



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**EVALUACIÓN DEL VIDRIO BOROSILICATADO COMO
MATERIAL ALTERNATIVO PARA USO EN CÁMARAS DE
NIEBLA SALINA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

Autor:

Bach. Garrido Gonzales Pablo Jersson

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6055-7159>

Asesor:

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea De Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2021

EVALUACIÓN DEL VIDRIO BOROSILICATADO COMO MATERIAL
ALTERNATIVO PARA USO EN CÁMARAS DE NIEBLA SALINA

Aprobación del Jurado

Mtro. Juan Carlos Vives Garnique

Asesor

MSc. Ángel Marcelo Rojas Coronel

Presidente del jurado de tesis

Mg. Elmer Rolando Polo Briceño

Secretario del jurado de tesis

Mtro. Juan Carlos Vives Garnique

Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA

A mis padres, con su voluntad, esfuerzo y perseverancia supieron sacarme adelante, siempre con el deseo que superarme como persona y estudiante día a día, y lo que hoy represento como joven es gracias a ellos. A mi hermano por su apoyo constante y enseñanza.

AGRADECIMIENTOS

En la culminación de este proyecto de investigación estuvieron comprendidas muchas personas que estuvieron apoyando de manera desinteresada apoyaron orientándome para lograr un gran objetivo.

Familia Garrido - Gonzales, por el apoyo anímico y financiero para culminar mi carrera con éxito y ser un gran profesional, por comprender y ceder un poco de mi tiempo familiar para dedicarme a la culminación de mi proyecto de investigación.

Universidad Señor de Sipán, por su apoyo monetario e infraestructural en los 5 años de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Universidad Santo Tomás - seccional Tunja, por recibirme un ciclo en su gran institución y aprender muchas grandes experiencias en la parte académica y convivencia.

Docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica USS, por su disposición para ayudar ante cualquier duda con los cursos dictados, por su amistad y apoyo para culminar este proyecto.

Grupo de Investigación Facultad de Ingeniería Mecánica USTA, por aceptarme en la investigación y así poder experimentar una nueva forma de aprendizaje con el apoyo para la publicación de artículos.

Dirección de Relaciones Interinstitucionales y Cooperación Internacional, por su apoyo y capacitación en el proceso de obtención de mi beca.

Área de Investigación de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por la motivación para cumplir mi objetivo de publicar artículos.

Compañeros de Carrera, por la concordia en los 5 años de carrera.

RESUMEN

La presente investigación se expone la evaluación del vidrio borosilicatado sodio bario fundamentado en el desarrollo mediante softwares que permite entender el comportamiento del material y la función que cumple dentro un sistema donde el aislamiento térmico es uno de los principales registros a tener en cuenta. Esta investigación inicia dando a conocer el impacto ambiental que tiene un material polimérico y su frecuencia de este material en su inclusión para los diseños de cámaras de niebla salina identificando las partes de la máquina de envejecimiento de materiales que van a estar trabajando en conjunto, luego se empieza el análisis técnico de la norma ASTM B117, siendo esta la que rige el diseño. Finalmente se procedió a validar el objetivo de esta investigación mediante la evaluación de las propiedades mecánicas y térmicas del vidrio borosilicatado, incluyendo una comparación con las propiedades del plástico realizadas en diseños e investigaciones anteriores. El enfoque es poder dar a conocer nuevos materiales que pueden cumplir los mismos parámetros de diseños anteriores, pero sin ser tan determinantes en el deterioro ambiental, así mismo dar a conocer un procedimiento al ingeniero proyectista para que reconozca la influencia de la información. Por último, se realiza un análisis económico del vidrio templado.

Palabras Clave: Vidrio borosilicatado, Cámara de niebla salina, ASTM B-117, Evaluación

ABSTRACT

The present investigation exposes the evaluation of tempered glass based on the development through software that allows understanding the behavior of the material and the function it fulfills within a system where thermal insulation is one of the main registers to take into account. This research begins by disclosing the environmental impact of a polymeric material and its frequency of this material in its inclusion for salt spray chamber designs, identifying the parts of the material aging machine that will be working together, then The technical analysis of the ASTM B117 standard begins, this being the one that governs the design. Finally, the objective of this research was validated by evaluating the mechanical and thermal properties of borosilicate glass, including a comparison with the properties of the plastic made in previous designs and research. The approach is to be able to present new materials that can meet the same parameters of previous designs, but without being so decisive in environmental deterioration, as well as to present a procedure to the design engineer so that he can recognize the influence of the information. Finally, an economic analysis of tempered glass is carried out.

Keywords: *Borosilicate glass, Salt spray chamber, ASTM B-117, Evaluation*

Índice

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
1 Introducción	14
1.1 Realidad Problemática	14
1.2 Antecedentes De Estudio	22
1.3 Teorías Relacionadas Al Tema.....	29
1.3.1 Proceso De Fabricación Del Vidrio	29
1.3.2 Patrón de Fracturación del Vidrio	36
1.3.3 Transferencia De Calor	37
1.3.4 Propiedad Anticorrosiva.....	41
1.3.5 Cámara De Niebla Salina	41
1.3.6 Condiciones Ambientales Reales Que Se Simulan En La Cámara De Degradación ...	44
1.4 Formulación Del Problema.....	52
1.5 Justificación E Importancia Del Estudio	52
1.5.1 Justificación Económica.....	52
1.5.2 Justificación Ambiental	52
1.5.3 Justificación Social.....	52
1.5.4 Justificación Técnica	53
1.6 Hipótesis.....	53
1.7 Objetivos	53
1.7.1 Objetivo General	53
1.7.2 Objetivos específicos.....	53
2 Materiales Y Métodos	54
2.1 Tipo Y Diseño De Investigación	54
2.1.1 Tipo de investigación.....	54
2.1.2 Diseño de investigación.....	54
2.2 Población Y Muestra	54
2.2.1 Población: Vidrios templados comerciales.	54
2.2.2 Muestra: Familia de borosilicatos en su composición química del vidrio.	54
2.3 VARIABLES	54
2.3.1 Variable Independiente:.....	54

2.3.2	Variables dependientes:.....	54
2.4	Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos, Validez Y Confiabilidad	57
2.4.1	Técnicas De Investigación Y Recolección De Datos.....	57
2.4.2	Validez Y confiabilidad.....	57
2.5	Procedimientos De Análisis De Datos	57
2.6	Criterios Éticos.....	57
2.7	Criterios De Rigor Científico	59
3	Resultados	60
3.1	Evaluación de la normativa técnica del uso del vidrio templado.....	60
3.1.1	“El material elegido para el diseño será tal que no sea afectado por la niebla corrosiva”. (Norma Astm B-117, 1976)	62
3.1.2	La temperatura en la zona de exposición de la cámara de niebla salina será mantenida en 35 °C + 1,1/-1.7 °C. El valor de la temperatura se debe poder ver sin que la cámara sea abierta, para evitar lecturas falsas. (Norma Astm B-117, 1976).....	62
3.1.3	“La cámara de niebla salina debe estar diseñada de forma que durante las pruebas permanezca sellada, para que no se afecten otros equipos y muebles con la niebla”. (Norma Astm B-117, 1976).....	63
3.2	Evaluación de las propiedades del vidrio templado el software CesEduPack.	65
Compositional summary		118
3.3	Validar el comportamiento térmico del vidrio botosilicatado utilizando el software Solidworks dentro de los parámetros de operación de la cámara de niebla salina.	123
3.4	Evaluación económica del uso del vidrio borosilicatado de sodio bario.	150
4	Conclusiones.....	154
5	Recomendaciones	155
6	Bibliografía	156
7	ANEXOS	158

Índice de Tablas

Tabla 1.	<i>Descripción de los Microplásticos Encontrados en el Litoral Peruano</i>	21
Tabla 2.	<i>Impurezas Encontradas en la Arena</i>	31
Tabla 3.	<i>Reacciones que se Ocasionan en el Proceso de Fabricación del Vidrio</i>	33
Tabla 4.	<i>Etapas del Proceso de la Elaboración del Vidrio</i>	35
Tabla 5.	<i>Comparación Entre el Vidrio Común y el Vidrio Borosilicatado</i>	37
Tabla 6.	<i>Registros de Temperaturas</i>	44
Tabla 7.	<i>Potenciales de Corrosión (E_{corr}) y Densidades de Corriente de Corrosión (I_{corr}) de Cu-Ni 90/10 en una Solución de NaCl Al 3,5% en Diferentes Condiciones.</i>	47
Tabla 8.	<i>Iones Abundantes que se Encuentran en el Agua de Mar</i>	48
Tabla 9.	<i>Masas de Agua</i>	49
Tabla 10.	<i>Proyección de pH en el 2025, 2050, 2075 y 2100</i>	51
Tabla 11.	<i>Operacionalización de Variables</i>	55
Tabla 12.	<i>Criterios Estándares Para el Diseño de una Cámara de Niebla Salina</i>	60
Tabla 13.	<i>Rangos de Operación</i>	64
	Descripción	64
	Rango	64
	Solución Salina	64
	5 ± 1 partes por masa de cloruro de sodio en 95 partes de agua	64
	pH	64
	6,5 – 7,2	64
	Temperatura	64
	35 °C + 1,1/-1.7	64
	Presión	64
	Tiempo de prueba	64
	100 horas	64
	Parada programada	64
	Se recomienda cada 24 horas	64
Tabla 14.	<i>Características Dimensionales de la Cámara de Niebla Salina</i>	64
Tabla 15.	<i>Tabla De Correspondencia De Los Vidrios Borosilicatos Evaluados con sus Respektivas Figuras</i>	68
Tabla 16.	<i>Tabla de Correspondencia de los Vidrios Borosilicatos Evaluados con sus Respektivas Figuras</i>	85

Tabla 17.	<i>Borosilicatos Resaltados en Ambas Condiciones de Evaluación</i>	113
Tabla 18.	<i>Primera Matriz de Evaluación de Borosilicatos</i>	114
Tabla 19.	<i>Segunda Matriz de Evaluación de Borosilicatos</i>	115
Tabla 20.	<i>Composition Overview</i>	118
Tabla 21.	<i>Composition</i>	118
Tabla 22.	<i>Price</i>	118
Tabla 23.	<i>Physical Properties</i>	119
Tabla 24.	<i>Mechanical Properties</i>	119
Tabla 25.	<i>Impact & Fracture Properties</i>	120
Tabla 26.	<i>Thermal Properties</i>	120
Tabla 27.	<i>Electrical Properties</i>	120
Tabla 28.	<i>Magnetic Properties</i>	121
Tabla 29.	<i>Optical, Aesthetic And Acoustic Properties</i>	121
Tabla 30.	<i>Durability</i>	121
Tabla 31.	<i>Primary Production Energy, CO2 And Water</i>	122
Tabla 32.	<i>Processing Energy, CO2 Footprint & Water</i>	122
Tabla 33.	<i>Recycling And End Of Life</i>	122
Tabla 34.	<i>Características de la Resistencia Interna con Aletas Helicoidales de Acero Inoxidable</i> 123	
Tabla 35.	<i>Comparación de resultados del análisis térmico en otros materiales</i>	131
Tabla 36.	<i>Costo Total de Fabricación de la Cámara de Niebla Salina con Material Polimérico..</i>	150
Tabla 37.	<i>Costo de la Estructura de la Cámara de Niebla Salina con un Material Polimérico</i>	150
Tabla 38.	<i>Precio en el Mercado del PMMA Cast Sheet</i>	151
Tabla 39.	<i>Evaluación de la fabricación con PMMA Cast Sheet (Propuesta en Diseños Anteriores)</i> 151	
Tabla 40.	<i>Precio en el Mercado del PMMA Impact Modified</i>	152
Tabla 41.	<i>Evaluación de la Fabricación con PMMA Impact Modified (Propuesta en Diseños Anteriores)</i>	152
Tabla 42.	<i>Precio en el Mercado del Vidrio Borosilicado Sodio Bario</i>	152
Tabla 43.	<i>Evaluación de la Fabricación con Vidrio Borosilicatado Sodio Bario (Propuesta Nueva)</i> 153	
Tabla 44.	<i>Costo Total de Fabricación de la Cámara de Niebla Salina Comparativo</i>	153

Índice de Figuras

Figura 1.	<i>Cronología de la Invención de los Materiales Poliméricos</i>	15
Figura 2.	<i>Los 7 Códigos de Reciclaje por la Comisión Europea</i>	16
Figura 3.	<i>Desperdicios Generados Entre el 2005 y 2019</i>	17
Figura 4.	<i>Estructura de Polímeros Encontrados Como Microplásticos en los Ecosistemas</i>	18
Figura 5.	<i>Uso Común de los Polímeros y Posibles Riesgos</i>	19
Figura 6.	<i>Microplásticos Encontrados en el Litoral Peruano</i>	20
Figura 7.	<i>Cámara Ensamblada a la Estructura Interna</i>	23
Figura 8.	<i>Detalle del Canal Para el Sello de Agua</i>	23
Figura 9.	<i>Estructura Interna de la Cámara y Tapas</i>	24
Figura 10.	<i>Modelo de la Cámara del Material Acrílico</i>	25
Figura 11.	<i>Deposito Principal de la Cámara</i>	26
Figura 12.	<i>Zona de Exposición de la Cámara</i>	27
Figura 13.	<i>Cámara de Prueba Acelerada de Acoplamiento de Niebla Salina / UV</i>	28
Figura 14.	<i>Patrón de Fracturación del Vidrio Común</i>	36
Figura 15.	<i>Patrón de Fracturación del Vidrio Borosilicatado</i>	36
Figura 16.	<i>Sistema de Coordenadas que Muestra la Dirección del Flujo de Calor</i>	39
Figura 17.	<i>Transferencia de Calor por Convección</i>	40
Figura 18.	<i>Ubicación de Componentes en un CNS</i>	42
Figura 19.	<i>Temperatura Superficial del Mar (°C)</i>	46
Figura 20.	<i>Anomalías Térmicas (°C)</i>	46
Figura 21.	<i>Salinidad Superficial del Mar (UPS)</i>	50
Figura 22.	<i>Selección de Materiales Cerámicos y Vidrios</i>	65
Figura 23.	<i>Familia de los Borosilicatos</i>	66
Figura 24.	<i>Borosilicatos Resaltantes en la Gráfica de Máxima Temperatura de Servicio - Precio</i> 67	
Figura 25.	<i>Evaluación del Borosilicato 2405</i>	69
Figura 26.	<i>Evaluación del Borosilicato 2405</i>	70
Figura 27.	<i>Evaluación del Borosilicato 2405</i>	71
Figura 28.	<i>Evaluación del Borosilicato 7740</i>	72
Figura 29.	<i>Evaluación del Borosilicato 7740</i>	73
Figura 30.	<i>Evaluación del Borosilicato 7740</i>	74
Figura 31.	<i>Evaluación del Borosilicato KG33</i>	75

Figura 32.	<i>Evaluación del Borosilicato KG33</i>	76
Figura 33.	<i>Evaluación del Borosilicato KG33</i>	77
Figura 34.	<i>Evaluación del Borosilicato N16B</i>	78
Figura 35.	<i>Evaluación del Borosilicato N16B</i>	79
Figura 36.	<i>Evaluación del Borosilicato N16B</i>	80
Figura 37.	<i>Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a</i>	81
Figura 38.	<i>Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a</i>	82
Figura 39.	<i>Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a</i>	83
Figura 40.	<i>Grafica De Tensión – Densidad</i>	84
Figura 41.	<i>Borosilicato 7251</i>	86
Figura 42.	<i>Borosilicato 7251</i>	87
Figura 43.	<i>Borosilicato 7251</i>	88
Figura 44.	<i>Borosilicato 9741</i>	89
Figura 45.	<i>Borosilicato 9741</i>	90
Figura 46.	<i>Borosilicato 9741</i>	91
Figura 47.	<i>Vidrio de Bario Alcalino</i>	92
Figura 48.	<i>Vidrio de Bario Alcalino</i>	93
Figura 49.	<i>Vidrio De Bario Alcalino</i>	94
Figura 50.	<i>Aluminio Borosilicato G20</i>	95
Figura 51.	<i>Aluminio Borosilicato G20</i>	96
Figura 52.	<i>Aluminio Borosilicato G20</i>	97
Figura 53.	<i>Borosilicato KG33</i>	98
Figura 54.	<i>Borosilicato KG33</i>	99
Figura 55.	<i>Borosilicato KG33</i>	100
Figura 56.	<i>Borosilicato N16B</i>	101
Figura 57.	<i>Borosilicato N16B</i>	102
Figura 58.	<i>Borosilicato N16B</i>	103
Figura 59.	<i>Aluminio Borosilicato N51a</i>	104
Figura 60.	<i>Aluminio Borosilicato N51a</i>	105
Figura 61.	<i>Aluminio Borosilicato N51a</i>	106
Figura 62.	<i>Potasa Soda Zinc</i>	107
Figura 63.	<i>Potasa Soda Zinc</i>	108
Figura 64.	<i>Potasa Soda Zinc</i>	109

Figura 65.	<i>Borosilicato de Sodio y Bario</i>	110
Figura 66.	<i>Borosilicato De Sodio y Bario</i>	111
Figura 67.	<i>Borosilicato de Sodio y Bario</i>	112
Figura 68.	<i>Resistencia Interna con Aletas Helicoidales de Acero Inoxidable</i>	124
Figura 69.	<i>Propiedades del Vapor de Agua Húmedo</i>	124
Figura 70.	<i>Vista de la Cámara de Niebla Salina</i>	125
Figura 71.	<i>Valores de temperatura en la zona de exposición y la temperatura exterior</i>	126
Figura 72.	<i>Vista de la Sección de Cortes de la Cámara de Niebla Salina</i>	126
Figura 73.	<i>Líneas de Distribución de la Temperatura Entre la C.N.S y el Ambiente Exterior</i> ..	128
Figura 74.	<i>Valores de Temperatura Final</i>	128
Figura 75.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	132
Figura 76.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	133
Figura 77.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	134
Figura 78.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	135
Figura 79.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	136
Figura 80.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	137
Figura 81.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	138
Figura 82.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	139
Figura 83.	<i>PMMA Cast Sheet</i>	140
Figura 84.	<i>PMMA Impact Modified</i>	141
Figura 85.	<i>PMMA Impact Modified</i>	142
Figura 86.	<i>PMMA Impact Modified</i>	143
Figura 87.	<i>PMMA Impact Modified</i>	144
Figura 88.	<i>PMMA Impact Modified</i>	145
Figura 89.	<i>PMMA Impact Modified</i>	146
Figura 90.	<i>PMMA Impact Modified</i>	147
Figura 91.	<i>PMMA Impact Modified</i>	148
Figura 92.	<i>PMMA Impact Modified</i>	149

1 Introducción

1.1 Realidad Problemática

Internacional Greenpeace, una entidad que se dedica a estudiar los impactos ambientales, señala que desde 1950, año que se inició con la producción de plástico hasta la actualidad se ha producido 8,3 mil millones de toneladas y solo en el año 2015 se superó la barrera anual con 380 millones de toneladas. Así mismo en el continente europeo, en el año 2018 se consiguió llegar a los 61, 8 millones de toneladas, los países asiáticos siguen siendo los que estadísticamente generan la mayor producción de plástico a nivel global. Esta creciente producción se refleja en daños a nivel ambiental e impacto en la salud pública debido a que es un material de difícil reciclaje y capacidad baja de degradación, a estos factores se le adiciona la erosión química y física a la que están sometidos y tiene como resultado la fragmentación conocida como los micro plásticos. A parte de las consecuencias continuas sobre el medio ambiente, el efecto sobre los seres vivos también es directo, ya sea por ingesta o por toxicidad.

A Nivel Internacional:

Según la investigación realizada por la Universidad Mayor de San Andrés sobre los micro plásticos, en los últimos años el plástico empezó hacer un material indispensable, llegando a ser uno de los materiales más producidos por el ser humano. Pero, en la actualidad este material trasgrede el bienestar contra la salud pública y el medio ambiente. En otra investigación por (Balcom et al., 2021) define que los desechos plásticos están causando continuas problemáticas ambientales y de salud pública en Uganda, por lo que se necesitan opciones de eliminación respetuosas con el medio ambiente que sean factibles en el contexto de un país en desarrollo.

Después del primer polímero plástico patentado en 1938, los plásticos derivados de los productos petroquímicos se introdujeron a gran escala en la producción mundial a mediados del siglo XX, en la figura 1 se presenta la variedad de plásticos fueron en aumento a lo largo de los años.

Figura 1.

Cronología de la Invención de los Materiales Poliméricos

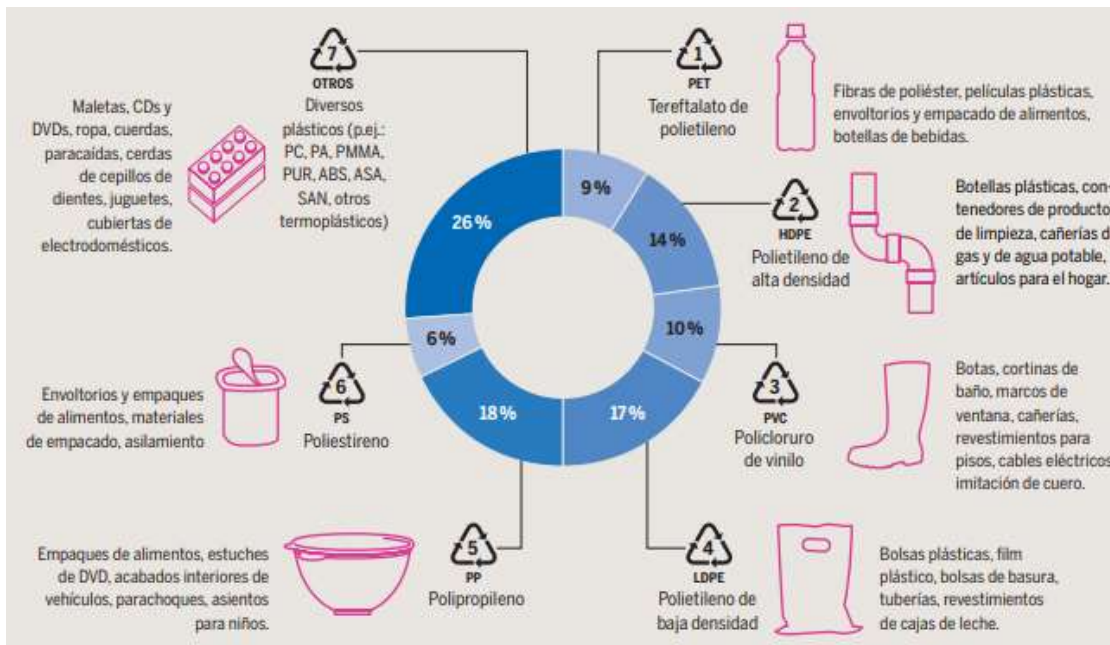
Polímero	Acrónimo	Origen	Año
Caucho	-	Natural	1839
Parkesina	-	Semisintético	1862
Celuloide	-	Semisintético	1863
Rayón	-	Semisintético	1894
Baquelita	BK	Sintético	1907
Vinilo	PVC	Sintético	1926
Polietileno de baja densidad	LDPE	Sintético	1935
Politetrafluoroetileno	PTFE	Sintético	1938
Poliestireno	PS	Sintético	1938
Nylon	PA	Sintético	1939
Tereftalato de polietileno	PET	Sintético	1941
Poliéster insaturado	UP	Sintético	1942
Polipropileno	PP	Sintético	1951
Polietileno de alta densidad	HDPE	Sintético	1951
Poliestireno extruido	XPS	Sintético	1954
Poliésteres termoplásticos	-	Sintético	1970
Polímeros de cristal líquido	LCP	Sintético	1985

Fuente: Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición.

De estos materiales el 50% son de un solo uso generando un aumento exponencial de residuos plásticos a nivel global. Este material tiene la característica de ser duradero por consecuencia tiene una resistencia a la degradación química y física, teniendo efectos directos en el medio ambiente debido a la acumulación discriminada en hábitats acuáticos y terrestres donde progresivamente se fragmentan en dimensiones más pequeñas. El 58% de los plásticos son destinados para material de construcción en las diversas industrias y el 42% restante se utiliza para material electrónico, muebles, transporte, entre otros. Hasta la actualidad, aun cuando se investigan nuevos materiales alternativos como los bioplásticos, la producción está lejos de disminuir debido a la demanda alta. En la figura 2 observamos la producción de los plásticos y sus códigos de reciclaje.

Figura 2.

Los 7 Códigos de Reciclaje por la Comisión Europea

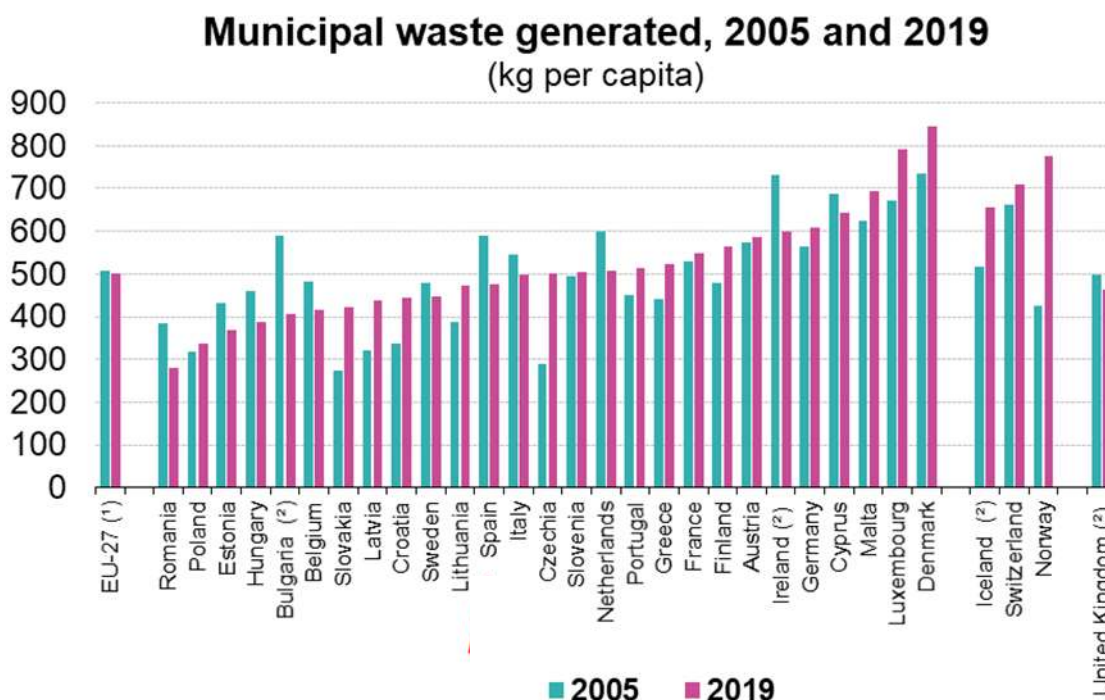


Fuente: Plastics Atlas 2019

Debido a su alta demanda en el sector industrial y las malas aplicaciones del reciclaje de sus residuos estos se están acumulando y fragmentando en todos los ecosistemas del planeta, en la figura 3 observamos los desperdicios plásticos en algunos países de Europa.

Figura 3.

Desperdicios Generados Entre el 2005 y 2019



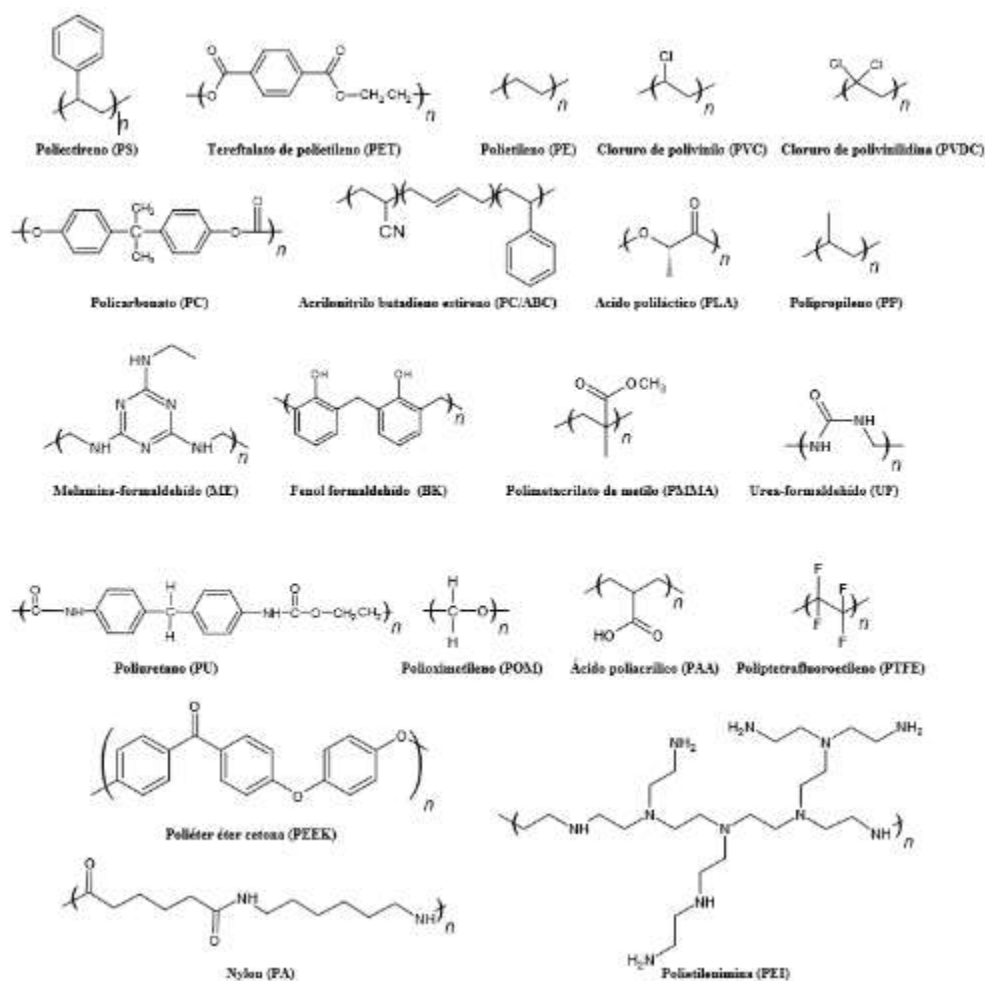
Fuente: Eurostat “generación de residuos en la unión europea”

También los microplásticos actúan como sustratos para parásitos patógenos, es por eso que Vethaak en una de sus investigaciones plantea la hipótesis que los microplásticos son como un “caballo de troya” en alusión de que se pueden ingerir o inhalar involuntariamente. En la figura 4 observamos la estructura química de los micro plásticos con más presencia en el medio ambiente y en algunos seres vivos en la última década y en la figura 5 describe el uso

común de estos materiales y su posible riesgo no solo para el medio ambiente, también los riesgos de seguridad pública que puede generar, en el cual destacamos el polimetilmetacrilato de metilo (PMMA) por ser un material que se usa habitualmente en la construcción de cámaras de niebla salina.

Figura 4.

Estructura de Polímeros Encontrados Como Microplásticos en los Ecosistemas



Fuente: Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición.

Figura 5.

Uso Común de los Polímeros y Posibles Riesgos

Polímero	Monómero	Uso común	Posible riesgo
PS	Estireno	Envases desechables	Cancerígeno, neurotóxico, genotóxico
PET	Ácido Tereftálico -etilenglicol	Botellas, empaques de comida, confección de ropa	Acidosis urinaria, eliminación alterada de electrolitos y hipercalcemia
PVC	Cloruro de vinilo	Plástico de vinilo, películas y tuberías de agua	Cancerígeno, obstrucción respiratoria
PLA	Ácido láctico	Implantes médicos como dermatológicos y cosméticos	Cancerígeno y enfermedades genéticas
PMMA	Metacrilato de metilo	Ventanas, plásticos transparentes	Irritación cutánea y daño endotelial corneal producido por contacto directo
UF	Urea - formaldehído	Interruptores de electricidad, pantallas de lámpara, recipiente de cosméticos	Dermatitis, prurito, asma
PU	Diol - diisocianato	Fibras elásticas	Intoxicaciones por inhalación de CO, CO ₂ y HCN producidos en la descomposición térmica

Fuente: Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición.

A nivel Nacional:

En Perú, el estándar de uso de plásticos al año es aproximadamente 30 kilos por ciudadano.

Estudios realizados en el 2015 evidenciaba que el 90% de aves marinas del litoral peruano en su organismo había presencia de microplásticos y esto es consecuencia del auge de la construcción que se ha asentado en la costa, generado un crecimiento en el uso de plásticos.

Según Brennholt et al. (2018) consideran que es indispensable la prohibición de los microplásticos de los productos que ingresan a las aguas para proteger y garantizar la calidad del agua, la vida silvestre y los recursos utilizados por los humanos. Por otro lado, Stoll et al.

(2020) consideran que el enfoque más factible y eficaz para la prevención de la contaminación por micro plásticos es centrar el problema en sus diversas fuentes otorgando una mayor responsabilidad e incentivos a los productores. De acuerdo con Albareda (2019), la implementación de una ley nacional que prohíbe la generación de micro plásticos primarios o secundarios aportaría una solución local a una problemática global, uniéndose a otros países americanos, europeos, asiáticos y de Oceanía que actualmente ya poseen normativa al respecto.

La contaminación del agua por microplásticos es un problema que hasta la actualidad tiene una curva creciente resultado de cantidades altas de residuos generados por el ser humano, esta curva también se ve reflejada dentro de la cadena trófica entre la biota marina y el consumo por el ser humano ocasionando posteriores problemas de salud como se puede ver en la figura 6 y en la tabla 1 describe el número de partículas y gramos de estos microplásticos, esta curva también se ve reflejada dentro de la cadena trófica entre la biota marina y el consumo por el ser humano ocasionando posteriores problemas de salud.

Figura 6.

Microplasticos Encontrados en el Litoral Peruano



Fuente: Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú

Tabla 1.

Descripción de los Microplásticos Encontrados en el Litoral Peruano

Tipo de plástico	Numero de partículas	Peso en gramos	Porcentaje
Pellet	15	0.263	2%
Plástico duro	695	3.903	87%
Capa	4	0.023	1%
Fibra	8	0.01	1%
Estireno	54	0.07	7%
Otras espumas	5	0.006	1%
Otros polímeros	2	0.013	1%

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de esta tesis toma importancia como una propuesta alternativa en la selección de materiales para el diseño de la cámara de una máquina de niebla salina, presentando una oportunidad para reducir el uso de plásticos en grupos de investigación, en el sector industrial y así poder contribuir con el cambio que los países quieren lograr para revertir el impacto climático por el uso de este material.

