

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“CARACTERIZACIÓN DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO
PARA EL CUMPLIMIENTO DE NORMAS DE DISEÑO Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REFRIGERADORES DOMÉSTICOS
(NTP ISO 7371 2002 Y NTP 399.483 2007)”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTO

PRESENTADO POR:

FINDLEY ALFONSO ARCE RODRIGUEZ

LIMA – PERÚ

2014

A mis padres Alfonso y Zarith por darme los bienes más
preciados, la vida y la educación.

A mi hermana Lily a mis hermanos Pepe y Kevi, por los
días vividos juntos, por los proyectos realizados y por los
que vendrán , los que serán aún mas grandes.

A ti Diana por el inicio de un largo camino juntos.

INDICE

RESUMEN	1
I.INTRODUCCION	2
II.DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TECNICAS	3
2.1 Refrigerador Doméstico	5
2.2 Compartimientos y secciones en refrigeradores domésticos	5
2.3 Temperatura de almacenamiento	7
2.4 Clasificación de Refrigeradores Domésticos	9
2.5 Poliuretano	11
2.5.1 Clasificación de Poliuretanos	12
2.5.1.1 Poliuretano Termoestable	12
2.5.1.2 Poliuretano Termoplástico	13
2.6 Propiedades Físico-Químicas del Poliuretano Rígido	13
2.6.1 Materia Prima en la fabricación de Poliuretano rígido	14
2.6.1.1 Polioli	14
2.6.1.2 Poliisocianato	16
2.6.1.3 Agente expansor	16
2.6.2 Etapas de la reacción de formación del Poliuretano	18
2.6.3 Pruebas de Calidad de Materia Prima	19
2.6.3.1 Relación de mezcla	20
2.6.3.2 Tiempo de crema	20
2.6.3.3 Tiempo de hilos	20
2.6.3.4 Tiempo de crecimiento	20
2.6.3.5 Densidad libre	20
III.INYECCION Y CARACTERIZACION DEL POLIURETANO EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERADORES DOMESTICOS	21
3.1 Aislamiento térmico de refrigeradores domésticos	21
3.2 Descripción del proceso de fabricación de un refrigerador doméstico	22

3.3 Factores Críticos Previos a la Inyección del Poliuretano	29
3.3.1 Temperatura del proceso de inyección de Poliuretano	29
3.3.2 Escapes de aire	30
3.3.3 Sobreempaque	30
3.3.4 Adhesión	30
3.4 Factores críticos durante la inyección	31
3.5 Caracterización del Poliuretano Rígido Inyectado	31
3.5.1 Tiempo de desmolde	31
3.5.2 Peso de Espuma de Poliuretano Inyectado	33
3.5.3 Densidad Bajo Presión	34
3.5.4 Estabilidad Dimensional	34
3.5.5 Resistencia a la compresión	36
3.5.6 Conductividad térmica	37
3.6 Consumo de energía	38
3.6.1 Condiciones de prueba	39
3.6.2 Preparación del refrigerador	39
3.6.3 Determinación del consumo de energía	41
3.7 Eficiencia energética	44
3.7.1 Etiqueta de Eficiencia Energética	47
3.8 Cálculos y Resultados	47
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1 Conclusiones	67
4.2 Recomendaciones	68
V.BIBLIOGRAFIA	97

ANEXOS

ANEXO 01: Temperatura de almacenamiento de compartimientos Según NTP ISO 399.483 2007	69
ANEXO 02: Instrumentos de medición de temperatura y puntos de lectura según NTP ISO 399.483 2007	76
ANEXO 03: Método de prueba para determinación de Estabilidad Dimensional.	80
ANEXO 04: Ensayo de consumo de energía según NTP ISO 399.483 2007	81
ANEXO 05: Certificado de Calidad de Materia Prima	86
ANEXO 06: Hidrocarburos soplantes	89
ANEXO 07: Criterio de aceptación de consumo energético según NTP ISO 399.483 2007	90
ANEXO 08: Impacto ambiental	93
ANEXO 09: Etiqueta de Eficiencia Energética	95

TABLAS

Tabla 2.1: Dimensiones de Paquetes de Ensayo	8
Tabla 2.2: Clasificación de refrigeradores domésticos según el clima de Operación	9
Tabla 2.3: Temperatura de compartimientos, según clasificación de clima de operación	10
Tabla 2.4: Densidad y Conductividad Térmica de Materiales Aislantes	13
Tabla 2.5: Propiedades Físicas del Poliuretano	14
Tabla 2.6: Características ambientales de los agentes expansores	18
Tabla 3.1: Parámetros de Control de Inyección	31
Tabla 3.2: Conductividad Térmica de Materiales Aislantes	37
Tabla 3.3 Factor de Conductividad inicial de agente expansor	38
Tabla 3.4: Temperatura de compartimiento	42
Tabla 3.5: Rangos de Consumo de Energía de Referencia	46
Tabla 3.6: Cuadro de Volúmenes y Dimensiones por Modelo	47
Tabla 3.7: Datos de reactividad para materia prima usada en la inyección de modelos RFT-A1 y RFT-A2	49
Tabla 3.8: Tiempo de desmolde en inyección de gabinetes para Modelos RFT-A1 y RFT-A2	50
Tabla 3.9: Peso de Poliuretano Inyectado por Modelo durante el proceso de inyección	52
Tabla 3.10: Parámetro de Inyección en Gabinetes por Modelo	53

Tabla 3.11: Cuadro de Resultados de Densidad bajo Presión por zona y por modelo	55
Tabla 3.12: Medida Inicial de Probeta extraída de Gabinete RFT-A1	58
Tabla 3.13: Medida Final de Probeta extraída de Gabinete RFT-A1	59
Tabla 3.14: Variación porcentual de medidas para probetas extraídas de Gabinete RFT-A1	60
Tabla 3.15: Medida Inicial de Probeta extraída de Gabinete RFT-A2	61
Tabla 3.16: Medida Final de Probeta extraída de Gabinete RFT-A2	62
Tabla 3.17: Variación porcentual de medidas para probetas extraídas de Gabinete RFT-A2	63
Tabla 3.18: Resistencia a la Compresión en Probetas Extraídas	65
Tabla 3.19: Valores declarados por el Fabricante para modelo RFT-A2	66
Tabla 3.20: Cuadro de Resultados del Ensayo de Consumo de Energía	66
Tabla 4.1: Cálculo de la desviación de refrigerador de prueba	67
Tabla A1: Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales en el Proceso de Inyección de PUR	94

GRAFICOS

Figura 2.1: Ruinas de Arhuaturo	3
Figura 2.2: Ciclo Linde	4
Figura 2.3: Formula del Poliuretano	11
Figura 2.4: Evolución gráfica de la reacción de Poliuretano	19

Figura 3.1: Acero pre-pintado para formación de gabinetes	21
Figura 3.2: Diagrama de Fabricación de Gabinete Metálico	23
Figura 3.3: Diagrama de Fabricación de Puertas Metálicas	24
Figura 3.4: Diagrama de Inyección de Poliuretano en puertas y gabinetes metálicos.	25
Figura 3.5: Diagrama de fabricación de evaporadores	26
Figura 3.6: Diagrama de Ensamble de Refrigeradores Domésticos	27
Figura 3.7: Tiempo de Desmolde vs Sobreempaque, Espesor	32
Figura 3.8: Post Expansión vs Tiempo de Desmolde	33
Figura 3.9: Gabinete Inyectado	35
Figura 3.10: Forma de Celda de Poliuretano	36
Figura 3.11: Resistencia a la Compresión por Geometría de Celda	36
Figura 3.12: Conductividad Térmica de Poliuretano vs Densidad Final	38
Figura 3.13: Congelador cargado de paquetes de prueba	39
Figura 3.14: Compartimiento de alimentos frescos cargado con paquetes de prueba	40
Figura 3.15: Analizador de Red	41
Figura: 3.16: Distribución de Zonas para Extracción de Probetas de Prueba	54
Figura 3.17: Medidas a Tomar en Probeta Prueba de Estabilidad Dimensional	57
Figura A1: Impactos ambientales en el proceso de Inyección de PUR	93

ABREVIATURAS

PUR: Poliuretano

NTP: Norma Técnica Peruana

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

ODP: Ozone Depletion Potential, es la cantidad relativa de degradación que puede causar a la capa de ozono.

