la atmósfera de la cápsula, sin que se lograra una variación de la HR en este tiempo, aunque existiera una variación en la temperatura. En la cápsula con el papel seco se observa el mismo comportamiento inicial que la prueba anterior pero donde se había pensado que se empezaba a lograr la estabilización de la cápsula en HR, sigue existiendo una variación de esta, sin llegar a una línea de tendencia establecida. Esto también puede ser debido al cambio de temperatura que se puede observar en la habitación al final del periodo, recordando que la temperatura afecta la HR.

Prueba 6

Caracterización de la cápsula con condiciones opuestas del elemento en su interior, la saturación de agua esta vez se considera a partir del peso de la hoja prueba, la cual pesa menos de 1 [gr], por lo que se intenta colocar 0.3 [ml] de agua dentro de ella, y en el que se somete a un proceso de secado, la cápsula se coloca con un sistema de atenuación de temperatura con aislamiento térmico.

6.1 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento seco en su interior vs la habitación con un sistema de atenuación de temperatura

6.2 – Comparación del comportamiento de la cápsula con un elemento humedecido en su interior vs la habitación.

Para esta prueba se utiliza un cuadrado de papel bond blanco de fibra reciclada >85% con un tamaño de 11x9 [cm]

Prueba 6.1

A la hoja de papel mencionada se seca en horno eléctrico a 200 [°C] por 20 segundo y posteriormente se ingresa en el interior de la cápsula.



Figura 87 - Cápsula para prueba 6.1

Prueba 6.2

A una hoja de papel con las características mencionadas anteriormente se moja con 0.3 [ml] de agua, esparcida por toda la hoja tratando de que sea uniforme, dentro de la cápsula para asegurar que los 0.3 [ml] sean los que se e mantengan en esta.



Figura 88 - Cápsula para prueba 6.2

Por último, a la cápsula que tiene el papel que ha sido sometido a un proceso de secado se colocó dentro de un aislamiento térmico como se muestra a continuación:



Figura 89 - Aislamiento térmico para prueba 6.2

Quedando las cápsulas de la siguiente manera:



Figura 90 - Configuración final de prueba 6

Resultados prueba 6

Se observan los resultados después de 20 días después de monitorearlos.

Resultados pruebas cápsulas 1 y 2

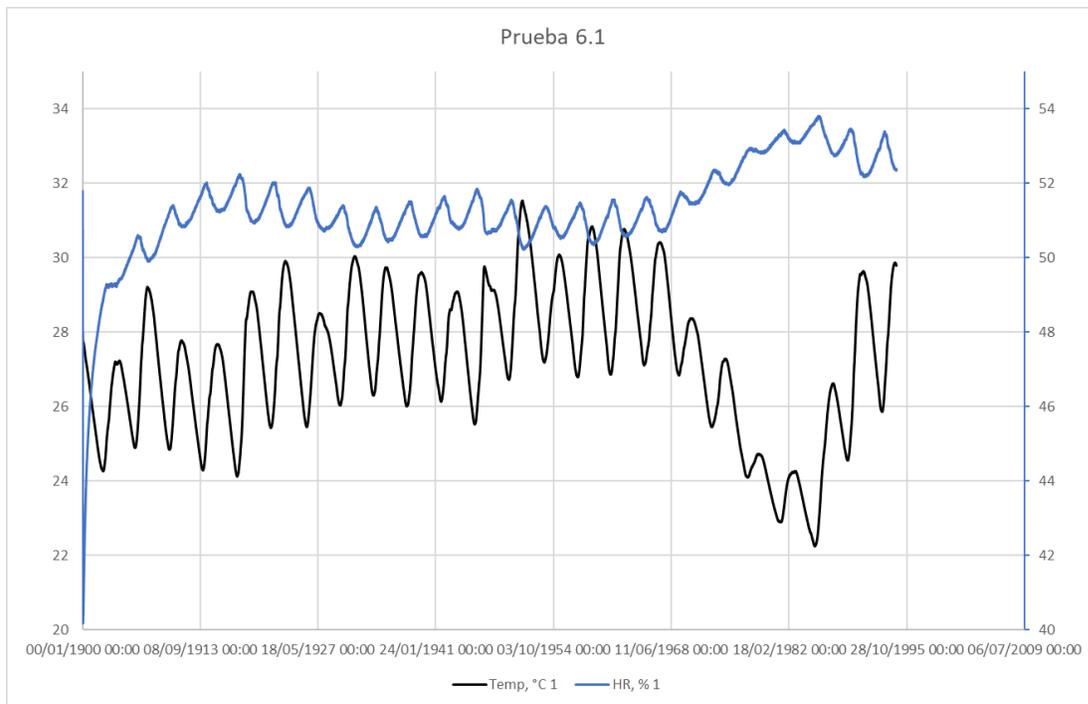


Figura 91 - Resultados cápsula 6.1

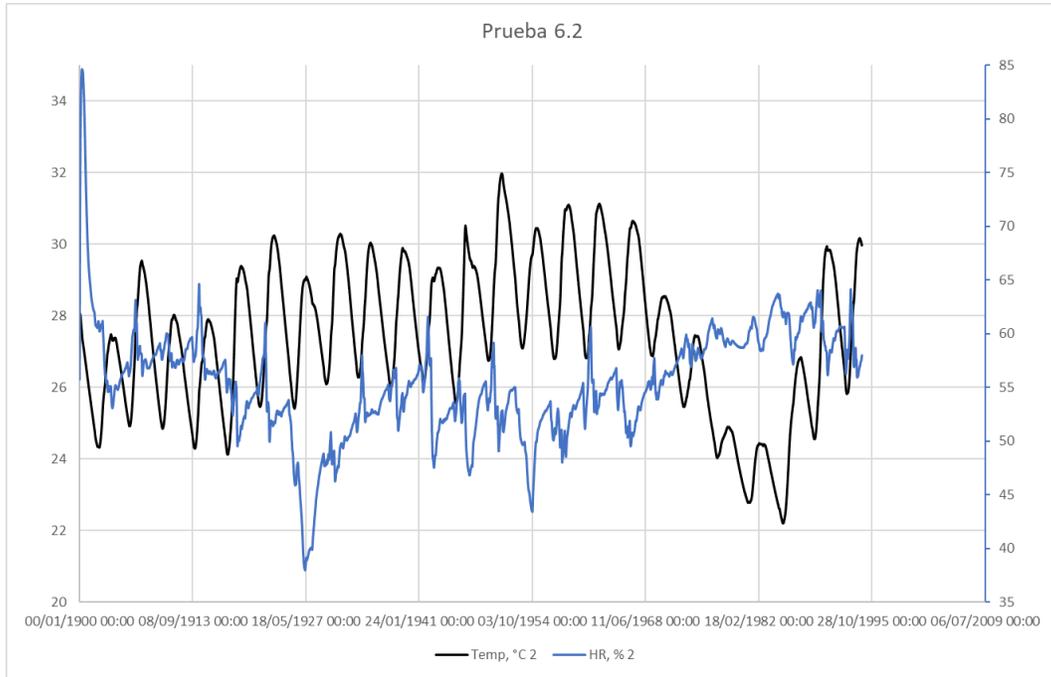


Figura 92 - Resultados cápsula 6.2

Resultados habitación/Cápsula sin hermeticidad

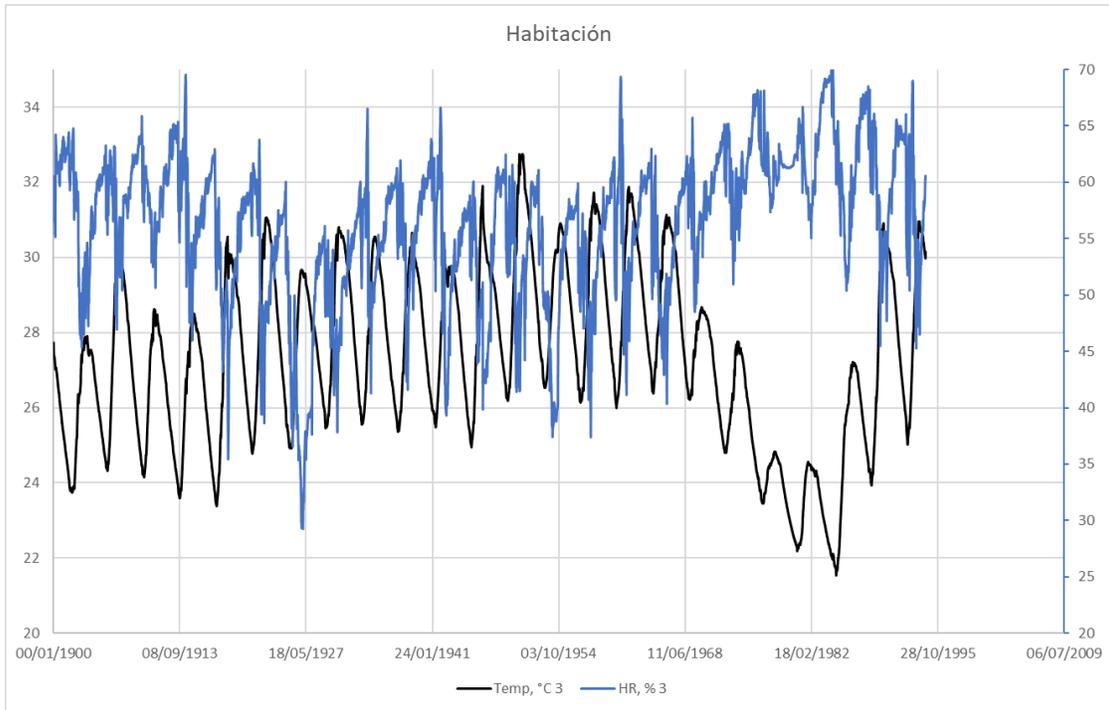


Figura 93 - Resultados habitación prueba 6

Comparación del comportamiento de las cápsulas.