1.2 Antecedentes De Estudio

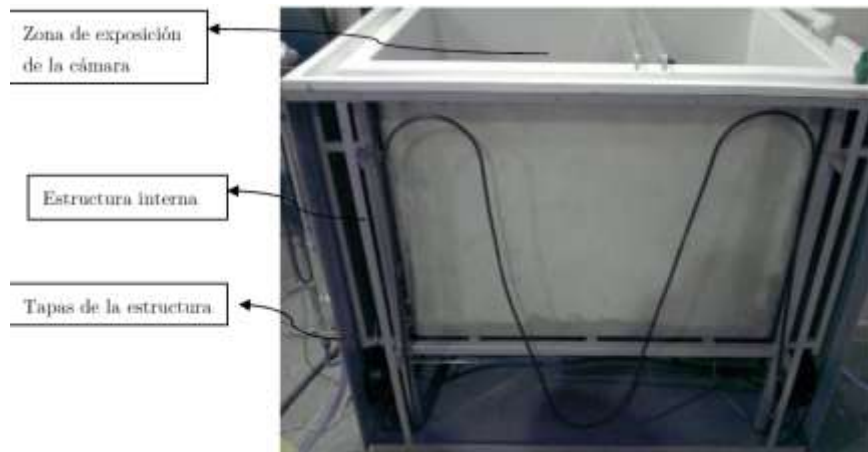
Los ensayos de envejecimiento por mezclas corrosivas vienen siendo considerados últimamente para efectuar comparaciones de utilidad en materiales metálicos y recubrimientos anticorrosivos, por consiguiente, se puede ampliar los alcances de estos materiales y dar un seguimiento interno para lograr los objetivos propuestos para una investigación, siempre teniendo como referencia los estándares internacionales descritos en la norma con el propósito de que los resultados sean válidos. Algunos de los objetivos que se pueden lograr con los ensayos de envejecimiento aplican para un proceso de producción o selección de materiales adecuados para diseños de máquinas.

“La investigación sobre el método de prueba acelerada de acoplamiento multifactor para entornos atmosféricos marinos es extremadamente importante para la evaluación de fallas y la investigación de mecanismos de fallas de revestimientos prácticos de ingeniería”. (Gao et al. 2021).

En investigaciones anteriores se describe que la cámara de niebla salina en algunas de sus caras laterales en su composición tiene fibra de vidrio, dimensionada en 90 centímetros de largo con 60 centímetros de ancho y 70 centímetros de alto. Los bordes superiores donde va a reposar la tapa de la cámara (tipo V invertida), se fabricó un canal en todo el contorno con la finalidad de que este canal se fluya de agua para evitar la salida de la mezcla corrosiva, las paredes laterales de fibra de vidrio poseen un calibre de $3.2 \pm 0.1 \text{ mm}$. Todos los datos técnicos se obtuvieron de la norma, a continuación, en la figura 7 y 8 se detalla las partes de la zona de exposición. (Hugo, 2011).

Figura 7.

Cámara Ensamblada a la Estructura Interna



Fuente: Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales.

Figura 8.

Detalle del Canal Para el Sello de Agua

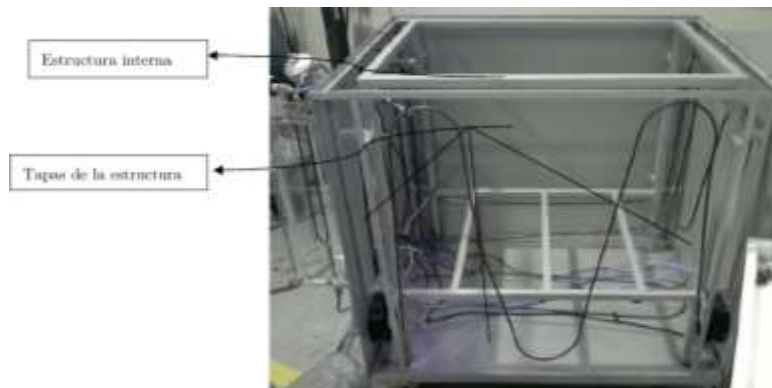


Fuente: Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales.

“La estructura interna, como se muestra en la figura 9, que tiene la función de soportar las paredes de la cámara, el peso y las tapas de la estructura”. (Hugo, 2011)

Figura 9.

Estructura Interna de la Cámara y Tapas



Fuente: Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales.

Establecido en la normativa, en el diseño y la fabricación de la cámara de niebla salina se prioriza los materiales anticorrosivos debido a que en la zona de exposición es la parte más importante de la cámara ya que es la zona donde se efectúen los ensayos. La cámara de niebla salina se debe diseñar teniendo como valor mínimo de $0.43 m^3$ en el apartado de volumen, valores de volúmenes menores al ya mencionado complicaran la uniformidad deseada para que los resultados de los ensayos tenga un valor. El material seleccionado en la cámara fue el acrílico, como se puede apreciar en la figura 10, con 5mm de espesor suficientes para ofrecer rigidez a la estructura de la cabina y como es un polímero garantiza la resistencia a la corrosión. (Recalde Benítez, 2014).

Figura 10.

Modelo de la Cámara del Material Acrílico



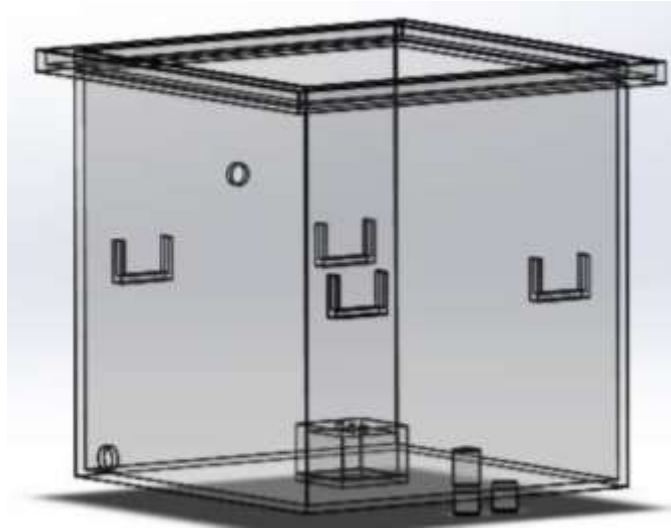
Fuente: Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales.

El depósito principal que se observa en la figura 11; es el elemento en donde se crea la película corrosiva, se ha diseñado de polimetilmetacrilato (PMMA). Entre los vidrios plásticos, aunque el material más caro es el PMMA es el que mejores características tiene para el diseño de la cámara de niebla. El PMMA se caracteriza por tener una gran resistencia al aire salino, además presenta una mejor transparencia que el polietileno cristal y el poliéster. Es ligero y rígido al igual que el polietileno cristal y el poliéster, pero no presenta las desventajas de estos. Sus dimensiones son 580 x 565 x 600 (largo – ancho – alto) mm. El largo de 580 mm es la medida mínima necesaria para que se puedan introducir 12 muestras con la porta probetas sin que estorben entre ellas, la altura de 600 mm es la necesaria para que la pulverización no choque directamente con la cubierta. Con estas dimensiones se pretende tener el suficiente espacio para introducir los elementos que van dentro de la cámara, así como las 24 muestras que puede llegar a contener. Además, se precisa de un diseño de

dimensiones no muy extensas para que pueda ser fácil de transportar. Las paredes tienen un espesor de 10 mm y la parte superior contiene una ranura que se rellena de agua, para que, al colocar la tapa actúe como goma para evitar la pérdida de presión dentro de la cámara y la fuga del vapor de agua y solución salina pulverizada, es decir, que la cámara de niebla sea hermética. (Padron Padilla y Perez Cedres, 2016).

Figura 11.

Deposito Principal de la Cámara



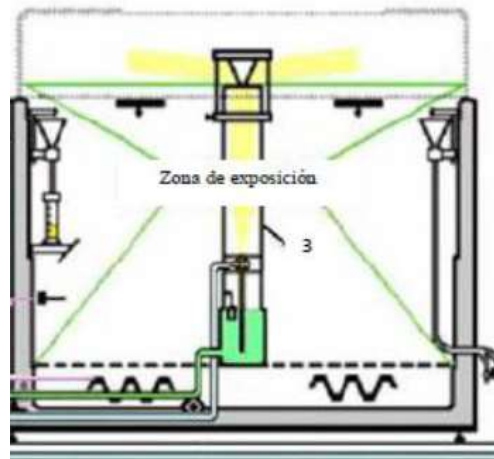
Fuente: Diseño de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión

La cámara de exposición usualmente prima en su diseño la resina poliéster reforzado con fibra de vidrio con un acabado suave, ver la figura 12. También hay información de investigaciones que contemplan en los diseños otros materiales, pero estos materiales deben tener propiedades anticorrosivas, y así mismo soportar cambios repetidos de temperatura y humedad. También se debe incluir un sistema de calentamiento con un control de temperatura, esto permite asegurar una temperatura constante que especifica la norma y con

sistema de seguridad. En el estudio de (Gonzales Vàsquez & Sàncnez Dàvalos, 2016). La cámara debe poseer un aislamiento térmico en sus paredes que minimice las pérdidas de calor hacia el exterior, el piso de la cámara deber tener una inclinación para evitar que se formen charcos, y que el condensado pueda ser evacuado por el sifón.

Figura 12.

Zona de Exposición de la Cámara



Fuente: Diseño y fabricación de una cámara salina para realizar análisis de corrosión en materiales.

“En la actualidad, los métodos de prueba acelerados en interiores relacionados con entornos atmosféricos marinos incluyen la corrosión por niebla salina simple, el envejecimiento ultravioleta (UV) y la prueba del ciclo de niebla salina / UV”. (Gao et al., 2021).

Una de las dificultades es que los métodos de acoplamiento multifactorial para la investigación realizada en entornos atmosféricos marinos requieren la aplicación simultánea de cargas de niebla salina y UV en cámaras de prueba. Por tanto, la selección del equipo de prueba es difícil. Además, las correlaciones entre los factores ambientales atmosféricos

marinos deben considerarse en el diseño de un espectro de prueba acelerado de acoplamiento multifactorial (Gao et al., 2021).

La figura 13 se muestra la estructura de la cámara de prueba acelerada con acoplamiento de niebla salina / UV de diseño propio, que cuenta con las siguientes componentes:

- Deflector de vidrio de cuarzo de alta pureza,
- Lámpara UV,
- Porta muestras
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad
- Módulo de control principal
- Módulo de potencia
- Tanque de salmuera,
- Cable de resistencia al calentamiento
- Cubierta de vidrio de cuarzo de alta pureza
- Sensor de irradiación
- Torre de niebla salina.

Figura 13.

Cámara de Prueba Acelerada de Acoplamiento de Niebla Salina / UV



Fuente: Estudio de un método de ensayo acelerado de acoplamiento multifactorial para recubrimientos anticorrosivos en ambientes atmosféricos marinos.

1.3 Teorías Relacionadas Al Tema

1.3.1 Proceso De Fabricación Del Vidrio

Las materias primas que demanda para la fabricación del vidrio tienen principalmente 4 grupos en su clasificación según el comportamiento que tiene en el proceso, esto son:

1.3.1.1 Fundentes

Son reformadores de red que benefician a la estructura del vidrio al momento de la disminución en la temperatura de fusión, a continuación, se mencionaran algunos fundentes utilizados para la fabricación de vidrio:

- Oxido de sodio: del total de óxidos alcalinos, el de mayor presencia en los vidrios es el sodio. Se implanta por medio del carbonato de sodio y un 20% a 25% se introduce a través del sulfato de sodio para evitar problemas en el proceso de fabricación.
- Oxido de calcio: su presencia en la fabricación del vidrio hace que aumente su estabilidad funcional en el aspecto mecánico y químico. A pesar de tener como función principal el de estabilizar también tiene la característica de modificador de

red a nivel estructural. El óxido de calcio se introduce por medio de la caliza natural ($CaCO_3$), con un contenido mínimo del 55% de CaO .

- Oxido de Magnesio; el rol que cumple en el proceso de fabricación es muy similar al oxido de calcio y se introduce por medio de la dolomita $CaMg(CO_3)_2$.
- Oxido de Bario; la función de este fundente es aumentar la densidad, brillo e índice de refracción, aumenta su viscosidad, moldeable. Se introduce utilizando nitratos y carbonatos de bario.

1.3.1.2 Estabilizantes

- Oxido de aluminio: su incorporación ocasiona un incremento en la resistencia mecánica y un perfeccionamiento en la resistencia química. Reduce el coeficiente de dilatación térmica, así como la tendencia a la devitrificación. En la mayoría de los vidrios se utiliza de 1 al 3 % de Al_2O_3 . Las materias primas que mejor logran introducir son los feldespatos gracias a que se introducen fácilmente y se funden a temperaturas relativamente bajas. Otras materias utilizadas son la bauxita, caolines y ciertos granitos aluminosos.
- Oxido de plomo: Le proporciona un alto índice de refracción, iluminación, aumento de densidad y sonoridad. Este estabilizante debe fundirse en ambientes con un alto índice oxidante. El plomo se introduce bajo la composición química de PbO casi siempre por el Pb_3O_4 , también como carbonato básico.
- Óxido de zinc: Una adición del 5% del óxido de zinc es favorable en una gran cantidad de vidrios. Este elemento eleva su resistencia química, índice de refracción, dureza y reduce el coeficiente de dilatación térmica. Los componentes más importantes que se utilizan son; $ZnCO_3$ y ZnO .

1.3.1.3 Vitrificantes

- Silice: es el elemento con más presencia, alrededor de tres cuartos de su composición total en todos los tipos de vidrios. La principal fuente de sílice es la arena de cuarzo, su uso responde a las particularidades mineralógicas, químicas y granulométricas, el porcentaje de este componente en la arena se encuentra en el rango de 98.5% a 99.5% y el porcentaje restante se divide en impurezas. De estas impurezas, tabla 2, se permite máximo el 0.1%.

Tabla 2.

Impurezas Encontradas en la Arena

Mineral	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)
Anfiboles	2,9 – 3,7
arizonita	4,5
Casiterita	6,8 – 7,1
Circon	3,9 – 4,8
	3,9 – 4,4
	4,5 – 4,8
Distena	3,6 – 3,7
	3,3 – 3,5
Espinela	3,5
	3,8 – 4,3
	4,5 – 5,0
Magnetita	5,2
Olivino	3,2 – 4,2
Pilovenos	3,1 – 3,5
Rulito	4,2 – 4,3
Titanita	3,4 - 3,6

Mineral	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)
Topacio	3,5 – 3,6
Tuimalina	3,0 – 3,3
Zoicita	3,2 – 3,4

Fuente: Elaboración Propia

- Anhídrido Bórico

Es un componente fundamental para la fabricación de materiales para uso en laboratorios por su resistencia al choque térmico, buenas características estructurales y aplicaciones.

- Anhídrido Fosforico

Este componente proporciona al producto final propiedades ópticas que aumentan su transparencia ultravioleta y también una baja transmisión infrarrojo.

1.3.1.4 Componentes secundarios

En la fabricación del vidrio, actúan otros componentes minoritarios que aportan otras funciones como: pigmentos que aportan color, así como también decoloran hasta ayudan a brindar un toque opaco, fluidificantes, agua, etc.

En el proceso de fabricación están involucradas las siguientes etapas:

- Reacción de los componentes y formación del vidrio

Comprende un conjunto de transformaciones físicas y reacciones químicas que se dan a altas temperaturas. Mientras este proceso se realiza, los componentes sufren varias transformaciones como formaciones cristalinas, evaporación líquida, deshidratación de sales, disociación de carbonatos y sulfatos, fusión y disolución. Todas estas modificaciones físico químicas ocurren de manera simultánea en conjunto con el número elevado de componentes

que se ven incluidos en el proceso de fabricación del vidrio, resulta complejo el estudio para mantener un equilibrio en estas reacciones. Aunque al inicio estas reacciones empiezan a tener lugar a temperaturas bajas mientras estos componentes se encuentran en estado sólido. En la tabla 3 se observa las reacciones que se producen en la formación del vidrio.

Tabla 3.

Reacciones que se Ocasionan en el Proceso de Fabricación del Vidrio

Temperatura (°C)	Transformación
> 500	$Na_2CO_3 + Ca CO_3 \rightarrow Na_2Ca (CO_3)_2$ $Na_2CO_3 + Ca Mg(CO_3)_2 \rightarrow Na_2Ca (CO_3)_2 + Mg CO_3$
> 650	$Mg CO_3 \rightarrow MgO + CO_2$
750	Formación de Na_2CO_3 y $CaCO_3$
< 780	Formación de $Na_2O SiO_3$ $Na_2O SiO_3 + SiO_2 \rightarrow Na_2O 2SiO_5$
780	Fusión del eutectico $Na_2Ca (CO_3)_2$ Fusión del resto del compuesto $Na_2CO_3 Ca CO_3$
834	Fusión del eutectico $Na_2O SiO_3 + SiO_2$ $\rightarrow Na_2O 2SiO_5$
Temperatura (°C)	Transformación
900	Aparición de la primera fase líquida que puede ser enfriada en estado vítreo. El cuarzo comienza a diluirse en esta etapa
1088	Punto de fusión del $Na_2O SiO_3$

Fuente: Vidrio templado: Teoría y solución de un problema industrial

- Disolución del excedente de sílice

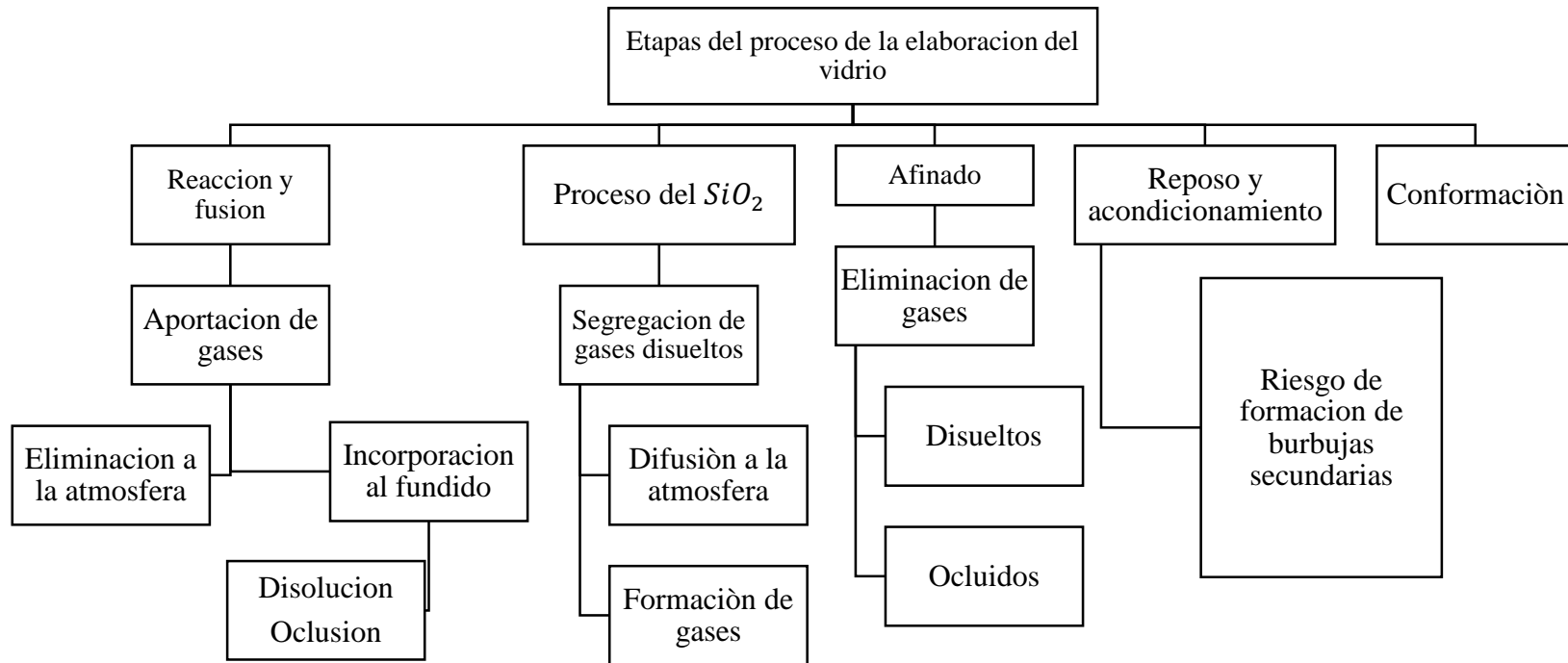
Después de completarse la reacción del compuesto de la mezcla vitrificante y haber dado paso a la formación de la fase fundida, existen resto de un exceso del componente de sílice que no se adhirió al vidrio. En la etapa inicial que es la reacción y fusión, la mezcla fundida es muy alcalina y esto se aprovecha para la disolución química de grandes cantidades de CO_2SO_3 , pero al momento de incorporar el sílice la mezcla base del vidrio se vuelva más ácido y la solubilidad de dichos gases disminuye produciendo el fenómeno de las burbujas

- Afinado del vidrio

Se define como el proceso de homogenización de la mezcla base del vidrio y la eliminación de los gases disueltos, así como la eliminación de las burbujas ocluidas. Uno de los aspectos importante que se deben considerar en este proceso la interacción gaseosa del ambiente donde se lleva a cabo la fabricación del vidrio y de esta manera no alterar el equilibrio vidrio – gas, la eliminación de burbujas y por ende la calidad del producto final. La tabla 4 da a conocer la interacción vidrio – gas.

Tabla 4.

Etapas del Proceso de la Elaboración del Vidrio



Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Patrón de Fracturación del Vidrio

Como es muy frecuente, el vidrio común puede fracturarse cuando está sometido a cargas mecánicas ligeras que se generan por impacto, presión o choque térmico, al fracturarse este vidrio representa un peligro debido que sus fragmentos residuales son puntiagudos que pueden causar lesiones serias, caso contrario al vidrio borosilicatado que tiene un proceso de fracturación diferente y sus fragmentos residuales no representan mucho riesgo. En la figura 14 y 15 se muestra un ejemplo del patrón de fracturación de ambos vidrios.

Figura 14.

Patrón de Fracturación del Vidrio Común



Fuente: Elaboración propia

Figura 15.

Patrón de Fracturación del Vidrio Borosilicatado



Fuente: Elaboración propia

El vidrio es cortado ya sea de manera vertical o horizontal en el sistema de manufactura donde se va a calentar a los 150°C por encima de la temperatura de fabricación en el menor del tiempo posible e inmediatamente se pasa al tratamiento térmico del templado en frío. Como resultado de este tratamiento térmico produce esfuerzos de compresión en el rango de 70 a 140 MPa. Su composición química destacamos su proceso de fabricación y su alta resistencia. A continuación, en la tabla 5 se compara el vidrio común y el vidrio templado.

Tabla 5.

Comparación Entre el Vidrio Común y el Vidrio Borosilicatado

Características	Vidrio común	Vidrio Borosilicatado
Fractura	Fragmentos con puntas agudas con dimensiones diversas.	Pequeñas partículas de formas redondeadas
Resistencia al Impacto	Resiste el golpe de una esfera de acero de 227 g. desde una altura de 30 cm.	Resiste el impacto de la bola de acero de 227 g. desde una altura de 3 m.
Resistencia a la Flexión	Resiste 37 Kg. de carga concentrada	Resiste 170 Kg. de carga concentrada.

Fuente: Elaboración propia

1.3.3 Transferencia De Calor

La transferencia de calor es la ciencia que predice la transferencia de energía que puede suceder entre cuerpos materiales como resultado de la diferencia de temperaturas. Esta ciencia no solo explica cómo se puede transferir la energía calorífica, sino también se puede predecir la rapidez a la que se puede realizar bajo condiciones especificadas.

1.3.3.1 Mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de calor se produce por la interacción entre dos cuerpos y esta se origina con el cuerpo de temperatura mayor hacia el cuerpo con temperatura menor. La transferencia de calor se trasmite por tres mecanismos diferentes y estos son: radiación, convección y conducción.

A) *Conducción*

Para que exista una gradiente de temperatura, debe haber una transferencia de energía de una región con temperatura alta a una región con temperatura baja. Se dice que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura, ec. I :

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots (I)$$

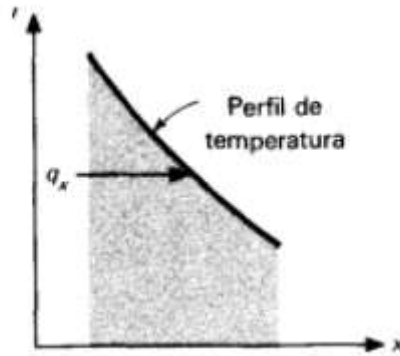
Cuando se inserta la constante de proporcionalidad, ec. II

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots (II)$$

Donde “q” es la rapidez de transferencia de calor y “ $\partial T/\partial x$ ” es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor. A la constante “k” se le denomina conductividad térmica de un material y el signo negativo se incluye para que se cumpla el segundo principio de la termodinámica, indicando que la transferencia de energía va a fluir hacia abajo en la escala de temperatura, como se observa en la Figura 16.

Figura 16.

Sistema de Coordenadas que Muestra la Dirección del Flujo de Calor



Fuente: Holman

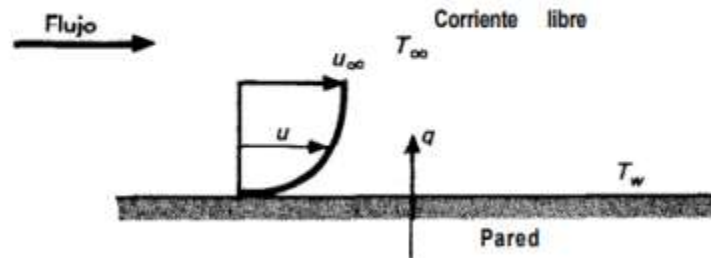
B) Convección

Tomando como referencia la placa caliente que se muestra en la Figura 17. Se consideran dos temperaturas T_w (temperatura de la placa), y T_m (temperatura del fluido). La velocidad de flujo se reduce a en la placa como consecuencia de la acción de viscosidad. El gradiente de temperatura dependerá de que tan rápido el fluido conduce el calor, es decir, una alta velocidad origina un gradiente de temperatura más grande. Para expresar el efecto total de la convección, utilizamos la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \dots\dots (III)$$

Figura 17.

Transferencia de Calor por Convección



Fuente: Holman

La transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el fluido, el área de la superficie A y “h” que se define como el coeficiente de transferencia de calor por convección, y la Ec. (III) es la ecuación que lo define.

C) Radiación

El calor también se puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética que es extendida como resultado de una diferencia de temperaturas; a este fenómeno se le conoce como radiación térmica. Cuando dos cuerpos intercambian calor por radiación, el intercambio de calor neto es entonces proporcional a las diferencias en T_4 . Así:

$$q = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \dots\dots (IV)$$

Donde σ es la constante de proporcionalidad llamada constante de Stefan Boltzmann con el valor de $5,669 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot K^4$. A la ec. IV se le llama la ley de radiación térmica de Stefan-

Boltzmann y se aplica sólo a los cuerpos negros. Es importante observar que esta ecuación únicamente es válida para la radiación térmica.

1.3.4 Propiedad Anticorrosiva

Un material anticorrosivo tiene la capacidad de asimilar un proceso de degradación llamado corrosión. La efectividad de un anticorrosivo obedece a la estructura interna, cantidad y el régimen de flujo del fluido. Los inhibidores de la corrosión son frecuentes en zonas industriales.

Los vidrios metálicos pueden lograr la combinación de propiedades de alta resistencia, resistencia súper corrosiva, buena procesabilidad, etc., lo que da lugar a sus prometedoras aplicaciones en muchos campos. De particular interés en industrias nucleares como la energía nuclear son las aleaciones de uranio amorfo que pueden poseer una excelente corrosión y anti irradiación en comparación con materiales de uranio cristalino. (Zhang, et al, 2020).

1.3.5 Cámara De Niebla Salina

“Es un dispositivo cerrado donde se colocarán unas muestras de ensayo, cámara de niebla podrá controlar y acelerar el ensayo modificando los escenarios que se llevaran a cabo al interior como: temperatura, humedad, ambiente corrosivo”. (Padròn Padilla & Perèz Cedrès, 2016).

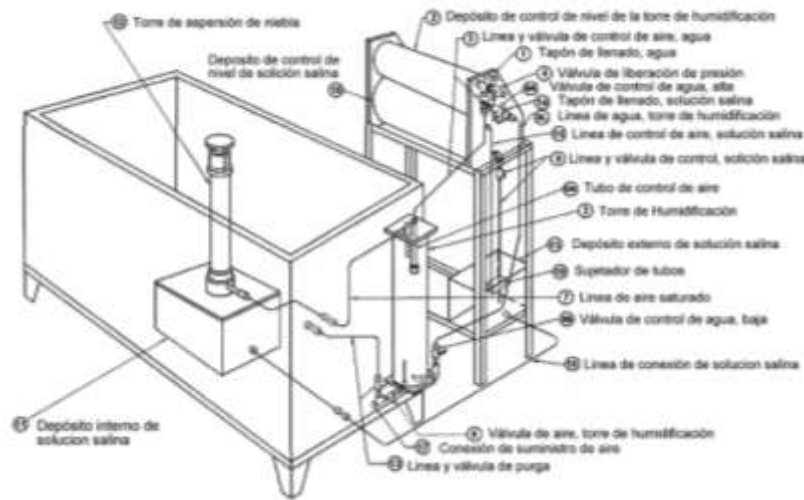
Este equipo de ocupación de nivel instructivo en laboratorios y nivel industrial donde se realizan estudios para realizar procesos de envejecimiento, un aspecto general de la cámara se puede observar en figura 18. El ensayo en cámara salina ha sido uno de los más aceptados en el análisis de corrosión en distintos materiales, no solo te permite estudiar la conducta de los recubrimientos utilizados como primera capa protectora de materiales base, sino que también ayuda a establecer el rendimiento del material al ser expuesto de manera directa a la

mezcla salina, que simula las condiciones ambientales del mar, que se considera como uno de los medios más agresivos hacia los materiales metálicos. (Ramírez Leòn & Leòn Arce, 2017)

Otro estudio realizado por (Jonathan & Yépez, 2007) describe a la cámara de niebla salina como una maquina electromecánica, la cual nos va a permitir el paso de una mezcla a velocidad constante (previamente calentado) al igual que su temperatura de operación, dando como resultado la formación de una película de agua caliente, la cual se va a mantener a la misma temperatura durante el tiempo programado de ensayo. Una unidad de calentamiento dependiendo del diseño puede estar ubicado en la zona interior de manera que admita un calentamiento uniforme de la mezcla salina. En la zona externa de la cámara cuenta con un módulo indicador de temperatura, este módulo nos va a permitir tener la temperatura interna de la zona de exposición a un valor constante. El ambiente corrosivo es generado a través de un atomizador (es), que esta alimentado por un sistema de aire comprimido, y los tanques externos como se muestra en la figura 16, utilizados para la mezcla salina, que abastece por todo el tiempo de duración del ensayo a flujo constante, se regulan por medio de válvulas.

Figura 18.

Ubicación de Componentes en un CNS



Fuente: Elaboración propia

Al monitorear siempre el valor constante de la presión dentro del depósito que contiene la solución y del mismo modo la tubería de alimentación de aire, en simultáneo estas dos líneas alimentan el atomizador, asegurando el flujo constante de niebla salina, además, este flujo constante de niebla salina debe proveer total uniformidad en la zona de exposición. En el interior del recipiente la solución salina es calentada equivalente a como se calienta el fluido de recirculación de la cámara, de igual forma, la temperatura se registra instalando un dispositivo que detecta y envía una señal lógica hacia el instrumento que tiene la capacidad de interpretar la señal arrojando el valor actual de la temperatura.

(Jonathan & Yépez, 2007) menciona que en la zona interior portara soportes para reposar las muestras que van a ser sometidas al ensayo, se recomienda que estos soportes se fabriquen de materiales inertes, así se evitara un inicio fácil de la corrosión en las muestras debido al contacto directo. Las dimensiones y la fabricación de la cámara pueden ser opcionales, puesto que la norma no es rígida en ese aspecto, pero, cualquier diseño propuesto de tener un fundamento científico por medio de estudios para validar que las condiciones obtenidas se

rigen a los requerimientos de la norma. Igualmente, el material para la fabricación de la cámara debe ser inerte, como lo es el plástico, vidrio o de metal (Estos deben encontrarse en su totalidad recubierta con hules o materiales del tipo epóxico o equivalente).

1.3.6 Condiciones Ambientales Reales Que Se Simulan En La Cámara De Degradación

1.3.6.1 Temperatura.

La temperatura de la superficie del mar tiene un rol importante en el grado de degradación de los materiales metálicos. La variación de temperatura en la superficie del mar no se puede evitar, ocurre cada vez que hay un incidente donde la superficie del mar las temperaturas experimentan un aumento o una disminución significativa afectarán de manera en el inicio de la corrosión. Los cambios que ocurren pueden tener lugar a diario, semanalmente e incluso anualmente, las variaciones en la temperatura de la superficie del mar a lo largo del tiempo deben ser consistentes y observado continuamente. La tecnología de teledetección es una de las alternativas más posibles para registrar y mapear las variaciones de la temperatura superficial del mar temporal y efectiva. En el mar peruano, presentan características únicas, como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6.

Registros de Temperaturas

Mes	Ubicación	Registro de temperatura
Febrero	Pisco (14°S)	26°C
Marzo	Pisco (14°S)	26°C

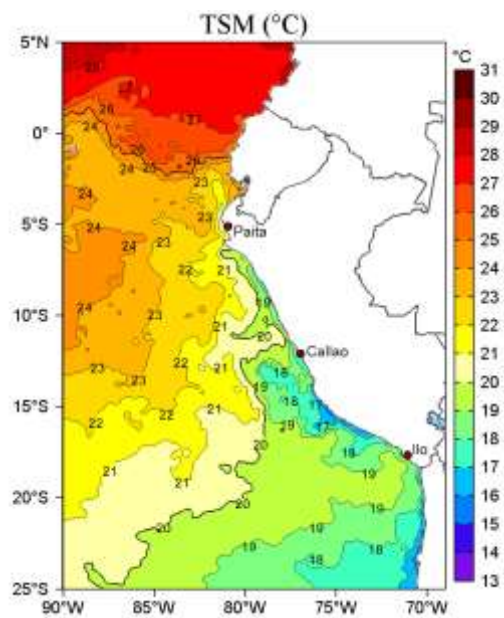
Mes	Ubicación	Registro de temperatura
Febrero	En la zona sur a 150 millas náuticas	13°C y 17°C
Marzo	En la zona sur a 150 millas náuticas	13°C y 17°C
Entre Mayo - Noviembre	100 millas náuticas	19°C
Entre Mayo - Noviembre	50 millas náuticas	13°C y 17°C

Fuente: SENAMHI PERÚ

En la figura 19 y 20 apreciamos la temperatura Superficial del Mar (°C) y Anomalías térmicas (°C) frente a las costas de Sudamérica entre 5°N y 25°S y entre la costa y 90°W, estas se pueden apreciar en su representación ubicada en la barra de colores en el lado derecho de ambas figuras.

Figura 19.

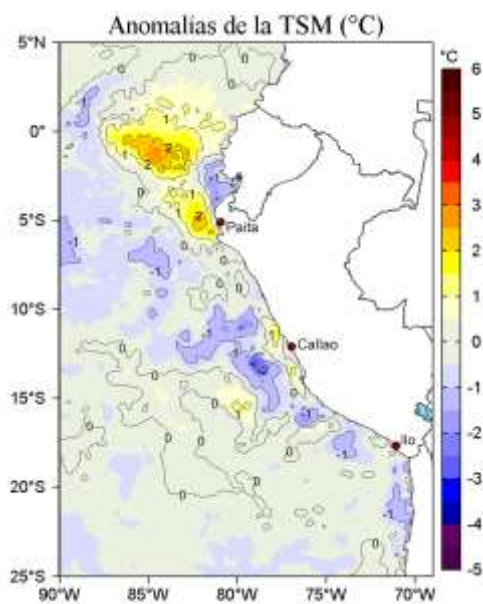
Temperatura Superficial del Mar (°C)



Fuente: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0.