GWP : Global Warning Potential, es la medida de cuanto contribuye una masa dada al calentamiento global, tomando como referencia la misma masa de dióxido de carbono.

CER: Consumo de energía de referencia.

RFT A-1: Denominación para modelo No-Frost con capacidad de 249 litros.

RFT A-2: Denominación para modelo No-Frost con capacidad de 270 litros.

SN: Clase sub-templado

N: Clase templado

T: Clase sub-tropical

ST: Clase tropical

RESUMEN

El presente trabajo muestra la importancia de la espuma rígida de Poliuretano en el funcionamiento, diseño y desempeño del refrigerador doméstico, caracterizando los parámetros que afectan la inyección y las propiedades de la espuma rígida posteriormente.

En el capítulo I, se explica la importancia del Poliuretano en el aislamiento térmico de refrigeradores domésticos, también los parámetros generales a controlar para conseguir una espuma de Poliuretano de mayor efectividad en cuanto al aislamiento térmico. Se menciona las Normas Técnicas Peruanas en las que se rige este trabajo (NTP ISO 7371 2007 y NTP 399.483 2007).

En el capítulo II, se presenta las definiciones de conceptos generales sobre refrigeración doméstica, como clasificación y definición de términos. Además se explica la historia, evolución, clasificación y método de obtención del Poliuretano rígido.

En el capítulo III, se muestra el proceso de aplicación de espuma de Poliuretano en los gabinetes metálicos formados, además previamente se explican los procesos de fabricación de los componentes de un refrigerador doméstico. Se desarrolla los factores críticos durante y después de la inyección, se caracteriza las propiedades a cumplir por la espuma para asegurar un buen rendimiento en aislamiento, lo que conlleva al cumplimiento de las normas de diseño y ahorro energético mencionadas en el capítulo anterior. Los parámetros a controlar son enumerados y explicados bajo sus condiciones y efectos en el proceso.

Finalmente en el capítulo IV, se presentan conclusiones y recomendaciones a ser consideradas sobre la correcta aplicación del Poliuretano en la industria de la refrigeración doméstica, para la obtención de un producto final acorde a normas nacionales vigentes y la exigencia del mercado.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El aislamiento térmico es de gran importancia para el ahorro energético en todas las aplicaciones de la espuma rígida de Poliuretano, ya que a menor flujo de calor del sistema con el ambiente, se requerirá de menor energía para mantener frío dicho sistema.

La producción de espuma rígida de Poliuretano está regida por la formación y al mismo tiempo la expansión de la espuma por acción de un agente externo. La expansión se lleva a cabo con un agente externo llamado agente expansor o hinchante, se trata de un gas que se introduce a la espuma en su etapa de formación generando así los espacios vacíos, lo que determinará las características de la espuma. Los parámetros de esta expansión deben ser controlados ya que en este proceso, se consigue elevar o disminuir las características aislantes y de resistencia a la compresión. Son alternativas de agentes expansores los cloruros, freones e hidrocarburos gaseosos. Siendo los primeros altamente dañinos para la capa de ozono y son los hidrocarburos gaseosos los agentes expansores más viables ambientalmente, sin embargo su uso representa mayor riesgo por sus características de inflamabilidad, lo que representa mayor inversión en la prevención de accidentes al momento de la formación y expansión del Poliuretano.

El presente trabajo tiene como base la aplicación y cumplimiento de las normas peruanas vigentes para la eficiencia energética y clasificación de refrigeradores domésticos, las cuales son:

- **NTP-ISO 7371 2002:** ARTEFACTOS DE REFRIGERACION DOMESTICA. Refrigeradores con o sin compartimientos de baja temperatura. Características y métodos de ensayo.
- **NTP 399.483 2007** : EFICIENCIA ENERGETICA DE ARTEFACTOS REFRIGERADORES, REFRIGERADORES-CONGELADORES Y CONGELADORES PARA USO DOMESTICO.

CAPITULO II

DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS

La necesidad de conservación de alimentos es muy antigua, podemos citar a los chinos que siglos antes del nacimiento de Cristo, usaban hielo natural recogido de las superficies de los ríos y lagos congelados, conservado en pozos cavados en la tierra y cubiertos con paja con la finalidad de conservar el té que consumían.

En el Perú pre-colombino se menciona como ejemplo a la cultura Huanca quien edificó lo que hoy es conocido como las ruinas de Arhuaturo, estas edificaciones tipo colcas, se situaban en la parte alta de un complejo de viviendas ubicadas estratégicamente frente al nevado conocido hoy como Huaytapallana, esto con el fin de aprovechar el aire frío proveniente del nevado para la conservación de sus alimentos almacenados en estas colcas.

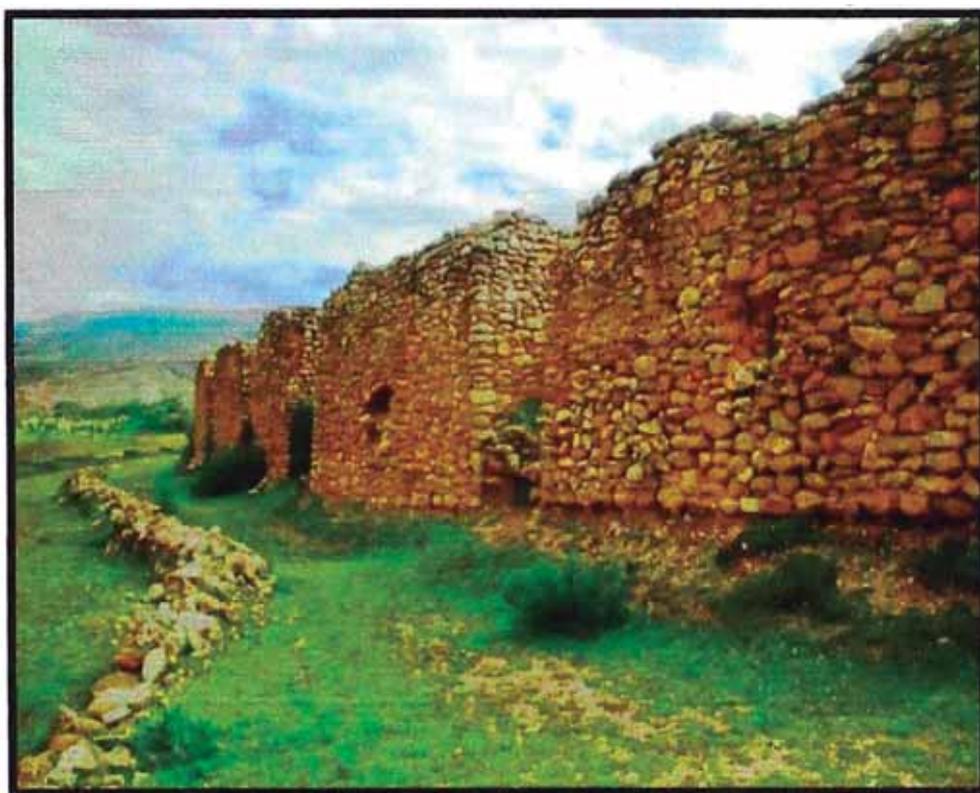


Figura 2.1- Ruinas de Arhuaturo

Fuente: www.perutopstours.com

El refrigerador doméstico como lo conocemos hoy en día, tuvo un largo camino de estudios y diseños hasta que el científico alemán Carl von Linde patentó en 1876 el proceso de licuar gas conocido también como “Ciclo de Linde o Ciclo Linde-Hampson” (Fig.2.2) básico en la tecnología de la refrigeración moderna para esto modificó un modelo industrial que había diseñado para la fábrica de cerveza Guinness en Irlanda, caso en el que empleó un circuito de amoníaco accionado por una bomba de vapor de agua y éter metílico con el fin de la absorber el calor.