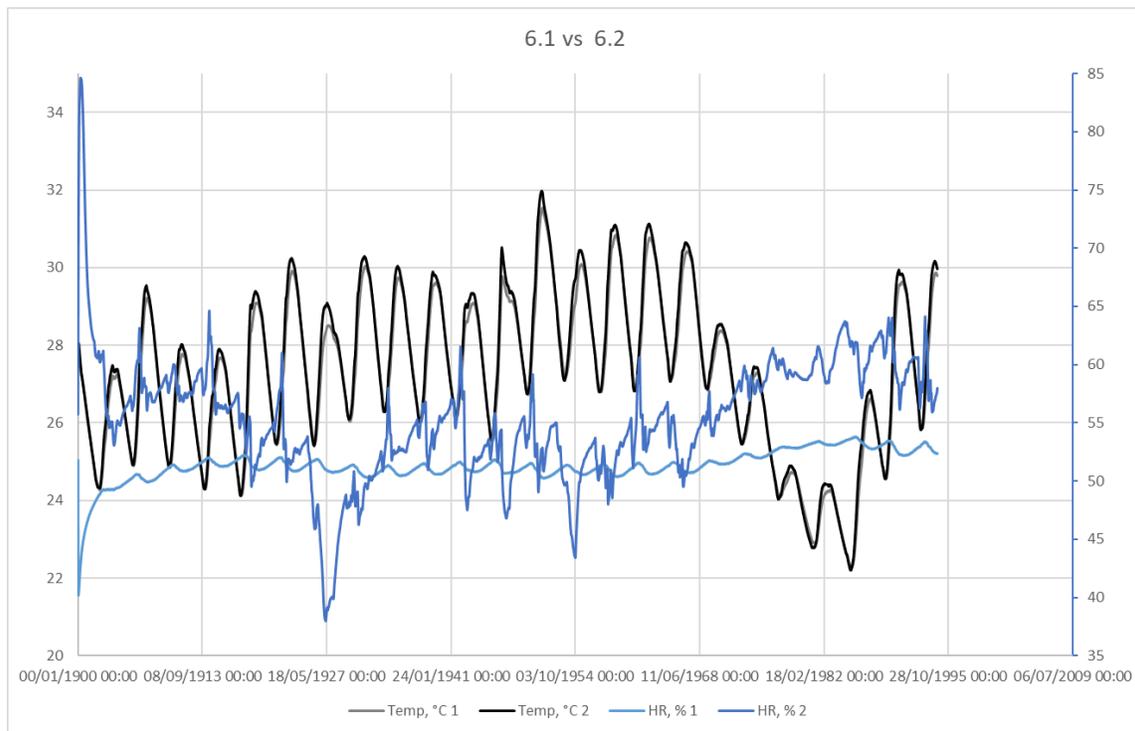


Figura 94 - Comparación de resultados 6.1 vs 6.2

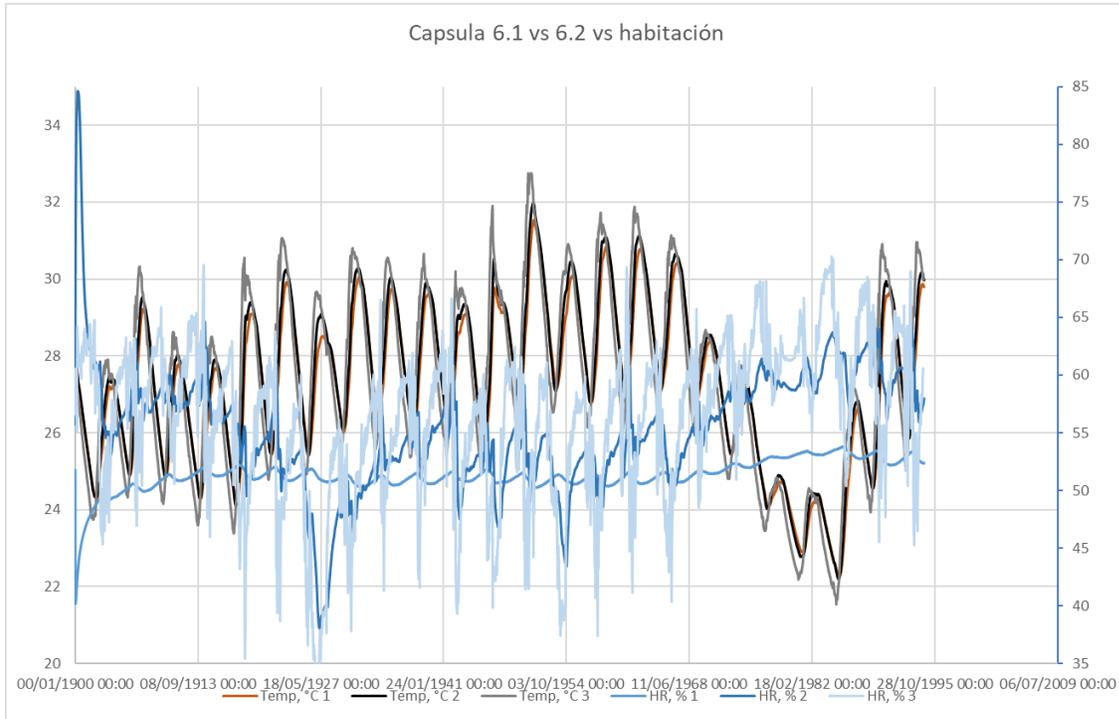


Figura 95 - Comparación de resultados prueba 6

Conclusiones prueba 6

En esta prueba se observa que la hoja de papel humedecida, saturo por un corto periodo de tiempo la atmosfera de la cápsula, pero posteriormente se intentó estabilizar. No se logró estabilizar completamente y a diferencia de la prueba de papel seco, esta tiene un comportamiento más errático con los cambios de temperatura, viéndose afectando por los mismos de una manera más directa.

En cuanto a la prueba con el papel seco, y colocado en un aislamiento térmico se observa un comportamiento similar a las pruebas anteriores con la diferencia que el proceso a la estabilización parecer ser más suave y se ve menos afectado a los cambios bruscos de temperatura en la habitación.

Comparación 6.1 vs 5.1

Se realiza la comparación de las cápsulas de los experimentos 5.1 y 6.1 para conocer el impacto del aislamiento térmico en el experimento.

Recordando las cápsulas 6.1 y 5.1 con la misma escala para una correcta comparación