Figura 20.

Anomalías Térmicas (°C)



Fuente: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0.

El estudio “Influence of temperature and hydrostatic pressure on the galvanic corrosion between 90/10 Cu-Ni and AISI 316L stainless Steel”, explica la influencia de la temperatura en el inicio de la corrosión en los materiales metálicos como se detalla en la tabla 7.

Tabla 7.

Potenciales de Corrosión (E_{corr}) y Densidades de Corriente de Corrosión (I_{corr}) de Cu-Ni 90/10 en una Solución de NaCl Al 3,5% en Diferentes Condiciones.

Temperatura (° C)	P (MPa)	E_{corr} (mV)	$Y_{o_{corr}}$ ($\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$)
30	0,1	-277 ± 3	$6,7 \pm 0,2$
	10,0	-285 ± 5	$7,5 \pm 0,4$
	20,0	-285 ± 7	$9,0 \pm 0,5$
15	0,1	-260 ± 3	$4,5 \pm 0,1$
	10,0	-263 ± 5	$5,3 \pm 0,3$
	20,0	-270 ± 4	$6,0 \pm 0,1$
5	0,1	-254 ± 5	$3,4 \pm 0,1$
	10,0	-255 ± 6	$3,9 \pm 0,1$
	20,0	-260 ± 5	$4,7 \pm 0,1$

Fuente: Influencia de la temperatura y la presión hidrostática en la corrosión galvánica entre 90/10 Cu-Ni y acero inoxidable AISI 316L

1.3.6.2 Salinidad.

La característica más notable de agua de mar es su alto porcentaje de sales disueltas en su composición. El conocimiento de la salinidad del agua de mar es de importancia fundamental al igual que el registro constante de los valores de la temperatura en la zona, permite lograr valores de densidad, parámetro fundamental para realizar cálculos dinámicos, conocer las

corrientes y el transporte de sales en el océano. Los iones con más porcentaje en el agua de mar son: cloro, sodio, calcio, potasio, magnesio y sulfato, observar la tabla 8, éstas se encuentran en proporciones constantes. Por el contrario, otros compuestos presentes no se encuentran en valores constantes, ya que son alteradas por procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en al agua de mar.

Tabla 8.

Iones Abundantes que se Encuentran en el Agua de Mar

Ion	Concentración en partes por mil (%)	Proporción sobre la salinidad total (%)
Cloruro	19,345	55,03
Sodio	10,752	30,59
Sulfato	2,701	7,68
Magnesio	1,295	3,68
Calcio	0,416	1,18
Potasio	0,390	1,11
Bicarbonato	0,145	0,41
Bromuro	0,066	0,19
Borato	0,027	0,08

Fuente: Elaboración propia

La distribución de la salinidad tiene como preferencia a ser zonal, pero las corrientes marinas son responsables de las alteraciones en sus valores. Las principales alteraciones causantes de la distribución son dos; la precipitación y la evaporación. Es por es que las concentraciones más saladas se encuentran en las latitudes medias donde el valor de la concentración es elevado y las concentraciones menos saladas se encuentran en las zonas más cercanas al Ecuador, debido al fenómeno de las lluvias que reducen la concentración de las sales en la

superficie. Los registros más elevados se encuentran en regiones de alta evaporación como los ubicados en el este del mediterráneo con 39 unidades prácticas de salinidad (psu) y el Mar Rojo con 41 psu, y los registros más bajos se presentan en las proximidades del litoral donde desembocan grandes ríos y en regiones polares en donde la salinidad es casi nula.

La salinidad del océano pacífico que comprende el territorio del Perú muestra concentraciones de 33,2 a 35,6 psu en verano, y de 33,8 a 35,4 psu en invierno. La tabla 9 presenta las distintas masas de agua que son parte del mar peruano y en la figura de 21 podemos observar la Salinidad Superficial del mar (UPS) frente a las costas de Sudamérica entre 5°N y 25°S y entre la costa y 90°W.

Tabla 9.

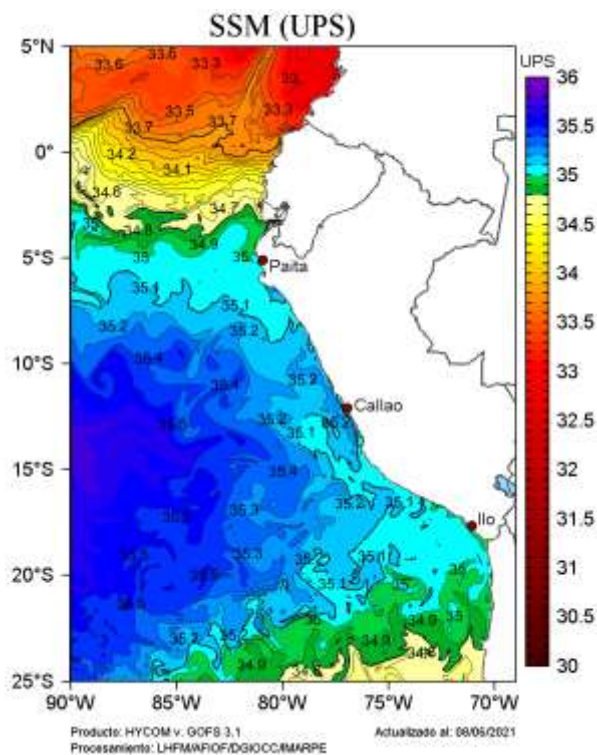
Masas de Agua

Tropicales	Abreviatura
Ecuatoriales	AES
Subtropicales	ASS
Tropicales	ATS

Fuente: Elaboración propia

Figura 21.

Salinidad Superficial del Mar (UPS)



Fuente: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0.

1.3.6.3 pH.

El pH del océano tiene relación de la concentración de CO₂ atmosférico y de CO₂ disuelto en el agua, esta relación tiene un rol importante en los porcentajes de acides. Igualmente, Khatiwala, Prumeau, & Hall, (2009) sugieren que la absorción de CO₂ antropogénico por parte del océano desde la revolución industrial ha aumentado notablemente a partir de 1950. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, (2013) desde la revolución industrial el pH ha disminuido en 0,1 unidades, tendencia que en los últimos decenios se ha

mantenido con un ritmo de -0,0014 a -0,0024 por año, como las proyecciones que presenta la tabla 10.

Tabla 10.

Proyección de pH en el 2025, 2050, 2075 y 2100

Región	pH promedio en 2000 - 2010	Años			
Pacífico		2025	2050	2075	2100
	7,891	7,811	7,711	7,636	7,411

Fuente: Elaboración propia

En el trabajo realizado por El Ibrahimy, et al, (2019). Se investigó el efecto del pH sobre la corrosión del estaño en una solución estancada de NaCl al 2%. Este estudio se realizó mediante polarización potenciodinámica y espectroscopia de impedancia electroquímica. Los resultados obtenidos revelaron que la variación del pH había afectado significativamente la velocidad y el mecanismo de corrosión del estaño, así como el rendimiento inhibitorio de las biomoléculas probadas. Se obtuvieron mayores eficiencias de inhibición a pH 5 en comparación con pH 2. El valor máximo se obtuvo para *Gln* y *Asn* a pH 2 y a pH 5, respectivamente. *Thr* y *Asn*se mostró un efecto de “dualidad” contra la corrosión del estaño, que puede actuar como aceleradores de corrosión a pH 2 y como inhibidores de corrosión a pH 5. Se discutió la relación entre los parámetros de estructura electrónica molecular calculados y la eficiencia de inhibición observada. La capacidad de los compuestos probados para formar enlaces de hidrógeno con la superficie metálica ha explicado la eficacia de inhibición precisa registrada a pH 5 frente a pH 2.

1.4 Formulación Del Problema

¿Qué características debe tener el vidrio borosilicatado para que cumpla con los parámetros establecidos para el diseño de la cámara de simulación de ambientes corrosivos?

1.5 Justificación E Importancia Del Estudio

La presente investigación se justifica en las siguientes definiciones:

1.5.1 Justificación Económica

Esta investigación pretende establecer al vidrio templado como un material más resistente y de fácil acceso para el diseño de la cámara de niebla salina, reduciendo la necesidad de implementar procedimientos experimentales in situ, los cuales conllevan altos precios de operación y mantenimiento.

1.5.2 Justificación Ambiental

Los materiales con base en distintas secuencias poliméricas son por mucho los materiales de diseño y fabricación en cámara de simulación de ambientes corrosivos más utilizados en los laboratorios de escala industrial, así como de instrucción en la mayoría de universidades, en términos de volumen y como tal, tienen un gran impacto en los entornos ambientales y el progreso sostenible. En el contexto de un progresivo interés hacia el reciclado de materiales plásticos, se presta especial atención en la investigación por medio de la experimentación para poder suplantar con materiales alternativos. Con el desarrollo de la evaluación de materiales se busca mejorar su funcionalidad estructural de la cámara, donde se genera la zona de exposición de los distintos materiales metálicos y sus recubrimientos.

1.5.3 Justificación Social

La propuesta de nuevos materiales para su uso alternativo en las cámaras de simulación de ambientes corrosivos tendrá un beneficio directo para investigadores y profesionales que

realizan esta práctica, ya sea por motivos laborales o instrucción, se obtendrán un mejor material con el mínimo impacto ambiental.

1.5.4 Justificación Técnica

Debido a la actualidad que se manifiesta con calentamiento global, es concluyente desarrollar una evaluación de materiales con la mayor eficiencia posible que se adecúen a los estándares ambientales internacionales. Así mismo, una cámara de simulación de ambientes corrosivos puede ser aprovechado por empresas de: minería, hidrocarburos, generación de energía eléctrica, transporte terrestre, aéreo, marítimo, entre otros.

1.6 Hipótesis

No aplica

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Evaluar el vidrio borosilicatado como material alternativo para el uso en cámaras de niebla salina.

1.7.2 Objetivos específicos

- Evaluar según la normativa técnica la factibilidad del uso del vidrio borosilicatado en el diseño de la cámara de niebla salina.
- Evaluar las propiedades del vidrio borosilicatado con otras alternativas utilizando el software Ces Edupack.
- Validar el comportamiento térmico del vidrio borosilicatado utilizando el software SolidWorks dentro de los parámetros de operación de la cámara de niebla salina.
- Determinar la rentabilidad económica del uso del vidrio borosilicatado en la cámara de niebla salina.

2 Materiales Y Métodos

2.1 Tipo Y Diseño De Investigación

2.1.1 *Tipo de investigación*

Aplicada: Este proyecto de investigación tiene como finalidad tener un impacto directo en el caso de estudio (cámara de niebla salina).

2.1.2 *Diseño de investigación*

Explicativa: En el desarrollo del proyecto de investigación se va fundamentar porque el vidrio templado es una mejor alternativa para el diseño de la cámara de niebla salina.

2.2 Población Y Muestra

2.2.1 *Población:* Vidrios templados comerciales.

2.2.2 *Muestra:* Familia de borosilicatos en su composición química del vidrio.

2.3 VARIABLES

2.3.1 *Variable Independiente:*

- Propiedades mecánicas.
- Propiedades físicas.

2.3.2 *Variables dependientes:*

- Temperatura
- pH
- Presión
- Espesor
- Tiempo de funcionamiento

En la tabla 11 se podrá observar como describirá la operacionalización de la variable independiente y dependiente.

Tabla 11.

Operacionalización de Variables

Variab	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos De Recolección De Información
Independiente:				
Propiedades Mecánicas	Capacidad de un material para transmitir fuerzas y resistir deformaciones.	Calificación de las propiedades mecánicas	Adimensional	
Propiedades Físicas	Capacidad de resistir ataques de carácter corrosivo de origen químico y rayos UV.	Calificación de las propiedades mecánicas	Adimensional	Metodología de evaluación por medio de software Ces Edupack, SolidWork y cálculo teórico
Dependiente:				
Temperatura	Magnitud que se utiliza para medir la energía cinética en un sistema. termodinámico	Distribución de la temperatura	Valor en °C	Análisis documental mediante la norma ASTM B - 117
pH	Valor cuantitativo del grado de acidez de una solución acuosa.	Índice del pH	Valor establecido	
Presión	Magnitud que mide la fuerza por unidad de superficie.	Definición de la presión	Valor en Libras por pulgada cuadrada	

Espesor	Grosor de un material.	Definición del Espesor	(psi) o kilo Pascales (kPa)	Análisis documental mediante la norma ASTM
			Valor en milímetros (mm)	B - 117
Tiempo de Funcionamiento	Horas de prueba a la que está expuesta un material.	Definición tiempo de prueba	Valor en horas (h.)	

Fuente: *Elaboración Propia.*

2.4 Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos, Validez Y Confiabilidad

2.4.1 Técnicas De Investigación Y Recolección De Datos

- a) Análisis documental.
- b) Guías de observación.
- c) Normas Técnicas (Estandarizada).
- d) Cálculo.

2.4.2 Validez Y confiabilidad

Para lograr que los valores son válidos y confiables se va a constatar con información de investigaciones similares y datos técnicos de fabricantes de cámaras de niebla salina.

2.5 Procedimientos De Análisis De Datos

Se va a utilizar software de cálculo para evaluar en base a referencias temporales (valores del espesor del vidrio templado), también se utilizará un software de evaluación de materiales. Se tendrá en cuenta también datos del mercado nacional e internacional para referenciar costo de material.

2.6 Criterios Éticos

El presente informe se rige bajo los estándares de investigación aceptados y validados por la Universidad Señor de Sipán, el cual reafirma el compromiso de aprobar y publicar trabajos de investigación debidamente fundamentados.

CÓDIGO DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN ELABORADO POR LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, REVISADO POR EL ÁREA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO INSTITUCIONAL – ASESORÍA LEGAL. RATIFICADO POR EL

ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN RECTORAL N° 0851

– 2017/USS

Art. 7°: Son deberes éticos de los investigadores:

- Autonomía.
- Responsabilidad.
- Profesionalismo.
- Compromiso con la sociedad.
- Supervisión.
- Desarrollo profesional.

Art. 14°: Respeto de los investigados y de lo investigado:

- Respetar las condiciones de salud, de integridad física, psicológica y moral de las personas o grupos que participan en el estudio.
- Solicitar y obtener el consentimiento expresado e informado de las personas sujetos investigación.
- Respetar la idiosincrasia y la cultura de los participantes en la investigación.
- Garantizar el bienestar de las personas, animales y plantas, como objeto de investigación.
- Garantizar el almacenamiento adecuado de la información obtenida para el estudio.
- Aplicar en todo momento los criterios de confidencialidad y anonimato.
- Presentar los resultados respetando las normas de Propiedad Intelectual.

2.7 Criterios De Rigor Científico

Se tendrán en cuenta los aspectos éticos de profesionalismo del colegio de ingenieros del Perú (CIP) y el código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán presentados a continuación:

CODIGO DE ETICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ (CIP) APROBADO EN LA III SECCIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERIODO 1998 – 1999 EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 DE ABRIL 1999.

Art. 4 – Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud. Art. 12 – Los ingenieros expresaran opiniones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, en competencia técnica suficiente y convicción sincera.

3 Resultados

3.1 Evaluación de la normativa técnica del uso del vidrio templado.

La evaluación es una actividad periódica con un conjunto de resultados finales deseados. Puede dividirse en sub tareas programadas que se llevan a cabo para obtener los objetivos de la investigación. El proceso para obtener los objetivos de esta investigación mediante el capítulo 3 se dividen en las siguientes fases: Diseño conceptual, simulación, interpretación de resultados y documentación del proyecto. En cada una de las fases establecidas para el desarrollo de esta investigación se van a aplicar técnicas y herramientas para un mejor desarrollo.

Para definir el vidrio borosilicatado como un material adecuado para su inclusión en la etapa del diseño en las máquinas de niebla salina, se va a detallar en la tabla 12 datos referenciales de la norma ASTM – B117 “SALT SPRAY TEST”.

Tabla 12.

Criterios Estándares Para el Diseño de una Cámara de Niebla Salina

Item	Descripción Breve	Parámetro	Unidad	Rango
1	Una cámara sellada que contenga la niebla, un embalse donde almacenar la solución salina, un suministro de aire comprimido, uno o varios inyectores que atomizan la solución salina, apoyos para las probetas de prueba, elementos calefactores para la cámara, y medios necesarios para el control de la temperatura.	No Aplica	No Aplica	No Aplica
2	No se permite que el condensado formado en la superficie de la tapa de la cámara caiga sobre las probetas de prueba.			

Item	Descripción Breve	Parámetro	Unidad	Rango
3	Las gotas de la solución que se caen de las probetas no serán devueltas al depósito de solución para ser rociada de nuevo.			
4	El material elegido para el diseño será tal que no sea afectado por la niebla corrosiva.			
5	Toda el agua que se usara en la práctica debe cumplir con el tipo IV de agua según especificaciones ASTM D1193 (este no aplica al agua corriente del grifo).	No Aplica	No Aplica	No Aplica
6	las probetas serán apoyadas o suspendidas entre 15° y 30° de la vertical.			
7	Las probetas no se podrán en contacto el uno con el otro.			
8	Cada probeta será colocada para permitir la circulación libre de la niebla			
9	La solución de sal de una probeta no debe gotear sobre otras probetas.			
10	El abastecimiento de aire comprimido al inyector (es) para atomizar la solución de sal deberá estar libre de aceite y suciedad.	Presión	Psi kPa	10 – 25 69 – 172
11	La temperatura en la zona de exposición de la cámara de niebla salina será mantenida.	Temperatura	°C	35 + 1,1/- 1.7
12	El pH de la solución colectada será 6.5 a 7,2	pH		6,5 – 7,2
13	El inyector (es) deben ser dirigidos de tal manera que la niebla sea depositada de forma que ninguna partícula pulverizada impregne directamente a las probetas.			
14	Se debe cuidar que en la línea de solución que alimenta las boquillas, tenga filtros adecuados para evitar que se obstruyan.	No Aplica	No Aplica	No Aplica
15	La cámara de niebla salina debe estar diseñada de forma que durante las pruebas permanezca sellada.			
16	El flujo de aire hacia las boquillas debe permanecer constante durante toda la prueba.			

Fuente: *NORMA ASTM B – 117. 1976*

De los 16 criterios especificados en la norma, se tomarán en cuenta para su desarrollo los criterios que se relacionan con la evaluación del vidrio borosilicatado:

3.1.1 “El material elegido para el diseño será tal que no sea afectado por la niebla corrosiva”. (Norma Astm B-117, 1976)

(Norma Astm B-117, 1976). La cámara será hecha de materiales inertes apropiados como plástico, cristal, o piedra, o construida del metal y cubierta con plásticos impermeables, caucho, o materiales de tipo epoxi o equivalente . (Anexos 5.17 – gabinetes).

En (Structures, n.d.) indica, “el material que contiene al menos 5% de ácido bórico. Este compuesto confiere mayor resistencia a los cambios térmicos y a la corrosión química. Debido a sus propiedades es adecuado para su uso en industrias químicas y laboratorios”.

3.1.2 La temperatura en la zona de exposición de la cámara de niebla salina será mantenida en $35 \text{ }^{\circ}\text{C} + 1,1/-1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El valor de la temperatura se debe poder ver sin que la cámara sea abierta, para evitar lecturas falsas. (Norma Astm B-117, 1976)

(Norma Astm B-117, 1976). Temperatura: La zona de exposición de la cámara de solución salina será mantenida a $35 + 1.1 - 1.7^{\circ}\text{C}$ ($95 + 2 - 3^{\circ}\text{F}$). La temperatura dentro de la zona de exposición en la cabina cerrada será registrada al menos dos veces al día, al menos con 7 horas de diferencia (excepto los sábados, domingos y feriados cuando la prueba de niebla salina no es interrumpida por exposición, reorganizado o removido de muestras de prueba o para comprobar y reponer la solución en el reservorio) . (Anexo 5.10)

(Norma Astm B-117, 1976). El sostenimiento de la temperatura dentro de la cámara de niebla salina puede ser llevado a cabo por varios métodos. Es generalmente deseable controlar la temperatura de los alrededores de la cámara de spray de sal y mantenerla tan estable como sea posible. Esto puede ser llevado a cabo colocando el aparato en un cuarto a temperaturas

constante, pero también puede ser conseguido rodeando la cámara básica de una chaqueta que contenga agua, o aire a una temperatura controlada. (Anexo 5.17.2).

3.1.3 “La cámara de niebla salina debe estar diseñada de forma que durante las pruebas permanezca sellada, para que no se afecten otros equipos y muebles con la niebla”. (Norma Astm B-117, 1976)

(Norma Astm B-117, 1976). A menos que por otra parte se especifique otra cosa en las especificaciones que cubren el material o producto probado, la prueba será continua para la duración del período de prueba entero. La operación continua implica que la cámara está cerrada y el spray funcione continuamente, excepto las interrupciones diarias (cortas) necesarias para inspeccionar, reajustar, o quitar muestras de prueba, comprobar y rellenar la solución en el embalse, y hacer los registros necesarios como lo descrito en la Sección 10. Las operaciones serán programadas de forma que estas interrupciones tengan una duración mínima . (Anexo 5.11).

Según la Norma Técnica ASTM B – 117, 1976 en la sección máquina. El tamaño y detalle de construcción de la maquina son opcionales, siempre que las condiciones obtenidas cumplan nominalmente los requisitos de esta práctica (desarrollado en el anexo 2 de esta investigación). Y en la investigación realizada por Schmiedl E. y Auduelo F. “La cámara de exposición fue diseñada de acuerdo a la necesidad y al uso que se le dará dentro del campo didáctico y de investigación, por tal razón se empleó un espesor de 5 mm para evitar que se rompa por el calor suministrado”. Es por eso que para esta investigación se va considerar un espesor de 6 mm.

Después de desarrollar los criterios que van a ser considerados para la evaluación de los vidrios borosilicatados, en la tabla 13 y 14 podemos observar el resumen de los rangos y dimensiones físicas establecidas.

Tabla 13.*Rangos de Operación*

Descripción	Rango
Solución Salina	5 ± 1 partes por masa de cloruro de sodio en 95 partes de agua
pH	6,5 – 7,2
Temperatura	35 °C + 1,1/-1.7
Presión	10 – 25 psi
Tiempo de prueba	100 horas
Parada programada	Se recomienda cada 24 horas

Fuente: *Elaboración propia***Tabla 14.***Características Dimensionales de la Cámara de Niebla Salina*

Dimensión	Medida
Espesor del material	6 mm
Largo del material	60 cm
Ancho del material	60 cm
Alto del material	60 cm

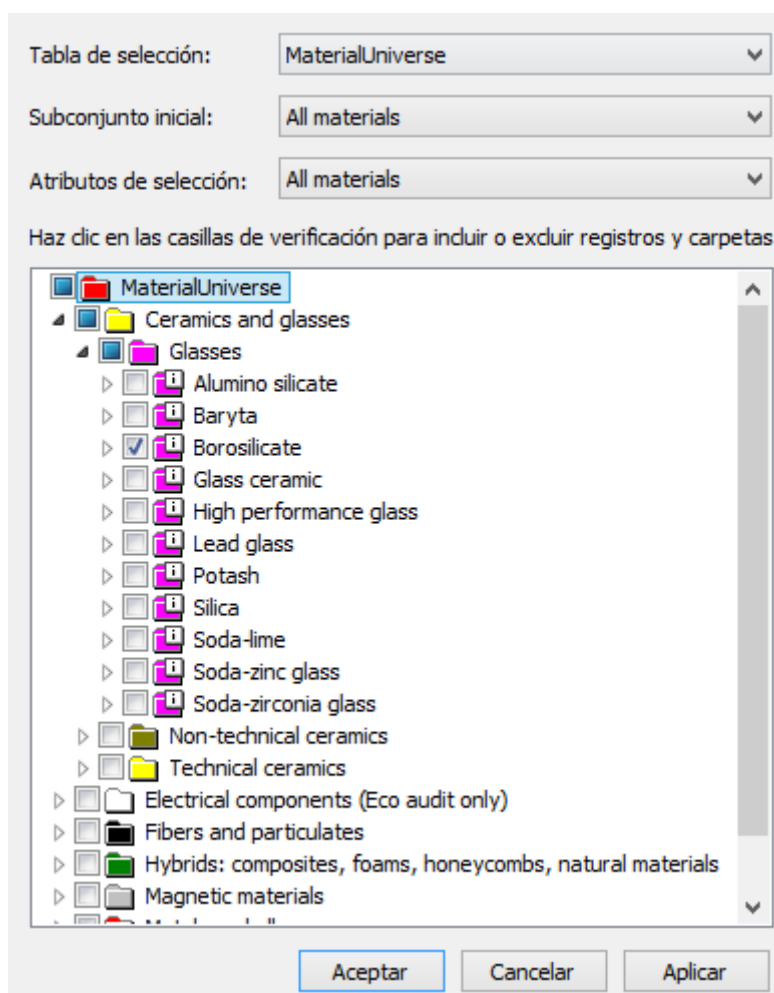
Fuente: *Elaboración propia*

3.2 Evaluación de las propiedades del vidrio templado el software CesEdupack.

Establecidos los parámetros físicos y de funcionamiento que se observan en la tabla 12 y 13, se procedió a evaluar por medio del software CesEdupack 2019. Primero se definió el universo de materiales que pertenecen al grupo de los cerámicos y vidrios como se observa en la figura 22, en la 23 los borosilicatos considerados dentro de esta familia de materiales.

Figura 22.

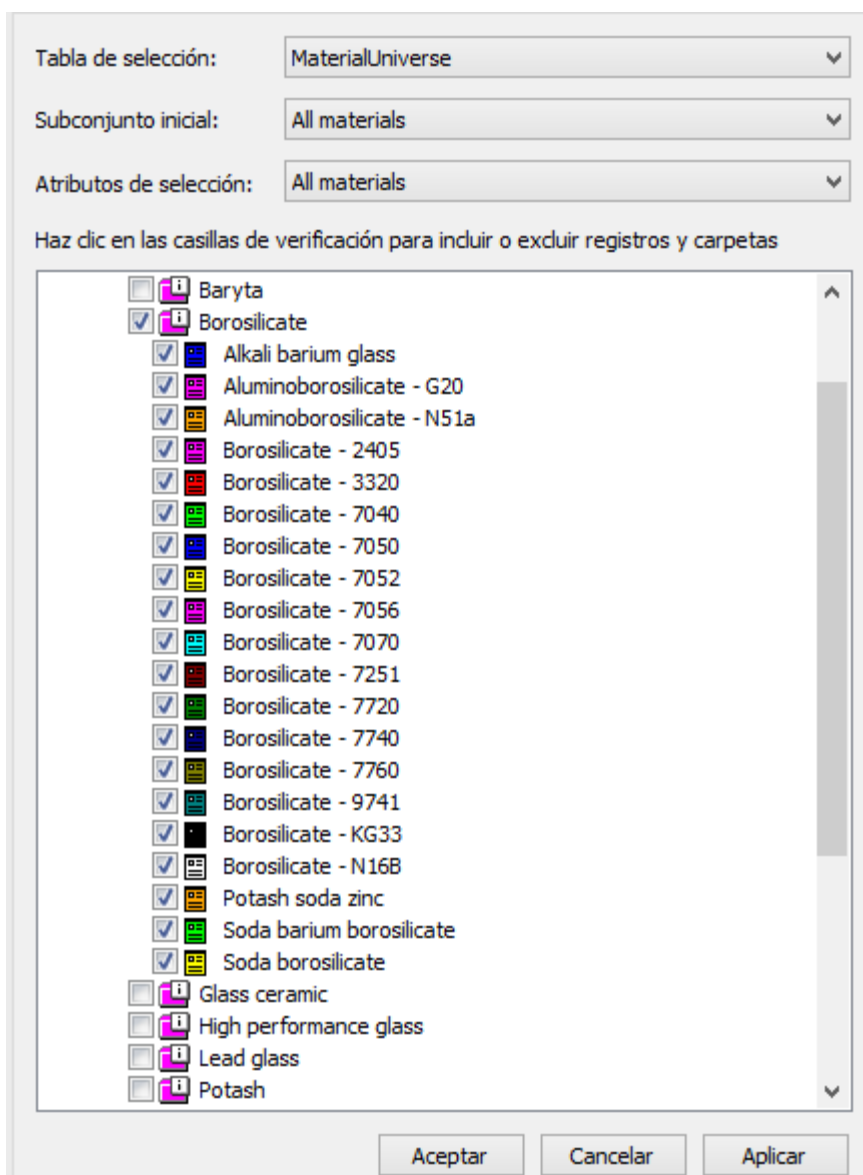
Selección de Materiales Cerámicos y Vidrios



Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 23.

Familia de los Borosilicatos



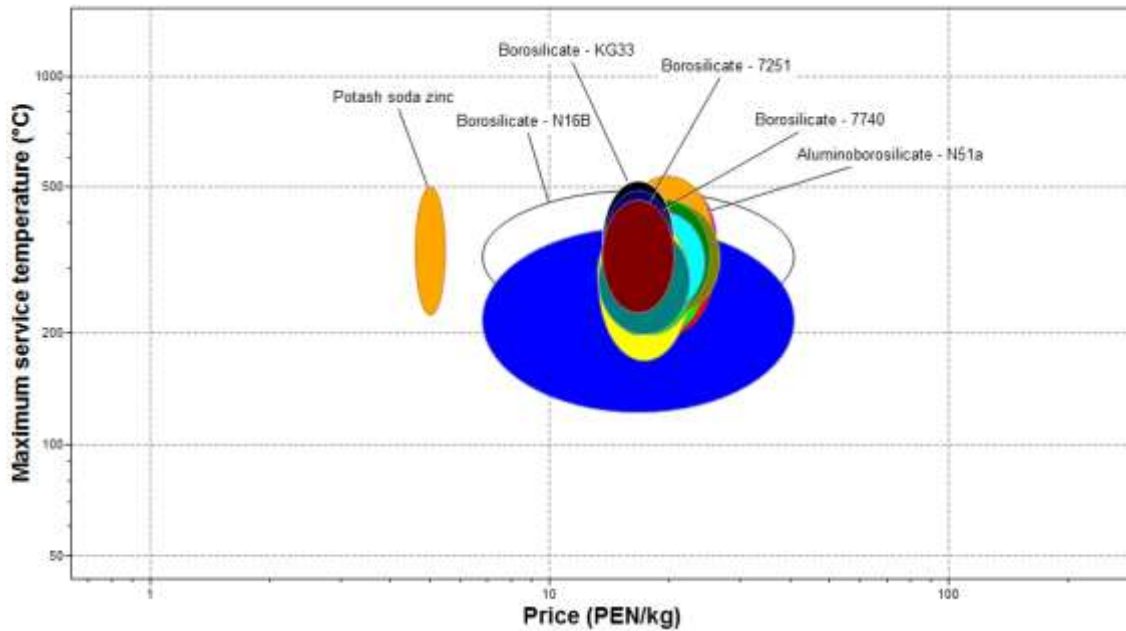
Fuente: *CesEdupack 2019*

En la primera evaluación que se hizo a los vidrios borosilicatados serán considerados los rangos de máxima temperatura de servicio frente al precio de los borosilicatos como se

aprecia en la figura 24. Se consideró en la evaluación resaltar los borosilicatos que tienen potencial para ser estimados para la evaluación térmica.

Figura 24.

Borosilicatos Resaltantes en la Gráfica de Máxima Temperatura de Servicio - Precio



Fuente: *CesEdupack 2019*

Luego de haber puesto los parámetros de máxima temperatura de servicio y precio, en la tabla 15 se consideró algunos borosilicatos que cumplen con los parámetros previamente establecidos.

Tabla 15.

Tabla De Correspondencia De Los Vidrios Borosilicatos Evaluados con sus Respectivas Figuras

Borosilicato	Figura CesEdupack 2019
Borosilicato 2405	25, 26 y 27
Borosilicato 7740	28, 29 y 30
Borosilicato KG 33	31, 32 y 33
Borosilicato N16 B	34, 35 y 36
Borosilicato N51a.	37, 38 y 39

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 25.

Evaluación del Borosilicato 2405

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 2405		Página 1 de 4
General information				
Designation				
2405				
Typical uses				
Overware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, Optical				
Composition overview				
Compositional summary				
70% SiO2/1% Al2O3/12% B2O3/5% Na2O/11%				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	1			%
B2O3 (boric oxide)	12			%
CdS (cadmium sulfide)	0	- 0.5		%
Na2O (sodium oxide)	5			%
Se (selenium)	0	- 0.5		%
SiO2 (silica)	70			%
ZnO (zinc oxide)	11			%
Price				
Price	* 13.6	- 20.3		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.33e4	- 5.1e4		PEN/m³
Physical properties				
Density	2.45e3	- 2.5e3		kg/m³
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	66.3	- 69.7		GPa
Specific stiffness	26.7	- 28.2		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 31.9	- 35.1		MPa
Tensile strength	31.9	- 35.1		MPa
Specific strength	* 12.9	- 14.2		kN.m/kg
Elongation	0.05			% strain
Compressive strength	* 319	- 351		MPa
Flexural modulus	* 66.3	- 69.7		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 41.5	- 45.6		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Figura 26.


Evaluación del Borosilicato 2405

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 2405		Página 2 de 4
Shear modulus	* 27.5	- 28.9	GPa	
Bulk modulus	* 37.4	- 39.3	GPa	
Poisson's ratio	0.2	- 0.21		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 95.4	- 105	HV	
Elastic stored energy (springs)	* 7.48	- 9.07	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 30.2	- 33.4	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.63	- 0.64	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	0.00576	- 0.00611	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	463	- 618	°C	
Maximum service temperature	200	- 480	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	4.21	- 4.38	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 108	- 121	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.255	- 0.281	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	* 5.3	- 5.9		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0129	- 0.0196		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Red			
Refractive index	1.5	- 1.52		
Transparency	Opaque			
Acoustic velocity	5.17e3	- 5.31e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Figura 27.

Evaluación del Borosilicato 2405


		Borosilicate - 2405		Página 3 de 4
Durability				
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Excellent		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 26.6	- 29.4	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.61	- 1.78	kg/kg	
Water usage	* 26.2	- 28.9	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 7.96	- 8.8	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.637	- 0.704	kg/kg	
Glass molding water	* 2.37	- 3.55	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26.2	- 28.9	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.96	- 2.17	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle		✓		
Embodied energy, recycling	* 21.8	- 24.1	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 1.13	- 1.24	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle		✓		
Combust for energy recovery		✗		
Landfill		✓		
Biodegrade		✗		
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEduPack 2019*

Figura 28.

Evaluación del Borosilicato 7740

		Borosilicate - 7740		Página 1 de 4
General information				
Designation				
7740				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights				
Composition overview				
Compositional summary				
81% SiO ₂ /2% Al ₂ O ₃ /13% B ₂ O ₃ /4% Na ₂ O				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al ₂ O ₃ (alumina)	2			%
B ₂ O ₃ (boric oxide)	13			%
Na ₂ O (sodium oxide)	4			%
SiO ₂ (silica)	81			%
Price				
Price	* 13.6	- 20.3		PEN/kg
Price per unit volume	* 2.98e4	- 4.58e4		PEN/m ³
Physical properties				
Density	2.2e3	- 2.25e3		kg/m ³
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	61.4	- 64.5		GPa
Specific stiffness	27.5	- 29.1		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 25.2	- 27.8		MPa
Tensile strength	25.2	- 27.8		MPa
Specific strength	* 11.3	- 12.5		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 252	- 278		MPa
Flexural modulus	* 61.4	- 64.5		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 32.8	- 36.2		MPa
Shear modulus	* 25.6	- 26.9		GPa
Bulk modulus	* 33.5	- 35.2		GPa
Poisson's ratio	0.19	- 0.2		

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 29.