Posteriormente los científicos suecos Balzer von Platen y Carl Munters en el año 1923 crearon el primer refrigerador con motor eléctrico para accionar el compresor.

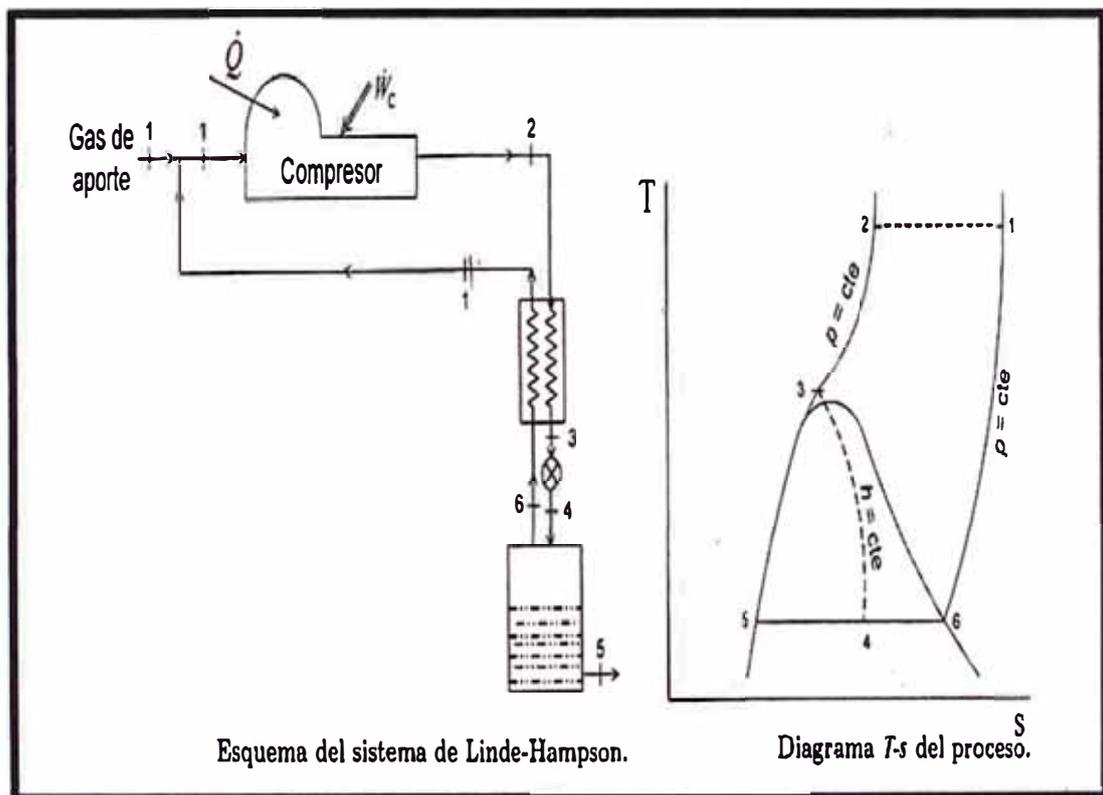


Figura 2.2 - Ciclo Linde

Fuente: Termodinámica Aplicada ETSIA-UPM 2005

2.1 Refrigerador Doméstico

Un refrigerador es un dispositivo capaz de mantener un ambiente interior de menor temperatura a la del ambiente que lo rodea.

La definición en la NTP ISO 7371 2002 para un refrigerador domestico es: “Gabinete aislado de volumen y equipamiento adecuado para uso doméstico, enfriado por uno o más dispositivos consumidores de energía , con uno o más compartimientos para la conservación de alimentos, con uno al menos apropiado para el almacenamiento de alimentos frescos”.

En resumen se puede decir que un refrigerador doméstico, esta específicamente diseñado para operar en un hogar, se encarga básicamente de la conservación de alimentos disminuyendo su velocidad de descomposición por efecto de la temperatura y la proliferación de hongos y bacterias. Consta de uno o más compartimientos destinados a la conservación de alimentos y de por lo menos un compartimiento para la conservación de alimentos frescos.

Un refrigerador doméstico constara de un gabinete aislado y un sistema de refrigeración que será el encargado de forzar la transferencia de calor entre los alimentos y el refrigerante.

2.2 Compartimientos y secciones en refrigeradores domésticos

Se define a un compartimiento como la división física en la disposición del gabinete interno.

a) Compartimiento de almacenamiento de alimentos frescos

Diseñado para el almacenamiento de alimentos no congelados, que puede estar dividido a su vez en sub-compartimientos en los que la temperatura puede ser mantenida de acuerdo a la tabla de temperatura de compartimientos (ver Tabla 2.3).

b) Compartimiento de bodega

Diseñado para el almacenamiento de alimentos y bebidas particulares a una temperatura mayor que el compartimiento de almacenamiento de alimentos frescos en la cual la temperatura puede ser mantenida de acuerdo a la tabla de temperatura de compartimientos (ver Tabla 2.3).

c) Compartimiento de baja temperatura

Compartimiento en el cual se puede producir hielo o almacenar alimentos congelados.

d) Compartimiento para producir hielo

Diseñado específicamente para el congelamiento y almacenamiento de cubos de hielo.

e) Compartimiento de almacenamiento de alimentos congelados

Compartimientos diseñados específicamente para el almacenamiento de comida congelada, se clasifican de acuerdo a la temperatura como sigue:

- **Compartimiento “una estrella”:** Compartimiento con temperatura de almacenamiento medido según Anexo-01, no es más caliente que -6°C .
- **Compartimiento “dos estrellas”:** Compartimiento en el cual la temperatura de almacenamiento medida según Anexo-01, no es más caliente que -12°C .
- **Sección “dos estrellas”:** Parte de un compartimiento de “tres estrellas” que no tiene acceso propio (o tiene su propia puerta o tapa de acceso individual) en la cual la temperatura de almacenamiento medida según Anexo-01, no es más caliente que -12°C .

- **Compartimiento “tres estrellas”:** Compartimiento en el cual la temperatura de almacenamiento se mide según Anexo-01, no es más caliente que -18°C .

2.3 Temperatura de almacenamiento

La temperatura de almacenamiento es la temperatura obtenida con instrumentos de medición en los compartimientos definidos anteriormente.

a) Temperatura de almacenamiento de alimentos frescos (t_m)

Es el promedio aritmético de la temperatura promedio t_1, t_2 y t_3 , que son las temperaturas medias internas medidas con cilindros de cobre o bronce ver Anexo-02, colocados en puntos determinados del compartimiento de alimentos frescos.

b) Temperatura de almacenamiento de alimentos congelados (t^{***}, t^{**}, t^*)

Temperaturas máximas del paquete “M” más caliente de una carga colocada en almacenamiento.

c) Temperatura del compartimiento de bodega (t_{cm})

El promedio aritmético de la temperatura de la temperatura media t_{c1}, t_{c2} y t_{c3} (ver Anexo – 02) que son las temperaturas medias internas medidas con cilindros de cobre o bronce, colocados en puntos determinados del compartimiento de bodega.