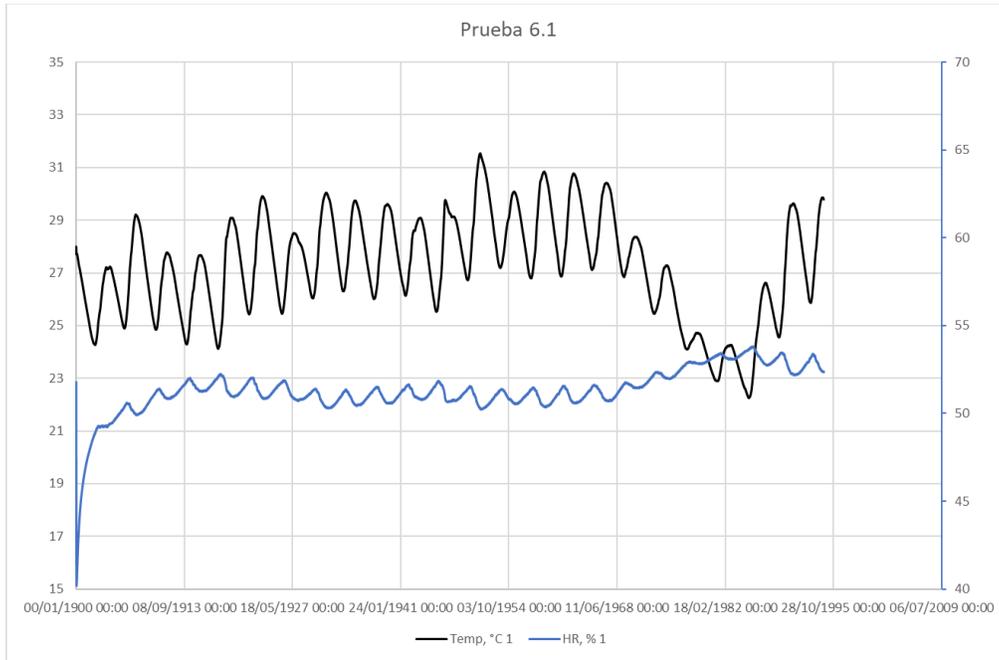


Figura 96 - Resultados cápsula 6.1

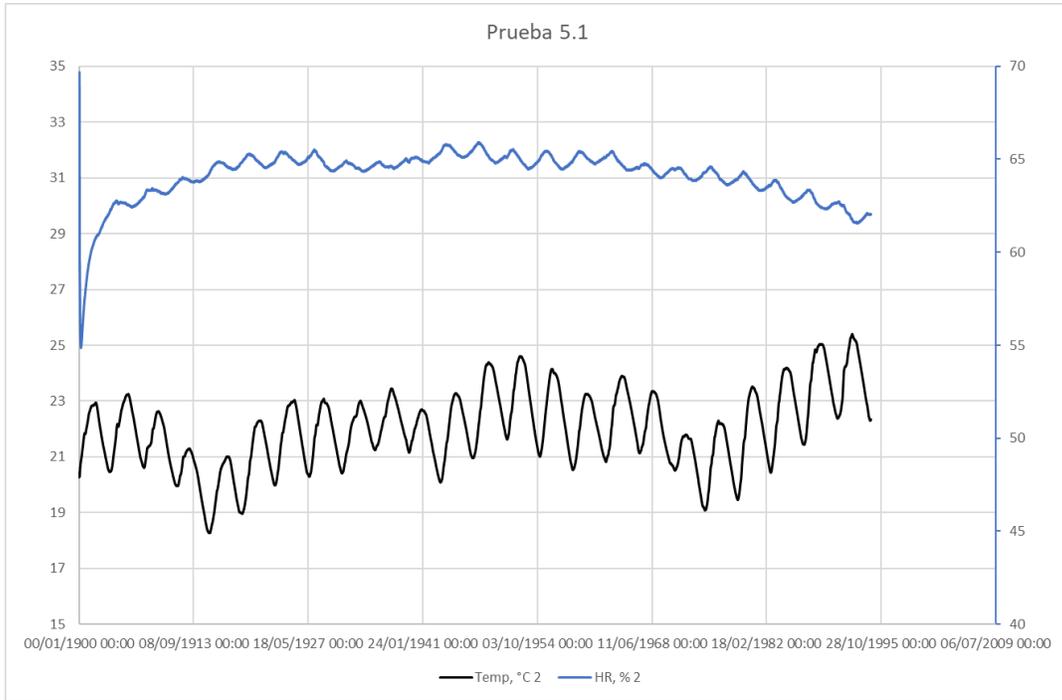


Figura 97 - Resultados cápsula 5.1

Y realizando la comparación directa

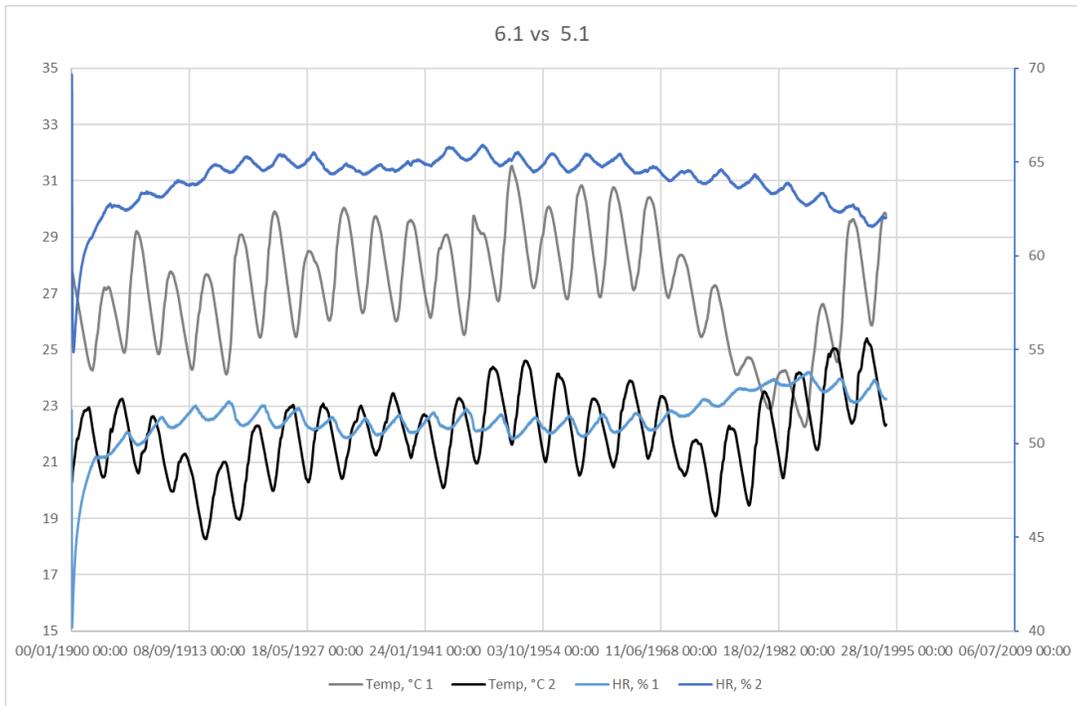


Figura 98 - Comparación de cápsulas 5.1 vs 6.1 con escalas originales

Colocando un offset a la humedad de la cápsula 6.1 de 15% y a la temperatura de -5 para poder compararlas directamente, observamos el siguiente comportamiento:

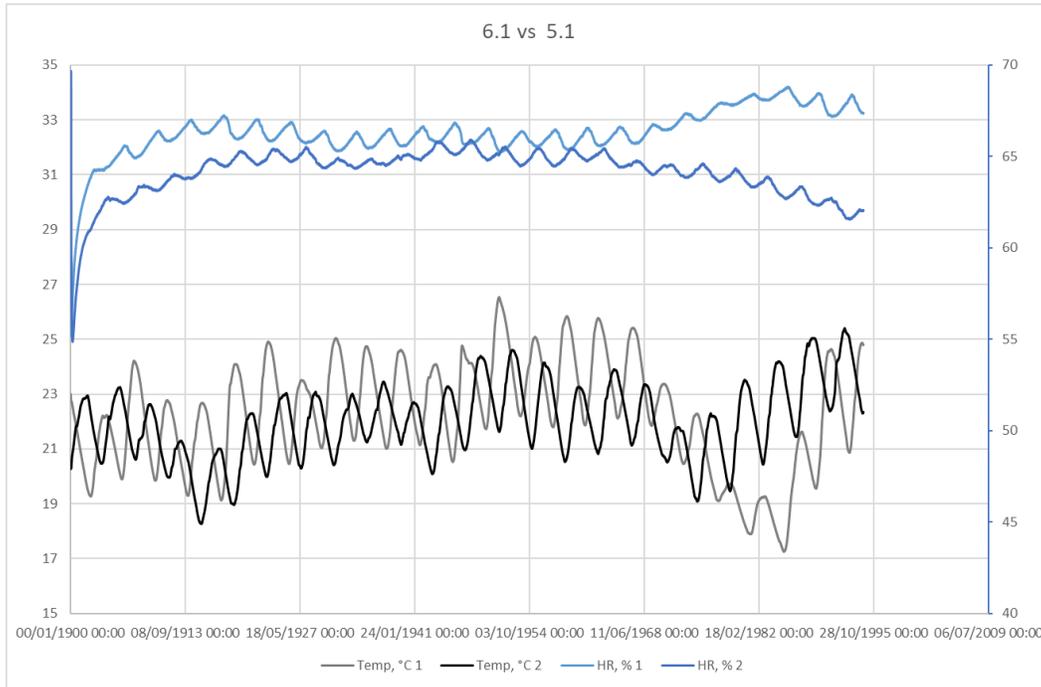


Figura 99 - Comparación de cápsulas 5.1 vs 6.1 con escala ajustada

Conclusiones comparación 6.1

Se observa en la comparación de las pruebas 5.1 y 6.1 que el cambio de la temperatura es menor en la cápsula que tiene aislamiento térmico, así como la humedad relativa tiene un comportamiento más suave en sus transiciones ya que no tiene picos tan pronunciados como se observan en la prueba de la cápsula sin aislamiento térmico.

Capítulo 8. Análisis de Resultados

Plataforma IoT

Se observa que, mediante la aplicación de la plataforma de monitoreo remoto, se puede analizar los resultados de forma más ágil y de forma histórica o en tiempo real, también con el diagrama de radar de las variables se puede detectar de forma rápida y visual en que punto de la cápsula hay riesgos.

Considerando que la plataforma está pensada en ser una herramienta para el IoT, las modificaciones para la implementación del proyecto son menores tanto en el código de la plataforma como en la implementación de sensores, y al ser open source la flexibilidad para la modificación es mayor.

Puesto que la plataforma tiene varios métodos de comunicación como son HTTP, MQTT, TCP/IP hace que la selección de sensores sea amplia, ya que se necesita un microcontrolador o microprocesador que se comunique con los sensores y posteriormente envíe la información al servidor donde se encuentra la plataforma. Por lo que mientras exista un protocolo de comunicación de los sensores implementados y el microcontrolador elegido sea capaz de interpretar esta información y mandarla a internet, bastara para que se pueda aplicar.

Conservación de documentos históricos

Con base en los antecedentes de la conservación de los documentos históricos se pudieron realizar los requerimientos utilizados en las metodologías utilizadas en este trabajo y se hallaron áreas de oportunidad en el diseño de las cápsulas de conservación, mediante el estudio de diseño comparativo realizado, permitiendo enfocarse en los elementos más importantes para la preservación de los documentos históricos.

Las cápsulas de conservación y el estudio de ellas es poco, debido a que no son utensilios de uso diario, debido a esto la información es escasa y los métodos de conservación y monitoreo son limitados, pero realizando una comparación con un análogo de este como un almacén de conservación, ya que tiene un objetivo similar, con parámetros más amplios, pero que se pueden adaptar fácilmente a las cápsulas de conservación. Y se puede considerar las cápsulas de conservación almacenes pequeños, para poder tener su mapeo de la atmósfera interna y tener la temperatura y humedad de forma controlada, garantizando una atmósfera homogénea.

Caracterización de cápsulas de conservación

La caracterización de las cápsulas se realizó de dos maneras distintas, por medio de la plataforma de monitoreo y de forma local con sensores con memoria interna, esto debido a que se pensó en analizar la estabilización de las cápsulas sin implementación de elementos externos para la regulación de las mismas en las variables de conservación, esto quiere decir que se analizó la cápsula de conservación por sí misma y su efectividad en regular las variables de conservación. Por tal motivo estas pruebas tardaban hasta 3 meses, y si una tenía un error se tenía que repetir lo que ocasionaba que se consumiera mucho tiempo del proyecto en esta actividad, por tal motivo se trabajó en paralelo en la caracterización de las cápsulas como en la implementación del monitoreo por IoT.