Evaluación del Borosilicato 7740

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 7740		Página 2 de 4
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	402	-	443	HV
Elastic stored energy (springs)	* 5.04	-	6.14	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 23.9	-	26.4	MPa
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.6	-	0.62	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0.00568	-	0.00616	kJ/m ²
Thermal properties				
Glass temperature	484	-	643	°C
Maximum service temperature	230	-	490	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	* 1.1	-	1.2	W/m.°C
Specific heat capacity	* 760	-	800	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	3.18	-	3.31	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 122	-	137	°C
Thermal distortion resistance	* 0.338	-	0.371	MW/m
Electrical properties				
Electrical resistivity	3.16e20	-	3.16e21	µohm.cm
Electrical conductivity	5.45e-20	-	5.45e-19	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	4.4	-	4.7	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0168	-	0.0182	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	-	14	MV/m
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.46	-	1.48	
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	5.25e3	-	5.39e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	-	6.2e-5	
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 30.

Evaluación del Borosilicato 7740


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 7740		Página 3 de 4
Weak acids	Excellent			
Strong acids	Excellent			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Acceptable			
Organic solvents	Excellent			
Oxidation at 500C	Excellent			
UV radiation (sunlight)	Excellent			
Halogens	Acceptable			
Metals	Acceptable			
Flammability	Non-flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 21,4	- 23,7	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1,33	- 1,47	kg/kg	
Water usage	* 10,1	- 11,2	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8,22	- 9,09	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0,658	- 0,727	kg/kg	
Glass molding water	* 2,45	- 3,67	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 23,1	- 25,5	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,73	- 1,91	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 17,5	- 19,4	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0,93	- 1,03	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22,7	- 25,1	%	
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				
Producers				
Reference				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: CesEduPack 2019

Figura 31.

Evaluación del Borosilicato KG33

		Borosilicate - KG33		Página 1 de 4
General information				
Designation				
KG33				
Typical uses				
Laboratory ware,				
Composition overview				
Compositional summary				
81% SiO2/2% Al2O3/13% B2O3/4% Na2O/4.5% MgO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	2			%
B2O3 (boric oxide)	13			%
MgO (magnesia)	0	-	4.5	%
Na2O (sodium oxide)	0	-	4	%
SiO2 (silica)	81			%
Price				
Price	* 13.6	-	20.3	PEN/kg
Price per unit volume	* 2.98e4	-	4.58e4	PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.2e3	-	2.25e3	kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 61	-	65	GPa
Specific stiffness	* 27.4	-	29.3	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 28.6	-	31.6	MPa
Tensile strength	28.6	-	31.6	MPa
Specific strength	* 12.8	-	14.2	kN.m/kg
Elongation	* 0.04	-	0.05	% strain
Compressive strength	* 286	-	316	MPa
Flexural modulus	* 61	-	65	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 37.2	-	41.1	MPa
Shear modulus	* 25.5	-	27.1	GPa
Bulk modulus	* 33.3	-	35.5	GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 32.

Evaluación del Borosilicato KG33

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - KG33		Página 2 de 4
Poisson's ratio	* 0.19	-	0.2	
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 85.7	-	94.7	HV
Elastic stored energy (springs)	6.48	-	7.95	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 27.1	-	30	MPa
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.6	-	0.62	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	* 0.00565	-	0.00618	kJ/m ²
Thermal properties				
Glass temperature	488	-	648	°C
Maximum service temperature	* 244	-	518	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	* 1.1	-	1.2	W/m.°C
Specific heat capacity	* 760	-	800	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	3.13	-	3.26	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 140	-	159	°C
Thermal distortion resistance	* 0.343	-	0.377	MW/m
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	-	1e24	µohm.cm
Electrical conductivity	1.72e-22	-	1.72e-20	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	4.4	-	4.7	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0196	-	0.0218	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	-	14	MV/m
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.46	-	1.48	
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.23e3	-	5.41e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	-	6.2e-5	
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				
Water (fresh)	Excellent			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 33.

Evaluación del Borosilicato KG33


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - KG33		Página 3 de 4	
Water (salt)	Excellent				
Weak acids	Excellent				
Strong acids	Excellent				
Weak alkalis	Excellent				
Strong alkalis	Acceptable				
Organic solvents	Excellent				
Oxidation at 500C	Excellent				
UV radiation (sunlight)	Excellent				
Halogens	Acceptable				
Metals	Acceptable				
Flammability	Non-flammable				
Primary production energy, CO2 and water					
Embodied energy, primary production	* 21,4	- 23,7	MJ/kg		
CO2 footprint, primary production	* 1,33	- 1,47	kg/kg		
Water usage	* 10,2	- 11,3	l/kg		
Processing energy, CO2 footprint & water					
Glass molding energy	* 8,27	- 9,14	MJ/kg		
Glass molding CO2	* 0,662	- 0,731	kg/kg		
Glass molding water	* 2,46	- 3,69	l/kg		
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26,1	- 28,9	MJ/kg		
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,96	- 2,17	kg/kg		
Recycling and end of life					
Recycle	✓				
Embodied energy, recycling	* 17,5	- 19,4	MJ/kg		
CO2 footprint, recycling	* 0,93	- 1,03	kg/kg		
Recycle fraction in current supply	22,7	- 25,1	%		
Downcycle	✓				
Combust for energy recovery	✗				
Landfill	✓				
Biodegrade	✗				
Notes					
Other notes					
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat					
Enlaces					
ProcessUniverse					
Producers					

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 34.

Evaluación del Borosilicato N16B

		Borosilicate - N16B		Página 1 de 4
General information				
Designation				
N16B				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, Optical				
Composition overview				
Compositional summary				
5% SiO2/34% B2O3/2% BaO/6% ZnO/6% ZrO2/41% La2O3/6%				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
B2O3 (boric oxide)	34			%
BaO (barium oxide)	2			%
SiO2 (silica)	5			%
ZnO (zinc oxide)	6			%
ZrO2 (zirconia)	6			%
Other oxide	47			%
Price				
Price	* 6.77	- 40.7		PEN/kg
Price per unit volume	* 1.66e4	- 1.02e5		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.45e3	- 2.5e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 63.7	- 83.8		GPa
Specific stiffness	* 25.7	- 33.9		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 28.3	- 37.7		MPa
Tensile strength	* 28.3	- 37.7		MPa
Specific strength	* 11.4	- 15.2		kN.m/kg
Elongation	* 0.03	- 0.06		% strain
Compressive strength	* 283	- 377		MPa
Flexural modulus	* 63.7	- 83.8		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 36.8	- 49		MPa
Shear modulus	* 26.2	- 34.4		GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 35.

Evaluación del Borosilicato N16B

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - N16B		Página 2 de 4
Bulk modulus	* 37.2	- 49	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 93.1	- 103	HV	
Elastic stored energy (springs)	5.44	- 9.8	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29.5	- 32.6	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.61	- 0.7	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.00485	- 0.00704	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	466	- 621	°C	
Maximum service temperature	* 215	- 488	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1	- 2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 720	- 920	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	8.52	- 8.87	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 42.4	- 62.4	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.115	- 0.23	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	7.4	- 8		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0339	- 0.047		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	* 1.57	- 1.59		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.06e3	- 5.83e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 36.

Evaluación del Borosilicato N16B


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - N16B		Página 3 de 4
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Excellent		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 36.1	- 39.9	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 2.12	- 2.35	kg/kg	
Water usage	* 25.2	- 27.9	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.18	- 9.04	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.654	- 0.723	kg/kg	
Glass molding water	* 2.43	- 3.65	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 25.6	- 28.2	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.92	- 2.12	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle				✓
Embodied energy, recycling	* 29.6	- 32.7	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 1.48	- 1.64	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle				✓
Combust for energy recovery				✗
Landfill				✓
Biodegrade				✗
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 37.

Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a

		Aluminoborosilicate - N51a		Página 1 de 4
General information				
Designation				
N51a				
Typical uses				
Laboratory ware,				
Composition overview				
Compositional summary				
74.5% SiO2/6% Al2O3/10% B2O3/6% Na2O/.5% K2O/1% CaO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	6			%
B2O3 (boric oxide)	10			%
CaO (calcia)	1			%
K2O (potassium oxide)	0.5			%
Na2O (sodium oxide)	6			%
SiO2 (silica)	74.5			%
Other	2			%
Price				
Price	* 15.3	- 25.5		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.56e4	- 6.08e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.33e3	- 2.38e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 70	- 74		GPa
Specific stiffness	* 29.7	- 31.5		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 32.5	- 35.9		MPa
Tensile strength	32.5	- 35.9		MPa
Specific strength	* 13.8	- 15.3		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 325	- 359		MPa
Flexural modulus	* 70	- 74		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 42.3	- 46.7		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 38.

Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a


CES 2019 EDUPACK		Aluminoborosilicate - N51a		Página 2 de 4
Shear modulus	* 28.8	- 30.4	GPa	
Bulk modulus	* 40.9	- 43.2	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 97.3	- 108	HV	
Elastic stored energy (springs)	7.33	- 8.96	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 30.8	- 34.1	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.64	- 0.66	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.00563	- 0.00611	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	502	- 665	°C	
Maximum service temperature	* 261	- 537	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	4.9	- 5.1	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 89.4	- 101	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.219	- 0.241	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	5.6	- 6.1		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0532	- 0.0585		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.48	- 1.5		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.45e3	- 5.61e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Notes	Al (aluminum) added to the 2018 US critical minerals list			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 39.

Evaluación del Aluminio Borosilicato N51a

		Aluminoborosilicate - N51a		Página 3 de 4
Durability				
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Excellent		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 20.4	- 22.6	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.28	- 1.41	kg/kg	
Water usage	* 12.5	- 13.8	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.44	- 9.33	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.675	- 0.746	kg/kg	
Glass molding water	* 2.51	- 3.77	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 28	- 31	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 2.1	- 2.32	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle				✓
Embodied energy, recycling	* 16.7	- 18.5	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0.893	- 0.987	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle				✓
Combust for energy recovery				✗
Landfill				✓
Biodegrade				✗
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				

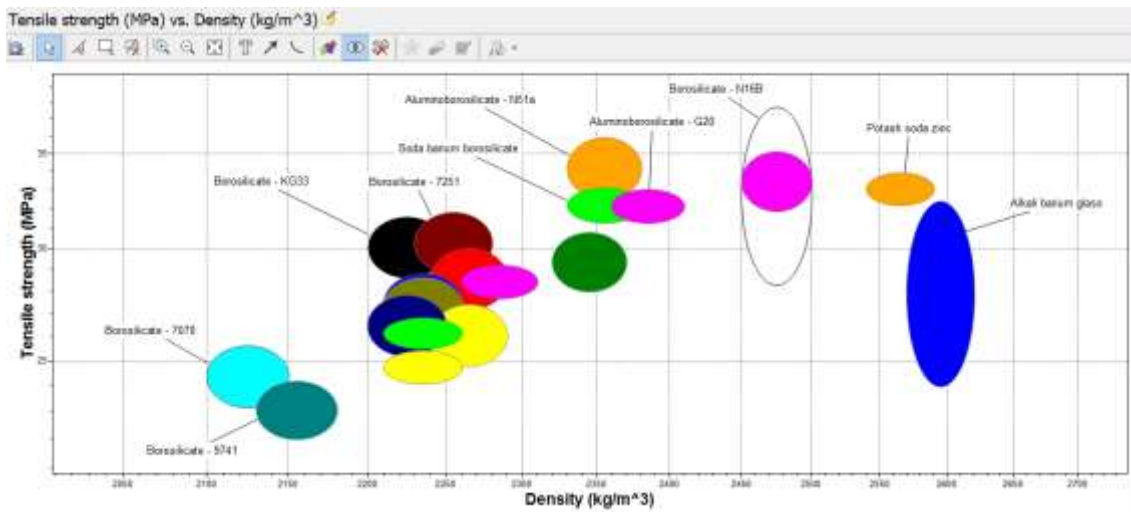
Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

En la segunda evaluación que se hizo a los vidrios borosilicatados, serán considerados los rangos de densidad frente a su resistencia a la tensión como se aprecia en la figura 40. Se consideró en la evaluación resaltar los borosilicatos posiblemente viables para la evaluación térmica.

Figura 40.

Grafica De Tensión – Densidad



Fuente: *CesEdupack 2019*

Siguiendo con la evaluación en la tabla 16 se va establecer la relación de vidrios borosilicatados con sus respectivas figuras.

Tabla 16.


Tabla de Correspondencia de los Vidrios Borosilicatos Evaluados con sus Respectivas Figuras

Borosilicato	Figura CesEdupack 2019
Borosilicato 7251	41, 42 y 43
Borosilicato 9741	44, 45 y 46
Borosilicato Vidrio de Bario Alcalino	47, 48 y 49
Aluminio Borosilicato G20	50, 51 y 52
Borosilicato KG53	53, 54 y 55
Borosilicato N16B	56, 57 y 58
Aluminio Borosilicato N51a	59, 60 y 61
Potasa Soda Zinc	62, 63 y 64
Borosilicato de Sodio y Bario	65, 66 y 67

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 41.

Borosilicato 7251

		Borosilicate - 7251		Página 1 de 4
General information				
Designation				
7251				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights				
Composition overview				
Compositional summary				
82% SiO2/2% Al2O3/12% B2O3/4% Na2O				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	2			%
B2O3 (boric oxide)	12			%
Na2O (sodium oxide)	4			%
SiO2 (silica)	82			%
Price				
Price	* 13.6	- 20.3		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.02e4	- 4.64e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.23e3	- 2.28e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	62.4	- 65.6		GPa
Specific stiffness	27.6	- 29.2		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 28.8	- 31.8		MPa
Tensile strength	28.8	- 31.8		MPa
Specific strength	* 12.8	- 14.1		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 288	- 318		MPa
Flexural modulus	* 62.4	- 65.6		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 37.5	- 41.4		MPa
Shear modulus	* 26.3	- 27.6		GPa
Bulk modulus	* 33	- 34.7		GPa
Poisson's ratio	0.18	- 0.19		

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 42.

Borosilicato 7251

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 7251		Página 2 de 4
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	428	- 472		HV
Elastic stored energy (springs)	* 6.48	- 7.91		kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 27.3	- 30.2		MPa
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.61	- 0.62		MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0.00574	- 0.00609		kJ/m ²
Thermal properties				
Glass temperature	488	- 648		°C
Maximum service temperature	230	- 460		°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2		W/m.°C
Specific heat capacity	* 760	- 800		J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	3.57	- 3.72		µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 122	- 138		°C
Thermal distortion resistance	* 0.301	- 0.331		MW/m
Electrical properties				
Electrical resistivity	3.16e23	- 3.16e24		µohm.cm
Electrical conductivity	5.46e-23	- 5.46e-22		%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	4.7	- 5		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0204	- 0.0228		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14		MV/m
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.47	- 1.49		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	5.25e3	- 5.4e3		m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				
Water (fresh)	Acceptable			
Water (salt)	Acceptable			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 43.

Borosilicato 7251


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 7251		Página 3 de 4
Weak acids	Excellent			
Strong acids	Acceptable			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Acceptable			
Organic solvents	Excellent			
Oxidation at 500C	Excellent			
UV radiation (sunlight)	Excellent			
Halogens	Acceptable			
Metals	Acceptable			
Flammability	Non-flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 21.1	- 23.3	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.31	- 1.45	kg/kg	
Water usage	* 9.65	- 10.7	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.27	- 9.14	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.662	- 0.731	kg/kg	
Glass molding water	* 2.46	- 3.69	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26	- 28.7	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.95	- 2.15	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 17.3	- 19.1	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0.917	- 1.01	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				
Producers				
Reference				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 44.

Borosilicato 9741

		Borosilicate - 9741		Página 1 de 4
General information				
Designation				
9741				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, UV transmission				
Composition overview				
Compositional summary				
65% SiO2/5% Al2O3/27% B2O3/1% Li2O/2% Na2O/F-				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	5			%
B2O3 (boric oxide)	27			%
F (fluorine)	1e-9			%
Li2O (lithia)	1			%
Na2O (sodium oxide)	2			%
SiO2 (silica)	65			%
Price				
Price	* 13.3	- 22.3		PEN/kg
Price per unit volume	* 2.83e4	- 4.84e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.13e3	- 2.18e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	47.8	- 50.2		GPa
Specific stiffness	22.1	- 23.4		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 22	- 24.2		MPa
Tensile strength	22	- 24.2		MPa
Specific strength	* 10.2	- 11.2		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 220	- 242		MPa
Flexural modulus	* 47.8	- 50.2		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 28.6	- 31.5		MPa
Shear modulus	* 19.5	- 20.4		GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 45.

Borosilicato 9741


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - 9741		Página 2 de 4
Bulk modulus	* 28.9	- 30.4	GPa	
Poisson's ratio	0.22	- 0.23		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 65.8	- 72.7	HV	
Elastic stored energy (springs)	* 4.94	- 5.98	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 20.8	- 23	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.53	- 0.54	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	0.00567	- 0.00602	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	384	- 522	°C	
Maximum service temperature	200	- 390	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m. °C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg. °C	
Thermal expansion coefficient	3.87	- 4.02	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 113	- 126	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.276	- 0.305	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	1e23	- 1e25	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-23	- 1.72e-21	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	4.5	- 4.8		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.014	- 0.0153		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.46	- 1.48		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	4.7e3	- 4.83e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 46.

Borosilicato 9741

		Borosilicate - 9741		Página 3 de 4
Water (fresh)	Limited use			
Water (salt)	Limited use			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Acceptable			
Organic solvents	Excellent			
Oxidation at 500C	Excellent			
UV radiation (sunlight)	Excellent			
Halogens	Acceptable			
Metals	Acceptable			
Flammability	Non-flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 29.9	- 33	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.79	- 1.98	kg/kg	
Water usage	* 17.6	- 19.5	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 6.99	- 7.72	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.559	- 0.618	kg/kg	
Glass molding water	* 2.08	- 3.12	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 20.8	- 23	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.56	- 1.73	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 24.5	- 27	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 1.25	- 1.38	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 47.

Vidrio de Bario Alcalino

CES 2019 EDUPACK		Alkali barium glass		Página 1 de 4
General information				
Designation				
9025				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, CRT				
Composition overview				
Compositional summary				
68% SiO2/4% Al2O3/12% B2O3/3% Li2O/5% Na2O/6% K2O/1% TiO2/1%				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	4			%
B2O3 (boric oxide)	12			%
K2O (potassium oxide)	6			%
Li2O (lithia)	3			%
Na2O (sodium oxide)	5			%
SiO2 (silica)	68			%
TiO2 (titanium oxide)	1			%
Other oxide	1			%
Price				
Price	* 6.77	- 40.7		PEN/kg
Price per unit volume	* 1.74e4	- 1.07e5		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.57e3	- 2.62e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 54.3	- 72.4		GPa
Specific stiffness	* 20.9	- 27.9		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 24	- 32.4		MPa
Tensile strength	* 24	- 32.4		MPa
Specific strength	* 9.25	- 12.5		kN.m/kg
Elongation	* 0.03	- 0.06		% strain
Compressive strength	* 240	- 324		MPa
Flexural modulus	* 54.3	- 72.4		GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 48.

Vidrio de Bario Alcalino


CES 2019 EDUPACK		Alkali barium glass		Página 2 de 4
Flexural strength (modulus of rupture)	* 31.2	- 42.1	MPa	
Shear modulus	* 22.3	- 29.7	GPa	
Bulk modulus	* 31.7	- 42.3	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 79.5	- 87.8	HV	
Elastic stored energy (springs)	4.56	- 8.43	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 25.2	- 27.8	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.57	- 0.65	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.0049	- 0.00713	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	393	- 533	°C	
Maximum service temperature	* 123	- 389	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1	- 2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 720	- 920	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	8.82	- 9.18	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 40.4	- 60.5	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.111	- 0.222	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	6.2	- 6.7		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0206	- 0.029		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	* 1.53	- 1.54		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 4.56e3	- 5.3e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 49.

Vidrio De Bario Alcalino


		Alkali barium glass		Página 3 de 4	
No					
Durability					
Water (fresh)	Excellent				
Water (salt)	Excellent				
Weak acids	Excellent				
Strong acids	Acceptable				
Weak alkalis	Excellent				
Strong alkalis	Acceptable				
Organic solvents	Excellent				
Oxidation at 500C	Excellent				
UV radiation (sunlight)	Excellent				
Halogens	Acceptable				
Metals	Acceptable				
Flammability	Non-flammable				
Primary production energy, CO2 and water					
Embodied energy, primary production	* 26.6	- 29.4	MJ/kg		
CO2 footprint, primary production	* 1.61	- 1.78	kg/kg		
Water usage	* 16.2	- 17.9	l/kg		
Processing energy, CO2 footprint & water					
Glass molding energy	* 7.26	- 8.02	MJ/kg		
Glass molding CO2	* 0.581	- 0.642	kg/kg		
Glass molding water	* 2.16	- 3.24	l/kg		
Grinding energy (per unit wt removed)	* 20.9	- 23.1	MJ/kg		
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.57	- 1.73	kg/kg		
Recycling and end of life					
Recycle	✓				
Embodied energy, recycling	* 21.8	- 24.1	MJ/kg		
CO2 footprint, recycling	* 1.13	- 1.24	kg/kg		
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%		
Downcycle	✓				
Combust for energy recovery	✗				
Landfill	✓				
Biodegrade	✗				
Notes					
Other notes					
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat					

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 50.

Aluminio Borosilicato G20

		Aluminoborosilicate - G20		Página 1 de 4
General information				
Designation				
G20				
Typical uses				
Laboratory ware,				
Composition overview				
Compositional summary				
76% SiO2/5% Al2O3/7% B2O3/6% Na2O/1% K2O/1% CaO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	5			%
B2O3 (boric oxide)	7			%
CaO (calcia)	1			%
K2O (potassium oxide)	1			%
Na2O (sodium oxide)	6			%
SiO2 (silica)	76			%
Other	4			%
Price				
Price	* 15.6	- 26		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.66e4	- 6.28e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.36e3	- 2.41e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	70.2	- 73.8		GPa
Specific stiffness	29.4	- 31		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 31.3	- 33		MPa
Tensile strength	* 31.3	- 33		MPa
Specific strength	* 13.1	- 13.9		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 313	- 330		MPa
Flexural modulus	* 70.2	- 73.8		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 40.7	- 42.9		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 51.

Aluminio Borosilicato G20

CES 2019 EDUPACK		Aluminoborosilicate - G20		Página 2 de 4
Shear modulus	* 28.8	- 30.3	GPa	
Bulk modulus	* 41	- 43.1	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 91.6	- 101	HV	
Elastic stored energy (springs)	* 6.77	- 7.6	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29	- 32.1	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.64	- 0.66	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	0.00564	- 0.0061	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	492	- 653	°C	
Maximum service temperature	* 249	- 523	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	* 4.9	- 5.1	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 85.7	- 93.1	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.219	- 0.241	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	4.7	- 5		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0233	- 0.0257		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	* 1.47	- 1.48		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	5.42e3	- 5.57e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Notes	Al (aluminum) added to the 2018 US critical minerals list			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 52.

Aluminio Borosilicato G20

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Acceptable
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Halogens	Acceptable
Metals	Acceptable
Flammability	Non-flammable

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 19.4	- 21.4	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 1.22	- 1.35	kg/kg
Water usage	* 10.8	- 11.9	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Glass molding energy	* 8.32	- 9.2	MJ/kg
Glass molding CO2	* 0.666	- 0.736	kg/kg
Glass molding water	* 2.48	- 3.71	l/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26.1	- 28.8	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.96	- 2.16	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 15.9	- 17.5	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 0.853	- 0.943	kg/kg
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		

Notes

Other notes

The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat


Enlaces

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 53.

Borosilicato KG33

		Borosilicate - KG33		Página 1 de 4
General information				
Designation				
KG33				
Typical uses				
Laboratory ware,				
Composition overview				
Compositional summary				
81% SiO2/2% Al2O3/13% B2O3/4% Na2O/4.5% MgO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	2			%
B2O3 (boric oxide)	13			%
MgO (magnesia)	0	-	4.5	%
Na2O (sodium oxide)	0	-	4	%
SiO2 (silica)	81			%
Price				
Price	* 13.6	-	20.3	PEN/kg
Price per unit volume	* 2.98e4	-	4.58e4	PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.2e3	-	2.25e3	kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 61	-	65	GPa
Specific stiffness	* 27.4	-	29.3	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 28.6	-	31.6	MPa
Tensile strength	28.6	-	31.6	MPa
Specific strength	* 12.8	-	14.2	kN.m/kg
Elongation	* 0.04	-	0.05	% strain
Compressive strength	* 286	-	316	MPa
Flexural modulus	* 61	-	65	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 37.2	-	41.1	MPa
Shear modulus	* 25.5	-	27.1	GPa
Bulk modulus	* 33.3	-	35.5	GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 54.

Borosilicato KG33


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - KG33		Página 2 de 4
Poisson's ratio	* 0.19	-	0.2	
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 85.7	-	94.7	HV
Elastic stored energy (springs)	6.48	-	7.95	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 27.1	-	30	MPa
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.6	-	0.62	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	* 0.00565	-	0.00618	kJ/m ²
Thermal properties				
Glass temperature	488	-	648	°C
Maximum service temperature	* 244	-	518	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	* 1.1	-	1.2	W/m.°C
Specific heat capacity	* 760	-	800	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	3.13	-	3.26	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 140	-	159	°C
Thermal distortion resistance	* 0.343	-	0.377	MW/m
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	-	1e24	µohm.cm
Electrical conductivity	1.72e-22	-	1.72e-20	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	4.4	-	4.7	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0196	-	0.0218	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	-	14	MV/m
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.46	-	1.48	
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.23e3	-	5.41e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	-	6.2e-5	
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				
Water (fresh)	Excellent			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 55.

Borosilicato KG33


		Borosilicate - KG33		Página 3 de 4
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Excellent			
Strong acids	Excellent			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Acceptable			
Organic solvents	Excellent			
Oxidation at 500C	Excellent			
UV radiation (sunlight)	Excellent			
Halogens	Acceptable			
Metals	Acceptable			
Flammability	Non-flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 21,4	- 23,7	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1,33	- 1,47	kg/kg	
Water usage	* 10,2	- 11,3	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8,27	- 9,14	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0,662	- 0,731	kg/kg	
Glass molding water	* 2,46	- 3,69	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26,1	- 28,9	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,96	- 2,17	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 17,5	- 19,4	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0,93	- 1,03	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22,7	- 25,1	%	
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				
Producers				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 56.

Borosilicato N16B

		Borosilicate - N16B		Página 1 de 4
General information				
Designation				
N16B				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, Optical				
Composition overview				
Compositional summary				
5% SiO2/34% B2O3/2% BaO/6% ZnO/6% ZrO2/41% La2O3/6%				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
B2O3 (boric oxide)	34			%
BaO (barium oxide)	2			%
SiO2 (silica)	5			%
ZnO (zinc oxide)	6			%
ZrO2 (zirconia)	6			%
Other oxide	47			%
Price				
Price	* 6.77	- 40.7		PEN/kg
Price per unit volume	* 1.66e4	- 1.02e5		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.45e3	- 2.5e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 63.7	- 83.8		GPa
Specific stiffness	* 25.7	- 33.9		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 28.3	- 37.7		MPa
Tensile strength	* 28.3	- 37.7		MPa
Specific strength	* 11.4	- 15.2		kN.m/kg
Elongation	* 0.03	- 0.06		% strain
Compressive strength	* 283	- 377		MPa
Flexural modulus	* 63.7	- 83.8		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 36.8	- 49		MPa
Shear modulus	* 26.2	- 34.4		GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 57.

Borosilicato N16B

CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - N16B		Página 2 de 4
Bulk modulus	* 37.2	- 49	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 93.1	- 103	HV	
Elastic stored energy (springs)	5.44	- 9.8	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29.5	- 32.6	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.61	- 0.7	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.00485	- 0.00704	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	466	- 621	°C	
Maximum service temperature	* 215	- 488	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1	- 2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 720	- 920	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	8.52	- 8.87	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 42.4	- 62.4	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.115	- 0.23	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	7.4	- 8		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0339	- 0.047		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	* 1.57	- 1.59		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.06e3	- 5.83e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Durability				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 58.

Borosilicato N16B


CES 2019 EDUPACK		Borosilicate - N16B		Página 3 de 4
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Excellent		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 36.1	- 39.9	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 2.12	- 2.35	kg/kg	
Water usage	* 25.2	- 27.9	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.18	- 9.04	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.654	- 0.723	kg/kg	
Glass molding water	* 2.43	- 3.65	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 25.6	- 28.2	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.92	- 2.12	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 29.6	- 32.7	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 1.48	- 1.64	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				
ProcessUniverse				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 59.

Aluminio Borosilicato N51a

		Aluminoborosilicate - N51a		Página 1 de 4
General information				
Designation				
N51a				
Typical uses				
Laboratory ware,				
Composition overview				
Compositional summary				
74.5% SiO2/6% Al2O3/10% B2O3/6% Na2O/.5% K2O/1% CaO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	6			%
B2O3 (boric oxide)	10			%
CaO (calcia)	1			%
K2O (potassium oxide)	0.5			%
Na2O (sodium oxide)	6			%
SiO2 (silica)	74.5			%
Other	2			%
Price				
Price	* 15.3	- 25.5		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.56e4	- 6.08e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.33e3	- 2.38e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 70	- 74		GPa
Specific stiffness	* 29.7	- 31.5		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 32.5	- 35.9		MPa
Tensile strength	32.5	- 35.9		MPa
Specific strength	* 13.8	- 15.3		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 325	- 359		MPa
Flexural modulus	* 70	- 74		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 42.3	- 46.7		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 60.

Aluminio Borosilicato N51a


CES 2019 EDUPACK		Aluminoborosilicate - N51a		Página 2 de 4
Shear modulus	* 28.8	- 30.4	GPa	
Bulk modulus	* 40.9	- 43.2	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 97.3	- 108	HV	
Elastic stored energy (springs)	7.33	- 8.96	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 30.8	- 34.1	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.64	- 0.66	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.00563	- 0.00611	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	502	- 665	°C	
Maximum service temperature	* 261	- 537	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	4.9	- 5.1	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 89.4	- 101	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.219	- 0.241	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	5.6	- 6.1		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.0532	- 0.0585		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.48	- 1.5		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.45e3	- 5.61e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Notes	Al (aluminum) added to the 2018 US critical minerals list			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 61.

Aluminio Borosilicato N51a


		Aluminoborosilicate - N51a		Página 3 de 4
Durability				
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Excellent		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 20.4	- 22.6	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.28	- 1.41	kg/kg	
Water usage	* 12.5	- 13.8	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.44	- 9.33	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.675	- 0.746	kg/kg	
Glass molding water	* 2.51	- 3.77	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 28	- 31	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 2.1	- 2.32	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle				✓
Embodied energy, recycling	* 16.7	- 18.5	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0.893	- 0.987	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle				✓
Combust for energy recovery				✗
Landfill				✓
Biodegrade				✗
Notes				
Other notes				
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat				
Enlaces				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 62.

Potasa Soda Zinc

		Potash soda zinc		Página 1 de 4
General information				
Designation				
211				
Typical uses				
Microsheet				
Composition overview				
Compositional summary				
65% SiO2/2% Al2O3/9% B2O3/7% Na2O/7% K2O/7% ZnO/3%				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	2			%
B2O3 (boric oxide)	9			%
K2O (potassium oxide)	7			%
Na2O (sodium oxide)	7			%
SiO2 (silica)	65			%
TiO2 (titanium oxide)	3			%
ZnO (zinc oxide)	7			%
Price				
Price	* 4.61	- 5.43		PEN/kg
Price per unit volume	* 1.17e4	- 1.41e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.54e3	- 2.59e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	72.1	- 75.8		GPa
Specific stiffness	28.1	- 29.6		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 32.2	- 33.9		MPa
Tensile strength	* 32.2	- 33.9		MPa
Specific strength	* 12.5	- 13.2		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 322	- 339		MPa
Flexural modulus	* 72.1	- 75.8		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 41.9	- 44.1		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 63.

Potasa Soda Zinc


CES 2019 EDUPACK		Potash soda zinc		Página 2 de 4
Shear modulus	* 29.9	- 31.4	GPa	
Bulk modulus	* 40.7	- 42.8	GPa	
Poisson's ratio	0.2	- 0.21		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 94.2	- 104	HV	
Elastic stored energy (springs)	* 6.98	- 7.81	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29.8	- 33	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.65	- 0.67	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	0.00567	- 0.00612	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	475	- 632	°C	
Maximum service temperature	* 227	- 500	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 0.7	- 1.3	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 850	- 950	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	7.25	- 7.54	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 58	- 62.9	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.0946	- 0.176	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	* 5.7	- 6.2		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0161	- 0.0232		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.51	- 1.53		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	5.3e3	- 5.44e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	Yes			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 64.

Potasa Soda Zinc


		Potash soda zinc		Página 3 de 4
Durability				
Water (fresh)		Excellent		
Water (salt)		Excellent		
Weak acids		Excellent		
Strong acids		Acceptable		
Weak alkalis		Excellent		
Strong alkalis		Acceptable		
Organic solvents		Excellent		
Oxidation at 500C		Excellent		
UV radiation (sunlight)		Excellent		
Halogens		Acceptable		
Metals		Acceptable		
Flammability		Non-flammable		
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 16.5	- 18.3	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.07	- 1.18	kg/kg	
Water usage	* 17.3	- 19.2	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Glass molding energy	* 8.66	- 9.57	MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.693	- 0.766	kg/kg	
Glass molding water	* 2.58	- 3.86	l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 24.9	- 27.6	MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.87	- 2.07	kg/kg	
Recycling and end of life				
Recycle		✓		
Embodied energy, recycling	* 13.5	- 15	MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0.747	- 0.828	kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%	
Downcycle		✓		
Combust for energy recovery		✗		
Landfill		✓		
Biodegrade		✗		
Enlaces				
ProcessUniverse				
Producers				
Reference				
Shape				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 65.

Borosilicato de Sodio y Bario

		Soda barium borosilicate		Página 1 de 4
General information				
Designation				
7800				
Typical uses				
Ovenware, Laboratory ware, Piping, Sealed Beam Headlights, Pharmaceutical				
Composition overview				
Compositional summary				
72% SiO2/6% Al2O3/11% B2O3/7% Na2O/1% K2O/1% CaO/2% BaO				
Material family	Glass			
Base material	Oxide			
Composition detail (metals, ceramics and glasses)				
Al2O3 (alumina)	6			%
B2O3 (boric oxide)	11			%
BaO (barium oxide)	2			%
CaO (calcia)	1			%
K2O (potassium oxide)	1			%
Na2O (sodium oxide)	7			%
SiO2 (silica)	72			%
Price				
Price	* 14.8	- 24.7		PEN/kg
Price per unit volume	* 3.43e4	- 5.88e4		PEN/m^3
Physical properties				
Density	2.33e3	- 2.38e3		kg/m^3
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%
Mechanical properties				
Young's modulus	* 70	- 74		GPa
Specific stiffness	* 29.7	- 31.5		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 31.3	- 33.1		MPa
Tensile strength	* 31.3	- 33.1		MPa
Specific strength	* 13.3	- 14.1		kN.m/kg
Elongation	* 0.04	- 0.05		% strain
Compressive strength	* 313	- 331		MPa
Flexural modulus	* 70	- 74		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 40.7	- 43		MPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 66.