- **Paquetes de ensayo**

Es un paquete de composición y dimensiones normadas, el cual tiene la característica de tener como punto de congelamiento -1°C , sus características térmicas corresponden a la carne magra (carne sin grasa).

Según NTP-ISO 7371, 1000gramos de este paquete debe contener:

- 230g de oxietilmetilcelulosa
- 764,2g de agua
- 5g de cloruro de sodio
- 0,8g de -cloruro-m-cresol

Según NTP-ISO 7371 2002, las dimensiones antes del congelamiento y su masa, incluida la envoltura deben estar de acuerdo a la tabla de dimensiones del paquete de ensayo (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Dimensiones de Paquetes de Ensayo

Dimensiones (mm)	Masa (g)
25x50x100	125
50x100x100	500
50x100x200	1000

Fuente: NTP-ISO-7371 2002

Las tolerancias deben ser:

- En dimensiones lineales:
 - $\pm 1,5\text{mm}$ para las dimensiones de 25mm y 50mm.
 - $\pm 3,0\text{mm}$ para las dimensiones de 100mm y 200mm.
- En masa: $\pm 2\%$

- **Paquete “M”**

Se denomina paquete “M” al paquete de ensayo de 50mmx100mmx100mm (500g) habilitado con un sensor de temperatura (termocupla) en su centro geométrico.

- **Cilindro de cobre**

Al igual que los paquetes “M” son instrumentos de medición que constan de un cilindro de bronce o cobre con una masa de 25g y un área externa mínima (diámetro=altura=15,2mm), con un sensor de temperatura de precisión $\pm 3^{\circ}\text{K}$.

2.4 Clasificación de Refrigeradores Domésticos

Los refrigeradores domésticos están clasificados, según la posibilidad de operar a diferentes temperaturas ambientales según NTP- ISO 7371 2002 la clasificación será la descrita en la clasificación de refrigeradores según clima de operación (Tabla 2.2)

Tabla 2.2: Clasificación de refrigeradores domésticos según el clima de operación

CLASE	SIMBOLO	Rango de temperaturas ambientales para la operación del artefacto ($^{\circ}\text{C}$)
Sub Templado	SN	+10 a +32
Templado	N	+16 a +32
Sub Tropical	T	+18 a +38
Tropical	ST	+18 a +43

FUENTE: NTP-ISO 7371 2002

La tabla de temperatura de compartimientos (ver Tabla 2.3) muestra la temperatura de almacenamiento en los compartimientos para toda clase de clima según norma NTP – ISO 7371 2002.

Tabla 2.3: Temperatura de compartimientos, según clasificación de clima de operación

CLASE DE CLIMA	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	Temperatura de compartimiento para almacenamiento de comida fresca(°C)		Temperatura de compartimiento "tres estrellas" t^{***} (°C)	Temperatura de compartimiento "dos estrellas" t^{**} (°C)	Temperatura de compartimiento "una estrella" t^* (°C)	Temperatura de compartimiento de bodega t_{cm} (°C)
		Temperatura en compartimientos (°C) t_1, t_2, t_3	Temperatura promedio máxima (t_m máx)				
Sub Templado	+10 a +32	$0 \leq t_1, t_2, t_3 \leq +10$	+5	≤ -18	≤ -12	≤ -6	$+8 \leq t_{cm} \leq +14$
Templado	+16 a +32						
Sub Tropical	+18 a +38						
Tropical	+18 a +43						

Fuente: NTP ISO 7371-2002

2.5 Poliuretano

El poliuretano es una resina sintética, se caracteriza por su escasa permeabilidad a los gases, alta resistencia química, excelente aislamiento eléctrico (Manfred Kappset, 2004).

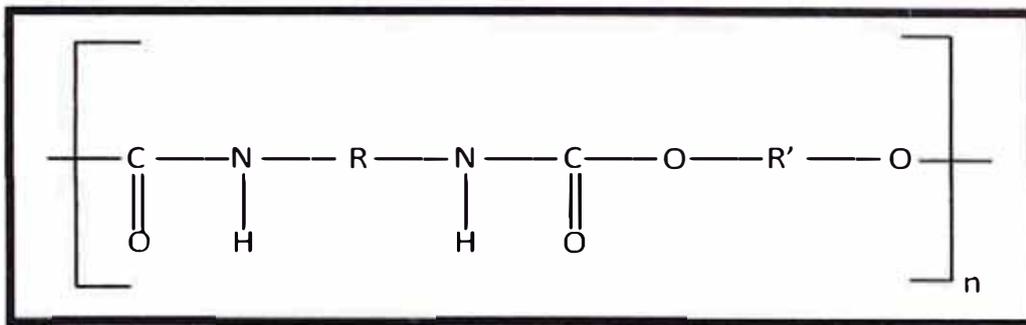


Fig. 2.3 – Formula del Poliuretano

Fuente: Química Orgánica (Robert Thorton Morrison)

La química de los isocianatos (RNCO) fue estudiada por C.A. Wurtz y A.W. Hoffman en el año 1840, en este estudio se determinó como característica principal de los grupos isocianato su capacidad de reaccionar con especies que contienen un hidrogeno activo.

Este estudio previo fue determinante para los estudios posteriores realizados por Otto Bayer (quien un siglo después en el año de 1937 desarrolló la primera síntesis de poliuretano, trabajando en los laboratorios de IG Farben, en Leverkusen (Alemania) usando diisocianato de 1,6-hexametileno y 1,4-butanodiol, con el objetivo de conseguir un material competitivo con la poliamida (Nylon) desarrollada poco antes por W. Carothers trabajando para DuPont (EEUU).

En primera instancia el producto de esta investigación se consideró un fracaso ya que en ese momento no se tenía utilidad práctica para el mismo, Otto Bayer colocó la primera patente ese mismo año siendo la patente

imperial alemana DRP 728.981 considerada la “partida de nacimiento” del poliuretano.

Fueron en las siguientes décadas en que se masificó el uso del Poliuretano dando las aplicaciones que el equipo de trabajo de Otto Bayer considero en apuntes de una patente posterior:

“Los materiales porosos ligeros se adaptan como el material de apoyo en la construcción de aviones y barcos, como aislante térmico y acústico, para piezas de muebles, ruedas, juguetes, construcción de edificios, prótesis, suelas de calzado y vendajes de tracción”.

Estas notas demuestran la visión e ingenio que tuvo el inventor para describir futuras aplicaciones de su descubrimiento.

2.5.1 Clasificación de Poliuretanos

Los poliuretanos al ser polímeros, pueden ser clasificados como termoestables y termoplásticos.

2.5.1.1 Poliuretano Termoestable

Se puede interpretar como un tipo de compuesto, que ante el incremento de calor por encima de su punto de fusión, se degrada antes de llegar a estado de fluido.

En esta clasificación se tiene:

- **Espumas rígida de poliuretano**, utilizada principalmente como aislante térmico en la industria de la construcción y refrigeración.
- **Espuma flexible de poliuretano**, utilizada principalmente como espuma resiliente, su mayor aplicación está en la fabricación de colchones e industria de muebles. También es aplicada en industrias como pinturas, selladores de alto rendimiento, automotriz, etc.

2.5.1.2 Poliuretano Termoplástico

Se puede interpretar como un tipo de compuesto, que ante el incremento de calor por encima de su punto de fusión logra llegar a estado de fluido. En esta clasificación podemos mencionar que existen aplicaciones en industrias como: mangueras, fibras textiles, artículos deportivos, suelas de calzado, ruedas de maquinaria, etc.

2.6 Propiedades Físico-Químicas del Poliuretano Rígido

La aplicación de poliuretano en refrigeradores domésticos es como aislante, se usa específicamente el poliuretano de tipo rígido. Este tipo de poliuretano es el más usado en la industria de la construcción y refrigeración como aislante, en la tabla de densidad y conductividad térmica de materiales aislantes (ver Tabla 2.4) se puede observar los valores de distintos materiales usados en la industria de la construcción como aislantes.