En las pruebas de la 2 a la 6 se realizaron sin seguir la metodología de mapeo de almacenes, debido a que solo se contaba con 2 sensores HOBO, y la finalidad de estas pruebas era ver el comportamiento de la atmosfera interna con elementos con distintas propiedades en su interior.

En todos los casos, se observó que, dependiendo la humedad del elemento en su interior, la atmosfera interna de la cápsula se saturaba o disminuía en la humedad en los primeros momentos de cierre de la cápsula. Posteriormente se intentaba estabilizar con toda la atmosfera interna, pero esta estabilización tardaba por lo menos 3 meses y aun así su comportamiento no tendió a un solo punto. Esto debido a que la humedad también depende de la temperatura y esto se veía en el comportamiento de las cápsulas ya que la variación en los puntos finales de la prueba estaba muy relacionada con la temperatura exterior. Por esta razón se decidió implementar un aislante térmico fuera de la cápsula en la última prueba dando como resultado una estabilización mayor, pero sin tender a un solo punto.

Por último, en la prueba 1 y en la prueba con la plataforma de monitoreo IoT se realizó tratando de replicar el mapeo de almacenes pequeños con los sensores de la plataforma y los sensores HOBO en ambas pruebas se observa una ligera variación en las medidas del 1 al 5% entre ellas, esto podría deberse a la exactitud de los sensores entre ellos o que la atmosfera dentro de la cápsula no es homogénea y la aplicación del mapeo de almacenes es recomendable para asegurar una atmosfera homogénea.

Capítulo 9. Conclusiones

El objetivo general de este trabajo se cumplió de manera satisfactoria ya que se logró realizar la implementación de una plataforma de monitoreo y control. El monitoreo se logró implementar en dos pruebas de caracterización y el control se hizo, pero sin aplicar a algún sistema debido a que no se contaba con el presupuesto para los actuadores.

Se logró la caracterización de un microambiente con distintas condiciones iniciales hasta por un periodo de 6 meses, aunque no se logró observar el comportamiento de estabilización durante este tiempo. Y se monitorearon las variables de humedad y temperatura relacionadas a la conservación en tiempo real, dando oportunidad de reaccionar de forma más rápida ante perturbaciones en el sistema.

Plataforma IoT

Con la implementación de la plataforma de monitoreo IoT, se pueden solventar algunos de los problemas encontrados en trabajos anteriores como son:

- Monitoreo constante de las variables críticas.
- Alarmas en caso de que una variable salga del rango aceptable.
- Visualización de las variables desde cualquier lugar o dispositivo con acceso a internet.
- Sistema robusto en adquisición de variables de conservación.
- Mapeo de variables críticas en tiempo real.
- Posibilidad de realizar funciones de control de forma automática, por medio de reglas o de forma manual.
- Tener más opciones para elegir instrumentación con la única limitante que deben tener un protocolo de comunicación.

Caracterización de la cápsula

Por medio del estudio de diseño comparativo realizado, se logró enfocar en las variables más críticas de conservación, y el cómo tenerlas en un rango aceptable, considerando esto e implementando elementos de la industria 4.0 como lo fue el mapeo de almacenes, y el análisis de los resultados de temperatura y humedad para encontrar puntos de riesgo dentro de la cápsula y asegurar que la atmósfera sea homogénea.

La atmósfera en las cápsulas de prueba es casi homogénea debido a que su volumen es pequeño, pero en estas existe mínimamente un 1% de variación en las lecturas internas, lo

cual se encuentra en el rango de tolerancia en las mediciones de almacenes (La mayor desviación permitida es del 7%). Por lo que considero que la implementación de cápsulas de mayor tamaño implicaría el uso de la metodología de mapeo de almacenes para asegurar la atmósfera interna y evitar daños en los documentos en su interior.

Las cápsulas de conservación son un elemento perfecto para la implementación de los elementos de la industria 4.0 como son el IoT, Big Data, Cloud computing, entre otros, ya que los rangos de tolerancia son muy pequeños y la caracterización de los elementos en su interior, muchas veces no es posible

Lo que aprendí

El estudio de diseño comparativo es un proceso complejo al inicio, ya que utiliza un enfoque diferente de las metodologías de diseño, haciendo que se analicen más posibilidades, más opciones y desde distintos puntos de vista, siendo un análisis más funcional. Conforme realicé este proceso y realizando sus iteraciones, comprendí más el como se realiza y sus ventajas, la experiencia y distintos puntos de vista ayudan mucho a la realización de este tipo de estudios. La flexibilidad de aplicación que tiene el diseño comparativo hace que lo pueda aplicar a cualquier tipo de metodología de diseño.

Referencias

- [1] A. C. Ramírez Reivich, *Comparative Design Study of Quarter Turn Pneumatic Valve Actuators*, England: University of Lancaster, 1995.
- [2] R. J. B. Botello, «Primeros Auxilios en Archivos Históricos,» Sección de conservación y restauración AHUNAM - IISUE, CDMX.
- [3] M. Zavala Zuñiga, E. Salinas Muñoz y S. Guzman Zapata , «Manual de preservación, conservación y tratamiento de los documentos del archivo de concentración,» Instituto Morelense de información pública y estadística, Cuernavaca, Morelos.
- [4] N. I. S. Organización, «Environmental conditions for exhibiting library and Archival Material,» Niso Press, Bethesda, Maryland, U.S.A., 2001.
- [5] J. V. Paña Belmont, *Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para exponer documentos históricos*, CDMX: Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [6] D. Ibarra González, *Sistema de monitoreo para la preservación y trasportación de obras Históricas*, CDMX: Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [7] V. Borja Ramírez y A. C. Ramírez Reivich, *Cuadernos de gestión de tecnología Innovación de productos*, México DF: Premio nacional de tecnología, 2006.
- [8] A. G. C., *La importancia de la conservación de los archivos para estudios de la historia de empresas, organizaciones de la sociedad civil. y de instituciones privadas en México*, p.15.
- [9] A. Cid Munguía, *Medidas preventivas para la preservación de la información en materiales impresos*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de filosofía y letras., 2008.
- [10] AKRIMET, «AKRIMET,» AKRIMET, 2021. [En línea]. Available: <http://www.akrimet.com/nuevo/gmp-para-el-mapeo-de-un-almacen-guia-paso-a-paso-para-validar-las-instalaciones-de-almacenamiento-de-la-industria-de-ciencias-de-la-vida/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2021].
- [11] E. M. Arcadia Barrón, *Evaluación del desempeño de un sistema de preservación de documentos históricos con base en el deterioro colorimétrico*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

[12] Otto K.:Wood, K.L, Product desing, techniques in reverse engineering and new product development, E.U.A: Prentice Hall, 2001.

[13] A. G. C., *La importancia de la conservación de los archivos para estudios de la historia de empresas, organizaciones de la sociedad civil. y de instituciones privadas en Méxic*, p.15.

Anexos

Anexo A Artículo SOMIM XXVII

Artículo presentado en el XXVII congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, SOMIM nombrado “Estudio Comparativo de Cápsulas Herméticas para la Preservación de Documentos Históricos”

Tema A1 Diseño Mecánico: Estudio de diseño comparativo

“Estudio Comparativo de Cápsulas Herméticas para la Preservación de Documentos Históricos”

Daniel Josué Pérez Cinencio*, **Alejandro C. Ramírez-Reivich**, **Vicente Borja**, **Ma. Pilar Corona-Lira**.

Universidad Nacional Autónoma de México

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería

Circuito Exterior, Conjunto Sur, Facultad de Ingeniería, Edificio X, Centro de Ingeniería Avanzada

Ciudad Universitaria Cd. De México, México C.P. 04510

*Autor contacto: djperezcinencio@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo se desarrolla para entender la estructura de cómo está conformado el diseño de cápsulas de preservación de documentos históricos. Para tal fin se realiza un estudio de diseño comparativo de patentes de instrumentos homólogos y análogos basados en la metodología de diseño funcional principalmente. Los resultados de este análisis permitieron la identificación de una propuesta forma por dos términos que son: nivel de preservación y nivel de complejidad. Estos términos junto con la información generada permiten tener los elementos suficientes para iniciar nuevos conceptos de diseño para cápsulas de preservación de documentos históricos.

Palabras Clave: Preservación, Documentos Históricos, Estudio de Diseño Comparativo, Diseño Conceptual.

ABSTRACT

This work is developed to understand the structure of how the design of preservation capsules of historical documents is formed. For this purpose, a study of the comparative design of patents of homologous and analogous instruments is carried out, mainly based on the functional design methodology. The results of this analysis allowed the identification of a proposal formed by two terms that are: level of preservation and level of complexity. These terms, together with the information generated, allow us to have enough elements to initiate new design concepts for capsules for the preservation of historical documents.

Keywords: Preservation, Historical Documents, Comparative Study, Conceptual Design.

1. Introducción

El estudio comparativo reportado en este artículo es realizado con el fin de sintetizar el conocimiento existente sobre las diferentes cápsulas para la preservación de documentos históricos. En el diseño de cada una de ellas se identifican áreas de oportunidad para que, con base en sus principales características, se mejore un sistema de cápsula o se rediseñe.

Este proceso tiene una gran importancia durante las etapas tempranas del proceso de diseño.

La preservación de documentos históricos implica una diversidad de conocimientos que se han desarrollado a lo largo de varios años y se han mejorado con el uso de la tecnología para controlar y cuantificar los factores que

pueden dañar a los mismos. El daño a los documentos es generado por los siguientes factores. [1]:

- Factores biológicos.
- Factores fisicoquímicos.
- Factores humanos.
- Factores internos.

Para realizar la preservación de un documento se emplean mecanismos, dispositivos y tecnologías que ayudan a disminuir el daño que los factores antes mencionados causan.