Borosilicato De Sodio y Bario

CES 2019 EDUPACK		Soda barium borosilicate		Página 2 de 4
Shear modulus	* 28.8	- 30.4	GPa	
Bulk modulus	* 40.9	- 43.2	GPa	
Poisson's ratio	* 0.19	- 0.24		
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 91.7	- 101	HV	
Elastic stored energy (springs)	6.77	- 7.65	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29.1	- 32.1	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 0.64	- 0.66	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	* 0.00563	- 0.00611	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	498	- 660	°C	
Maximum service temperature	200	- 460	°C	
Minimum service temperature	-273		°C	
Thermal conductivity	* 1.1	- 1.2	W/m.°C	
Specific heat capacity	* 760	- 800	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	4.9	- 5.1	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 85.6	- 93.5	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.219	- 0.241	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	* 1e22	- 1e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	1.72e-22	- 1.72e-20	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	* 4.9	- 5.4		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0098	- 0.0149		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	- 14	MV/m	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Color	Clear			
Refractive index	1.48	- 1.5		
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 5.45e3	- 5.61e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5	- 6.2e-5		
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEdupack 2019*

Figura 67.

Borosilicato de Sodio y Bario

CES 2019 EDUPACK		Soda barium borosilicate		Página 3 de 4	
Durability					
Water (fresh)		Excellent			
Water (salt)		Excellent			
Weak acids		Excellent			
Strong acids		Excellent			
Weak alkalis		Excellent			
Strong alkalis		Acceptable			
Organic solvents		Excellent			
Oxidation at 500C		Excellent			
UV radiation (sunlight)		Excellent			
Halogens		Acceptable			
Metals		Acceptable			
Flammability		Non-flammable			
Primary production energy, CO2 and water					
Embodied energy, primary production	* 21.4	- 23.6		MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 1.33	- 1.47		kg/kg	
Water usage	* 14.5	- 16.1		l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water					
Glass molding energy	* 8.39	- 9.28		MJ/kg	
Glass molding CO2	* 0.671	- 0.742		kg/kg	
Glass molding water	* 2.5	- 3.74		l/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26.4	- 29.2		MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.98	- 2.19		kg/kg	
Recycling and end of life					
Recycle				✓	
Embodied energy, recycling	* 17.5	- 19.3		MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 0.93	- 1.03		kg/kg	
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1		%	
Downcycle				✓	
Combust for energy recovery				✗	
Landfill				✓	
Biodegrade				✗	
Notes					
Other notes					
The borosilicates have a better environmental performance when given appropriate heat					
Enlaces					

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: *CesEduPack 2019*

Primero se procedió a comparar los borosilicatos que concordaron en ambas condiciones de evaluación (máxima temperatura de servicio/precio y tensión/densidad), descritos en la tabla 17. Una vez realizada la anterior precisión, se procedió a evaluarlos en la primera matriz que se muestra en la tabla 18 para descartar dos borosilicatos. Una vez hecha la primera evaluación se procedió a realizar la siguiente matriz de evolución representada en la tabla 19.

Tabla 17.

Borosilicatos Resaltados en Ambas Condiciones de Evaluación

Nombre
Borosilicato KG33
Borosilicato N16b
Borosilicato N51A

Fuente: Elaboración propia

Las valoraciones para cada criterio serán 1 considerado normal, 2 como bueno y finalmente 3 como muy bueno. La ponderación final se obtendrá del mayor valor obtenido de la suma total de cada criterio descrito en la matriz.

Tabla 18.*Primera Matriz de Evaluación de Borosilicatos*

Item	Nombre	Temperatura (°C)	Tensión (MPa)	Densidad (kg/m^3)	Resistencia Química	Precio (PEN/kg)	Transp arente
1	KG33	*244 - 518	*28.6 – 31.6	$2.2e^3 - 2.25e^3$	Excelente	*13.6 – 20.3	Si
2	N16B	*215 - 488	*28.3 – 37.7	$2.45e^3 - 2.5e^3$	Excelente	*6.77 – 40.7	Si
3	N51a	*261 - 537	32.5 – 35.9	$2.33e^3 - 2.38e^3$	Excelente	*15.3 – 25.5	Si
	Puntaje	I. 1 (2)	I. 1 (3)	I. 1 (1)	I. 1 (3)	I. 1 (3)	I.1 (3)
		I. 2 (2)	I. 2 (2)	I. 2 (3)	I. 2 (3)	I. 2 (1)	I. 2 (3)
		I. 3 (1)	I. 3 (2)	I. 3 (2)	I. 3 (3)	I. 3 (2)	I.3 (3)
	P. total	Item 1 denominado KG33 = 15, Item 2 denominado N16B = 14, Item 2 denominado N51a = 13					

Fuente: Elaboración propia. Nota: *Valores aproximados, I. hace referencia al ítem. El borosilicato KG33 obtuvo la mejor valoración

Tabla 19.*Segunda Matriz de Evaluación de Borosilicatos*

Item	Nombre	Temperatura (°C)	Tensión (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia Química	Precio (PEN/kg)	Transp arente
1	KG33	*244 - 518	*28.6 – 31.6	$2.2e^3 - 2.25e^3$	Excelente	*13.6 – 20.3	Si
2	Borosilicat o de Sodio y Bario	200 - 460	*31.3 – 33.1	$2.33e^3 - 2.38e^3$	Excelente	*14.8 – 24.7	Si
3	Potasa Soda y Zinc	*227 - 500	*32.2 – 33.9	$2.54e^3 - 2.59e^3$	Excelente	*4.61 – 5.43	Si
4	Aluminio Borosilicat o G20	*249 - 523	*31.3 – 33	$2.36e^3 - 2.41e^3$	Excelente	*15.6 – 26	Si

Item	Nombre	Temperatura (°C)	Tensión (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia Química	Precio (PEN/kg)	Transp arente
5	Vidrio de Bario Alcalino	*123 - 389	*24 – 32.4	2.57e ³ – 2.62e ³	Excelente	*6.77 – 40.7	Si
6	9741	200 - 390	22 – 24.2	2.13e ³ – 2.18e ³	Limitado	*13.3 – 22.3	Si
7	7251	230 - 460	28.8 – 31.8	2.23e ³ – 2.28e ³	No recomenda ble	*13.6 – 20.3	Si
	Puntaje	I. 1 (1) I. 2 (3) I. 3 (1) I. 4 (1) I. 5 (2)	I. 1 (2) I. 2 (3) I. 3 (3) I. 4 (3) I. 5 (2)	I. 1 (2) I. 2 (2) I. 3 (3) I. 4 (2) I. 5 (3)	I. 1 (3) I. 2 (3) I. 3 (3) I. 4 (3) I. 5 (3)	I. 1 (3) I. 2 (3) I. 3 (1) I. 4 (2) I. 5 (1)	I.1 (3) I. 2 (3) I.3 (3) I. 4 (3) I. 5 (3)

	1.6 (3)	1.6 (1)	1.6 (1)	1.6 (1)	1.6 (3)	1.6 (3)
	I.7 (2)	I.7 (2)	I.7 (2)	I.7 (1)	I.7 (2)	I.7 (3)
P. total	Item 1 denominado KG33 = 14 Item 2 denominado Borosilicato de Sodio y Bario = 17 Item 3 denominado Potasa Soda y Zinc = 14 Item 4 denominado Aluminio Borosilicato G20 = 14 Item 5 denominado Vidrio de Bario Alcalino = 14 Item 6 denominado 9741 = 12 Item 7 denominado 7251 = 12					

Fuente: Elaboración propia. Nota: *Valores aproximados, I. hace referencia al ítem. El Borosilicato de Sodio y Bario obtuvo la mejor valoración

Luego de haber realizado la evaluación, se pudo demostrar que el borosilicato de Sodio y Bario tiene la mejor puntuación de valoración en el total de los criterios antes ya definidos, desde la tabla 20 hasta la 33 se puede apreciar las propiedades de este material. Propiedades que serán tomadas en cuenta para la evaluación térmica del material.

Tabla 20.

Composition Overview

Compositional summary	
72% SiO ₂ /6% Al ₂ O ₃ /11% B ₂ O ₃ /7% Na ₂ O/1% K ₂ O/1% CaO/2% BaO	
Material family	Glass
Base material	Oxide

Fuente: CesEdupack 2019

Tabla 21.

Composition

Composition detail (metals, ceramics and glasses)		
Al ₂ O ₃ (alumina)	6	%
B ₂ O ₃ (boric oxide)	11	%
BaO (barium oxide)	2	%
CaO (calcia)	1	%
K ₂ O (potassium oxide)	1	%
Na ₂ O (sodium oxide)	7	%
SiO ₂ (silica)	72	%

Fuente: CesEdupack 2019

Tabla 22.

Price

Price	* 14.8	- 24.7	PEN/kg
Price per unit volume	* 3.43e4	- 5.88e4	PEN/m ³

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 23.

Physical Properties

Density	2.33e3	-	2.38e3	kg/m ³
Porosity (closed)	0			%
Porosity (open)	0			%

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 24.

Mechanical Properties

Young's modulus	* 70	-	74	GPa
Specific stiffness	* 29.7	-	31.5	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 31.3	-	33.1	MPa
Tensile strength	* 31.3	-	33.1	MPa
Specific strength	* 13.3	-	14.1	kN.m/kg
Elongation	* 0.04	-	0.05	% strain
Compressive strength	* 313	-	331	MPa
Flexural modulus	* 70	-	74	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 40.7	-	43	MPa
Shear modulus	* 28.8	-	30.4	GPa
Bulk modulus	* 40.9	-	43.2	GPa
Poisson's ratio	* 0.19	-	0.24	
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	* 91.7	-	101	HV
Elastic stored energy (springs)	6.77	-	7.65	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 29.1	-	32.1	MPa

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 25.*Impact & Fracture Properties*

Fracture toughness	* 0.64	-	0.66	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	* 0.00563	-	0.00611	kJ/m ²

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 26.*Thermal Properties*

Glass temperature	498	-	660	°C
Maximum service temperature	200	-	460	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	* 1.1	-	1.2	W/m.°C
Specific heat capacity	* 760	-	800	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	4.9	-	5.1	μstrain/°C
Thermal shock resistance	* 85.6	-	93.5	°C
Thermal distortion resistance	* 0.219	-	0.241	MW/m

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 27.*Electrical Properties*

Electrical resistivity	* 1e22	-	1e24	μohm.cm
Electrical conductivity	1.72e-22	-	1.72e-20	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	* 4.9	-	5.4	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.0098	-	0.0149	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 12	-	14	MV/m

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 28.*Magnetic Properties*

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 29.*Optical, Aesthetic And Acoustic Properties*

Color	Clear
Refractive index	1.48 - 1.5
Transparency	Transparent
Acoustic velocity	* 5.45e3 - 5.61e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	4.6e-5 - 6.2e-5

Fuente: CesEduPack 2019

Tabla 30.*Durability*

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Acceptable
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent

Halogens	Acceptable
Metals	Acceptable
Flammability	Non-flammable

Fuente: CesEdupack 2019

Tabla 31.

Primary Production Energy, CO2 And Water

Embodied energy, primary production	* 21.4	- 23.6	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 1.33	- 1.47	kg/kg
Water usage	* 14.5	- 16.1	l/kg

Fuente: CesEdupack 2019

Tabla 32.

Processing Energy, CO2 Footprint & Water

Glass molding energy	* 8.39	- 9.28	MJ/kg
Glass molding CO2	* 0.671	- 0.742	kg/kg
Glass molding water	* 2.5	- 3.74	l/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 26.4	- 29.2	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.98	- 2.19	kg/kg

Fuente: CesEdupack 2019

Tabla 33.

Recycling And End Of Life

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 17.5	- 19.3	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 0.93	- 1.03	kg/kg
Recycle fraction in current supply	22.7	- 25.1	%

Downcycle	✓
Combust for energy recovery	✗
Landfill	✓
Biodegrade	✗

Fuente: CesEduPack 2019

3.3 Validar el comportamiento térmico del vidrio botosilicatado utilizando el software Solidworks dentro de los parámetros de operación de la cámara de niebla salina.

Antes de comenzar con la simulación del comportamiento de térmico de vidrio borosilicatado de sodio – bario, primero se va a detallar las características en la tabla 34 de la resistencia interna aletas helicoidales de acero inoxidable (soporta ambientes salinos) que se muestra en la figura 68, así como también las propiedades del valor de agua húmedo que se detalla en la figura 69.

Tabla 34.

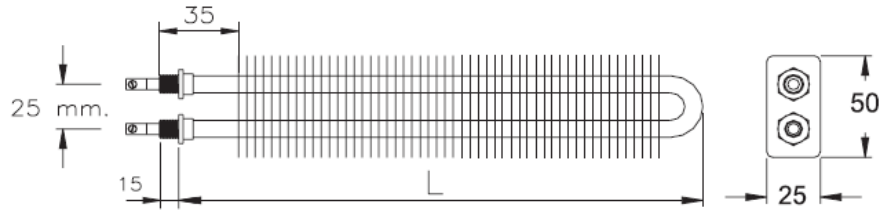
Características de la Resistencia Interna con Aletas Helicoidales de Acero Inoxidable

Descripción	Valor
Longitud	100 mm
Temperatura máxima de operación	250 °C
Watt	500 W

Fuente: Elaboración propia

Figura 68.

Resistencia Interna con Aletas Helicoidales de Acero Inoxidable



Fuente: Elaboración Propia

Figura 69.

Propiedades del Vapor de Agua Húmedo

Temperatura °C	VAPOR DE AGUA HUMEDO									
	Densidad Kg/m ³		Calor específico kJ/Kg °C		Conductividad térmica W/m.°C		Viscosidad dinámica $\eta \cdot 10^3$ (Kg/m.seg)		Número de Prandtl Pr	
	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
0	1000	0,0049	4,21	1,86	0,569	0,0163	1,75	0,0085	13,00	0,97
5	1000	0,0068	4,20	1,86	0,578	0,0167	1,50	0,0087	10,90	0,96
10	1000	0,0094	4,19	1,86	0,587	0,0171	1,30	0,0088	9,29	0,96
15	999	0,0128	4,19	1,87	0,595	0,0175	1,14	0,0090	7,99	0,96
20	998	0,0173	4,18	1,87	0,603	0,0179	1,00	0,0092	6,95	0,96
25	997	0,0230	4,18	1,88	0,611	0,0183	0,89	0,0094	6,09	0,96
30	996	0,0304	4,18	1,88	0,618	0,0187	0,80	0,0095	5,39	0,96
40	992	0,0512	4,18	1,89	0,632	0,0195	0,59	0,0100	3,89	0,95
60	983	0,130	4,19	1,91	0,653	0,0212	0,46	0,0106	2,97	0,95
80	972	0,293	4,20	1,95	0,670	0,0229	0,351	0,0113	2,20	0,96
100	958	0,598	4,22	2,01	0,681	0,0248	0,279	0,1120	1,73	0,97
125	939	1,30	4,26	2,12	0,687	0,0273	0,220	0,0130	1,36	1,01
150	917	2,55	4,32	2,29	0,687	0,0300	0,181	0,0139	1,14	1,07
200	865	7,86	4,51	2,91	0,665	0,0375	0,134	0,0157	0,91	1,22
250	799	19,98	4,87	3,94	0,616	0,0495	0,107	0,0175	0,85	1,39
300	712	46,19	5,65	6,18	0,541	0,0720	0,085	0,0198	0,89	1,70

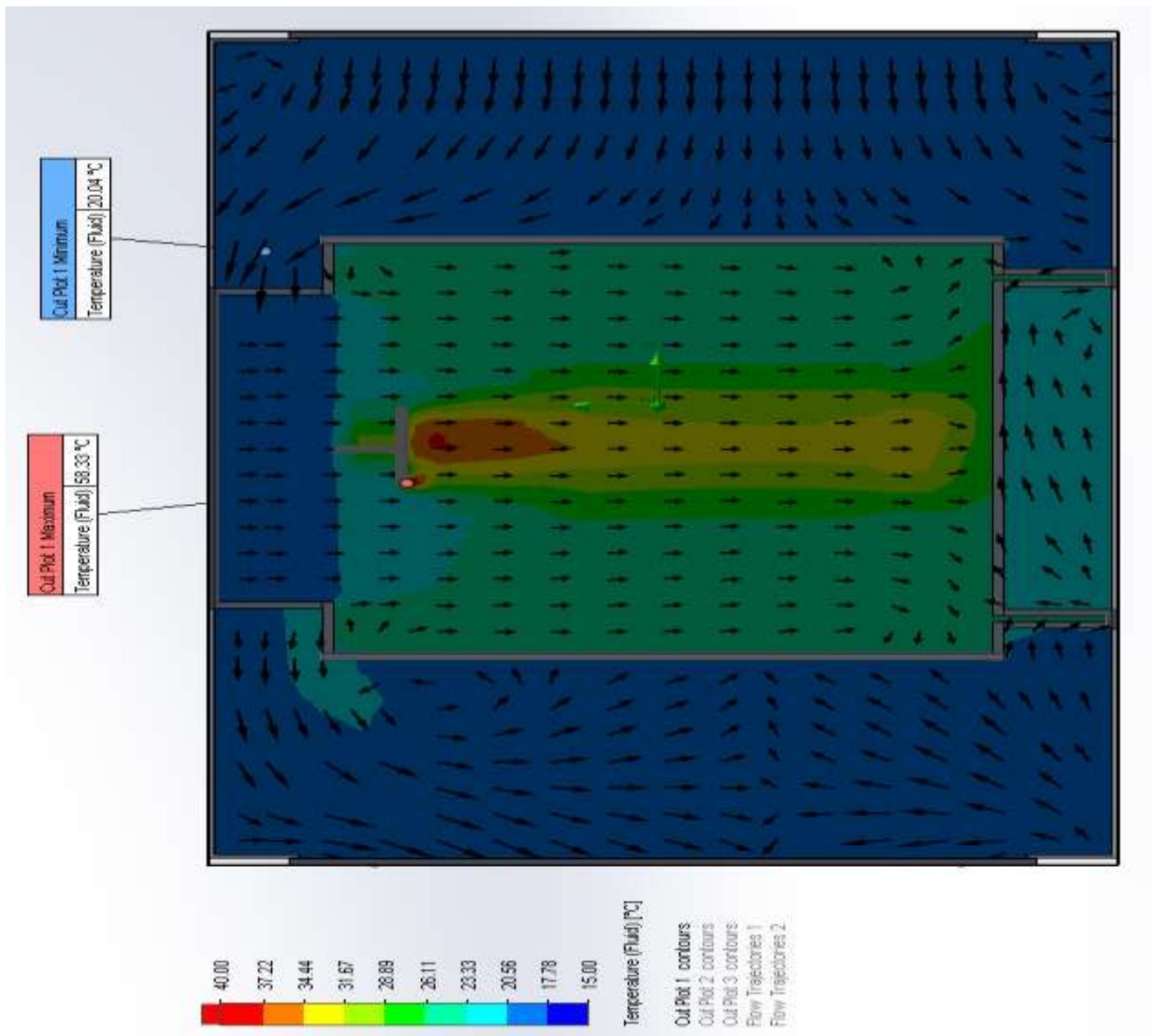
Fuente: Termodinámica 7ma edición Cengel

Una vez establecidos los parámetros, se procedió a incluirlos en el software Solidworks, para la simulación de pérdidas de calor desde la zona de exposición hacia el exterior a través de las paredes del vidrio borosilicatado. En la figura 70 se observa un corte al volumen de control cámara de niebla salina, al igual que la representación gráfica de las temperaturas tanto interna como la circundante a la cámara en el inicio de la puesta en operación y en la figura 71 se tomó una nueva vista de la temperatura en el volumen de control interno que es

la zona de exposición de la cámara de niebla salina en un segundo tiempo donde se puede apreciar algunos puntos calientes que no son de gran magnitud lo cual no representa cambios que no tan perceptibles en la temperatura exterior.

Figura 70.

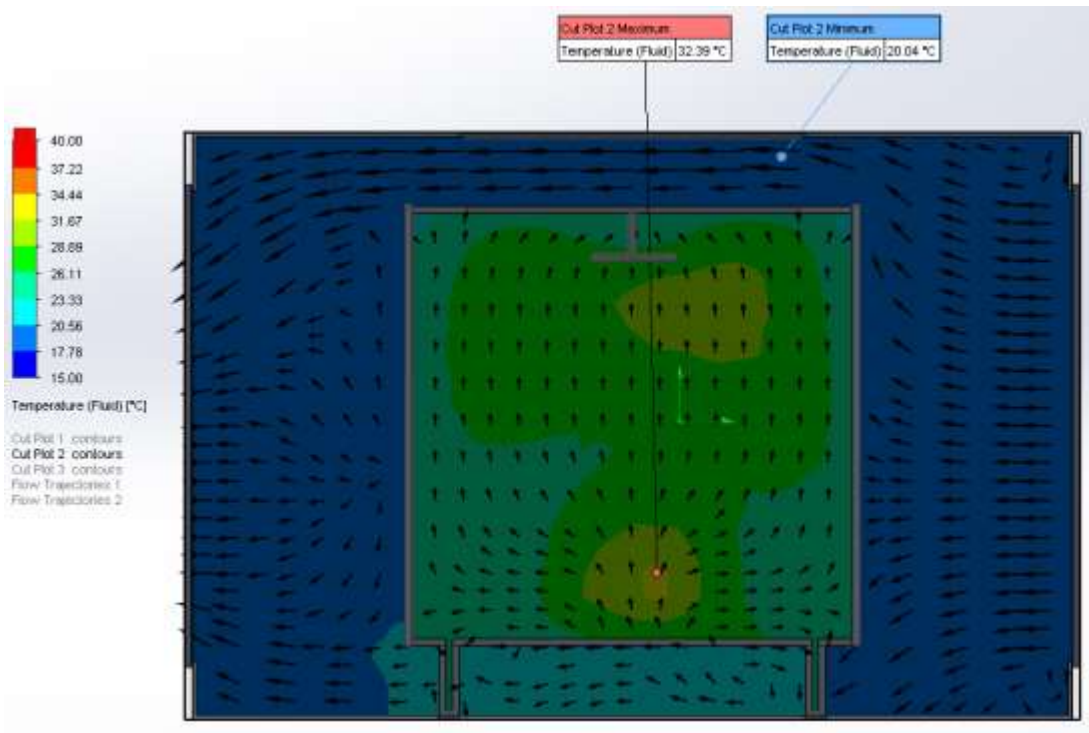
Vista de la Cámara de Niebla Salina



Fuente: Software SolidWorks 2018

Figura 71.

Valores de temperatura en la zona de exposición y la temperatura exterior

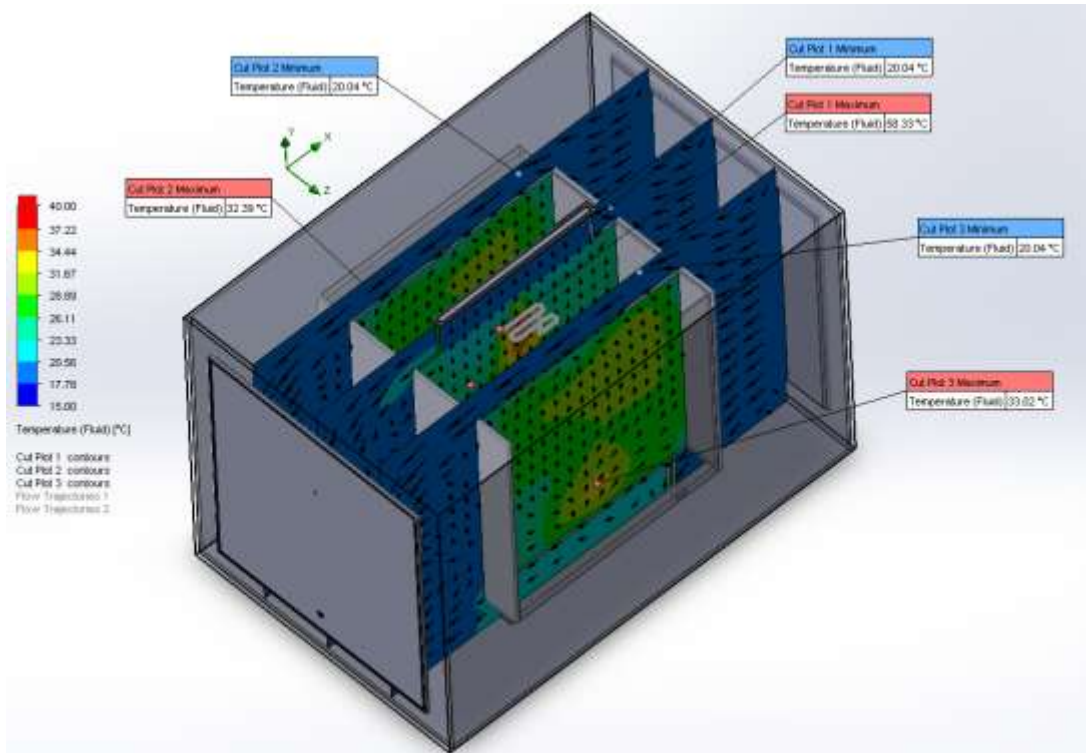


Fuente: Software SolidWorks 2018

En la figura 72 se aprecia una vista de la sección de cortes del volumen de control de la cámara de niebla salina con distintas tomas de lectura de la temperatura en diversos puntos, dando como resultado que las variaciones de temperatura se encuentran dentro de rango permitido por la norma ASTM B – 117.

Figura 72.

Vista de la Sección de Cortes de la Cámara de Niebla Salina

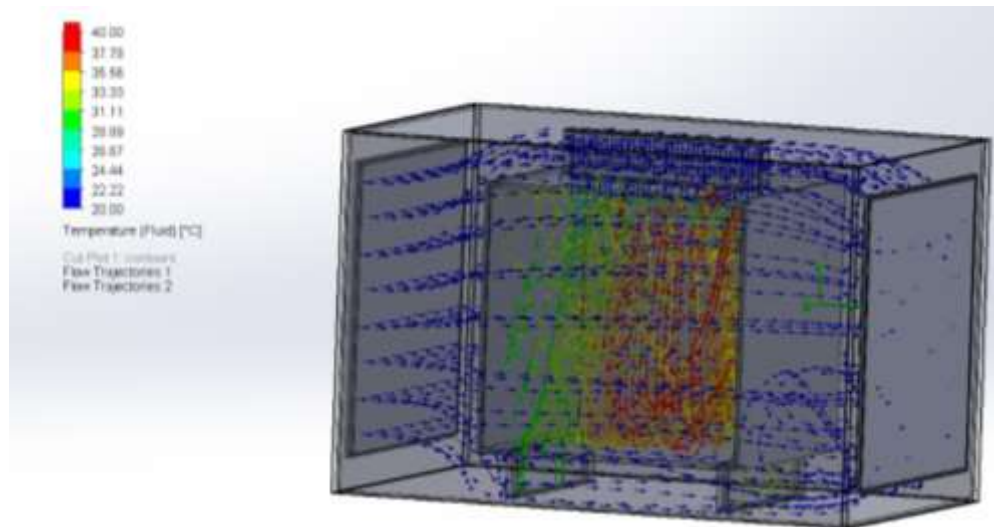


Fuente: Software SolidWorks 2018

En la figura 73 observamos las líneas de distribución del flujo de aire externo y su interacción de este con la cámara de niebla salina, de la cual deducimos que este flujo de aire externo no presenta cambios significativos en el valor de su temperatura y esto representa que no tiene una incidencia directa que represente un aumento de su valor en la transferencia de calor en la zona de exposición hacia el exterior.

Figura 73.

Líneas de Distribución de la Temperatura Entre la C.N.S y el Ambiente Exterior

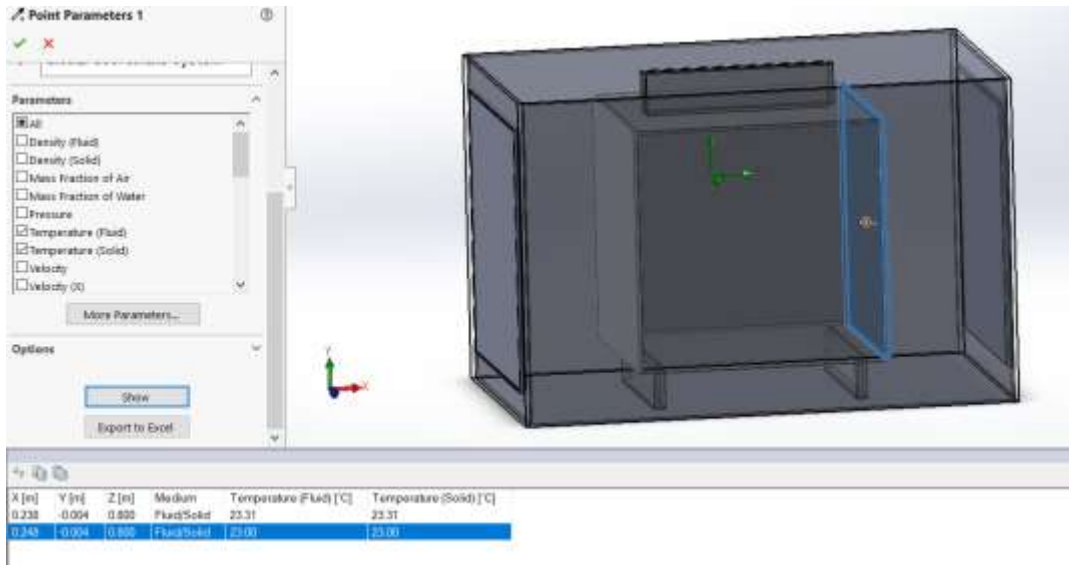


Fuente: Software SolidWorks 2018

En la figura 74 se detalla los valores finales de temperatura que se ven reflejados en los cálculos de transferencia de calor que se producen en la cámara de niebla salina, primero por convección, transferencia de calor que se origina en la mezcla salina con la fuente de calor internar al momento que la mezcla ingresa a la zona de exposición de la cámara y el segundo fenómeno de transferencia de calor se inicia al contacto de este fluido con las paredes de vidrio borosilicatado sodio bario por conducción.

Figura 74.

Valores de Temperatura Final



Fuente: Software SolidWorks 2018

Perdidas de calor por convección:

$$Q = -1.2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 0.36 m^2 \times \frac{T_2 - T_1 [^\circ C]}{0.006 m}$$

$$Q = -1.2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 0.36 m^2 \times \frac{23.31 - 20 [^\circ C]}{0.006 m}$$

$$Q = -238.32 W$$

Perdidas de calor por conducción:

$$q = -\frac{kA}{(x_2 - x_1)} (T_2 - T_1)$$

$$q = -\frac{\left(1.2 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right) (0.36 m^2)}{(0.006 m)} (23 - 23.31 [^\circ C])$$

$$q = 22.32 W \times 5 \text{ caras}$$

$$q = 116,6 W$$

Calculo de teórico

Transferencia de calor por convección:

$$500 \text{ W} = -1,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \times 0,36 \text{ m}^2 \times \frac{T_2^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{0,006 \text{ m}}$$
$$\frac{500 \text{ W}}{-0,432 \text{ W}} = \frac{T_2^\circ\text{C} - 35}{0,006}$$
$$-6,94444 = T_2^\circ\text{C} - 35$$
$$28,05^\circ\text{C} = T_2$$

Transferencia de calor por conducción

$$Q = -\frac{kA}{(x_2 - x_1)} (T_2 - T_1)$$
$$Q = -\frac{\left(1,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (0,36 \text{ m}^2)}{(0,006 \text{ m})} (28,05 - 35 [^\circ\text{C}])$$
$$Q = 500,4 \text{ W}$$

El resultado que se registra luego de realizar el cálculo teórico es muy similar al valor inicial de la fuente de calor, esto debido a que los valores son constantes sobre todo los datos de las temperaturas, tanto los 35°C indicados por la norma, sino también los 28, 05°C hallamos mediante la transferencia de calor por convección, datos de temperatura que varían sobretodo en las paredes de la zona de exposición de la cámara de niebla salina como se demuestra en la simulación porque de los 500 W que proporciona de manera constante la resistencia interna, notamos que el impacto del ingreso del fluido hacia la zona de exposición representa una pérdida de calor de 238, 32 W lo cual representa un 47,66%, pérdida de calor que se va a generar hasta que el ambiente controlado se estabilice, una vez suceda este fenómeno se va a producir la pérdida de calor a través paredes del vidrio borosilicatado por conducción, valor

que se constituye en 116,6 W representando en el 23,32 % del valor inicial. Siendo un resultado dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM B -117.

Una vez obtenido el resultado de la simulación se procedió a comparar este resultado con otras investigaciones en la tabla 35 para tener una línea base de resultados y que tanto es tomado en cuenta este análisis para el diseño de la cámara de niebla salina.

Tabla 35.

Comparación de resultados del análisis térmico en otros materiales

Investigación	Resultado del análisis térmico
Evaluación del vidrio borosilicatado como material alternativo para uso en cámaras de niebla salina.	De los 500 W como fuente de calor, se pierden por las paredes de la cámara 116,6 W
Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión	De los 300 W como fuente de calor, se pierden por las paredes de la cámara 122, 28 W
Otras investigaciones realizadas en el diseño y fabricación de cámara de niebla salina	No consideraron este análisis.

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el resultado de la evaluación térmica, se va a proceder a contrastar estos resultados con los resultados de los materiales polímeros que se han estado utilizando anteriormente en diseños de cámara de niebla salina, para eso se va a tener en cuenta los siguientes pasos: evaluación de las propiedades del material en el software Ces Edupack y la evaluación del comportamiento térmico mediante el software SolidWork. También se va a utilizar estos resultados en sentido comparativo y en la evaluación económica.

Figura 75.

PMMA Cast Sheet

CES 2019 EDUPACK		PMMA (cast sheet)		Página 1 de 5
General information				
Designation				
Polymethylmethacrylate (PMMA) - Cast Sheet				
Tradenames				
Acrigel, Acryl, Acrylite, Acrypet, Acryrex, Alathon, Alluglas, Anjacryl, Anstech, Astaglas, Claradex, Colomx, Cyrolite, Delpet, Diakon, Elvacite, Elvakon, Goldrex, Lucite, Maxiglas, Next, Optix, Parapet, Permatat, Perspex, Plaskolite, Plexiglas, Plexiglas Satinice, Polyman, Polyplex, Shinkolite-P, Solarkote, Sumpex, Terez, Trimma, Tufcoat				
Typical uses				
Lenses, light covers, glazing (particularly in aircraft), light pipes, meter covers, bathroom fittings, outdoor signs, skylights, baths, toys.				
Composition overview				
Compositional summary				
$(CH_2-C(CH_3)COOCH_3)_n$				
Material family	Plastic (thermoplastic, amorphous)			
Base material	PMMA (Polymethyl methacrylate / acrylic)			
Polymer code	PMMA			
Composition detail (polymers and natural materials)				
Polymer	100			%
Price				
Price	* 12.4	- 15.7		PEN/kg
Price per unit volume	* 1.45e4	- 1.88e4		PEN/m ³
Physical properties				
Density	1.18e3	- 1.2e3		kg/m ³
Mechanical properties				
Young's modulus	2.7	- 2.9		GPa
Specific stiffness	2.27	- 2.44		MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 57.8	- 63.7		MPa
Tensile strength	72.2	- 79.6		MPa
Specific strength	* 48.5	- 53.6		kN.m/kg
Elongation	2	- 7		% strain
Compressive modulus	2.68	- 3.27		GPa
Compressive strength	* 75.8	- 131		MPa
Flexural modulus	3	- 3.3		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	105	- 116		MPa
Shear modulus	* 1	- 1.2		GPa
Los valores marcados con * son aproximaciones. No warranty is given for the accuracy of the data				

Fuente: Ces Edupack

Figura 76.