Tabla 2.4: Densidad y Conductividad Térmica de Materiales Aislantes

Material	Densidad (kg/m^3)	Conductividad Térmica (W/m.K)
Vidrio	2500	0.81
Ladrillo	1600	0.81
Yeso en placas	1000	0.440
Madera de Pino	700	0.170
Lana de Vidrio	11	0.041
Lana de Vidrio	15	0.038
Lana de Vidrio	35	0.038
Lana de Vidrio	50	0.032
Lana de Vidrio	70	0.031
Lana de Vidrio	100	0.032
Poliuretano rígido	35	0.020
Poliuretano proyectado	30	0.024

Fuente: Norma IRAM 11601 (IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación)

La capacidad de aislamiento del PUR, depende directamente de la densidad esto debido a que el gas atrapado en las celdas de la espuma es directamente responsable de esta propiedad, en la Tabla de propiedades físicas del Poliuretano (ver Tabla 2.5) se presentan diferentes propiedades mecánicas de PUR rígido a distintos valores de densidad.

Tabla 2.5: Propiedades Físicas del Poliuretano

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR	VALOR	VALOR	NORMA
Densidad	kg/m^3	32	40	48	ASTM D1622
Resistencia a la compresión	kg/cm^2	1.7	3.0	3.5	ASTM D1621
Módulo de compresión	kg/cm^2	50	65	100	ASTM D1621
Resistencia a la tracción	kg/cm^2	2.5	4.5	6.0	ASTM D1623
Coefficiente de conductividad	Kcal/mh°C	0.015	0.017	0.020	ASTM C177

Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales – Universidad de Valladolid (España)

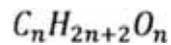
2.6.1 Materia Prima en la fabricación de Poliuretano rígido

Tomando como punto de partida que los poliuretanos se obtienen a partir de la polimerización de determinados compuestos que contienen el grupo isocianato ($N=C=O$), con compuestos que contengan el grupo oxhidrilo ($R-OH$), se describe estos compuestos básicos para la reacción de formación del poliuretano.

2.6.1.1 Polioli

Los polioles son líquidos viscosos, cuya principal característica química es la presencia de más de un grupo oxhidrilo ($-OH$).

Su fórmula general es:



Los grupos oxhidrilo de los polioles reaccionan con los grupos isocianato para producir poliuretanos, es frecuente usar polioles que contienen de dos a 8 grupos oxhidrilos reactivos estos tienen en promedio un peso molecular de 200 a 800g/mol.

Se puede distinguir dos tipos de polioles, los polieterpolioles y poliésterpolioles.

○ **Polieterpolioles**

Se obtienen por reacción de alcoholes polihidroxiados (ejemplo: glicoles, glicerina, azúcar en bruto) o de aminas (ejemplo: etilendiamina) con óxidos de alquenos, los polioles destinados a la fabricación de espuma rígida se obtienen principalmente del óxido de propileno.

○ **Poliésterpolioles**

Se obtienen por reacción de ácidos carboxílicos polivalentes (ejemplo: ácido ftálico, ácido adipico), con glicoles, glicerina o polialcoholes similares.

El uso de estas variantes del polioliol influye en las propiedades del producto final (poliuretano).

Polieter polioliol

- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia a los minerales y líquidos hidráulicos.

Poliester polioli

- Mayor resistencia a la hidrólisis.
- Mayor flexibilidad a bajas temperaturas.
- Resistencia a los microorganismos.

2.6.1.2 Poliisocianato

Se denominan así a los compuestos que contienen más de un grupo funcional isocianato (NCO-) en su composición.

Los poliisocianatos más usados en la industria son los diisocianatos (2 grupos funcional isocianato) son:

- Toluen diisocianato (TDI)
- Difenilmetano diisocianato (MDI)
- Hexametileno diisocianato (HDI)
- Naftaleno diisocianato (NDI)
- Isoforona diisocianato (IPDI)

Para la fabricación de espumas rígidas principalmente es usado los isocianatos compuestos por MDI, mezcla de 4,4 diisocianato de difenilmetano con una pequeña proporción de su isómero 2,4 diisocianato de difenilmetano mas componentes pesados.

2.6.1.3 Agente Expansor

La expansión del Poliuretano en el proceso de inyección se logra con un agente expansor o hinchante, este debe tener ciertas características tales como:

- Buena solubilidad en los componentes de la reacción y en su mezcla.

- Permanecer atrapados en las celdillas de la espuma.
- Poseer conductividad térmica baja.
- Prácticamente insolubles en el poliuretano.
- No deben plastificar el poliuretano.
- Desde el punto de vista ecológico no deben dañar la capa de ozono.

La importancia del agente expansor es tal que una mala selección no permitiría llegar a obtener los factores de conductividad requeridos. El costo del pentano es bajo, sumado a su nula capacidad para dañar la capa de ozono ya que luego de ser liberado al ambiente se descompone en dióxido de carbono y agua es actualmente el agente expansor más usado para este proceso.(ver Anexo – 06; pág.94)

El balance en la inyección del poliuretano y el agente expansor define en gran medida la capacidad del poliuretano rígido a soportar trabajo a presión sin deformaciones que puedan dañar el producto final.

Inicialmente se usaba el CFC 11 como agente expansor ya que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente, excepto el factor ecológico, por lo que en la actualidad su uso está descartado gracias al Acuerdo de Montreal (1987)

Actualmente se usan hidrocarburos como agentes expansores, siendo preferidos los pentanos (ciclo e iso-pentano) esto debido a sus propiedades, como podemos observar en la tabla de características ambientales de agentes expansores (ver tabla 2.6), estos son líquidos

inflamables cuyos vapores forman mezclas explosivas con el oxígeno, por consiguiente su utilización en la industria implica un alto costo en prevención de accidentes.

El costo del pentano es bajo, sumado a su nula capacidad para dañar la capa de ozono ya que luego de ser liberado al ambiente se descompone en

dióxido de carbono y agua es actualmente el agente expansor más usado para este proceso(ver Anexo – 06).

Tabla 2.6: Características ambientales de los agentes expansores

Agente Expansor	ODP	GWP
CFC11	1.0	4000
CFC 12	1.0	8500
HCFC 141b	0.1	630
HCFC 22	0.05	1700
HCFC 124	0.02	480
HCFC 365 mfa/227fa	0	794
HFC 134a	0	1300
HFC 245fa	0	790-1040
Ciclopentano	0	11
Ciclo/ Iso pentano	0	11
Ciclo/ Iso butano	0	11
Dióxido de carbono	-	1

Fuente: Poliuretano como Aislante Térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

- **ODP** : Ozone Depletion Potential, es la cantidad relativa de degradación que puede causar a la capa de ozono.
- **GWP** : Global Warning Potential, es la medida de cuanto contribuye una masa dada al calentamiento global, tomando como referencia la misma masa de dióxido de carbono.

2.6.2 Etapas de la reacción de formación del Poliuretano

- 1) Se inicia con la mezcla de ambos componentes.
- 2) Se procede a la agitación de los mismos, mediante un medio mecánico.
- 3) A medida que inicia la reacción del Polioli e Isocianato la viscosidad de la mezcla va aumentando.

- 4) El calor generado de la reacción exotérmica evapora al agente expansor.
- 5) Los aditivos especiales en el Polioli (Tensoactivo) impiden que se escape el gas de las burbujas, lo que permite la que la espuma crezca.
- 6) En el avance de la reacción la mezcla inicial pasa de líquido viscoso a líquido gomoso (punto de hilo), para pocos segundos después dejar de expandir.
- 7) El Poliuretano inicia un proceso de endurecimiento que dura pocos segundos hasta que es capaz de mantener su forma de manera independiente.