En este artículo primero se abordarán los antecedentes de las cápsulas de conservación, su propósito y los elementos que pueden resguardar, así como las razones del por qué se usan, posteriormente se analizan los aspectos y elementos de cápsulas o sistemas de preservación con bases en las patentes que se analizaron y resaltando los principales aspectos de las cápsulas. Se

realizó un estudio comparativo con la metodología propuesta por Ramírez [2], y finalmente se muestran los resultados del estudio de diseño comparativo.

2. Antecedentes

Los archivos históricos son prueba o testimonio de hechos, garantía de transparencia y al cabo del tiempo se convierten en depósito de la memoria e identidad de sus generadores. En ellos, los profesionales interesados en la evolución histórica de un tema particular, pueden encontrar importantes fuentes primarias de información. Estos profesionales pueden ser de instituciones educativas, sector público, organizaciones de la sociedad civil, coleccionistas privados o empresas. Escribir la historia de un hecho, un personaje o un tema sólo se logra confrontando todas las metodologías y fuentes de información procedentes tanto de archivos públicos como privados, en donde los individuos hayan dejado inscrita su memoria. En ese contexto, los archivos generados por todas las personas e instituciones involucradas, pueden testimoniar diversos aspectos. La preservación y organización de estas fuentes de información histórica son una responsabilidad de las instituciones y organizaciones que las generan o las tienen en custodia, pero también son una responsabilidad que han asumido las instituciones gubernamentales tanto en el marco de ley como en la práctica. Este tipo de documentos también se encuentran en los archivos históricos de las Instituciones de Educación Superior donde es frecuente la incorporación de fondos documentales de personas o instituciones cuya trayectoria y desarrollo histórico son afines a los fondos resguardados por dichos archivos. [1]

Muchos escritos son fundamentales porque constituyen todos los registros existentes. Se debe procurar su permanencia en el tiempo, no sólo buscando preservar la información que contienen, sino también hay que darle importancia a las técnicas con las que fueron plasmados y los materiales que fueron utilizados, ya que su existencia en muchos casos reviste connotaciones de carácter nacional, político, legal, económico, etnológico, científico, tecnológico e incluso emocional.

El papel presenta una longevidad bastante engañosa, pues a pesar de que escritos antiquísimos han prevalecido hasta nuestros días, un gran número de material documental ha desaparecido para siempre.

Todos los materiales sufren un proceso de descomposición que implica deterioro; aún si los efectos resultan ser poco visibles y toman mucho tiempo [3]. Por lo anterior, todos los factores para la preservación de documentos se revisan minuciosamente ya que afectan el documento de distinta forma y sus consecuencias son variadas.

Por tales motivos, es necesario llevar a cabo un proceso de preservación de los documentos u objetos históricos ya que son una parte importante de la historia y del legado del pasado.

Los sistemas de preservación de documentos históricos están conformados principalmente por elementos mecánicos, como se explicará en los puntos siguientes.

3. Aspectos y elementos de cápsulas o sistemas de preservación

Existe una amplia diversidad de cápsulas de preservación de documentos u objetos históricos y que al mismo tiempo puedan presentarse para su exhibición. Éstas varían en su funcionamiento, que puede ir desde controlar la humedad relativa dentro del encapsulado para evitar que el papel u objeto tienda a modificar sus características fisicoquímicas, hasta controlar la temperatura para evitar distintos efectos fisicoquímicos o el tipo y la intensidad de la radiación luminosa que tienen contacto con la misma. Estos productos son creados como sistemas de propósito especial, los cuales no están disponibles comercialmente, sólo se muestran como resultados de trabajos de investigación científica o en patentes que en su mayoría son presentadas por instituciones académicas o museos.

Se logró obtener una muestra representativa de estas patentes para el estudio comparativo. Tras hacer una minuciosa revisión de las patentes, se observa que los aspectos en los cuales enfocan sus reivindicaciones son los siguientes:

- Diseño del área de exhibición.
- Mecanismos de apertura.
- Movilidad.
- Preservación del objeto en su interior.

A continuación, se describen los aspectos anteriores y las funciones principales que se identificaron en las patentes.

3.1. Diseño de área de exhibición

Este espacio en la cápsula cumple dos propósitos

- Exhibir
 - Contener la atmósfera de preservación
- Éste último es el más importante de todos, ya que marcará el volumen de la atmósfera de preservación y al mismo tiempo no debe de tener ningún mecanismo o sensor que impida que se pueda visualizar correctamente el objeto en su interior.

3.2. Mecanismo de apertura

El mecanismo de apertura es el que nos permite tener acceso al objeto dentro de la cápsula ya sea para su manipulación o mantenimiento.

3.3. Movilidad

Esta función permite que la cápsula o el sistema de preservación se mueva o desplace de un lugar a otro sin necesidad de quitar el objeto de su interior.

3.4. Preservación del objeto en su interior

La función de preservar se considera que es la más importante de la cual todos los aspectos o funciones dependen de ella. Ésta debe impedir los factores antes mencionados en [1]. Para realizar esta función se requiere que los siguientes elementos también sean considerados:

- Hermeticidad.
- Control de humedad relativa.
- Control de temperatura
- Control de intensidad lumínica.

Estos elementos de preservación se realizan con diferentes dispositivos y sistemas de control [4].

4. Estudio de diseño comparativo

4.1. Metodología

Para realizar un estudio comparativo, Ramírez [2] [5] señala la relevancia de sintetizar la información comparativa de forma visual en tablas, gráficas, diagramas, etc. No menciona una metodología generalizada para este propósito, pero propone medir los valores cualitativos o cuantitativos de las especificaciones de los productos similares.

A continuación, se proponen los pasos a seguir para realizar el estudio de diseño comparativo:

1. Listar aspectos de diseño.
2. Listar productos análogos y homólogos.
3. Sintetizar información relativa a los productos y funciones.
4. Estudiar la muestra representativa de patentes.
5. Comparar por funcionalidad.
6. Establecer cuáles son los mejores productos.
7. Identificar y proponer métricas
8. Estudiar las tendencias de los aspectos de diseño considerados.

4.1.1. Aspectos de diseño

Los aspectos de diseño [6] considerados en este estudio comparativo son los siguientes:

- Volumen papel/objeto
- Volumen de la atmósfera de preservación
- Volumen del mecanismo
- Volumen de los componentes electrónicos
- Volumen muerto
- Volumen total
- Método de apertura
- Hermeticidad
- Tipo de sello
- Tipo de cierre
- Atmósfera interna controlada
- Control de humedad
- Control de temperatura
- Filtros de luz
- Accesibilidad (Método de apertura)
- Soporte para el objeto
- Restringe el movimiento
- Movilidad

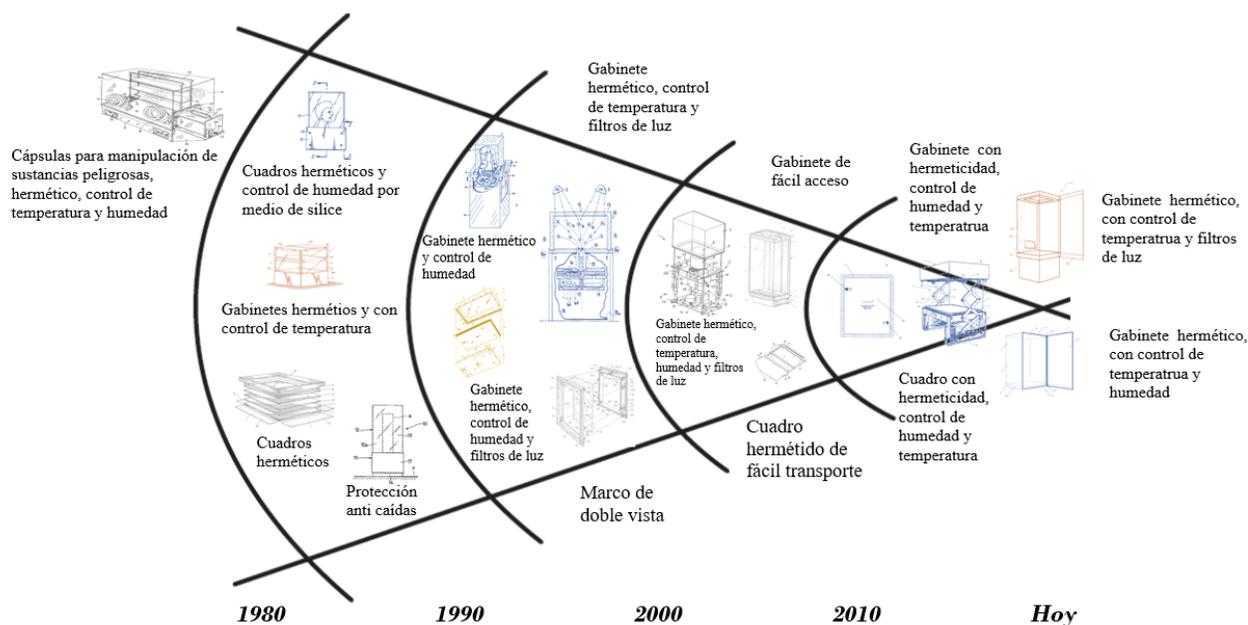


Figura 1 Cono de Janus

4.1.2. Lista de productos análogos y homologos

En la figura 1 se muestran las patentes analizadas de un total de 19, se menciona brevemente su característica principal y el año en que se solicitó la patente.

En la figura 1 se observa que en el año de 1980 aproximadamente empiezan a ser patentadas las cápsulas de preservación. Aunque es importante aclarar que la primera cápsula identificada tenía funciones análogas a las dedicadas a la conservación de documentos (permitía la manipulación de los objetos en su interior y su propósito era el de trabajar con sustancias peligrosas teniendo un ambiente controlado y seguro).