PMMA Cast Sheet


CES 2019 EDUPACK		PMMA (cast sheet)		Página 2 de 9
Bulk modulus	* 4.32	- 4.54	GPa	
Poisson's ratio	0.365	- 0.375		
Shape factor	5.1			
Hardness - Vickers	* 17	- 19	HV	
Hardness - Rockwell M	80	- 102		
Hardness - Rockwell R	* 116	- 127		
Elastic stored energy (springs)	* 594	- 727	kJ/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	15.2	- 16.8	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	0.7	- 1.6	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	0.198	- 0.81	kJ/m ²	
Impact strength, notched 23 °C	1.6	- 2.1	kJ/m ²	
Impact strength, notched -30 °C	1.9	- 2.1	kJ/m ²	
Impact strength, unnotched 23 °C	17.9	- 20.7	kJ/m ²	
Impact strength, unnotched -30 °C	16.2	- 20.8	kJ/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	96	- 104	°C	
Heat deflection temperature 0.45MPa	101	- 113	°C	
Heat deflection temperature 1.8MPa	90	- 103	°C	
Vicat softening point	103	- 115	°C	
Maximum service temperature	80	- 105	°C	
Minimum service temperature	-75	- -65	°C	
Thermal conductivity	0.17	- 0.25	W/m.°C	
Specific heat capacity	1.4e3	- 1.52e3	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	90	- 162	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	* 133	- 242	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.00122	- 0.00239	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	3.3e23	- 3e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	5.75e-23	- 5.22e-22	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	3.2	- 3.4		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.05	- 0.06		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	17.7	- 21.7	MV/m	
Comparative tracking index	600		V	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 77.

PMMA Cast Sheet


		PMMA (cast sheet)		Página 3 de 9
Optical, aesthetic and acoustic properties				
Refractive index	1.49	-	1.5	
Transparency	Optical quality			
Acoustic velocity	1.51e3	-	1.56e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0138	-	0.0148	
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Absorption & permeability				
Water absorption @ 24 hrs	0.2	-	0.4	%
Water absorption @ sat	1.1	-	2.1	%
Water vapor transmission	1.62	-	1.79	g.mm/m ² .day
Permeability (O2)	4.31	-	7.19	cm ³ .mm/m ² .day.atm
Processing properties				
Polymer injection molding	Unsuitable			
Polymer extrusion	Unsuitable			
Polymer thermoforming	Unsuitable			
Linear mold shrinkage	* 0.2	-	0.8	%
Melt temperature	123	-	260	°C
Durability				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Excellent			
Strong alkalis	Excellent			
Organic solvents	Unacceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
Chemical resistance of polymers				
Chemical resistance, data sources				
Derived from Rapra ChemRes record for Acrylic (cast)				
Acetaldehyde	Unsatisfactory			
Acetic acid (10%)	Satisfactory			
Acetic acid (glacial)	Unsatisfactory			
Acetic anhydride	Limited			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 78.

PMMA Cast Sheet


		PMMA (cast sheet)	Página 4 de 9
Acetone		Unsatisfactory	
Acetonitrile		Unsatisfactory	
Acetophenone		Unsatisfactory	
Acetyl chloride		Unsatisfactory	
Acrylic acid		Doubtful	
Aluminum chloride (10%)		Satisfactory	
Aluminum sulfate		Satisfactory	
Ammonium hydroxide (35%)		Satisfactory	
Ammonium sulfate (50%)		Satisfactory	
Amyl acetate		Unsatisfactory	
Amyl alcohol		Unsatisfactory	
Aniline		Unsatisfactory	
Antimony trichloride (10%)		Satisfactory	
Aqua regia		Unsatisfactory	
Arsenic acid		Probably satisfactory	
ASTM fuel A		Limited	
ASTM fuel B		Doubtful	
ASTM fuel C		Doubtful	
ASTM oil No. 1		Satisfactory	
ASTM oil No. 2 or IRM902		Satisfactory	
ASTM oil No. 3 or IRM903		Satisfactory	
Barium chloride		Satisfactory	
Benzaldehyde		Unsatisfactory	
Benzene		Unsatisfactory	
Benzyl alcohol		Unsatisfactory	
Benzyl chloride		Unsatisfactory	
Boric acid		Satisfactory	
Bromine liquid		Unsatisfactory	
Butyl acetate		Unsatisfactory	
Butyl alcohol (butanol)		Unsatisfactory	
Butyl chloride		Unsatisfactory	
Butylamine		Unsatisfactory	
Butyric acid		Unsatisfactory	
Calcium chloride		Satisfactory	
Carbon disulfide		Unsatisfactory	
Carbon tetrachloride		Limited	
Castor oil		Satisfactory	
Cellosolve		Unsatisfactory	
Cellosolve acetate		Doubtful	
Chloroacetic acid		Unsatisfactory	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 79.

PMMA Cast Sheet


		PMMA (cast sheet)	Página 5 de 9
Chlorine dioxide		Doubtful	
Chlorine gas (dry)		Limited	
Chlorine water		Limited	
Chlorobenzene		Unsatisfactory	
Chloroform		Unsatisfactory	
Chlorosulfonic acid		Unsatisfactory	
Chrome plating solution		Satisfactory	
Chromic acid		Limited	
Citric acid (10%)		Satisfactory	
Cod liver oil		Probably satisfactory	
Copper sulfate		Satisfactory	
Cotton seed oil		Limited	
Cresols		Unsatisfactory	
Cyclohexane		Limited	
Cyclohexanol		Unsatisfactory	
Cyclohexanone		Unsatisfactory	
Decalin		Unsatisfactory	
Diesel oil		Satisfactory	
Diethyl ether		Satisfactory	
Diethylamine		Unsatisfactory	
Diethylene glycol		Satisfactory	
Dimethyl formamide		Unsatisfactory	
Dimethylamine		Probably satisfactory	
Dimethylhydrazine		Doubtful	
Dioctyl phthalate		Limited	
Dioxane		Unsatisfactory	
Ethyl acetate		Unsatisfactory	
Ethyl alcohol (ethanol)		Limited	
Ethyl chloride		Unsatisfactory	
Ethylamine		Probably satisfactory	
Ethylene bromide		Unsatisfactory	
Ethylene chloride (1,2 dichloroethane)		Unsatisfactory	
Ethylene glycol		Limited	
Ferric chloride		Satisfactory	
Fluoboric acid		Limited	
Fluorine (gas)		Unsatisfactory	
Fluosilicic acid		Satisfactory	
Formaldehyde (40%)		Satisfactory	
Formic acid (90%)		Unsatisfactory	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 80.

PMMA Cast Sheet


		PMMA (cast sheet)	Página 6 de 9
Freon - 11		Limited	
Freon - 113		Limited	
Freon - 115		Probably satisfactory	
Freon - 12		Limited	
Freon - 13 B1		Probably satisfactory	
Freon - 21		Unsatisfactory	
Freon - 22		Unsatisfactory	
Freon - 32		Limited	
Furfural		Unsatisfactory	
Glycerol		Satisfactory	
Hexane		Satisfactory	
Hydrazine		Doubtful	
Hydrobromic acid (50%)		Satisfactory	
Hydrochloric acid (10%)		Satisfactory	
Hydrochloric acid (38%)		Satisfactory	
Hydrofluoric acid (40%)		Unsatisfactory	
Hydrogen peroxide (35%)		Satisfactory	
Hydrogen peroxide (87%)		Unsatisfactory	
Hydrogen sulfide gas		Satisfactory	
Iso-octane		Satisfactory	
Iso-propyl alcohol (iso-propanol)		Satisfactory	
Lactic acid (90%)		Satisfactory	
Lead acetate (10%)		Satisfactory	
Linseed oil		Satisfactory	
Lubricating oil		Satisfactory	
Magnesium chloride		Satisfactory	
Manganese sulfate		Satisfactory	
Mercuric chloride		Satisfactory	
Methyl alcohol (methanol)		Unsatisfactory	
Methyl bromide (gas)		Doubtful	
Methyl ethyl ketone		Unsatisfactory	
Methylene chloride (dichloromethane)		Unsatisfactory	
Molasses		Probably satisfactory	
Monoethanolamine (2-aminoethanol)		Probably satisfactory	
Nickel chloride		Satisfactory	
Nitric acid (10%)		Satisfactory	
Nitric acid (70%)		Unsatisfactory	
Nitrobenzene		Unsatisfactory	
Nitromethane		Doubtful	
Nitropropane		Doubtful	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 81.

PMMA Cast Sheet

		PMMA (cast sheet)	Página 7 de 9
n-propanol		Satisfactory	
Oleic acid		Satisfactory	
Olive oil		Satisfactory	
Oxalic acid (solutions)		Satisfactory	
Ozone (gas)		Limited	
Paraffin oil (kerosene)		Probably satisfactory	
Perchloroethylene		Limited	
Peroxymonosulfuric acid		Unsatisfactory	
Petrol (gasoline)		Satisfactory	
Phenol		Unsatisfactory	
Phosphoric acid (85%)		Unsatisfactory	
Picric acid (solutions)		Unsatisfactory	
Plating solutions (non-chrome)		Probably satisfactory	
Potassium cyanide		Satisfactory	
Potassium fluoride		Satisfactory	
Potassium hydroxide (50%)		Satisfactory	
Potassium permanganate (25%)		Limited	
Potassium sulfate		Satisfactory	
Propionic acid		Doubtful	
Propylene oxide		Unsatisfactory	
Pyridine		Unsatisfactory	
Rapeseed oil		Satisfactory	
Silicone fluids		Limited	
Silver nitrate		Satisfactory	
Sodium borate		Satisfactory	
Sodium carbonate (10%)		Satisfactory	
Sodium chloride (25%)		Satisfactory	
Sodium chlorite		Unsatisfactory	
Sodium cyanide		Satisfactory	
Sodium hydroxide (10%)		Satisfactory	
Sodium hydroxide (60%)		Satisfactory	
Sodium hypochlorite (20%)		Satisfactory	
Sodium nitrate		Satisfactory	
Sour oil		Probably satisfactory	
Stannic chloride		Satisfactory	
Styrene		Unsatisfactory	
Sulfamic acid (solutions)		Probably satisfactory	
Sulfur dioxide (gas)		Satisfactory	
Sulfuric acid (10%)		Unsatisfactory	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 82.

PMMA Cast Sheet

CES 2019 EDUPACK		PMMA (cast sheet)		Página 8 de 9
Sulfuric acid (70%)	Unsatisfactory			
Sulfuric acid (96%)	Unsatisfactory			
Sulfuric acid (fuming)	Unsatisfactory			
Tetrachlorethane	Unsatisfactory			
Tetrahydrofuran	Unsatisfactory			
Tetralin	Unsatisfactory			
Thionyl chloride	Doubtful			
Titanium tetrachloride	Limited			
Toluene	Unsatisfactory			
Transformer oil	Satisfactory			
Trichloroacetic acid	Doubtful			
Trichlorethane	Unsatisfactory			
Trichlorethylene	Unsatisfactory			
Tricresyl phosphate	Unsatisfactory			
Triethanolamine	Satisfactory			
Triethylamine	Probably satisfactory			
Turpentine	Unsatisfactory			
Vegetable oils (general)	Satisfactory			
Vinyl acetate	Limited			
Vinyl chloride	Unsatisfactory			
Water (distilled)	Satisfactory			
Water (sea)	Satisfactory			
White spirit	Satisfactory			
Wine	Satisfactory			
Xylene	Unsatisfactory			
Zinc chloride (aq. sol.)	Satisfactory			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	97	-	107	MJ/kg
<small>Sources 91 MJ/kg (Song, Youn, Gutowski, 2009); 105 MJ/kg (PlasticsEurope,</small>				
CO2 footprint, primary production	4.64	-	5.11	kg/kg
<small>Sources 6 kg/kg (Kemna et al. 2005); 3.75 kg/kg (PlasticsEurope,</small>				
Water usage	* 72.3	-	79.9	l/kg
Processing energy, CO2 footprint & water				
Polymer extrusion energy	* 5.73	-	6.33	MJ/kg
Polymer extrusion CO2	* 0.43	-	0.475	kg/kg
Polymer extrusion water	* 4.79	-	7.18	l/kg
Polymer molding energy	* 16.1	-	17.8	MJ/kg
Polymer molding CO2	* 1.21	-	1.33	kg/kg

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 83.

PMMA Cast Sheet

CES 2019 EDUPACK		PMMA (cast sheet)			Página 9 de 9
Polymer molding water	* 11.5	- 17.3		l/kg	
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1.27	- 1.4		MJ/kg	
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0953	- 0.105		kg/kg	
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 8.43	- 9.32		MJ/kg	
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.632	- 0.699		kg/kg	
Grinding energy (per unit wt removed)	* 16.4	- 18.1		MJ/kg	
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1.23	- 1.36		kg/kg	
Recycling and end of life					
Recycle					✓
Embodied energy, recycling	* 36.3	- 40.1		MJ/kg	
CO2 footprint, recycling	* 2.1	- 2.32		kg/kg	
Recycle fraction in current supply	0.672	- 0.742		%	
Downcycle					✓
Combust for energy recovery					✓
Heat of combustion (net)	* 25.9	- 27.2		MJ/kg	
Combustion CO2	* 2.15	- 2.25		kg/kg	
Landfill					✓
Biodegrade					✗
Enlaces					
ProcessUniverse					
Producers					
Reference					
Shape					

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 84.

PMMA Impact Modified

CES 2019 EDUPACK		PMMA (impact modified)		Página 1 de 9
General information				
Designation				
Polymethylmethacrylate (Impact Modified, Molding and Extrusion)				
Tradenames				
Acryl, Acrylite, Altuglas, Cyrolite, Diakon, Optix, Plexiglas, Terez				
Typical uses				
Light fittings, display signs, domestic baths, packaging, safety spectacles, tool handles, motorcycle windscreens, baby incubators				
Composition overview				
Compositional summary				
$(CH_2-C(CH_3)COOCH_3)_n$				
Material family	Plastic (thermoplastic, amorphous)			
Base material	PMMA (Polymethyl methacrylate / acrylic)			
Additive	Impact			
Polymer code	PMMA-I			
Composition detail (polymers and natural materials)				
Polymer	85	-	95	%
Impact modifier	5	-	15	%
Price				
Price	* 14.2	-	17.3	PEN/kg
Price per unit volume	* 1.58e4	-	2.04e4	PEN/m ³
Physical properties				
Density	1.11e3	-	1.18e3	kg/m ³
Mechanical properties				
Young's modulus	1.6	-	3.3	GPa
Specific stiffness	1.4	-	2.89	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	37.9	-	58.4	MPa
Tensile strength	34.5	-	62.1	MPa
Specific strength	33.1	-	51.1	kN.m/kg
Elongation	4.6	-	70	% strain
Compressive modulus	1.65	-	2.54	GPa
Compressive strength	* 43.9	-	96.5	MPa
Flexural modulus	1.38	-	2.96	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	48.3	-	96.5	MPa
Shear modulus	* 0.493	-	1.23	GPa

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 85.

PMMA Impact Modified


CES 2019 EDUPACK		PMMA (impact modified)		Página 2 de 9
Bulk modulus	* 3.5	- 3.68	Pa	
Poisson's ratio	0.389	- 0.413		
Shape factor	5.2			
Hardness - Vickers	* 11	- 18	HV	
Hardness - Rockwell M	35	- 78		
Hardness - Rockwell R	* 82	- 90		
Elastic stored energy (springs)	292	- 795	J/m ³	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 13.8	- 24.8	MPa	
Impact & fracture properties				
Fracture toughness	* 1.81	- 2.18	MPa.m ^{0.5}	
Toughness (G)	1.16	- 2.54	J/m ²	
Impact strength, notched 23 °C	3.34	- 7.25	J/m ²	
Impact strength, notched -30 °C	* 3.18	- 3.85	J/m ²	
Impact strength, unnotched 23 °C	29.7	- 78.8	J/m ²	
Impact strength, unnotched -30 °C	* 40.9	- 49.5	J/m ²	
Thermal properties				
Glass temperature	96	- 104	°C	
Heat deflection temperature 0.45MPa	92	- 99	°C	
Heat deflection temperature 1.8MPa	85	- 93	°C	
Vicat softening point	94	- 100	°C	
Maximum service temperature	80	- 95	°C	
Minimum service temperature	-75	- -65	°C	
Thermal conductivity	0.167	- 0.209	W/m.°C	
Specific heat capacity	1.4e3	- 1.52e3	J/kg.°C	
Thermal expansion coefficient	86.4	- 144	µstrain/°C	
Thermal shock resistance	116	- 290	°C	
Thermal distortion resistance	* 0.00127	- 0.0022	MW/m	
Electrical properties				
Electrical resistivity	3.3e23	- 3e24	µohm.cm	
Electrical conductivity	5.75e-23	- 5.22e-22	%IACS	
Dielectric constant (relative permittivity)	2.7	- 2.9		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0.03	- 0.04		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	15	- 19.7	MV/m	
Comparative tracking index	600		V	
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 86.

PMMA Impact Modified

		PMMA (impact modified)		Página 3 de 9	
Optical, aesthetic and acoustic properties					
Refractive index	1.49	-	1.5		
Transparency	Transparent				
Acoustic velocity	1.16e3	-	1.73e3	m/s	
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0116	-	0.029		
Critical materials risk					
Contains >5wt% critical elements?	No				
Absorption & permeability					
Water absorption @ 24 hrs	0.19	-	0.8	%	
Water vapor transmission	1.62	-	1.79	g.mm/m ² .day	
Permeability (O2)	4.31	-	7.19	cm ³ .mm/m ² .day.atm	
Processing properties					
Polymer injection molding	Acceptable				
Polymer extrusion	Excellent				
Polymer thermoforming	Acceptable				
Linear mold shrinkage	0.2	-	0.8	%	
Melt temperature	190	-	260	°C	
Mold temperature	50	-	65	°C	
Molding pressure range	34.4	-	138	MPa	
Durability					
Water (fresh)	Excellent				
Water (salt)	Excellent				
Weak acids	Acceptable				
Strong acids	Unacceptable				
Weak alkalis	Excellent				
Strong alkalis	Excellent				
Organic solvents	Unacceptable				
Oxidation at 500C	Unacceptable				
UV radiation (sunlight)	Good				
Flammability	Highly flammable				
Chemical resistance of polymers					
Chemical resistance, data sources					
Derived from Rapra ChemRes record for Acrylic (high)					
Acetaldehyde	Unsatisfactory				
Acetic acid (10%)	Satisfactory				
Acetic acid (glacial)	Unsatisfactory				

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 87.

PMMA Impact Modified

		PMMA (impact modified)	Página 4 de 9
Acetic anhydride		Limited	
Acetone		Unsatisfactory	
Acetonitrile		Unsatisfactory	
Acetophenone		Unsatisfactory	
Acetyl chloride		Unsatisfactory	
Acrylic acid		Doubtful	
Aluminum chloride (10%)		Satisfactory	
Aluminum sulfate		Satisfactory	
Ammonium hydroxide (35%)		Satisfactory	
Ammonium sulfate (50%)		Satisfactory	
Amyl acetate		Unsatisfactory	
Amyl alcohol		Unsatisfactory	
Aniline		Unsatisfactory	
Antimony trichloride (10%)		Satisfactory	
Aqua regia		Unsatisfactory	
Arsenic acid		Probably satisfactory	
ASTM fuel A		Probably satisfactory	
ASTM fuel B		Limited	
ASTM fuel C		Doubtful	
ASTM oil No. 1		Limited	
ASTM oil No. 2 or IRM902		Limited	
ASTM oil No. 3 or IRM903		Limited	
Barium chloride		Satisfactory	
Benzaldehyde		Unsatisfactory	
Benzene		Unsatisfactory	
Benzyl alcohol		Unsatisfactory	
Benzyl chloride		Unsatisfactory	
Boric acid		Satisfactory	
Bromine liquid		Unsatisfactory	
Butyl acetate		Unsatisfactory	
Butyl alcohol (butanol)		Unsatisfactory	
Butyl chloride		Unsatisfactory	
Butylamine		Unsatisfactory	
Butyric acid		Unsatisfactory	
Calcium chloride		Satisfactory	
Carbon disulfide		Unsatisfactory	
Carbon tetrachloride		Doubtful	
Castor oil		Satisfactory	
Cellosolve		Unsatisfactory	
Cellosolve acetate		Doubtful	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 88.

PMMA Impact Modified


		PMMA (impact modified)	Página 5 de 9
Chloracetic acid		Unsatisfactory	
Chlorine dioxide		Doubtful	
Chlorine gas (dry)		Doubtful	
Chlorine water		Limited	
Chlorobenzene		Unsatisfactory	
Chloroform		Unsatisfactory	
Chlorosulfonic acid		Unsatisfactory	
Chrome plating solution		Satisfactory	
Chromic acid		Limited	
Citric acid (10%)		Satisfactory	
Cod liver oil		Probably satisfactory	
Copper sulfate		Satisfactory	
Cotton seed oil		Limited	
Cresols		Unsatisfactory	
Cyclohexane		Doubtful	
Cyclohexanol		Unsatisfactory	
Cyclohexanone		Unsatisfactory	
Decalin		Unsatisfactory	
Diesel oil		Limited	
Diethyl ether		Limited	
Diethylamine		Unsatisfactory	
Diethylene glycol		Satisfactory	
Dimethyl formamide		Unsatisfactory	
Dimethylamine		Probably satisfactory	
Dimethylhydrazine		Doubtful	
Diethyl phthalate		Limited	
Dioxane		Unsatisfactory	
Ethyl acetate		Unsatisfactory	
Ethyl alcohol (ethanol)		Limited	
Ethyl chloride		Unsatisfactory	
Ethylamine		Probably satisfactory	
Ethylene bromide		Unsatisfactory	
Ethylene chloride (1,2 dichloroethane)		Unsatisfactory	
Ethylene glycol		Limited	
Ferric chloride		Satisfactory	
Fluoboric acid		Limited	
Fluorine (gas)		Unsatisfactory	
Fluosilicic acid		Satisfactory	
Formaldehyde (40%)		Satisfactory	

Los valores marcados con * son aproximaciones
 No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 89.

PMMA Impact Modified


		PMMA (impact modified)	Página 6 de 9
Formic acid (90%)		Unsatisfactory	
Freon - 11		Doubtful	
Freon - 113		Limited	
Freon - 115		Probably satisfactory	
Freon - 12		Limited	
Freon - 13 B1		Probably satisfactory	
Freon - 21		Unsatisfactory	
Freon - 22		Unsatisfactory	
Freon - 32		Limited	
Furfural		Unsatisfactory	
Glycerol		Satisfactory	
Hexane		Limited	
Hydrazine		Doubtful	
Hydrobromic acid (50%)		Satisfactory	
Hydrochloric acid (10%)		Satisfactory	
Hydrochloric acid (38%)		Satisfactory	
Hydrofluoric acid (40%)		Unsatisfactory	
Hydrogen peroxide (35%)		Satisfactory	
Hydrogen peroxide (87%)		Unsatisfactory	
Hydrogen sulfide gas		Satisfactory	
Iso-octane		Limited	
Iso-propyl alcohol (iso-propanol)		Satisfactory	
Lactic acid (90%)		Satisfactory	
Lead acetate (10%)		Satisfactory	
Linseed oil		Satisfactory	
Lubricating oil		Limited	
Magnesium chloride		Satisfactory	
Manganese sulfate		Satisfactory	
Mercuric chloride		Satisfactory	
Methyl alcohol (methanol)		Unsatisfactory	
Methyl bromide (gas)		Doubtful	
Methyl ethyl ketone		Unsatisfactory	
Methylene chloride (dichloromethane)		Unsatisfactory	
Molasses		Probably satisfactory	
Monoethanolamine (2-aminoethanol)		Probably satisfactory	
Nickel chloride		Satisfactory	
Nitric acid (10%)		Satisfactory	
Nitric acid (70%)		Unsatisfactory	
Nitrobenzene		Unsatisfactory	
Nitromethane		Doubtful	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 90.

PMMA Impact Modified

		PMMA (impact modified)	Página 7 de 9
Nitropropane		Doubtful	
n-propanol		Satisfactory	
Oleic acid		Satisfactory	
Olive oil		Satisfactory	
Oxalic acid (solutions)		Satisfactory	
Ozone (gas)		Limited	
Paraffin oil (kerosene)		Limited	
Perchloroethylene		Doubtful	
Peroxymonosulfuric acid		Unsatisfactory	
Petrol (gasoline)		Limited	
Phenol		Unsatisfactory	
Phosphoric acid (85%)		Unsatisfactory	
Picric acid (solutions)		Unsatisfactory	
Plating solutions (non-chrome)		Probably satisfactory	
Potassium cyanide		Satisfactory	
Potassium fluoride		Satisfactory	
Potassium hydroxide (50%)		Satisfactory	
Potassium permanganate (25%)		Limited	
Potassium sulfate		Satisfactory	
Propionic acid		Doubtful	
Propylene oxide		Unsatisfactory	
Pyridine		Unsatisfactory	
Rapeseed oil		Satisfactory	
Silicone fluids		Limited	
Silver nitrate		Satisfactory	
Sodium borate		Satisfactory	
Sodium carbonate (10%)		Satisfactory	
Sodium chloride (25%)		Satisfactory	
Sodium chlorite		Unsatisfactory	
Sodium cyanide		Satisfactory	
Sodium hydroxide (10%)		Satisfactory	
Sodium hydroxide (60%)		Satisfactory	
Sodium hypochlorite (20%)		Satisfactory	
Sodium nitrate		Satisfactory	
Sour oil		Limited	
Stannic chloride		Satisfactory	
Styrene		Unsatisfactory	
Sulfamic acid (solutions)		Probably satisfactory	
Sulfur dioxide (gas)		Satisfactory	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 91.

PMMA Impact Modified

CES 2019 EDUPACK		PMMA (impact modified)		Página 8 de 9
Sulfuric acid (10%)	Unsatisfactory			
Sulfuric acid (70%)	Unsatisfactory			
Sulfuric acid (96%)	Unsatisfactory			
Sulfuric acid (fuming)	Unsatisfactory			
Tetrachlorethane	Unsatisfactory			
Tetrahydrofuran	Unsatisfactory			
Tetralin	Unsatisfactory			
Thionyl chloride	Doubtful			
Titanium tetrachloride	Doubtful			
Toluene	Unsatisfactory			
Transformer oil	Limited			
Trichloroacetic acid	Doubtful			
Trichlorethane	Unsatisfactory			
Trichlorethylene	Unsatisfactory			
Tricresyl phosphate	Unsatisfactory			
Triethanolamine	Satisfactory			
Triethylamine	Limited			
Turpentine	Unsatisfactory			
Vegetable oils (general)	Satisfactory			
Vinyl acetate	Doubtful			
Vinyl chloride	Unsatisfactory			
Water (distilled)	Satisfactory			
Water (sea)	Satisfactory			
White spirit	Limited			
Wine	Satisfactory			
Xylene	Unsatisfactory			
Zinc chloride (aq. sol.)	Satisfactory			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 101	- 112	MJ/kg	
CO2 footprint, primary production	* 4.84	- 5.33	kg/kg	
Water usage	* 66.2	- 73.2	l/kg	
Processing energy, CO2 footprint & water				
Polymer extrusion energy	* 5.82	- 6.43	MJ/kg	
Polymer extrusion CO2	* 0.436	- 0.482	kg/kg	
Polymer extrusion water	* 4.82	- 7.24	l/kg	
Polymer molding energy	* 18.5	- 20.4	MJ/kg	
Polymer molding CO2	* 1.39	- 1.53	kg/kg	
Polymer molding water	* 12.5	- 18.8	l/kg	

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

Figura 92.

PMMA Impact Modified

CES 2019 EDUPACK		PMMA (impact modified)			Página 9 de 9
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1.02	- 1.12	MJ/kg		
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0761	- 0.0842	kg/kg		
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 5.88	- 6.5	MJ/kg		
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.441	- 0.487	kg/kg		
Grinding energy (per unit wt removed)	* 11.3	- 12.5	MJ/kg		
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.846	- 0.935	kg/kg		
Recycling and end of life					
Recycle		✓			
Embodied energy, recycling	* 37.3	- 41.2	MJ/kg		
CO2 footprint, recycling	* 2.12	- 2.34	kg/kg		
Recycle fraction in current supply	0.672	- 0.742	%		
Downcycle		✓			
Combust for energy recovery		✓			
Heat of combustion (net)	* 25.9	- 27.2	MJ/kg		
Combustion CO2	* 2.15	- 2.25	kg/kg		
Landfill		✓			
Biodegrade		✗			
Enlaces					
CAMPUS records					
ProcessUniverse					
Producers					
Prospector Plastics					
Reference					
Shape					

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Fuente: Ces Edupack

3.4 Evaluación económica del uso del vidrio borosilicatado de sodio bario.

Se tomará como valor referencial el costo total de fabricación de una cámara de niebla salina con materiales plásticos considerados en su diseño, como se puede apreciar en la tabla 36. En la tabla 37 se puede observar el detalle por ítem del material que se va a utilizar para la fabricación de cabina donde se producirá la zona de exposición de una cámara de niebla salina donde está involucrado el plástico.

Tabla 36.

Costo Total de Fabricación de la Cámara de Niebla Salina con Material Polimérico

Sistema	Costo (soles)
Estructura de la cámara y cubierta	372,5
Elementos eléctricos*	1667
Elementos neumáticos*	1023
Elementos hidráulicos*	1031
Elementos varios *	1532
Total	5625,5

Fuente: grupo de investigación U. Santo Tomas.

*El detalle de los costos de estos sistemas están detallados en los anexos (sección 7.3).

Tabla 37.

Costo de la Estructura de la Cámara de Niebla Salina con un Material Polimérico

Presupuesto del cuerpo, cubierta y estructura de la cámara				
Item	Elemento	Cantidad	Valor	Costo
1	Estructura de la cámara	5	60,00	320
Costo total				300

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el costo referencial anterior, primero se realizó la evaluación con materiales que han sido incluidos en diseños anteriores, en la tabla 38 se observa el valor del

material en el mercado, este se obtuvo de la evaluación del material en el software CesEduPack, con el valor del costo se procedió a la evaluación que se observa en la tabla 39. De la misma forma se procedió a evaluar el material PMMA impact modified, mediante la tabla 40 donde se definió el precio del material y en la tabla 41 se observa el costo final del diseño con este material. Luego se evaluó el costo de fabricación de la cámara de niebla salina con el vidrio borosilicatado de sodio y bario en la tabla 42 como material utilizado para la zona de exposición. Con estos datos se procedió a evaluar el costo de fabricación que se detalla en la tabla 43. Posteriormente se detalló el costo total de la cámara de niebla salina, pero con la inclusión de vidrio borosilicatado sodio bario comparándolo con la propuesta de materiales incluidos en diseños anteriores como se describe en la tabla 44.

Tabla 38.

Precio en el Mercado del PMMA Cast Sheet

Price				
Price	* 12.4	-	15.7	PEN/kg
Price per unit volume	* 1.46e4	-	1.88e4	PEN/m ³

Fuente: **Software CesEduPack 2019.**

*Datos aproximados

Tabla 39.

Evaluación de la fabricación con PMMA Cast Sheet (Propuesta en Diseños Anteriores)

Presupuesto de estructura de la cámara y cubierta					
Item	Elemento	Descripción	Cantidad	Valor (S/.)	Costo total (S/.)
1	Estructura	Fabricado de vidrio borosilicatado Sodio Bario	5	75	375

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40.*Precio en el Mercado del PMMA Impact Modified*

Price			
Price	* 14.2	- 17.3	PEN/kg
Price per unit volume	* 1.58e4	- 2.04e4	PEN/m ³

Fuente: **Software CesEdupack 2019.**

*Datos aproximados

Tabla 41.*Evaluación de la Fabricación con PMMA Impact Modified (Propuesta en Diseños Anteriores)*

Presupuesto de estructura de la cámara y cubierta					
Item	Elemento	Descripción	Cantidad	Valor (S/.)	Costo total (S/.)
1	Estructura	Fabricado de vidrio borosilicatado Sodio Bario	5	85	425

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42.*Precio en el Mercado del Vidrio Borosilicarado Sodio Bario*

Precio	* 14.8	- 24.7	PEN/kg
Precio por unidad de volume	* 3.43e4	- 5.88e4	PEN/m ³

Fuente: **Software CesEdupack 2019.**

*Datos aproximados

Tabla 43.

Evaluación de la Fabricación con Vidrio Borosilicatado Sodio Bario (Propuesta Nueva)

Presupuesto de estructura de la cámara y cubierta					
Item	Elemento	Descripción	Cantidad	Valor (S/.)	Costo total (S/.)
1	Estructura	Fabricado de vidrio borosilicatado Sodio Bario	5	90	450

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

Costo Total de Fabricación de la Cámara de Niebla Salina Comparativo

Sistema	Proyecto de Investigacion	PMMA Cast Sheet	PMMA Impact Modified	Vidrio Borosilicatado Sodio Bario
Estructura de la cámara y cubierta	300	375	425	450
Elementos eléctricos*	1667	1667	1667	1667
Elementos neumáticos*	1023	1023	1023	1023
Elementos hidráulicos*	1031	1031	1031	1031
Elementos varios *	1532	1532	1532	1532
Total	5553	5628	5678	5703

Fuente: Elaboración propia

* Datos detallados en los anexos

4 Conclusiones

De lo anterior se puede observar que la simulación es una herramienta eficaz para predecir el comportamiento de un material en su etapa de diseño, no obstante, el usuario debe entender que la veracidad de la información es importante en una simulación, es por eso que la tesis está fundamentada en las especificaciones y métodos establecidos en la Norma ASTM B-117 *“Prácticas Estándar Para La Operación De La Cámara De Niebla Salina”*.

Al utilizar el análisis térmico del software SolidWorks, demuestra que la distribución de la temperatura en interior de la zona de exposición de la cámara de niebla salina cumple con los 35°C establecidos en *“Prácticas Estándar Para La Operación De La Cámara De Niebla Salina”*, además, las pérdidas de calor del interior de la zona de exposición hacia las paredes del material de vidrio borosilicatado de sodio bario de la cámara de niebla salina está representado por un valor de 116,6 W representando en el 23,32 % de la fuente de calor inicial, asegurando correcta aislación de la zona de exposición para obtener resultados más confiables de los materiales que se van a evaluar.

En el resultado de la evaluación económica del vidrio borosilicatado sodio bario evidencia un aumento del 5,88% respecto al costo del material PMMA Impact Modified y a su vez un aumento del 20% en el costo en referencia del valor del material PMMA cast sheet, para la propuesta en el reemplazo de la parte estructural de la cámara de niebla salina. También el uso de este material representa un aumento del peso en un 13,88% con un total de 36 Kg. Se puede considerar una factibilidad económica del material ponderando el mejor funcionamiento del vidrio borosilicatado dentro de las especificaciones y métodos

establecidos en la Norma ASTM B-117 *“Prácticas Estándar Para La Operación De La Cámara De Niebla Salina”*.