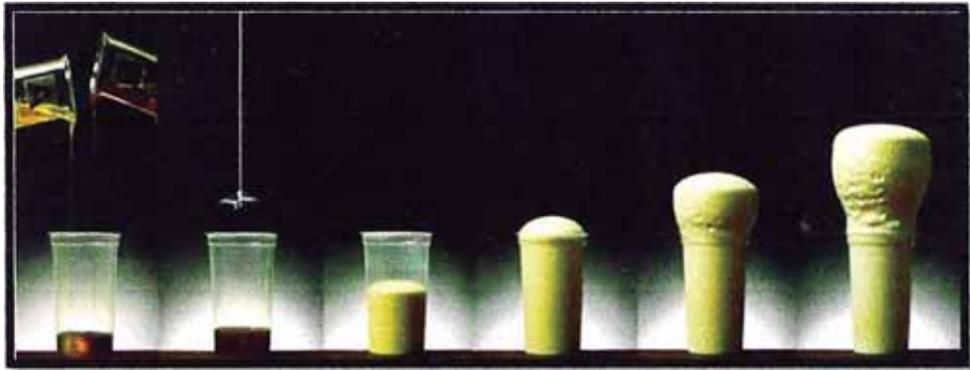


Figura 2.4 - Evolución gráfica de la reacción de Poliuretano

Fuente: Poliuretano Proyectado- ATEPA

2.6.3 Pruebas de Calidad de Materia Prima

El control de la materia prima (poliol / poliisocianato) está ligado con sus tiempos de reacción establecidos por relación de mezcla, ya que estos nos indican el progreso de la reacción hasta que obtenemos como producto de la misma, un sólido con estructura de espuma. Para caracterizar el proceso de reacción y espumado se analizan los tiempos de reacción y la densidad libre de la espuma formada en laboratorio, para estas pruebas se debe acondicionar el ambiente del laboratorio y los componentes a una temperatura de 22-23°C, además de usar un agitador regulado a 3000

RPM para ser usado como iniciador de la reacción, ver ejemplo de certificado de análisis (Anexo – 05)

Estas pruebas a nivel de laboratorio, se realizan sin adicionar el agente expansor, ya que solo se verifica la performance de la reacción Polioli/Isocianato.

2.6.3.1 Relación de mezcla

La relación de mezcla es la relación de masas Polioli / Isocianato con la que se realizara la reacción de formación del Poliuretano.

2.6.3.2 Tiempo de crema (s)

Tiempo en el que se produce un brusco aumento de la viscosidad a partir del inicio de la agitación, este se aprecia de forma visual tomando la mezcla un aspecto cremoso y coincidiendo con el inicio de la expansión.

2.6.3.3 Tiempo de hilos (s)

Indica la transición del estado líquido al sólido, llegando a este punto se calcula que la reacción ha alcanzado una conversión del 50%, se determina por apreciación visual este tiempo coincide con el momento con que al hacer la operación física de introducir y sacar repetidamente una varilla del centro de la espuma aparece el primer hilo.

2.6.3.4 Tiempo de crecimiento (s)

Alcanzado el tiempo de hilo la espuma modera su velocidad de expansión, el tiempo de crecimiento se define como el tiempo entre el inicio del mezclado y el final de la expansión de la espuma. Se determina por apreciación visual y coincide con el fin de la expansión.

2.6.3.5 Densidad Libre (gr/lit)

Relación entre el peso neto de la espuma contenida en el vaso de prueba y el volumen de este, esta determinación se establece por el principio de Arquímedes.

CAPITULO III

INYECCION Y CARACTERIZACION DEL POLIURETANO EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERADORES DOMESTICOS

La inyección, expansión y curado del PUR en los gabinetes metálicos determinan las características de resistencia, compresión y aislamiento que tendrá el producto final, es por ello que es de gran importancia la verificación de los diversos parámetros medibles antes de la inyección, como también las propiedades del producto final.

3.1 Aislamiento térmico de refrigeradores domésticos La espuma rígida de poliuretano es el material más usado para el aislamiento térmico de refrigeradores, el método de aplicación es el de colada in situ tipo sándwich compuesto de dos caras rígidas metálicas, comúnmente en la refrigeración doméstica se usan aceros pre-pintados.(Ver figura 3.1)



Figura 3.1 - Acero pre-pintado para formación de gabinetes

Fuente: Propia

Esta espuma contribuye en gran medida al ahorro energético (aproximadamente 70%) ya que disminuye el flujo de calor desde el exterior hacia el interior del artefacto, gracias a su bajo Factor de Conductividad (K). El ahorro energético está ligado directamente con la eficiencia energética del artefacto, en nuestro país se encuentra vigente la NTP 399.483 2007: Eficiencia energética en artefactos refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores para uso doméstico, esta norma técnica establece los consumos de energía que permiten clasificar los tipos de refrigeradores por tipos de compartimiento, como también los congeladores de alimento según el criterio del Consumo de Energía de Referencia (CER).

La importancia del Poliuretano radica en que este nos proporciona sus dos principales características en la aplicación las cuales son:

- Aislamiento térmico
- Resistencia estructural

3.2 Descripción del proceso de fabricación de un refrigerador doméstico.

El proceso de fabricación de un refrigerador doméstico se inicia con fabricación de una puerta y/o puertas más un gabinete vacío los cuales están compuestos de dos caras, una metálica y otra plástica (termoformado plástico de poliestireno de alto impacto).

Estos gabinetes vacíos son sometidos al proceso de inyección de Poliuretano, proceso en el cual sus espacios vacíos serán cubiertos con Poliuretano rígido.

Al terminar este proceso de inyección de ser conforme, las puertas y gabinetes pueden ser usados en el ensamble del refrigerador siendo este aislamiento el encargado de disminuir drásticamente el flujo de calor del ambiente hacia la parte interna del artefacto.