Los colores de las figuras indican la función principal para la preservación que tiene cada patente identificada.

- Azul: Control de Humedad
- Naranja: Control de temperatura.
- Gris: Hermeticidad.
- Amarillo: Control de intensidad lumínica.
- Gris claro: Tienen otra característica principal.

En la figura 1 se observa que la tendencia ha sido trabajar más sobre la hermeticidad y el control de humedad por encima del control de intensidad lumínica y el control de temperatura.

Se observan algunas funciones principales que tenían estas cápsulas además de la preservación, o en lugar de la preservación del objeto en su interior.

Algo que se detectó es que la mayoría de las cápsulas no perduran en el tiempo ya que cumplen con la función de preservar el documento o artefacto durante su exhibición, más no durante toda su existencia.

4.1.3. Síntesis de información relativa a los productos y funciones

Para analizar la información de las patentes, se identificaron 4 funciones o aspectos.

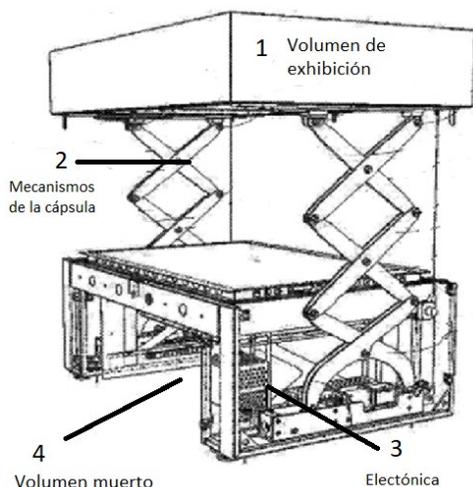


Figura 2 – Estructura funcional de una cápsula de preservación [6]

En la Figura 2 se da el ejemplo de la estructura funcional de una cápsula de preservación de una de las patentes analizadas.

Los elementos de las funciones principales son los siguientes:

Tabla 1 – Funciones y subfunciones principales de una cápsula de preservación

Función	Subfunción
FP1: Exhibir	SF 1a: Contener el documento
	SF 1b: Restringir el movimiento
	SF 1c: Preservar el documento
FP2: Acceder	SF 2 a: Facilitar acceso a la zona de contención
	SF 2b: Sellar
FP3: Controlar	SF 3 a: Medir
	SF 3b: Regular suministro de energía
FP4: Apoyar	SF 4a: Soportar
	SF 4b: Elevar cápsula

Como se muestra en la tabla 1, las funciones principales de las cápsulas de preservación tienen a su vez subfunciones o funciones-secundarias que ayudan a cumplir la función principal. En la figura 2 se muestra a que parte de la cápsula le pertenece la función indicada.

Desarrollando las funciones principales podemos decir lo siguiente:

FP1: Exhibir: Ésta es la función principal de las cápsulas de preservación estudiadas, ya que la mayoría tienen como objetivo mostrar, observar, analizar o estudiar el documento u objeto dentro de un museo o sala de exhibición.

Para que esta cumpla con su función se apoya de las siguientes funciones secundarias:

SF 1a: Contener documentos u objetos: Esta función permite que el área de exhibición tenga el documento u objeto en su interior.

SF 1b: Disminuir movimientos: Esta función permite que el documento/objeto en su interior tenga movimientos restringidos, más no impide el desplazamiento por completo, esto debido a que los objetos en su interior pueden sufrir dilataciones térmicas o vibraciones mecánicas, que, aunque pueden ser imperceptibles, si se restringe el movimiento por completo, provocaría un daño al objeto en cuestión.

SF 1c: Preservar: Esta función conlleva el control de los factores mencionados que dañan un documento/objeto. Para realizar esto, se debe de crear una atmósfera idónea dentro del área de la exhibición y es aquí donde se debe controlar la temperatura, humedad relativa, intensidad lumínica y garantizar una atmósfera hermética (debido a que es el volumen que contiene al documento y tiene contacto directo

con él) y a su vez es donde el usuario final puede observar el objeto sin dañarlo.

FP2 - Acceder: Como se había mencionado antes, uno de los elementos importantes de las cápsulas es la forma en la que se accede a su interior, ya que debe permitir dar el mantenimiento al documento/objeto en su interior.

Esta función se divide en las siguientes dos subfunciones:

SF 2a Mecanismo de acceso: Es el elemento que poseen algunas de las cápsulas analizadas que permiten un fácil acceso al interior de la cápsula (volumen de exhibición).

SF 2b Mecanismo de cierre: Es el elemento con el cual es sellada la cápsula, éste puede ser un sello permanente o temporal.

FP3 Controlar: Son los elementos que permiten hacer la atmósfera idónea para la preservación dentro de la cápsula

SF 3a: Microprocesadores: Es el sistema lógico programable el cual permitirá implementar un control para obtener la atmósfera deseada.

SF 3b: Sensores: Son los elementos que alimentaran con datos de la atmósfera del volumen de exhibición al sistema de control.

SF 3c: Fuente de energía: Es el encargado de alimentar a los sensores, actuadores y sistema de control para su correcto funcionamiento.

FP4: Apoyar: Es una función auxiliar que nos permite que la exhibición se pueda visualizar correctamente.

4.1.4. Descomposición y estudiar los productos clasificados en grupos

Para estudiar las cápsulas se realizó un análisis de funciones, dando como resultado que las funciones principales de una cápsula son:

- Restringir,
- Acceder
- Exhibir
- Preservar

Teniendo en consideración esto, las subfunciones tienen entrada y salida de datos, energías y materiales lo que lo convierte en una máquina o sistema tecnológico.

[8]

4.1.5. Comparar funcionalidad

Para realizar el análisis de las patentes, primero se ordenaron por el año en que fueron registradas, posteriormente se les asignó un código a cada patente para que fuese más sencillo trabajar con las mismas, ya que como son de distintos países y fechas usar el número de patente o nombre como identificador complicaba el análisis.

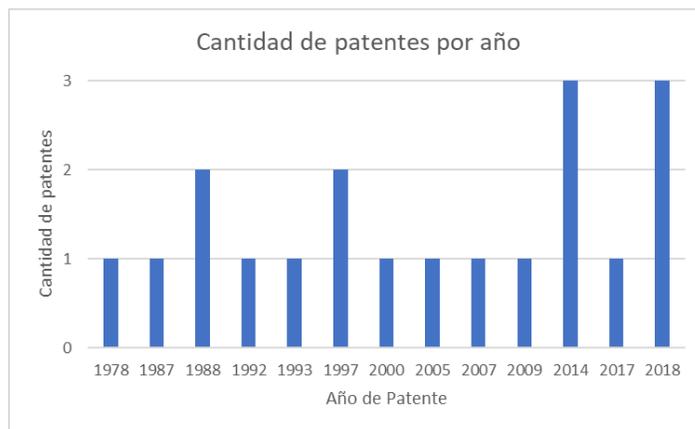


Figura 3 – Cantidad de patentes por año

En la figura 3 se observa que la cantidad de patentes generadas por año casi siempre fue constante en el transcurso del tiempo teniendo como promedio una patente por año. Esto es sencillo de entender ya que, al ser dispositivos de propósito especial, sólo surgen cuando hay alguna necesidad específica que cubrir para determinado objeto o documento. En los años donde hay más de una patente, se puede observar que la funcionalidad principal que tratan de proteger es distinta.

Para comparar la funcionalidad de las cápsulas se hizo una tabla que indica los elementos para la preservación que posee cada una de éstas, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 2 – Tabla de funciones de la preservación que posee cada patente analizada (0 = No, 1 = Sí)

Código	Hermeticidad	Ctrl. Humedad	Ctrl. Temp.	Ctrl. Intensidad Lumínica
1	1	1	1	0
2	1	0	0	0
3	1	0	1	0
4	1	1	0	0
5	1	1	0	0
6	1	1	0	1
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	1	0	1	1
10	1	1	1	1
11	1	1	0	0
12	0	0	0	0
14	1	1	1	0
15	1	0	0	0
16	1	0	0	1
17	1	0	0	0
18	1	1	1	0
19	1	0	1	1
20	1	1	1	0

Ya que cada cápsula hace la función mencionada de distinta forma y con diferentes tecnologías, sólo se está comparando si realiza dicha función o no. Para indicar que sí hace la función, se le colocó un 1, y para indicar que no la realiza, se colocó un 0.

Dado que las cápsulas estudiadas son de diferente tamaño (ya que el propósito de cada una es distinto), se propuso la comparación entre ellas a través de la relación de volumen de exhibición, que es una relación del volumen total de la cápsula respecto al volumen que cumple con la función de exhibir.

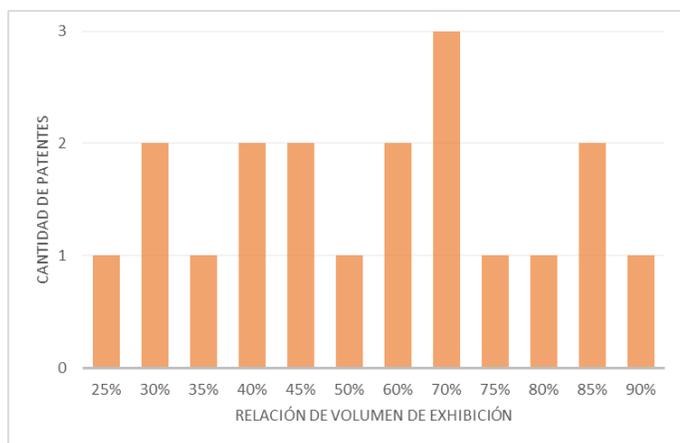


Figura 4 – Cantidad de patentes existentes en relación a su volumen de exhibición

Como se muestra en la figura 4, el porcentaje de exhibición no está cerrado ni limitado a valores estrictos, aunque hay algunas patentes que tienen el mismo volumen de exhibición. Lo anterior, aunque revisando a detalle se observa que la función principal de la cápsula es distinta, así como el método de preservación.