5 Recomendaciones

Los resultados de la investigación sirven para incentivar a la implementación de simulaciones de transferencias de calor en cámaras de niebla salina, esto nos permite datos más exactos en términos de vida útil de una máquina, en el desarrollo de esta investigación la mayoría de diseño no contemplan un análisis de la misma magnitud o parecido, teniendo como consecuencia siempre una recomendación sobre el cambio en la fuente de calor.

Utilizar el vidrio borosilicatado sodio bario provoca un aumento a la zona de exposición de la cámara de niebla salina es por este motivo se recomienda implementar un análisis de resistencia de materiales a la estructura que va a soportar el peso de la anterior mencionada zona mediante una simulación.


6 Bibliografía

- El Ibrahimy, B., El Mouaden, K., Jmiai, A., Baddouh, A., El Issami, S., Bazzi, L., & Hilali, M. (2019). *Understading the influence of solution's pH on the corrosion of tin in saline solution containing functional amino acids using electrochemical techniques and molecular modeling, sufaces and interfaces.*
- Gao, J., Wei, H., Wang, R., & Xiaogang, L. (2021). Study on a multifactor coupling accelerated test method for anticorrosive coatings in marine atmospheric enviroments. *Polymer Testing*, 100.
- Gonzales Vàsquez, C. O., & Sànchez Dàvalos, C. E. (2016). *Resistencia a la Corrosiòn de los Aceros API 5L GRADO B, ASTM A-36 Y AISI 304, A Diferentes Temperaturas Expuestos a Niebla Salina Controlada.* Ttujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Hugo, L. L. (2011). *Diseño y fabricaciòn de una càmara salina anàlisis de corrosiòn en materiales.* Bogotà: Universidad Nacional de Colombia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* New York.
- Jonathan, A., & Yépez, Á. (2007). *Adecuación tecnológica y puesta en funcionamiento de una Càmara de Niebla Salina para ensayos de Corrosiòn atmosférica .* CARABOBO : UNIVERSIDAD DE CARABOBO .
- Khatiwala, S., Prumeau, F., & Hall, T. (2009). *Reconstruction of the history anthropogenic CO2 concentration in the ocean.* Nature.
- Padròn Padilla, A. L., & Perèz Cedrès, L. (2016). *Diseño de una Càmara de Niebla Salina para Ensayos de Corrosiòn.* Tenerife: Universidad de la Laguna.
- Ramírez Leòn , C. A., & Leòn Arce, C. A. (2017). *PUESTA A PUNTO DE LA CÀMARA SALINA Y EQUIPO DE DESGASTE POR ABRASIÒN SEGÙN NORMAS TÈCNICAS ASTM B117 Y ASTM G-65, UBICADOS EN EL LABORATORIO DE MOLINOS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE.* Bogotà: Universidad Libre.
- Recalde Benítez, O. A. (2014). *Diseño y Construcciòn de una Càmara de Niebla Salina y su Uso en un Estudio de Recubrimientos de Nìquel por Electrodeposiciòn.* Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Zhang, P., Pu, Z., Zhang, P., Huang, H., Cai, D., & Wang, Y. (2020). *U-Fe al metallic glasses with superior glass forming ability and corrosion resistance*. *Journal of Materials Research and Technology*.

7 ANEXOS

Anexos 1: Se muestra parte de la norma ASTM B-117 de prácticas estándar

 Designation: B 117 - 97

Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation B 117; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 811.1 of Federal Test Method Standard No. 151b. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue that has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice describes the apparatus, procedure, and conditions required to create and maintain the salt spray (fog) test environment. Suitable apparatus which may be used is described in Appendix X1.

1.2 This practice does not prescribe the type of test specimen or exposure periods to be used for a specific product, nor the interpretation to be given to the results.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The inch-pound units in parentheses are provided for information and may be approximate.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- B 368 Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test)²
- D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products³
- D 1193 Specification for Reagent Water⁴
- D 1654 Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments³
- E 70 Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode⁵
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- G 85 Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing⁷

3. Significance and Use

3.1 This practice provides a controlled corrosive environment which has been utilized to produce relative corrosion resistance information for specimens of metals and coated

metals exposed in a given test chamber.

3.2 Prediction of performance in natural environments has seldom been correlated with salt spray results when used as stand alone data.

3.2.1 Correlation and extrapolation of corrosion performance based on exposure to the test environment provided by this practice are not always predictable.

3.2.2 Correlation and extrapolation should be considered only in cases where appropriate corroborating long-term atmospheric exposures have been conducted.

3.3 The reproducibility of results in the salt spray exposure is highly dependent on the type of specimens tested and the evaluation criteria selected, as well as the control of the operating variables. In any testing program, sufficient replicates should be included to establish the variability of the results. Variability has been observed when similar specimens are tested in different fog chambers even though the testing conditions are nominally similar and within the ranges specified in this practice.

4. Apparatus

4.1 The apparatus required for salt spray (fog) exposure consists of a fog chamber, a salt solution reservoir, a supply of suitably conditioned compressed air, one or more atomizing nozzles, specimen supports, provision for heating the chamber, and necessary means of control. The size and detailed construction of the apparatus are optional, provided the conditions obtained meet the requirements of this practice.

4.2 Drops of solution which accumulate on the ceiling or cover of the chamber shall not be permitted to fall on the specimens being exposed.

4.3 Drops of solution which fall from the specimens shall not be returned to the solution reservoir for respraying.

4.4 Material of construction shall be such that it will not affect the corrosiveness of the fog.

4.5 All water used for this practice shall conform to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). This does not apply to running tap water. All other water will be referred to as reagent grade.

5. Test Specimens

5.1 The type and number of test specimens to be used, as well as the criteria for the evaluation of the test results, shall be defined in the specifications covering the material or product being exposed or shall be mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved Apr. 10, 1997. Published November 1997. Originally published as B 117 - 39 T. Last previous edition B 117 - 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.05.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.05.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

1

6. Preparation of Test Specimens

6.1 Specimens shall be suitably cleaned. The cleaning method shall be optional depending on the nature of the surface and the contaminants. Care shall be taken that specimens are not recontaminated after cleaning by excessive or careless handling.

6.2 Specimens for evaluation of paints and other organic coatings shall be prepared in accordance with applicable specification(s) for the material(s) being exposed, or as agreed upon between the purchaser and the supplier. Otherwise, the test specimens shall consist of steel meeting the requirements of Practice D 609 and shall be cleaned and prepared for coating in accordance with the applicable procedure of Practice D 609.

6.3 Specimens coated with paints or nonmetallic coatings shall not be cleaned or handled excessively prior to test.

6.4 Whenever it is desired to determine the development of corrosion from an abraded area in the paint or organic coating, a scratch or scribed line shall be made through the coating with a sharp instrument so as to expose the underlying metal before testing. The conditions of making the scratch shall be as defined in Test Method D 1654, unless otherwise agreed upon between the purchaser and the seller.

6.5 Unless otherwise specified, the cut edges of plated, coated, or duplex materials and areas containing identification marks or in contact with the racks or supports shall be protected with a suitable coating stable under the conditions of the practice.

NOTE 1—Should it be desirable to cut test specimens from parts or from preplated, painted, or otherwise coated steel sheet, the cut edges shall be protected by coating them with paint, wax, tape, or other effective media so that the development of a galvanic effect between such edges and the adjacent plated or otherwise coated metal surfaces, is prevented.

7. Position of Specimens During Exposure

7.1 The position of the specimens in the salt spray chamber during the test shall be such that the following conditions are met:

7.1.1 Unless otherwise specified, the specimens shall be supported or suspended between 15 and 30° from the vertical and preferably parallel to the principal direction of flow of fog through the chamber, based upon the dominant surface being tested.

7.1.2 The specimens shall not contact each other or any metallic material or any material capable of acting as a wick.

7.1.3 Each specimen shall be so placed as to permit free settling of fog on all specimens.

7.1.4 Salt solution from one specimen shall not drip on any other specimen.

NOTE 2—Suitable materials for the construction or coating of racks and supports are glass, rubber, plastic, or suitably coated wood. Bare metal shall not be used. Specimens shall preferably be supported from the bottom or the side. Slotted wooden strips are suitable for the support of flat panels. Suspension from glass hooks or waxed string may be used as long as the specified position of the specimens is obtained, if necessary by means of secondary support at the bottom of the specimens.

8. Salt Solution

8.1 The salt solution shall be prepared by dissolving 5 ± 1 parts by mass of sodium chloride in 95 parts of water conforming to Type IV water in Specification D 1193

(except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). The salt used shall be sodium chloride substantially free of nickel and copper and containing on the dry basis not more than 0.1 % of sodium iodide and not more than 0.3 % of total impurities. Some salts contain additives that may act as corrosion inhibitors; careful attention should be given to the chemical content of the salt. Upon agreement between the purchaser and the seller, analysis may be required and limits established for elements or compounds not specified in the chemical composition given above.

8.2 The pH of the salt solution shall be such that when atomized at 35°C (95°F) the collected solution will be in the pH range from 6.5 to 7.2 (Note 3). Before the solution is atomized it shall be free of suspended solids (Note 4). The pH measurement shall be made at 25°C (77°F) using a suitable glass pH-sensing electrode, reference electrode, and pH meter system in accordance with Test Method E 70.

NOTE 3—Temperature affects the pH of a salt solution prepared from water saturated with carbon dioxide at room temperature and pH adjustment may be made by the following three methods:

(1) When the pH of a salt solution is adjusted at room temperature, and atomized at 35°C (95°F), the pH of the collected solution will be higher than the original solution due to the loss of carbon dioxide at the higher temperature. When the pH of the salt solution is adjusted at room temperature, it is therefore necessary to adjust it below 6.5 so the collected solution after atomizing at 35°C (95°F) will meet the pH limits of 6.5 to 7.2. Take about a 50-mL sample of the salt solution as prepared at room temperature, boil gently for 30 s, cool, and determine the pH. When the pH of the salt solution is adjusted to 6.5 to 7.2 by this procedure, the pH of the atomized and collected solution at 35°C (95°F) will come within this range.

(2) Heating the salt solution to boiling and cooling to 35°C (95°F) and maintaining it at 35°C (95°F) for approximately 48 h before adjusting the pH produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

(3) Heating the water from which the salt solution is prepared to 35°C (95°F) or above, to expel carbon dioxide, and adjusting the pH of the salt solution within the limits of 6.5 to 7.2 produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

NOTE 4—The freshly prepared salt solution may be filtered or decanted before it is placed in the reservoir, or the end of the tube leading from the solution to the atomizer may be covered with a double layer of cheesecloth to prevent plugging of the nozzle.

NOTE 5—The pH can be adjusted by additions of dilute ACS reagent grade hydrochloric acid or sodium hydroxide solutions.

9. Air Supply

9.1 The compressed air supply to the nozzle or nozzles for atomizing the salt solution shall be free of oil and dirt (Note 6) and maintained between 69 and 172 kPa/m² (10 and 25 psi).

NOTE 6—The air supply may be freed from oil and dirt by passing it through a water scrubber or at least 610 mm (2 ft) of suitable cleaning material such as sheep's wool, excelsior, slag wool, or activated alumina. Commercial cartridge filters which include an expiration indicator may also be used.

10. Conditions in the Salt Spray Chamber

10.1 *Temperature*—The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at $35 \pm 1.1 - 1.7^\circ\text{C}$ ($95 \pm 2 - 3^\circ\text{F}$). The temperature within the exposure zone of the closed cabinet shall be recorded at least twice a day at least 7 h apart (except on Saturdays, Sundays, and holidays when the salt spray test is not interrupted for exposing, rearranging, or

removing test specimens or to check and replenish the solution in the reservoir).

NOTE 7—A suitable method to record the temperature is by a continuous recording device or by a thermometer which can be read from outside the closed cabinet. The recorded temperature must be obtained with the salt spray chamber closed to avoid a false low reading because of wet-bulb effect when the chamber is open.

10.2 Atomization and Quantity of Fog—At least two clean fog collectors shall be so placed within the exposure zone that no drops of solution from the test specimens or any other source shall be collected. The collectors shall be placed in the proximity of the test specimens, one nearest to any nozzle and the other farthest from all nozzles. The fog shall be such that for each 80 cm² (12.4 in.²) of horizontal collecting area there will be collected in each collector from 1.0 to 2.0 mL of solution per hour based on an average run of at least 16 h (Note 8). The sodium chloride concentration of the collected solution shall be 5 ± 1 mass % (Note 9). The pH of the collected solution shall be 6.5 to 7.2. The pH measurement shall be made as described in 8.2 (Note 3).

NOTE 8—Suitable collecting devices are glass or plastic funnels with the stems inserted through stoppers into graduated cylinders, or crystallizing dishes. Funnels and dishes with a diameter of 10 cm (3.94 in.) have an area of about 80 cm² (12.4 in.²).

NOTE 9—A solution having a specific gravity of 1.0255 to 1.0400 at 25°C (77°F) will meet the concentration requirement. The sodium chloride concentration may also be determined using a suitable salinity meter (for example, utilizing a sodium ion-selective glass electrode) or colorimetrically as follows. Dilute 5 mL of the collected solution to 100 mL with distilled water and mix thoroughly; pipet a 10-mL aliquot into an evaporating dish or casserole; add 40 mL of distilled water and 1 mL of 1% potassium chromate solution (chloride-free) and titrate with 0.1 N silver nitrate solution to the first appearance of a permanent red coloration. A solution that requires between 3.4 and 5.1 mL of 0.1 N silver nitrate solution will meet the concentration requirements.

10.3 The nozzle or nozzles shall be so directed or baffled that none of the spray can impinge directly on the test specimens.

11. Continuity of Exposure

11.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, the test shall be continuous for the duration of the entire test period. Continuous operation implies that the chamber be closed and the spray operating continuously except for the short daily interruptions necessary to inspect, rearrange, or remove test specimens, to check and replenish the solution in the reservoir, and to make necessary recordings as described in Section 10. Operations shall be so scheduled that these interruptions are held to a minimum.

12. Period of Exposure

12.1 The period of exposure shall be as designated by the specifications covering the material or product being tested

or as mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 10—Recommended exposure periods are to be as agreed upon between the purchaser and the seller, but exposure periods of multiples of 24 h are suggested.

13. Cleaning of Tested Specimens

13.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, specimens shall be treated as follows at the end of the test:

13.1.1 The specimens shall be carefully removed.

13.2 Specimens may be gently washed or dipped in clean running water not warmer than 38°C (100°F) to remove salt deposits from their surface, and then immediately dried.

14. Evaluation of Results

14.1 A careful and immediate examination shall be made as required by the specifications covering the material or product being tested or by agreement between the purchaser and the seller.

15. Records and Reports

15.1 The following information shall be recorded, unless otherwise prescribed in the specifications covering the material or product being tested:

15.1.1 Type of salt and water used in preparing the salt solution,

15.1.2 All readings of temperature within the exposure zone of the chamber,

15.1.3 Daily records of data obtained from each fog-collecting device including the following:

15.1.3.1 Volume of salt solution collected in millilitres per hour per 80 cm² (12.4 in.²),

15.1.3.2 Concentration or specific gravity at 35°C (95°F) of solution collected, and

15.1.3.3 pH of collected solution.

15.2 Type of specimen and its dimensions, or number or description of part,

15.3 Method of cleaning specimens before and after testing,

15.4 Method of supporting or suspending article in the salt spray chamber,

15.5 Description of protection used as required in 6.5,

15.6 Exposure period,

15.7 Interruptions in exposure, cause, and length of time, and

15.8 Results of all inspections.

NOTE 11—If any of the atomized salt solution which has not contacted the test specimens is returned to the reservoir, it is advisable to record the concentration or specific gravity of this solution also.

16. Keywords

16.1 controlled corrosive environment; corrosive conditions; determining mass loss; salt spray (fog) exposure

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. CONSTRUCTION OF APPARATUS

X1.1 Cabinets

X1.1.1 Standard salt spray cabinets are available from several suppliers, but certain pertinent accessories are required before they will function according to this practice and provide consistent control for duplication of results.

X1.1.2 The salt spray cabinet consists of the basic chamber, an air-saturator tower, a salt solution reservoir, atomizing nozzles, specimen supports, provisions for heating the chamber, and suitable controls for maintaining the desired temperature.

X1.1.3 Accessories such as a suitable adjustable baffle or central fog tower, automatic level control for the salt reservoir, and automatic level control for the air-saturator tower are pertinent parts of the apparatus.

X1.1.4 The size and shape of the cabinet shall be such that the atomization and quantity of collected solution is within the limits of this practice.

X1.1.5 The chamber shall be made of suitably inert materials such as plastic, glass, or stone, or constructed of metal and lined with impervious plastics, rubber, or epoxy-type materials or equivalent.

X1.1.6 All piping that contacts the salt solution or spray should be of inert materials such as plastic. Vent piping should be of sufficient size so that a minimum of back pressure exists and should be installed so that no solution is trapped. The exposed end of the vent pipe should be shielded from extreme air currents that may cause fluctuation of pressure or vacuum in the cabinet.

X1.2 Temperature Control

X1.2.1 The maintenance of temperature within the salt chamber can be accomplished by several methods. It is generally desirable to control the temperature of the surroundings of the salt spray chamber and to maintain it as

stable as possible. This may be accomplished by placing the apparatus in a constant-temperature room, but may also be achieved by surrounding the basic chamber of a jacket containing water or air at a controlled temperature.

X1.2.2 The use of immersion heaters in an internal salt solution reservoir or of heaters within the chamber is detrimental where heat losses are appreciable, because of solution evaporation and radiant heat on the specimens.

X1.3 Spray Nozzles

X1.3.1 Satisfactory nozzles may be made of hard rubber, plastic, or other inert materials. The most commonly used type is made of plastic. Nozzles calibrated for air consumption and solution-atomized are available. The operating characteristics of a typical nozzle are given in Table X1.1.

X1.3.2 It can readily be seen that air consumption is relatively stable at the pressures normally used, but a marked reduction in solution sprayed occurs if the level of the solution is allowed to drop appreciably during the test. Thus, the level of the solution in the salt reservoir must be maintained automatically to ensure uniform fog delivery during the test.⁸

X1.3.3 If the nozzle selected does not atomize the salt solution into uniform droplets, it will be necessary to direct the spray at a baffle or wall to pick up the larger drops and prevent them from impinging on the test specimens. Pending a complete understanding of air-pressure effects, etc., it is important that the nozzle selected shall produce the desired condition when operated at the air pressure selected. Nozzles are not necessarily located at one end, but may be placed in the center and can also be directed vertically up through a suitable tower.

X1.4 Air for Atomization

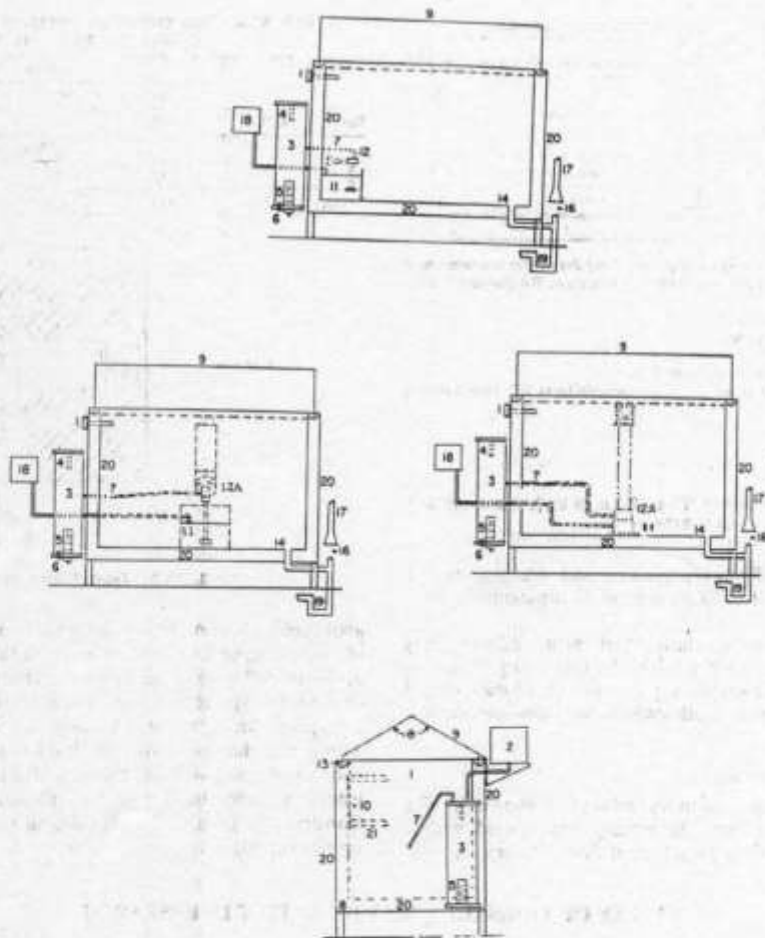
X1.4.1 The air used for atomization must be free of grease, oil, and dirt before use by passing through well-maintained filters. Room air may be compressed, heated, humidified, and washed in a water-sealed rotary pump, if the temperature of the water is suitably controlled. Otherwise cleaned air may be introduced into the bottom of a tower filled with water, through a porous stone or multiple nozzles. The level of the water must be maintained automatically to ensure adequate humidification. A chamber operated in accordance with this method and Appendix X1 will have a relative humidity between 95 and 98 %. Since salt solutions from 2 to 6 % will give the same results (though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %), it is preferable to saturate the air at temperatures well above the chamber temperature as insurance of a wet fog. Table X1.2 shows the

TABLE X1.1 Operating Characteristics of Typical Spray Nozzle

Siphon Height, cm	Air Flow, dm ³ /min				Solution Consumption, cm ³ /h			
	Air Pressure, kPa				Air Pressure, kPa			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26.5	31.5	36	2100	3640	4584	5256
20	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

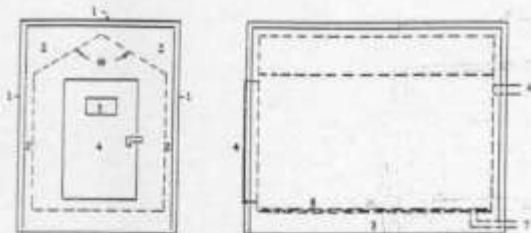
Siphon Height, in.	Air Flow, L/min				Solution Consumption, mL/h			
	Air Pressure, psi				Air Pressure, psi			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3640	4584	5256
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

⁸ A suitable device for maintaining the level of liquid in either the saturator tower or reservoir of test solution may be designed by a local engineering group, or may be purchased from manufacturers of test cabinets as an accessory.



- NOTE 1— θ —Angle of 90 to 125°
- 1—Thermometer and thermostat for controlling heater (Item No. 8) in base
 - 2—Automatic water leveling device
 - 3—Humidifying tower
 - 4—Automatic temperature regulator for controlling heater (Item No. 8)
 - 5—Immersion heater, nonrusting
 - 6—Air inlet, multiple openings
 - 7—Air tube to spray nozzle
 - 8—Heater in base
 - 9—Hinged top, hydraulically operated, or counterbalanced
 - 10—Brackets for rods supporting specimens, or test table
 - 11—Internal reservoir
 - 12—Spray nozzle above reservoir, suitably designed, located, and baffled
 - 12A—Spray nozzle housed in dispersion tower located preferably in center of cabinet (typical examples)
 - 13—Water seal
 - 14—Combination drain and exhaust. Exhaust at opposite side of test space from spray nozzle (Item 12), but preferably in combination with drain, waste trap, and forced draft waste pipe (Items 16, 17, and 19).
 - 15—Complete separation between forced draft waste pipe (Item 17) and combination drain and exhaust (Items 14 and 19) to avoid undesirable suction or back pressure.
 - 16—Forced draft waste pipe
 - 17—Automatic leveling device for reservoir
 - 18—Waste trap
 - 19—Waste trap
 - 20—Air space or water jacket
 - 21—Test table or rack, well below roof area
- Note 2—This figure shows the various components including alternate arrangements of the spray nozzles and solution reservoir.

FIG. X1.1 Typical Salt Spray Cabinet



Notes—The controls are the same, in general as for the smaller laboratory type cabinet (Fig. X1.1), but are sized to care for the larger cube. The chamber has the following features:

- 4—Angle of ceiling, 90 to 125°
- 1—Heavy insulated outer panels
- 2—Air space
- 3—Low-watt density heaters, or steam coils
- 4—Single- or double-, full-opening door (refrigeration type), with inward sloping door sill
- 5—Viewing window/s
- 6—Inner chamber vent
- 7—Inner chamber drain
- 8—Duct boards on floor

FIG. X1.2 Walk-in Chamber, 1.5 by 2.4 m (5 by 8 ft) and Upward in Overall Size

temperatures, at different pressures, that are required to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure.

X1.4.2 Experience has shown that most uniform spray chamber atmospheres are obtained by increasing the atomizing air temperature sufficiently to offset heat losses, except those that can be replaced otherwise at very low-temperature gradients.

X1.5 Types of Construction

X1.5.1 A modern laboratory cabinet is shown in Fig. X1.1. Walk-in chambers are usually constructed with a sloping ceiling. Suitably located and directed spray nozzles

TABLE X1.2 Temperature and Pressure Requirements for Operation of Test at 95°F

Temperature, °C	Air Pressure, kPa			
	83	96	110	124
46	46	47	48	49
Temperature, °F	Air Pressure, psi			
	12	14	16	18
114	117	119	121	

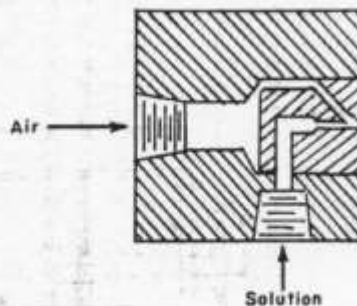


FIG. X1.3 Typical Spray Nozzle

avoid ceiling accumulation and drip. Nozzles may be located at the ceiling, or 0.91 m (3 ft) from the floor directed upward at 30 to 60° over a passageway. The number of nozzles depends on type and capacity and is related to the area of the test space. An 11 to 19 L (3 to 5-gal) reservoir is required within the chamber, with the level controlled. The major features of a walk-in type cabinet, which differs significantly from the laboratory type, are illustrated in Fig. X1.2. Construction of a plastic nozzle, such as is furnished by several suppliers, is shown in Fig. X1.3.

X2. USE OF THE SALT SPRAY (FOG) TEST IN RESEARCH

X2.1 This practice is primarily used for process qualification and quality acceptance. Regarding any new applications it is essential to correlate the results of this practice with actual field exposure results.

X2.2 The salt spray has been used to a considerable extent for the purpose of comparing different materials or finishes. It should be noted there is usually not a direct relation between salt spray (fog) resistance and resistance to corrosion in other media, because the chemistry of the reactions, including the formation of films and their protective value, frequently varies greatly with the precise conditions encountered. Informed personnel are aware of the erratic composition of basic alloys, the possibility of wide variations in quality and thickness of plated items produced on the same racks at the same time, and the consequent need for a

mathematical determination of the number of specimens required to constitute an adequate sample for test purposes. In this connection it is well to point out that Practice B 117 is not applicable to the study or testing of decorative chromium plate (nickel-chromium) on steel or on zinc-base die castings or of cadmium plate on steel. For this purpose Method B 368 and Practice G 85 are available, which are also considered by some to be superior for comparison of chemically treated aluminum (chromated, phosphated, or anodized), although final conclusions regarding the validity of test results related to service experience have not been reached. Practice B 117 and Practice G 85 are considered to be most useful in estimating the relative behavior of closely related materials in marine atmospheres, since it simulates the basic conditions with some acceleration due to either wetness or temperature, or both.

X3. EVALUATION OF CORROSIVE CONDITIONS

X3.1 *General*—This appendix covers test panels and procedures for evaluating the corrosive conditions within a salt spray cabinet. The procedure involves the exposure of steel test panels and the determination of their mass losses in a specified period of time. This may be done monthly or more frequently to ensure consistent operation over time. It is also useful for correlating the corrosive conditions among different cabinets.

X3.2 *Test Panels*—The required test panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.), are made from SAE 1008 commercial-grade cold-rolled carbon steel (UNS G10080).

X3.3 *Preparation of Panels Before Testing*—Clean panels before testing by degreasing only, so that the surfaces are free of dirt, oil, or other foreign matter that could influence the test results. After cleaning, weigh each panel on an analytical balance to the nearest 1.0 mg and record the mass.

X3.4 *Positioning of Test Panels*—Place a minimum of two weighed panels in the cabinet, with the 127-mm (5.0 in.) length supported 30° from vertical. Place the panels in the proximity of the condensate collectors. (See Section 6.)

X3.5 *Duration of Test*—Expose panels to the salt fog for 48 to 168 h.

X3.6 *Cleaning of Test Panels After Exposure*—After removal of the panels from the cabinet, rinse each panel immediately with running tap water to remove salt, and rinse in reagent grade water (see Specification D 1193, Type IV). Chemically clean each panel for 10 min at 20 to 25°C in a fresh solution prepared as follows:

Mix 1000 mL of hydrochloric acid (sp gr 1.19) with 1000 mL reagent grade water (D 1193, Type IV) and add 10 g of hexamethylene tetramine. After cleaning, rinse each panel with reagent grade water (Type IV) and dry (see 13.2).

X3.7 *Determining Mass Loss*—Immediately after drying, determine the mass loss by reweighing and subtracting panel mass after exposure from its original mass.

X3.7.1 Data generated in the interlaboratory study using this method are available from ASTM as a Research Report.⁹

X3.8 *Precision and Bias—Steel Panel Test:*

X3.8.1 An interlaboratory test program using three different sets of UNS G10080 steel panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.) has shown that the repeatability of the mass loss of the steel panels, that is, the consistency in mass loss results that may be expected when replicate panels are run simultaneously in a salt spray cabinet, is dependent upon exposure time and the panel lot or source. The interlaboratory program yielded repeatability standard deviations, S_r , from which 95 % repeatability limits, r , were calculated as follows (see Practice E 691):

$$r = 2.8 S_r$$

The values of S_r and r are reported in Table X3.1. Note that the corrosion rate of steel in this environment is approximately constant over the exposure interval and that the ratio of the standard deviation to the average mass loss, the

TABLE X3.1 Repeatability Statistics

Note—Based on two replicates in every test run. No. = number of different salt spray cabinets in test program; r = 95 % repeatability limits, g; C_v = S_r /avg. coefficient of variation, %; and S_r = repeatability standard deviations, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	S_r , g	C_v , %	r , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0588	7.20	0.1646	12
QP1	96	1.5347	0.1048	7.28	0.2934	12
QP1	168	2.5996	0.2488	9.61	0.6994	12
AP	48	0.7787	0.0403	5.17	0.1128	10
AP	96	1.4094	0.0923	6.55	0.2584	10
AP	168	2.4309	0.1594	6.56	0.4463	10
QP2	48	0.8566	0.0686	8.01	0.1921	5
QP2	96	1.5720	0.0976	6.21	0.2733	5
QP2	168	2.7600	0.2588	9.38	0.7246	5

coefficient of variation, C_v , varies between 5 and 10 % with a weighted average of 7.4 % and an r of ± 21 % of the average mass loss.

X3.8.2 This interlaboratory program also produced results on the reproducibility of results, that is, the consistency of mass loss results in tests in different laboratories or in different cabinets in the same facility. This program yielded reproducibility standard deviations S_R from which 95 % reproducibility limits, R were calculated as follows (See Practice E 691):

$$R = 2.8 S_R$$

The values of S_R and R are reported in Table X3.2. Note that the ratio of standard deviation to the average mass loss, the coefficient of variation, C_v , varies between 8 to 18 % with a weighted average of 12.7 % and an R of ± 36 % of the average mass loss.

X3.8.3 The mass loss of steel in this salt spray practice is dependent upon the area of steel exposed, the temperature, time of exposure, salt solution make up and purity, pH, spray conditions, and the metallurgy of the steel. The procedure in Appendix X3 for measuring the corrosivity of neutral salt spray cabinets with steel panels has no bias because the value of corrosivity of the salt spray is defined only in terms of this practice.

TABLE X3.2 Reproducibility Statistics

Note—No. = number of different salt spray cabinets in test program; R = 95 % reproducibility limits, g; C_v = S_R /avg. coefficient of variation, %; and S_R = reproducibility standard deviation, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	S_R , g	C_v , %	R , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0947	11.58	0.2652	12
QP1	96	1.5347	0.2019	14.02	0.5653	12
QP1	168	2.5996	0.3255	12.52	0.9114	12
AP	48	0.7787	0.0805	10.33	0.2254	10
AP	96	1.4094	0.1626	11.54	0.4553	10
AP	168	2.4309	0.3402	14.00	0.9526	10
QP2	48	0.8566	0.1529	17.86	0.4281	5
QP2	96	1.5720	0.1319	8.39	0.3693	5
QP2	168	2.7600	0.3873	14.03	1.0844	5

⁹ Available from ASTM Headquarters. Request RR No. G1-1003.

Anexos 2: TRADUCCIÓN DE LA NORMA ASTM, DESIGNACIÓN B 117 – 97

Prácticas Estándar Para Operación De La Cámara De Niebla Salina (Fog)1

Esta estándar es emitida bajo la designación fija B 117; el número sigue inmediatamente la designación indicando el año de adaptación original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el último año de re aprobación. Una epsilon suscrita (ϵ) indica el cambio de editorial desde la última revisión o re aprobación. Esta estándar fue aprobada para el uso por agencias del departamento de defensa para reemplazar el método federal 811.1 la prueba de método estándar número 151b. Consultar el DoD index de estándares y especificaciones para el año específico de emisión, eso ha sido adoptado por el departamento de defensa.

- **ALCANCE**

Esta práctica describe la máquina, procedimiento y condiciones requeridas para crear y mantener la prueba de un ambiente de niebla salina (fog). La máquina adecuada que puede ser usada es descrita en el apéndice X1.

Esta práctica no puede prescribir el tipo de muestra de prueba o periodos de exposición a ser usados para un producto específico, ni la interpretación a dar a los resultados.

Los valores fijados en unidades del sistema internacional son para ser considerados como valor estándar. La unidad (libra de pulgada) están provistas para información y tal vez aproximaciones. Esta estándar no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si algunos, asociados con este uso. Es responsabilidad del usuario de la estándar para establecer apropiadamente seguridad y los ensayos, y determinar la aplicabilidad de los límites regulatorios previo al uso.

- DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Estándar ASTM:

B 368 Método de aceleración de cobre, prueba de niebla salina de ácido acético (CASS test)

D 609 Practica para la preparación de paneles de laminado en frio de acero para pruebas de pintura, barniz, conversión de revestimientos y productos de revestimientos relacionados

D 1193 especificaciones para agua reactiva

D 1654 Método de prueba para la evaluación de pinturas o especímenes recubiertos sometidos a ambientes corrosivos

E 70 Método de prueba para pH de soluciones acuosas con electrodo de vidrio

E 691 Práctica para conductores en laboratorios de estudio para determinar la presión del método de prueba

G 85 Prácticas para modificado de la prueba de niebla salina (FOG)

- SIGNIFICADO Y USO

Esta proporciona una práctica controlada de un ambiente salino que ha sido utilizada para producir una información relativa de resistencia a la corrosión para probetas de metales y metales recubrimientos expuestos en una prueba dentro de la cámara.