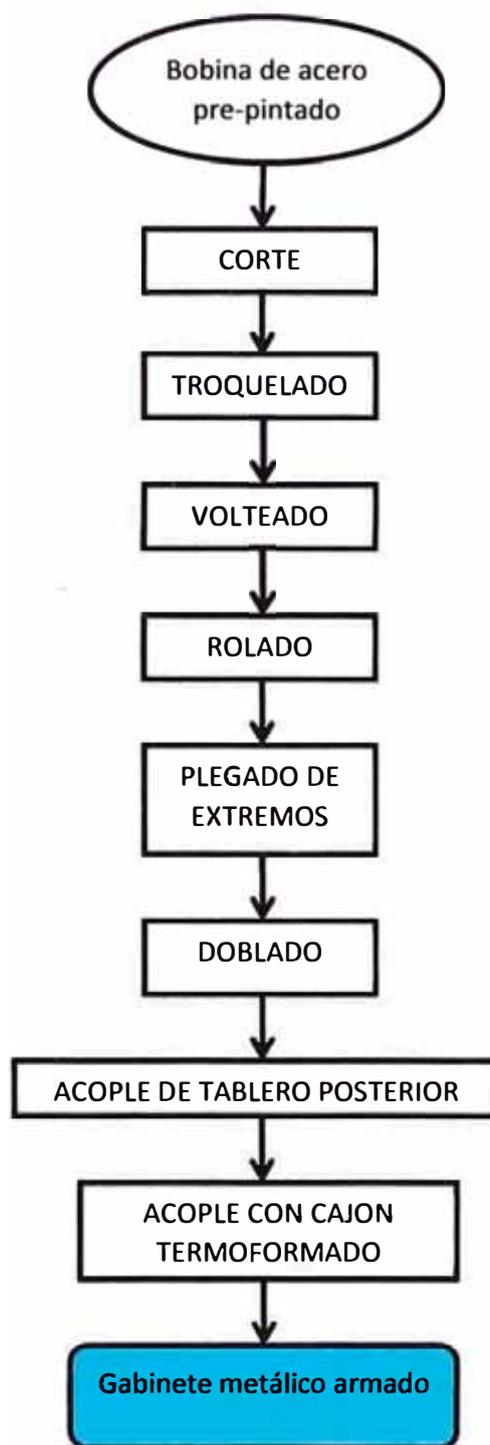


Figura 3.2 - Diagrama de Fabricación de Gabinete Metálico

Fuente: Propia

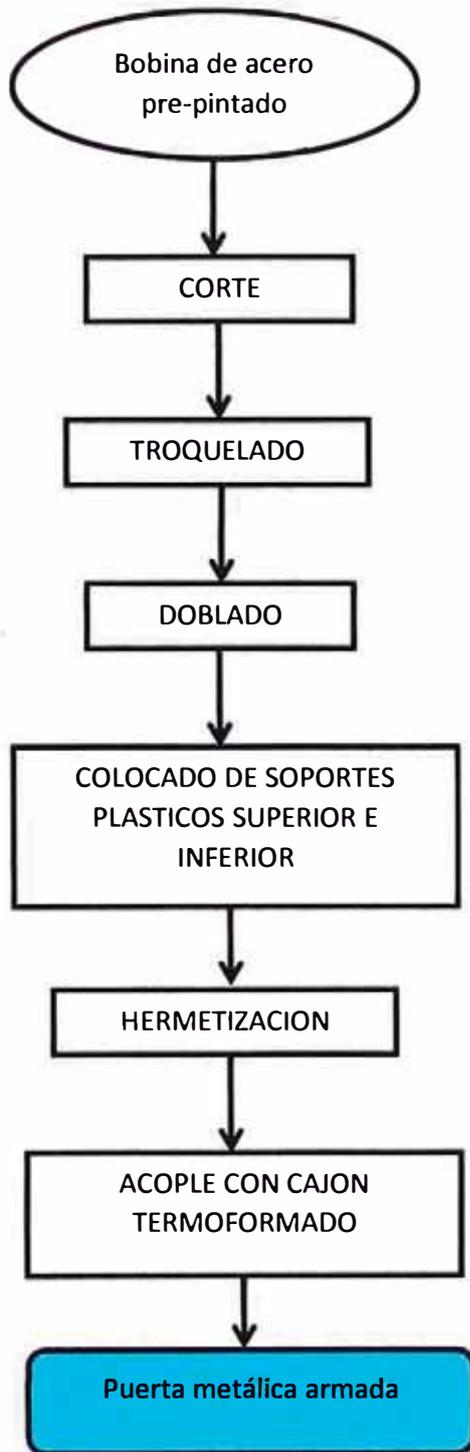


Figura 3.3 - Diagrama de Fabricación de Puertas Metálicas

Fuente: Propia

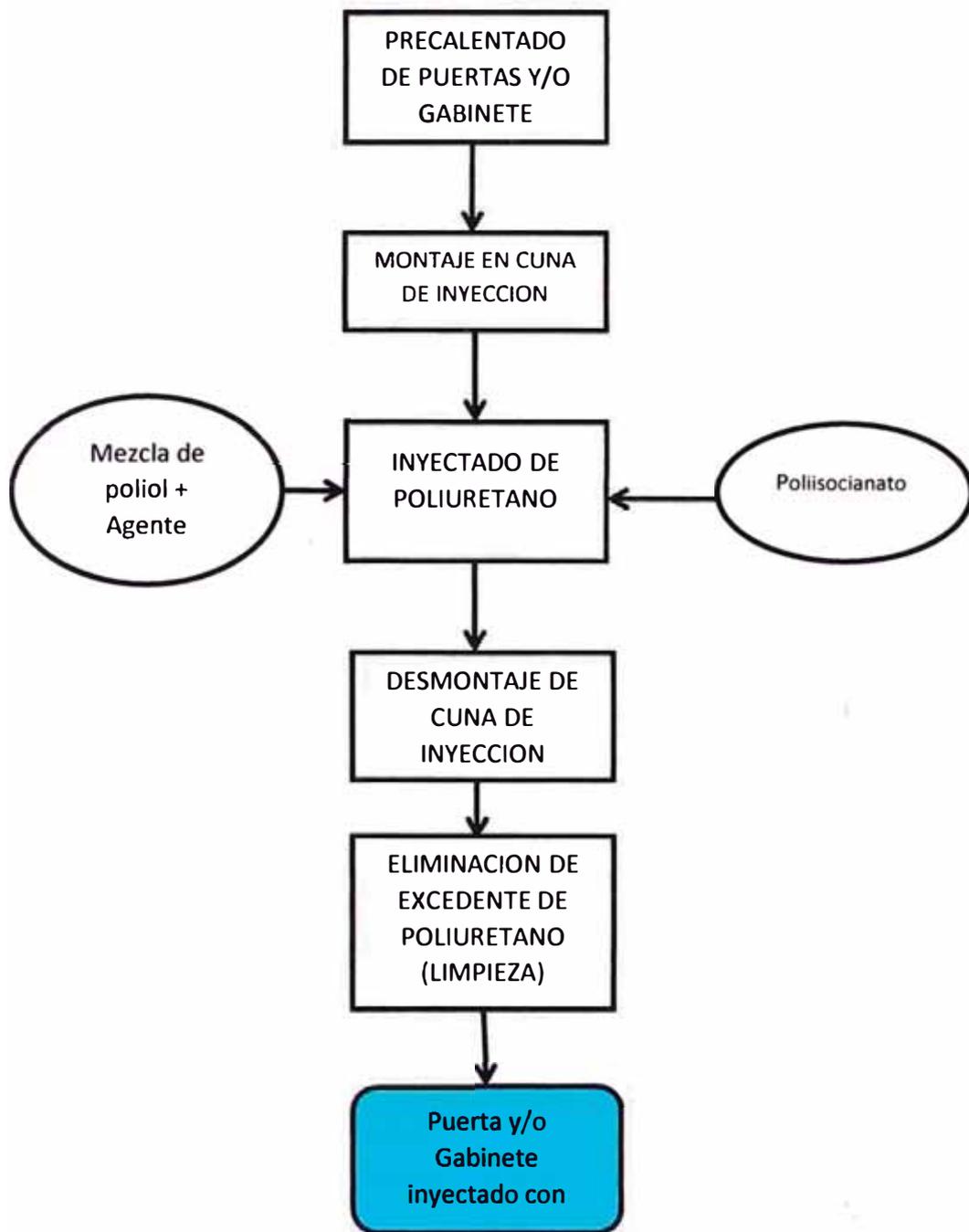


Figura 3.4 - Diagrama de Inyección de Poliuretano en puertas y gabinetes metálicos.