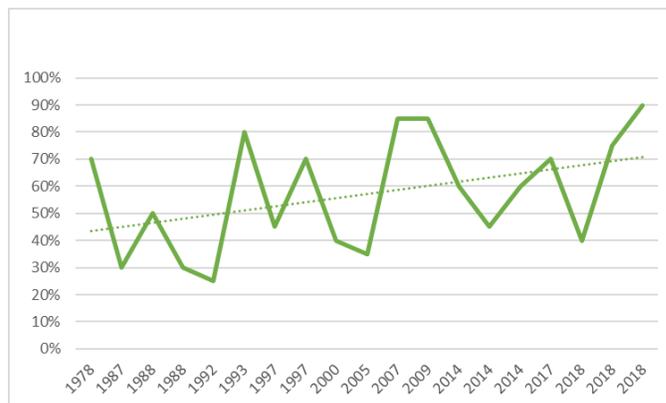


Figura 5 – Relación de volumen de exhibición por año

Se aprecia que la tendencia en el volumen de exhibición aumenta con los años. Como se observa en la figura 5, es posible identificar una tendencia en realizar cápsulas con un mayor volumen de exhibición, pero recordemos que estas cápsulas se realizan con base en lo que contendrán, esto representa que se enfrentan a dar soluciones a documentos más grandes y complejos de preservar.

Para continuar con la comparación de la funcionalidad, se hicieron dos ponderaciones para comparar las cápsulas entre sí, sin considerar la tecnología que utilizan, para lograr una atmósfera de preservación y el factor de complejidad que involucra cada uno de éstos.

Debido a que algunas funciones que se utilizan para lograr la atmósfera de preservación podrían entenderse de distintas maneras y para evitar confusiones, se define cómo es que se manejan en este artículo a continuación:

- Hermeticidad: Reducir la permeabilidad del sello.
- Control de humedad: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular el porcentaje de agua que existe en el interior de la cápsula.
- Control de temperatura: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular la temperatura al interior de la cápsula.
- Control de intensidad lumínica: Es un mecanismo, dispositivo o máquina que ayuda a regular la radiación ultravioleta o radiación UV, cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 10 (nm) y los 400 (nm) [3]

Los principales factores que pueden dañar un documento se pueden dividir a su vez en elementos que se pueden controlar con ayuda de las funciones antes mencionadas. A continuación, se procederá a mencionar los factores que pueden dañar un documento. [6]

Factores Biológicos

- Microorganismos
- Insectos
- Roedores

Factores fisicoquímicos

- Temperatura
- Humedad
- Filtros de luz
- Contaminación

Factores Humanos

- Uso y manejo

Factores internos

- Mala calidad de papel
- Acidez en el papel
- Acidez en tintas

Con base en esto, se realizó una tabla para obtener los factores de ponderación. Relacionando las funciones para la preservación y los factores que se realizan o no.

En este análisis observamos que hay factores que dañan los documentos que están fuera de nuestro control, pero hay que tratar de reducir el daño provocado lo más posible.

Para realizar este estudio se realizó una tabla de ponderación cuantitativa, considerando los elementos de preservación encontrados en las cápsulas estudiadas. Y se relacionó con las afectaciones causadas dependiendo de su factor de daño.

humedad relativa y el control de temperatura. El elemento menos relevante para la preservación de los documentos es el control de la intensidad lumínica.

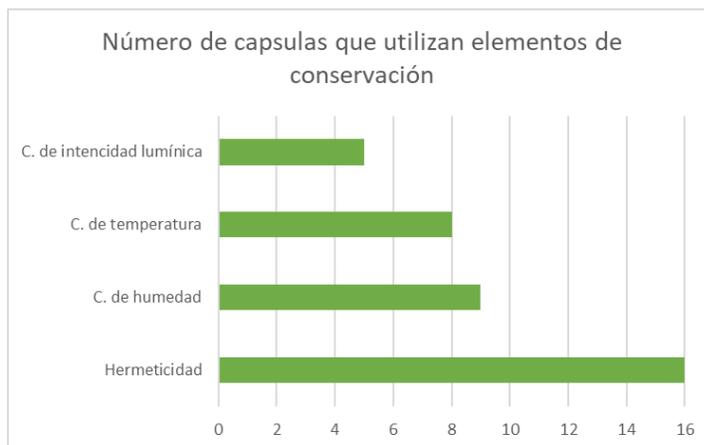


Figura 7 – Número de cápsulas con elementos de preservación que posee

Como se observa en la figura 7 y considerando que la hermeticidad es el elemento más importante para la preservación, corroboramos que en la mayoría de las patentes se presenta esa función.

Para analizar el nivel de complejidad, se realizó una tabla de ponderación considerando los elementos de preservación vistos y los factores de medición o control que implican de una forma global.

Para hacer la tabla, se revisaron los elementos que se pueden controlar y medir en cada una de estas funciones

Elemento de preservación	Factores Biológicos			Factores fisicoquímicos				Factores Humanos	Factores internos			Resultado
	Microrganismos	Insectos	roedores	Temperatura	humedad	Filtros de luz	Contaminación	Uso y Manejo	Mala calidad de papel	Acidez en el papel	Acidez en tintas	
Hermeticidad	1	1	1	0.5	0.5	0	1	1	0	0	0	6
C. de humedad	0.2	0	0	0.5	1	0	0	0	0.3	0	0	2
C.de Temperatura	0.2	0	0	1	0.5	0	0	0	0.3	0	0	2
C. de intensidad lumínica	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

1=Protégé mucho, 0=No protégé nada

Figura 6 – Ponderación preservación

En la figura 6 se muestra la ponderación realizada, en esta se observa que la función para preservar que tiene más peso es la que protege contra un mayor número de los factores de daño mencionados anteriormente.

Dando como resultado que la hermeticidad es el elemento más importante, seguido del control de la

para decidir cuál elemento conlleva más complejidad de aplicación. Así, el elemento de preservación que tenga más factores de los antes mencionados será el menos complejo para su aplicación.

Dando como resultado la tabla de la figura 8, donde se observa que el menos complejo es el control de intensidad lumínica seguido de la hermeticidad, control

Factor de complejidad	Medición directa	Medición secundaria	Tiempo de Respuesta	Exactitud	Repetibilidad	Tamaño	Intervalos de operación	Resistencia a perturbaciones	Tiempo en llegar al valor deseado	Gasto energético	Resultado
Hermeticidad	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
C. de humedad	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	5
C.de Temperatura	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	4
C. de intensidad lumínica	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9

1=Se puede, buena 0=No se puede, malo

Figura 8 - Ponderación de Complejidad

de humedad y control de temperatura. Con base en las ponderaciones realizadas, se obtuvo la tabla 3 de ponderación:

Tabla 3 – Ponderación de funciones para la preservación.

Elemento	Preservación	Complejidad
Hermeticidad	3	2
Control de Humdedad	2	3
Control de Temperatura	2	4
Control de IL	1	1

Para la ponderación de la tabla 3, se consideró que en la preservación el 3 es más importante y el 1 es menos importante; mientras que en la complejidad el 4 es más complejo y el 1 es menos complejo.

Con base en la tabla 2, se multiplica el elemento de preservación por su ponderación correspondiente en preservación y complejidad, posteriormente se suma el resultado dando un nivel de preservación y complejidad por cada patente. En ella se considera que el mayor número posible en la preservación es el 8 y en la complejidad es el 10. Para tener el porcentaje de cada cápsula estudiada se asignó un valor de volumen de exhibición, nivel de preservación y complejidad dependiendo de los elementos de preservación que tienen y sacando el porcentaje de cada cápsula con respecto al máximo de su categoría. Teniendo como resultado lo mostrado en la tabla 4.

La tabla 4 está ordenada de forma ascendente en el volumen de exhibición para un mejor entendimiento. El porcentaje de cada columna indica el nivel de cumplimiento con respecto al valor máximo de cada categoría.

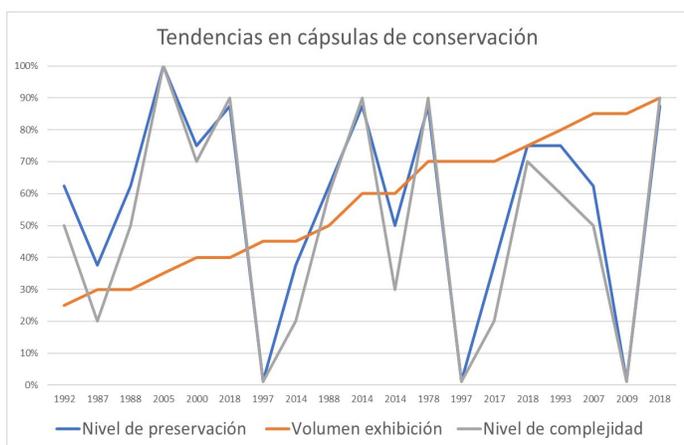


Figura 9 – Tendencias en las cápsulas de preservación

Tabla 4 – Tabla de comparación para el nivel de preservación y complejidad

Código	Año	Nivel de preservación	Volumen de exhibición	Nivel de Complejidad.
5	1992	63%	25%	50%
2	1987	38%	30%	20%
4	1988	63%	30%	50%
10	2005	100%	35%	100%
9	2000	75%	40%	70%
18	2018	88%	40%	90%
7	1997	0%	45%	0%
15	2014	38%	45%	20%
3	1988	63%	50%	60%
14	2014	88%	60%	90%
16	2014	50%	60%	30%
1	1978	88%	70%	90%
8	1997	0%	70%	0%
17	2017	38%	70%	20%
19	2018	75%	75%	70%
6	1993	75%	80%	60%
11	2007	63%	85%	50%
12	2009	0%	85%	0%
20	2018	88%	90%	90%

Con esta información se realizó una gráfica de tendencias ordenada por el año en que se presentó la patente, figura 9, para visualizar de mejor manera los resultados.