Rendimiento de predicción en un ambiente natural rara vez ha sido correlacionado con los resultados de la niebla salina cuando son usado como información independiente.

Correlación y extrapolación del rendimiento de la corrosión basada en exposición para la prueba en el ambiente provisto por esta práctica no son siempre predecibles.

Correlación y extrapolación deberán ser consideradas solamente en casos donde la corroboración apropiada tiempo – temperatura de exposición atmosférica ha sido conducida.

La reproductibilidad de los resultados en la exposición de la niebla salina depende en gran medida de las muestras analizadas y de los criterios de evaluación seleccionados, tanto como el control de las variables de operación. En algunos programas de prueba, suficientes replicas deberán ser incluidas para establecer la variabilidad de los resultados. La variabilidad ha sido observada cuando muestras similares son probadas en diferentes cámaras de niebla, aunque las condiciones de prueba son normalmente similares y dentro de los rangos especificados en esta práctica.

- MÁQUINA

La máquina requerida para la exposición de niebla salina (fog) consiste en una cámara de niebla, un reservorio de solución salina, un suministro de aire comprimido acondicionado adecuadamente, uno o más atomizadores, soporte de muestra, provisión para calentar la cámara, y necesariamente controles de mando. El tamaño y detalle de construcción de la máquina son opcionales, siempre que las condiciones obtenidas cumplan nominalmente los requisitos de esta práctica.

Gotas de solución que se acumulen sobre el techo o cobertura de la cámara no deberán caer sobre las muestras expuestas.

Gotas de solución que caigan de las muestras se devolverán al depósito de solución para volver a pulverizar.

El material para la construcción será tal que no se verá afectado por la corrosión generada por la niebla.

Toda el agua usada para esta práctica se capitulará al agua tipo V en la especificación D 1193 (excepto que para esta práctica los límites de cloruro y sodio pueden ser ignorados). Esto no aplica agua corriendo de un grifo. Todo el resto de agua se denominará de grado reactivo.

- MUESTRAS DE PRUEBAS

El tipo y número de muestras de prueba serán usadas, tanto como el criterio para la evaluación de los resultados de la prueba se definirá en las especificaciones que cubre el material o producto que se expone o se acordara mutuamente entre el vendedor y comprador.

- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRA DE PRUEBA

Las muestras deberán estar adecuadamente limpias, el método de limpieza será opcional dependiendo de la naturaleza de la superficie y los contaminantes. Se debe tener cuidado que las muestra no se vuelvan a contaminar después de la limpieza, por manipulación excesiva o descuidada.

Las muestras para evaluación de pinturas y otros revestimientos orgánicos deberán prepararse en relación con aplicación de la especificación (s) para el material (s) siendo expuesto, o según lo acordado entre el proveedor y comprador. De otra manera la muestra de prueba consistirá de acero que cumpla con los requerimientos de la practica D 609 y deberán ser limpiados y preparados en relación con los procedimientos aplicables de la practica D 609.

Las muestras revestidas con pinturas o revestimientos no metálicos no deberán ser limpiado o excesivamente manipulado previo a la prueba.

Siempre que desee determinar el desarrollo de la corrosión de un área desgastada en la pintura o revestimiento orgánico, una línea trazada o rayada se debe hacer a través del revestimiento con un instrumento afilado para marcar el metal antes de la prueba. Las condiciones de realización de la marca deberán ser definidas en el método de prueba D 1654, a menos que se acuerde lo contrario entre vendedor y comprador.

A menos que se especifique lo contrario, los bordes cortados de plateada, revestimientos, o materiales dúplex y marcas de identificación de áreas contaminadas o en contacto con las rejillas o soportes deberán estar protegidos con un revestimiento adecuado con las condiciones de la práctica.

Nota 1 – Si fuera deseable cortar la muestra de ensayo de piezas o de una hoja de acero revestida, pintada o revestida de otro modo, los bordes cortados deben protegerse recubriéndolos con pintura, cera, cinta u otro medio eficaz para que se desarrolle un efecto galvánico. Entre dichos bordes y las superficies metálicas adyacentes chapadas o revestidas de otro modo, se evita.

- POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DURANTE LA EXPOSICIÓN

La posición de las muestras en la cámara de niebla salina durante la prueba será tal que debe cumplir las siguientes condiciones:

A menos que no se especifique lo contrario. Las muestras serán soportadas o suspendidas entre los 15° y 30° desde la vertical y de preferencia en paralelo a la dirección principal del flujo de la niebla a través de la cámara basado en la superficie que se está probando.

Las muestras no deben estar en contacto entre sí, ni con ninguno material metálico, ni con ningún metal capaz de actuar como contaminante.

Cada muestra se colocará de manera que permita la libre circulación de la niebla en todas las muestras.

La solución salina de una muestra no debe gotear sobre ninguna otra muestra.

Nota 2 – Los materiales adecuados para la construcción o revestimiento de estanterías y soportes son de vidrio, caucho, plástico o madera revestida adecuada. No se utilizará metal desnudo, preferiblemente, las muestras se apoyarán desde la parte inferior o lateral. Las tiras de madera ranuradas son adecuadas para el soporte de paneles planos. La suspensión de ganchos de vidrio o hilo encerado se puede utilizar siempre que se obtenga la posición especificada de las muestras, si es necesario por medio de un soporte secundario en la parte inferior de las muestras.

- SOLUCIÓN SALINA

La solución salina será preparada por disolvente 5 ± 1 partes por masa de cloruro de sodio, en 95 partes de agua, conforme a la especificación D 1193 de agua TIPO IV (excepto que para esta práctica los límites de cloruro y sodio pueden ser ignorados). La sal utilizada será cloruro de sodio sustancialmente libre de níquel, cobre, y contaminantes, en base seca no más del 0.1 % de yoduro de sodio y no más del 0,3 % del total de impurezas. Algunas sales contienen aditivos que pueden actuar como inhibidores de la corrosión; Se debe prestar especial atención entre el comprador y el vendedor. Es posible que se requiera un análisis y se establezcan límites para elementos o compuestos no especificados en la composición química indicada anteriormente.

El pH de la solución salina deberá ser tal que cuando se atomice a 35°C (95°F) la solución recolectada estará en un rango de pH entre 6.5 a 7.2 (nota 3). Antes de atomizar la solución

salina estará libre de sólidos en suspensión (nota 4). La medición del pH debe realizarse a 25 ° C (77 ° F) utilizando un electrodo sensor de pH de vidrio, un electrodo de referencia y un sistema medidor de pH de acuerdo con el método de prueba E 70.

Nota 3 – La Temperatura afecta el pH de una solución de sal preparada con agua saturada con dióxido de carbono en la temperatura del cuarto y el ajuste de pH puede ser hecho por los tres métodos siguientes:

(1) Cuando el pH, de una solución de sal es ajustado a la temperatura del cuarto, y atomizado a 35°C (95°F), el pH de la solución colectada será más alto que la solución original debido a la pérdida de dióxido de carbono en la temperatura más alta. Cuando el pH de la solución de Sal es ajustado a la temperatura del cuarto, es por lo tanto necesario ajustarlo abajo de 6.5 para que la solución colectada después de ser atomizar a 35°C (95°F) se encuentre en los límites de pH de 6.5 a 7.2. Tome sobre una muestra de 50 mL de la solución de sal preparada a temperatura del cuarto y hierva gentilmente por 30 s, enfríese, y determine el pH. Cuando el pH de la solución de sal es ajustado a 6.5 a 7.2 por este procedimiento, el pH de la solución atomizada y colectada a 35°C (95°F) vendrá dentro de este rango.

(2) La calefacción de la solución de sal con ebullición y refrigeración a 35°C (95°F) y el mantenimiento de ella a 35°C (95°F) por aproximadamente 48 h antes de ajustar el pH produce una solución en la que el pH no se cambia considerablemente cuando es atomizado a 35°C (95°F).

(3) La calefacción del agua de la cual la solución de sal es preparada a 35°C (95°F) o superior, expulsa el dióxido de carbono, y ajustando el pH de la solución de sal dentro de los límites

de 6.5 a 7.2 produce una solución con el pH que no se cambia considerablemente cuando es atomizada a 35°C (95°F).

Nota 4 – La solución de sal recién preparada puede ser filtrada o decantada antes de que sea colocada en el embalse, o el final del tubo que conduce la solución al atomizador puede ser cubierto de una doble capa de la estopilla para prevenir el taponamiento del inyector.

Nota 5 – El pH puede ser ajustado por adiciones de las soluciones de hidróxido de sodio o ácido hidroclórico del grado del reactivo ACS diluido.

- **SUMINISTRO DE AIRE**

El suministro de aire comprimido para el aspersor o aspersores de atomización de la solución salina deberá estar libre de aceite y suciedad (Nota 6) y mantener entre 69 y 172 KPa/m² (10 y 25 psi).

Nota 6 – El abastecimiento de aire puede ser liberado del aceite y de la suciedad pasándolo por un depurador de agua, o al menos 610 mm (2 pies) de material de limpieza conveniente como lana de ovejas, Excélsior, lana de escoria, o alúmina activada. Los filtros de cartucho comerciales que incluyen un indicador de expiración también pueden ser usados.

- **CONDICIONES DENTRO DE LA CÁMARA DE SOLUCION SALINA**

Temperatura: La zona de exposición de la cámara de solución salina será mantenida a 35 + 1.1 – 1.7°C (95 + 2 – 3°F). La temperatura dentro de la zona de exposición en la cabina cerrada será registrada al menos dos veces al día, al menos con 7 horas de diferencia (excepto los sábados, domingos y feriados cuando la prueba de niebla salina no es interrumpida por

exposición, reorganizado o removido de muestras de prueba o para comprobar y reponer la solución en el reservorio).

Nota 7 – un método conveniente de registrar la temperatura es con un dispositivo de registro continuo o con un termómetro que pueda ser leído desde fuera del gabinete cerrado. La temperatura registrada debe ser obtenida con la cámara de spray de sal cerrada para evitar una lectura baja falsa debido al efecto de bulbo mojado cuando la cámara está abierta.

Cantidad y atomización de la niebla: Al menos dos colectores de niebla limpios serán colocados dentro de la zona de exposición de forma que ninguna gota de la solución de las muestras de prueba o cualquier otra fuente sean colectados. Los aspersores serán colocados en la proximidad de las muestras de prueba, uno cercano a cualquier aspersor y otro más apartado de los aspersores. La niebla debe ser tal que para cada 80 cm^2 (12.4 inch^2) de área de recolección horizontal será colectado en cada uno de 1.0 a 2.0 mL de la solución por hora basada en un promedio dirigido de al menos 16 h (Nota 8). La concentración de cloruro de sodio de la solución colectada será 5 ± 1 % de masa (Nota 9). El pH de la solución colectada será 6.5 a 7.2. La medida de pH será hecha como está descrito en la sección 8.2 (Nota 3).

Nota 8 – Los dispositivos de recolección convenientes son embudos de cristal o plásticos con los tallos tapados (cilindros, o platos cristalinos. Embudos y platos con un diámetro de 10 cm. (3.94 inch) y que tengan un área alrededor de 80 cm^2 (12.4 en 2).

Nota 9 – una solución que tiene una gravedad específica de 1.0255 a 1.0400 a 25°C (77°F) encontrará la exigencia de concentración. La concentración de cloruro de sodio también puede ser determinada usando un medidor de salinidad conveniente (por ejemplo, utilizando un electrodo de cristal selectivo de iones de sodio) o calorimétricamente como sigue, 5

militros diluidos de solución colectada con 100 mililitros de agua destilada y mezclar completamente; pipeta 10 mL parte alícuota en un plato que se evapora o cazuela; añada 40 mL de agua destilada y 1 mL de 1 % de solución de cromato de potasio (sin cloruro) y titrate con 0.1 N solución de nitrato de plata con el primer aspecto de una coloración roja permanente. Una solución que requiere entre 3.4 y 5.1 mL de 0.1 N solución de nitrato de plata encontrará las exigencias de concentración.

El aspersor o aspersores serán tan dirigidos o dispersados de forma que ninguna partícula pulverizada impregne directamente a las muestras de prueba.

- CONTINUIDAD DE EXPOSICIÓN

A menos que por otra parte se especifique otra cosa en las especificaciones que cubren el material o producto probado, la prueba será continua para la duración del período de prueba entero. La operación continua implica que la cámara está cerrada y el spray funcione continuamente, excepto las interrupciones diarias (cortas) necesarias para inspeccionar, reajustar, o quitar muestras de prueba, comprobar y rellenar la solución en el embalse, y hacer los registros necesarios como lo descrito en la Sección 10. Las operaciones serán programadas de forma que estas interrupciones tengan una duración mínima.

PERIODO DE EXPOSICIÓN

El material o producto que cubre el material o producto dentro del periodo de exposición será designado aprobado en las especificaciones o como mutuamente se haya convenido entre el vendedor y comprador.

Nota 10 – Los períodos de exposición recomendados deben ser según lo convenido entre el comprador y el vendedor, pero son sugeridos los períodos de exposición múltiplos de 24 h.

- LIMPIEZA DE MUESTRAS DE PRUEBA

A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones que cubren el material o producto probado, las muestras serán tratadas como sigue al final de la prueba:

Las muestras deben ser cuidadosamente removidas.

Las muestras pueden ser suavemente lavadas o bañadas en agua corriente limpia no más caliente que 38°C (100°F) para quitar los residuos de sal de la superficie, y luego inmediatamente debe ser secado.

- EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Un examen cuidadoso e inmediato será hecho como sea requerido por las especificaciones que cubren el material o producto probado o por el acuerdo entre vendedor y comprador.

- ARCHIVOS E INFORMES

La siguiente información será registrada a menos que por otra parte no prescribió en las especificaciones que cubren el material o producto probado:

Tipo de la sal y agua usada en la preparación de la solución de sal,

Todas las lecturas de temperatura dentro de la zona de exposición de la cámara,

Diariamente archivos de datos obtenidos de cada dispositivo colector de niebla incluyendo lo siguiente:

El volumen de la solución de sal se recolectada en mililitros por hora por 80 cm² (12.4 in²),

Concentración o gravedad específica a 35 ° C (95°F) de la solución colectada,

pH de solución colectada.

Tipo de espécimen y sus dimensiones, o número o descripción de parte,

Método de limpieza de las pruebas antes y después de las pruebas,

El método de apoyo o suspensión del artículo en la cámara del spray de sal,

Descripción de la protección usada como lo requerido en 6.5.

Período de exposición,

Interrupciones en la exposición, causa, y duración, y

Resultados de todas las inspecciones.

Nota 11 – Si alguna de la solución salina atomizada que no ha entrado en contacto con las muestras de prueba se devuelve al depósito, es aconsejable registrar la concentración o gravedad específica de esta solución también.

- PALABRAS CLAVE

Ambiente corrosivo controlado, condiciones de corrosión, determinación de la pérdida de masa, exposición de niebla salina (fog).

B 117 - APÉNDICES (Información No obligatoria)

CONSTRUCCIÓN DEL APARATO

Gabinetes

Los gabinetes estándares de niebla salina están disponibles de varios proveedores, pero ciertos accesorios pertinentes son antes de ellos funcionen según esta práctica y proporcionarán un control consistente para la duplicación de resultados.

El gabinete de niebla salina consiste en la cámara básica, una torre de saturación de aire, un embalse de solución de sal, boquillas de atomización, apoyos de espécimen, provisiones para calentar la cámara, y mandos convenientes para mantener la temperatura deseada.

Accesorios como un difusor convenientemente ajustable o torre central de niebla, control de nivel automático para el embalse de sal, y control de nivel automático para la torre de saturación de aire son partes pertinentes del aparato.

El tamaño y la forma del gabinete serán tal que la atomización y la cantidad de la solución colectada estén dentro de los límites de esta práctica.

La cámara será hecha de materiales inertes apropiados como plástico, cristal, o piedra, o construida del metal y cubierta con plásticos impermeables, caucho, o materiales de tipo epoxi o equivalente.

Toda la tubería que se pone en contacto con la solución de sal o el spray debería ser de materiales inertes como el plástico. La tubería de alimentación de aire debería ser del tamaño suficiente de modo que exista un mínimo de presión de retorno y debería ser instalado de modo que nada de solución sea atrapada. El final expuesto del tubo de alimentación de aire debería ser protegido de corrientes extremas de aire que pueden causar la fluctuación de la presión o vacío en el gabinete.

Control de Temperaturas

El sostenimiento de la temperatura dentro de la cámara de niebla salina puede ser llevado a cabo por varios métodos. Es generalmente deseable controlar la temperatura de los alrededores de la cámara de spray de sal y mantenerla tan estable como sea posible. Esto puede ser llevado a cabo colocando el aparato en un cuarto a temperaturas constante, pero

también puede ser conseguido rodeando la cámara básica de una chaqueta que contenga agua, o aire a una temperatura controlada.

El uso de calentadores de inmersión en un embalse de solución de sal interno o de calentadores dentro de la cámara es perjudicial donde las pérdidas de calor son apreciables, debido a la evaporación de solución y el calor radiante en las muestras.

Pulverizadores

inyectores Satisfactorios pueden estar hechos de ebonita, plástico, u otros materiales inertes. El tipo más usado comúnmente es el hecho de plástico. Los inyectores calibrados para el consumo de aire y solución atomizada están disponibles. Las características de operaciones de un inyector típico son dadas en la Tabla X

Se puede ver fácilmente que el consumo de aire es relativamente estable en las presiones normalmente usadas, pero una reducción marcada de la solución rociada ocurre si se permite que el nivel de la solución se caiga sensiblemente durante la prueba. Así, el nivel de la solución en el embalse de sal debe ser mantenido automáticamente para asegurar la entrega de niebla uniforme durante la prueba. 8 será necesario dirigir, ionado no atomiza la solución de sal en gotitas uniformes, si el inyector selecc

El spray a un difusor o pared para recoger las gotas más grandes e impedirles afectar a los especímenes de es importante que el, etc ,esión de aire pendiente un entendimiento completo de los efectos de la prueba inyector seleccionado produzca la condición deseada cuando se hace funcionar a la presión de aire seleccionada. Los inyectores no necesariamente son localizados en un extremo, pero pueden ser colocados en el centro y también pueden ser dirigidos verticalmente por una torre adecuada.

Aire para Atomización

El aire usado para la atomización debe ser sin grasa, aceite y suciedad antes del uso, pasándolo por filtros bien mantenidos. El aire de la cámara puede ser comprimido, calentado, humedecido, y lavado en una bomba rotatoria sellada por agua, si la temperatura del agua está controlada apropiadamente, sino el aire limpiado puede ser introducido en el fondo de una torre llena de agua, a través de múltiples inyectores o piedra porosa. El nivel del agua debe ser mantenido automáticamente para asegurar humidificación adecuada. Una cámara hecha funcionar de acuerdo con este método y Apéndice X.1 tendrá una humedad relativa entre 95 y el 98 %. Ya que las soluciones de sal del 2 a 6 % darán los mismos resultados (aunque para la uniformidad los límites sean puestos en el 4 a 6 %), es preferible saturar el aire a temperaturas bien arriba a la temperatura de la cámara para asegurar una niebla mojada. La Tabla X 1.2 muestra las temperaturas a presiones diferentes, que son requeridas para compensar el efecto enfriador de la expansión a la presión atmosférica. Un dispositivo conveniente para mantener el nivel de líquido en la torre saturadora o en el embalse de la solución de prueba puede ser diseñado por un grupo de ingeniería local, o puede ser comprado de fabricantes de gabinetes de prueba como un accesorio.

La experiencia ha mostrado que la mayor parte de atmósferas uniformes de cámaras de spray son obtenidas aumentando la temperatura del aire que atomiza suficientemente para compensar pérdidas de calor, excepto aquellos que pueden ser sustituidos si no a muy bajos gradientes de temperaturas.

USO DE LA NIEBLA SALINA (FOG) PRUEBA EN INVESTIGACIÓN

Esta práctica es usada principalmente para calificación de proceso y aceptación de calidad. En cuanto a cualquier nueva aplicación es esencial correlacionar los resultados de esta práctica con resultados de exposición de campo actuales.

La niebla salina ha sido extensamente usada para la comparación de materiales diferentes o afines. Debería ser notado que no hay por lo general una relación directa entre la resistencia de la niebla salina (fog) de sal y la resistencia a la corrosión en otros medios, porque la química de las reacciones, incluso la formación de películas y su valor protector, con frecuencia varía enormemente con las condiciones precisas encontradas. El personal informado es consciente de la composición errática de aleaciones básicas, la posibilidad de amplias variaciones en calidad y grosor de artículos plateados producidos en los mismos estantes al mismo tiempo y la necesidad consiguiente de una determinación matemática del número de muestras requeridos para constituir una muestra adecuada para objetivos de prueba. En esta unión debe indicar bien que la Práctica B 117 no es aplicable al estudio o pruebas placa de cromo decorativo (cromoníquel) en el acero o en la base de zinc mueren bastidores o del plato de cadmio en el acero. Para este método de objetivo B 368 y Práctica G 85 está disponible, que también son pensados por unos ser superiores para la comparación de aluminio por medios químicos tratado (chromated, phosphated, o anodizados), aunque la conclusión final en cuanto a la validez de resultados de prueba relacionados para atender experiencia no haya sido alcanzada. Práctica B-117 y Práctica se piensa que G85 es más útil en la estimación del comportamiento relativo de materiales estrechamente relacionados en atmósferas marítimas, ya que esto simula las condiciones básicas con un poco de aceleración debido a humedad o debido a temperatura, o ambos.

EVALUACIÓN DE CONDICIONES CORROSIVAS

General

Este apéndice cubre paneles de prueba y procedimientos para evaluar las condiciones corrosivas dentro de una cámara de niebla salina. El procedimiento implica la exposición de muestras de prueba de acero y la determinación de sus pérdidas de masas en un período especificado del tiempo. Este puede ser hecho mensualmente o más frecuentemente para asegurar la operación consecuente con el tiempo. Es también útil para correlacionar las condiciones corrosivas entre gabinetes diferentes.

Paneles de Prueba

Las muestras de prueba requeridos, 76 por 127 en 0.8 mm (3.0 por 5.0 por .0315 in.), son hechos de SAE 1008 grado comercial el acero al carbón cold rolled (UNS G10080).

La preparación de Paneles Antes de Probar

Muestras limpias antes de la prueba por solo desengrasado, de modo que las superficies estén libres de suciedad, aceite, u otra materia extraña que podría influir en los resultados de prueba. Después de la limpieza, pese cada panel en un equilibrio analítico a 1.0 mg. más cercanos y registre la masa.

La colocación de Paneles de Prueba

Coloca mínimo dos muestras pesados en el gabinete, con 127 mm (5.0 inch) de longitud soportada 30° desde la vertical. Coloque los paneles en la proximidad de los colectores de condensado. (Ver la Sección 6.)

La duración de la Prueba

Exponer paneles a la niebla de sal de 48 a 168 h.

La limpieza de Paneles de Prueba Después de la Exposición

Después del retiro de los paneles del gabinete, enjuague cada panel inmediatamente con el agua del grifo para remover la sal, y enjuague en el agua de grado de reactivo (ver la Especificación D 1193, Teclee IV). Por medios químicos limpie cada panel durante 10 minutos a una temperatura entre 20 a 25 ° C en una solución fresca preparada como sigue:

Mezcle 1000 mL de ácido hidroclicóric (sp gr 1.19) con 1000 mL de agua de grado de reactivo (D 1193, tipo IV) y añada 10 g de hexamethylene tetramine. Después de la limpieza, enjuague cada panel con el agua de grado de reactivo (Tipo IV) y seque (ver 13.2).

Determinación de Pérdida de masas

Inmediatamente después de secar, determine la pérdida de masas pesando de nuevo y restando la masa de panel después de la exposición de su masa original. Los datos generados en el estudio ínter laboratorio usando este método están disponibles desde la ASTM como un Informe de Investigación. 9

Precisión y Prueba de Panel de Acero de tendencia

Un programa de prueba ínter laboratorio usando tres juegos diferentes de muestras de acero UNS G10080, 76 por 127 por 0.8 mm (3.0 por 5.0 por .0315 inch) ha mostrado que la repetitividad de la pérdida de masas de las muestras de acero, es decir la consecuencia en resultados de pérdida de masas que pueden ser esperados cuando réplicas de paneles son corridas simultáneamente en una cámara de niebla salina, es dependiente del tiempo que dure la exposición y el lote de panel o la fuente. El programa ínter laboratorio cedió desviaciones estándares de repetitividad, S_r de que el 95 % de los límites de repetitividad, r , fue calculado como sigue (ver la Práctica E 691): $r = 2.8 S_r$

Los valores de S_r y r son relatados en la Tabla X3.1. Note que la tasa de corrosión de acero en este ambiente es aproximadamente constante sobre el intervalo de exposición y que la proporción de la desviación estándar a la pérdida de masas media, el coeficiente de variación, C_v , varía entre 5 y el 10 % con un promedio ponderado del 7.4 % y un r del ± 21 % de la pérdida de masas media.

Este programa ínter laboratorio también produjo deducciones en la reproducibilidad de resultados, es decir la consecuencia de la pérdida de masas causa pruebas en laboratorios diferentes o en gabinetes diferentes en la misma instalación. Este programa cedió desviaciones estándar de reproducibilidad S_r del cual la reproducibilidad del 95 % limita, los R fueron calculados como sigue (Ver la Práctica E 691): $R = 2.8 S_r$

Los valores de S_r y R son relatados en la sección X3.2. Note que la proporción de la desviación estándar a la pérdida de masas media, el coeficiente de variación, varía entre el 8 a 18 % con un promedio ponderado del 12.7 % y un R del ± 36 % de la pérdida de masas media.

La pérdida de masas de acero en esta práctica de spray de sal es el dependiente sobre el área de acero expuesto, la temperatura, el tiempo de la exposición, solución de sal arreglan y pureza, pH, rocían condiciones, y la metalurgia del acero. El procedimiento en el Apéndice X3 para medir la corrosividad de gabinetes de spray de sal neutros con paneles de acero no tiene ninguna tendencia porque el valor de corrosividad de la mezcla salina es definido sólo en términos de esta práctica.

Anexos 3: Valorización detallada de costo de la cámara de niebla salina por sistemas

Presupuesto de elementos eléctricos

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	COSTO	PROVEEDOR
1	PROTECCIÓN PRINCIPAL	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 25 A para montaje en riel omega	1	S/. 25,00	S/. 25,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431600
2	PROTECCIÓN DEL COMPRESOR	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 16 A para montaje en riel omega	1	S/. 25,00	S/. 25,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431600
3	PROTECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CALEFACTORES	Interruptor mono polar electro o termo magnético de 10 A para montaje en riel omega	1	S/. 25,00	S/. 25,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431602
4	PROTECCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL	Porta fusible de montaje en riel omega con fusible de vidrio de 3 A	1	S/. 10,00	S/. 10,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431603

5	RIEL OMEGA	Riel por 2 metros	3	S/. 20,00	S/. 60,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431604
6	COFRE PARA EL TABLERO PRINCIPAL	Plástico 30x 20 x10	1	S/. 25,00	S/. 25,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431605
7	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	Autonics de 48 X 48 mm	1	S/. 150,00	S/. 150,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431607
8	MUEBLE AUTO SOPORTADO EN MADERA Y METAL		1	S/. 100,00	S/. 100,00	ALMACENES ÉXITO
9	CONTROLADOR DE TIEMPO	Electrónico, de 48 X 48 mm, 0- 999 horas	1	S/. 180,00	S/. 180,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
10	TERMO CUPLA TIPO J	4 Pulgadas	1	S/. 200,00	S/. 200,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
11	SONDA DE TEMPERATURA Y CALEFACTOR AUXILIAR	Tipo Bulbo de inmersión completa para 40 C	1	S/. 30,00	S/. 30,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
12	SENSORES DE NIVEL DE SOLUCIÓN	Tipo Reed-switch	4	S/. 16,00	S/. 64,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608

13	CALEFACTOR PRINCIPAL	Bombillos alógenos de 50 w cada uno a 120 V	7	S/. 42,00	S/. 294,00	INDUSTRIALES Av. Caracas N° 64 - 28 tel 4826263
14	RELEVOS DE MANDO	Relevo auxiliar de 4 contactos 14 pines con bobina a 120 VAC	4	S/. 44,00	S/. 176,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
15	BASE PARA RELEVO	4 Contactos 14 pines	4	S/. 12,00	S/. 48,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
16	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto verde 120 V a.c. 16 mm	1	S/. 8,00	S/. 8,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
17	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto amarillo de 120 V a.c. 16 mm	1	S/. 8,00	S/. 8,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
18	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto rojo a 120 V a.c. 16mm	1	S/. 8,00	S/. 8,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
19	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto blanco a 120 V a.c. 16mm	1	S/. 8,00	S/. 8,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608

20	SEÑALIZACIÓN LUMINOSA	Piloto Azul a 120 V a.c. 16mm	2	S/. 16,00	S/. 32,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel 2431608
21	PARADA DE EMERGENCIA	Hongo de seguridad Con contacto cerrado	1	S/. 30,00	S/. 30,00	INDUSTRIAL DE CONTACTORES Y CABLES LTDA CARRERA 12 N° 15 - 64 TEL: 282 62 82
22	BORNERA	En baquelita por 6 puestos cable AWG 16	2	S/. 10,00	S/. 20,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
23	CABLE ENCAUCHETADO	Cable rencauchutado 3 X 14 awg certificado	2	S/. 8,00	S/. 16,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
24	CABLE N° 16	Cable automotriz N° 16 m	10	S/. 6,00	S/. 60,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
25	CAJAS AUXILIARES	Plástico de 10 x 10 x 4 cm	2	S/. 10,00	S/. 20,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
26	PULSADOR NORMALMENTE CERRADO	Pulsador rojo de 22 mm	1	S/. 20,00	S/. 20,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
27	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO	Pulsador verde de 22 mm	1	S/. 20,00	S/. 20,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
28	TOMA DOBLE	Monofásica con polo a tierra	1	S/. 5,00	S/. 5,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
Total costos:					1.667,00 PEN	

Presupuesto de elementos neumáticos

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	COSTO	PROVEDOR
1	COMPRESOR	De pistón con motor de 1/5 HP, presión de 116 PSI, libre de aceite,	1	S/. 500,00	S/. 500,00	HOME CENTER
2	UNIDAD DE MANTENIMIENTO	Solamente con filtro y regulador de presión	1	S/. 175,00	S/. 175,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
3	UNIÓN PASAMUROS	Para aire De 4 mm	1	S/. 7,00	S/. 7,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
4	REDUCCION PARA MANGUERA DE AIRE	De 6 a 4 mm	1	S/. 5,00	S/. 5,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
5	BOQUILLA ATOMIZADORA	Fabricada en plástico KYNAR, PVDF (polivinildeno fluoruro)	1	S/. 100,00	S/. 100,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
6	REDUCCION PARA MANGUERA DE AIRE	De 10 a 8 mm	1	S/. 5,00	S/. 5,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
7	UNIÓN PASAMUROS	Para aire de 6mm	2	S/. 14,00	S/. 28,00	E.M.C Calle 15 N° 25 -59 Tel 2012692
8	UNIÓN TEE PARA AIRE	de 6 mm	4	S/. 6,00	S/. 24,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340

9	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 6 mm	2	S/. 8,00	S/. 16,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
10	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 8 mm	2	S/. 8,00	S/. 16,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
11	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 10 mm	2	S/. 9,00	S/. 18,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
12	MANGUERA PARA AIRE	Fabricada en poliuretano de 4 mm	1	S/. 3,00	S/. 3,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
13	RACOR RECTO	Para aire de 6 mm	6	S/. 8,00	S/. 48,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
14	RACOR RECTO	Para aire de 8 mm	2	S/. 8,00	S/. 16,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
15	RACOR RECTO	Para aire de 10 mm	2	S/. 8,00	S/. 16,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
16	RACOR RECTO	Para aire de 4 mm	2	S/. 8,00	S/. 16,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
17	ACOPLE RAPIDO	Metálico para manguera de 10 mm	1	S/. 15,00	S/. 15,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
18	ACOPLE RAPIDO		1	S/. 15,00	S/. 15,00	CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
Total costos tabla 3					1.023,00 PEN	

Presupuesto de Elementos Hidráulicos

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	COSTO	PROVEDOR
1	TANQUE PRINCIPAL DE SOLUCION	En plástico de 5 galones	1	S/. 10,00	S/. 10,00	HOME CENTER
2	TANQUE PRINCIPAL DE AGUA	En plástico de 5 galones	1	S/. 10,00	S/. 10,00	HOME CENTER
3	VALVULAS DE BOLA	En pvc de ½	6	S/. 30,00	S/. 180,00	HOME CENTER
4	ACOPLE FLEXIBLE SANITARIO	En plástico Blanco	4	S/. 16,00	S/. 64,00	HOME CENTER
5	TEE	En polipropileno de 1/2	4	S/. 2,00	S/. 8,00	HOME CENTER
6	UNION HEMBRA	En polipropileno de 1/2	5	S/. 15,00	S/. 75,00	HOME CENTER
7	CODO MACHO HEMBRA	En polipropileno de 1/2	6	S/. 18,00	S/. 108,00	HOME CENTER
8	TANQUE HUMEDIFICADOR	En acero inoxidable	1	S/. 300,00	S/. 300,00	TALLER DE SOLDADURA
9	TAPON MACHO	En polipropileno de 1/2	4	S/. 4,00	S/. 16,00	HOME CENTER
10	SEMI CODO	En polipropileno de 1/2	2	S/. 6,00	S/. 12,00	HOME CENTER
11	TUBO EN ACRILICO	De 1/2 Por 20 cm	2	S/. 20,00	S/. 40,00	HOME CENTER
12	ELECTRO VALVULAS	A 120 Voltios Tipo lavadora	2	S/. 40,00	S/. 80,00	ELECTRO INDUSTRIAL A.B.C. cra 12 N° 16 - 66 tel. 2431608
13	MINI VALVULAS	De 90 grados en plástico blanco	4	S/. 12,00	S/. 48,00	HOME CENTER
14	MANGUERA PLASTICA	Transparente de 5 mm	4	S/. 4,00	S/. 16,00	HOME CENTER
15	UNIONES MACHO	En polipropileno de 1/2	8	S/. 8,00	S/. 64,00	HOME CENTER
Total costos tabla 4:					1.031,00 PEN	

Presupuesto de Elementos Varios

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	COSTO	PROVEDOR
1	CAUCHOS VARIOS	Diferentes tamaños y formas	30	S/. 15,00	S/. 450,00	WP MANGUERAS Y CORREAS calle 15 N° 25- 63 tel. 5607340
2	ACRILICOS	Avisos tablero eléctrico	10	S/. 25,00	S/. 250,00	ACRÍLICOS DE LA 18 Calle 18 # 12-96
3	TORNILLOS	Diferentes medidas	30	S/. 9,00	S/. 270,00	HOME CENTER
4	ACOPLES HEMBRA PARA MANGUERA	Plástico color negro	2	S/. 6,00	S/. 12,00	HOME CENTER
5	AMARRES PLÁSTICOS	Bolsa por 100 unidades	1	S/. 100,00	S/. 100,00	HOME CENTER
6	MANGUERAS PLÁSTICAS Y ACCESORIOS	Manguera de 5mm por 2 m	2	S/. 225,00	S/. 450,00	HOME CENTER
Total costos: \$					1.532,00 PEN	