En la figura 9 se observa cómo es que se han comportado las cápsulas de preservación a través de los años. Como se había mencionado con anterioridad, no hay una tendencia clara en las cápsulas, pero sí en el comportamiento que existe entre el nivel de preservación y en la complejidad ya que van casi de la mano considerando que para tener mayor nivel de preservación es necesario aumentar la complejidad. En la figura 9 también se observa que el volumen de exhibición se comporta de una manera inversa al nivel de preservación.



Figura 10 – Nivel de preservación vs volumen de exhibición vs nivel de complejidad

Como se observa en la figura 10, para tener un nivel de preservación grande existe una mayor complejidad y la única cápsula que cuenta con un 100% de preservación también tiene un 100% de complejidad y tiene un volumen de exhibición pequeño. También se observa que, a mayor nivel de preservación, el volumen de exhibición es menor y esto concuerda con la figura 9.

5. Resultados

En la figura 9 se aprecia que el camino a seguir para el desarrollo de nuevos productos y la tendencia en la que se desarrolla este tema es en aumentar el volumen de exhibición, aunque la complejidad aumenta significativamente si es que se desea tener un nivel de preservación adecuado. En la figura 10, observamos que la tendencia actual está en niveles de preservación entre el 40% y 90% con volúmenes de exhibición entre 20% y 80%. Y que no existe un nivel de preservación alto con un volumen de exhibición grande ya que la complejidad para lograr esto aumentaría demasiado.

Se observa que las cápsulas de conservación son un desarrollo constante que no representan demanda a través de los años, por lo cual es un tema donde hay poca evolución, pero con una gran oportunidad de innovación. No todas las funciones que se presentan existen en todas las cápsulas, pudiera parecer que un sistema complejo tendría que integrar todas las funciones, pero esto no ocurre así, en donde se observa que hay una oportunidad de desarrollo futuro al tener sistemas que integren todas las funciones identificadas, ya que el aumento de las funciones de conservación aumenta la complejidad y por ende es son mejores cápsulas de conservación.

La relación de volúmenes propuesta nos permite ver la tendencia de aumentar el volumen de exhibición, por lo que la combinación de sistemas complejos con grandes volúmenes es otra línea de oportunidad en el desarrollo de estos sistemas.

Se observa que a pesar de que se analizaron un número bajo de patentes fueron suficientes para encontrar una tendencia de evolución de las mismas.

La ponderación ayudo a diferenciar y discriminar los diferentes factores en dos clasificaciones: nivel de preservación y nivel de complejidad en las capsulas, estos son suficientes para iniciar el proceso de diseño de estos sistemas.

6. Conclusión

Como se observa en la figura 9 el volumen de exhibición tiene un comportamiento inverso al del nivel de preservación, ya que a menor volumen de exhibición existe un mayor nivel de preservación. Se podría concluir, que las atmósferas pequeñas son más sencillas de controlar, pero recordemos que en este estudio comparativo se definió el volumen de exhibición con respecto del volumen total de la cápsula. Lo cual nos

lleva a concluir que son necesarios más dispositivos y equipo para tener una atmósfera de preservación idónea, y, por ende, éste ocupa mucho más espacio lo que reduce el volumen de exhibición en relación al total.

También se observa que no hay una tendencia específica sobre el volumen de las cápsulas, ya que como se menciona desde el inicio, son productos que no son de uso cotidiano y que se diseñan para un objeto/documento en específico.

Si en este estudio se analizan los medios para realizar las funciones necesarias para lograr la preservación como son el diseño de detalle de todos los componentes, las características de los materiales o procesos de manufactura, se pudieran identificar nuevos índices y tendencias en el desarrollo de estos sistemas.

Lo que se está comparando son funciones, más no cómo se están logrando. Un ejemplo de estos temas son los siguientes:

- Control de humedad: Para lograrlo en los años de 1980 se utilizaba resinas a base de sílice con cierto porcentaje de humedad; algo que era bastante funcional, pero cuando se saturaba había que cambiarla o secarla para que siguiera absorbiendo la humedad. Con los años esto cambió a un sistema de cambio de gases inertes, lo cual ya no tenía el problema de la saturación, pero sí el de las fugas.
- Hermeticidad: Los primeros sellos fueron realizados con soldaduras a base de aleaciones metálicas, posteriormente se cambiaron a adhesivos a base de silicón y cintas de sellado, y actualmente se utilizan sellos de sección circular, empaques previamente moldeados.
- Control de temperatura: Este control es el más difícil de aplicar como se vio en el desarrollo del estudio, ya que el flujo de calor es lento en la atmósfera y su control es complicado pues no debe de dañar el elemento que se encuentra dentro de la cápsula.
- Control de intensidad lumínica: Este control es el menos utilizado en las cápsulas estudiadas, esto es debido a que la mayoría están enfocadas a exhibirse dentro de un museo o sala de exhibición donde el tipo de luz es filtrado fácilmente.

Para realizar el análisis de las tecnologías usadas, se necesitaría más información que las reportadas en las patentes, ya que no especifican con detalle todos los componentes o controles de las cápsulas. Esta información no es de fácil acceso. Algo importante a considerar en el futuro diseño de las cápsulas es la separación de las funciones implicadas, ya que, como se observó en las figuras 9 y 10, el volumen de exhibición y el nivel de preservación suelen ser parámetros que se contraponen. Por tal motivo, se consideraría hacer una atmósfera de preservación y la función de exhibir por separado. Esto ayudaría a tener un mejor nivel de preservación sin comprometer la exhibición.

REFERENCIAS

- [1] A. G. C., *La importancia de la conservación de los archivos para estudios de la historia de empresas, organizaciones de la sociedad civil. y de instituciones privadas en México*, p.15.
- [2] A. C. Ramírez Reivich, *Comparative Design Study of Quarter Turn Pneumatic Valve Actuators*, England: University of Lancaster, 1995.
- [3] E. M. Arcadia Barrón, *Evaluación del desempeño de un sistema de preservación de documentos históricos con base en el deterioro colorimétrico*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- [4] A. Cid Munguía, *Medidas preventivas para la preservación de la información en materiales impresos*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de filosofía y letras., 2008.
- [5] M. D. P. Lira, A. Ramírez Reivich and V. Borja Ramírez, "Estudios comparativos para la innovación de productos," 2005.
- [6] K. T. Ulrich and S. Eppinger, *Product design and development*, E.U.A.: McGraw Hill, 2004.
- [7] M. Alessandro Goppion, "Bell-Type Museum Showcase, having pantograph lifting mechanisms". United States Patent US 2018/0020846 A1, 25 Enero 2018.
- [8] M. J. French, *Conceptual Design for Engineers*, Springer, 1985.
- [9] Otto K.:Wood, K.L, *Product design, techniques in reverse engineering and new product development*, E.U.A: Prentice Hall, 2001.
- [10] F. Tamura, K. Nara and R. takahashi, "Display Cabinet". United States Patent 4,744,611, 17 Mayo 1988.
- [11] T. Pilcher, "Compay Benchmarking as a Tool to Aid Competitiveness," *The TOM Magazine*, vol. 11, no. 1, 1999.
- [12] K. B. Michael J. Garnett, "Display Case". United States Patent US 2007/0062983 A1, 22 Marzo 2007.
- [13] G. Meadows, "Documentos Storages Assambly". United States Patent US 2017/0173991A1, 22 Junio 2017.
- [14] C. R. Lisbet N Thoresen, "Display Case". United States Patent 4,749,241, 7 Junio 1988.
- [15] H. Kodera, "Exhibition Apparatus". United States Patent 5,671,984, 30 Septiembre 1997.
- [16] R. p. Karla Pena, "Custom display Storage unit". United States Patent US 2014/0374082 A1, 25 Diciembre 2014.
- [17] P. O. Max H. Folsom and P. Michael D. Dickman, "Controlled atmosphere apparatus and method of transferring specimens to same". United States Patent 4,111,753, 5 Septiembre 1978.
- [18] I. Kremen, "Hermetic Enclosure Assembly for Preservational storage and/or display of otherwise degradable objects". United States Patent 5239648, 24 Agosto 1993.
- [19] A. GOPPION, "PROTECTION AND DISPLAY CASE". United States Patent US 2009/0102331, 23 Abril 2009.
- [20] S. R. Paine, "Museum Display Case Having Improved Airtight Seal". United States Patent 5127718, 7 Julio 1992.
- [21] A. Goppion, "Museum Showcase with an invisible gasket". Unites States Patent 10156090, 18 Diciembre 2018.
- [22] A. Goppion, "Muserum Showcase, having detection sensor, adjustment actuators, alrms and processing unit conected together". United States Patent 9990820, 5 Junio 2018.
- [23] M. Pruneri, "Modular display structure for preservig objects in a protective atmosphere". United States Patent WO 205/089596 A1, 17 Marzo 2005.
- [24] A. Goppion, "Window unit for display, protection and preventive conservation of an object of limited thicness". United States Patent 8813404, 26 Agosto 2014.
- [25] A. J. Neilly, "Window Frame Eith integral connectos". United States Patent 5644881, 8 Julio 1997.
- [26] J. Gipson, "Sealed enclosure for display objects". United States Patent 4646914, 3 Marzo 1987.
- [27] J. V. Miller, "Sealed case with closed-cycle filter system". United States Patent 6024775, 5 Febrero 2000.