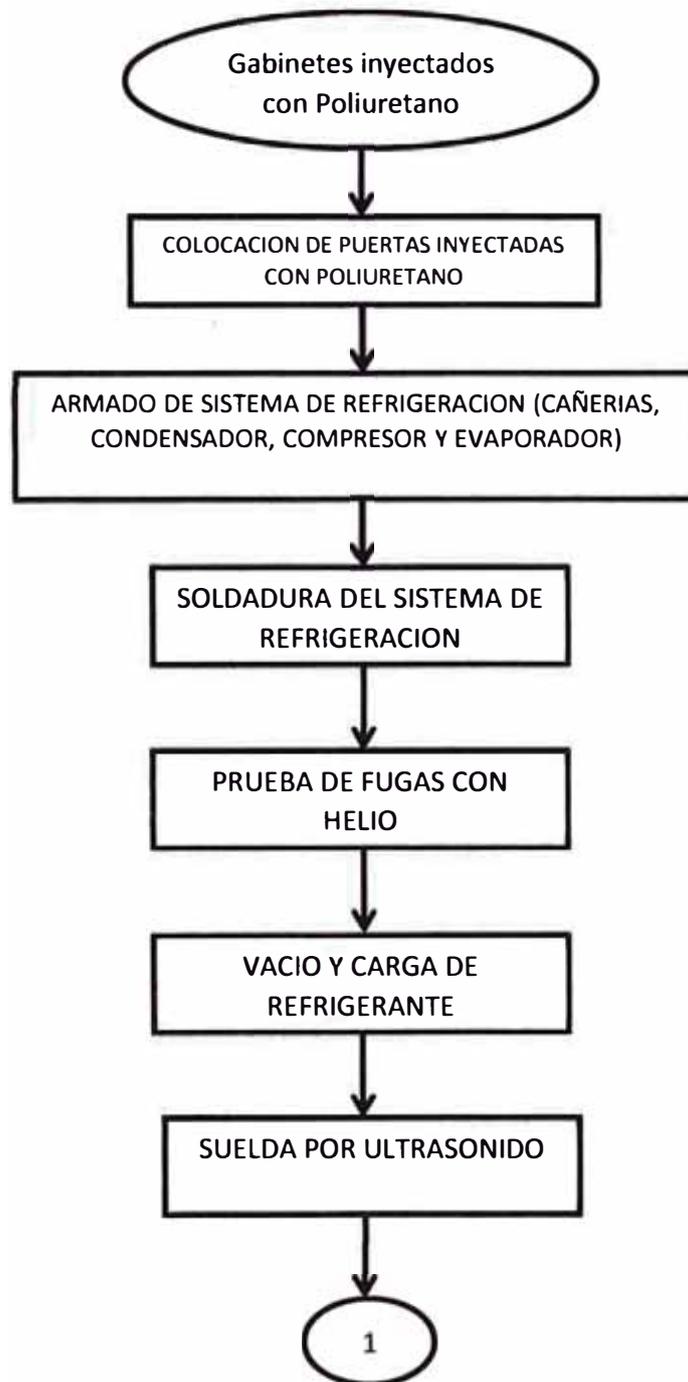
Fuente: Propia



Figura 3.5 - Diagrama de fabricación de evaporadores

Fuente: Propia

El proceso final consiste en el ensamble del artefacto como tal, para esto se cuenta con una línea continua de ensamble así como un laboratorio de pruebas en línea, que asegurara el funcionamiento eléctrico de los artefactos, ya que estos son probados al 100% en el proceso productivo.



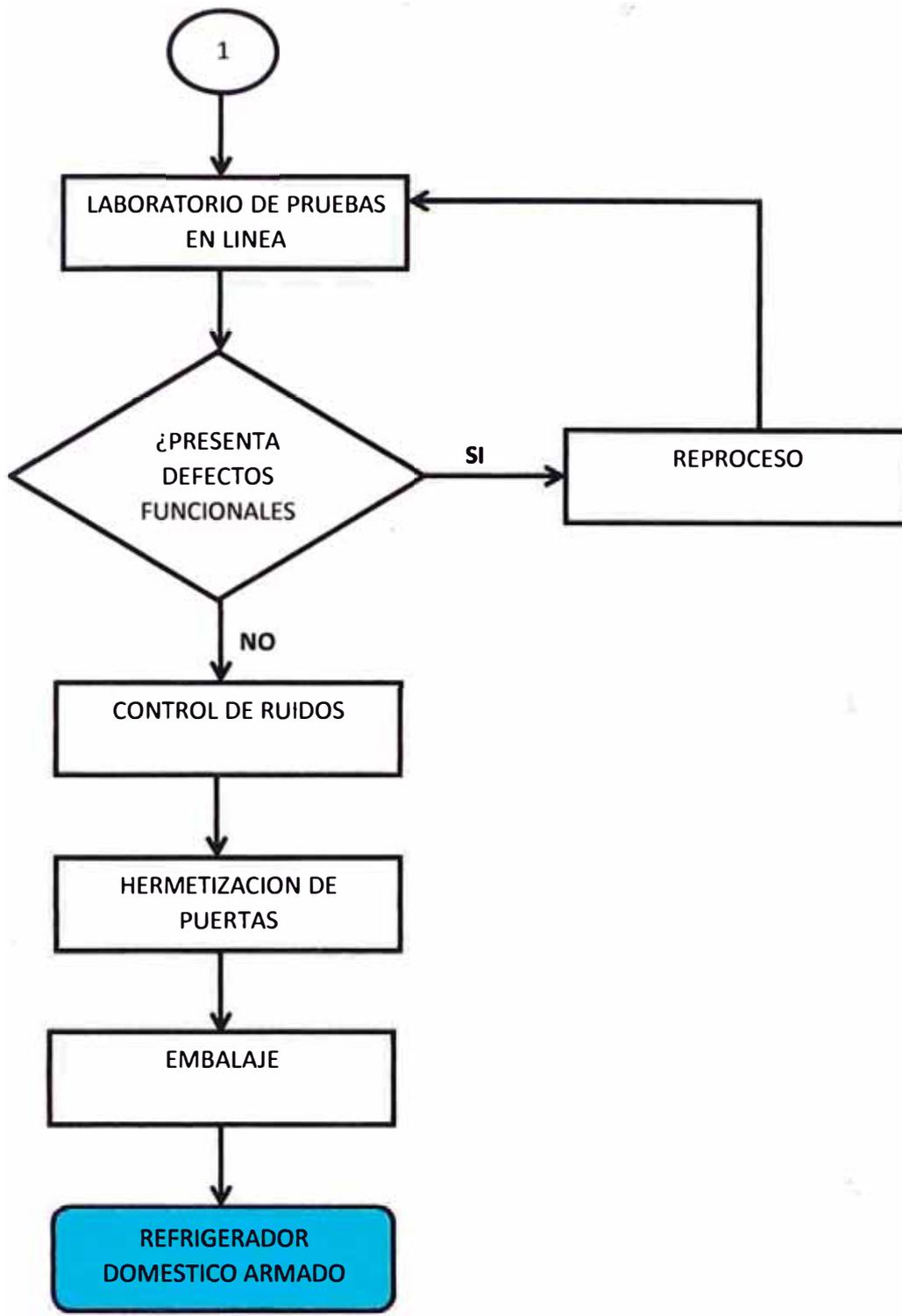


Figura 3.6 - Diagrama de Ensamble de Refrigeradores Domésticos

Fuente: Propia

3.3 Factores Críticos Previos a la Inyección del Poliuretano

Los parámetros temperatura de proceso de inyección, escapes de aire, sobreempaque y adhesión, son considerados factores críticos previos a la inyección del Poliuretano, debido a que de no ser controlados, producen deficiencias en el proceso de inyección y por ende en el producto final.

3.3.1 Temperatura del Proceso de Inyección del Poliuretano

La reacción de formación del PUR, es del tipo exotérmica y su expansión es de pocos segundos por lo que, es de suma importancia mantener temperaturas promedio, de tal manera que estas no sometan a la espuma a intercambios bruscos de temperatura con el medio. Las temperaturas presentadas a continuación presentan buenos resultados en la práctica.

- Temperatura de Componentes
 - Almacenamiento de componentes 15-30°C
 - Proceso 20+/-2°C
- Temperatura de pre-calentamiento de gabinetes.
 - Temperatura optima 40-45°C

Los factores que se ven afectados por un mal control de las temperaturas son:

- Tiempo de desmolde, mayor tiempo de curado y retiro de cunas de inyección, generando pérdidas de productividad.
- Adhesión de la espuma, menor adhesión a las placas metálicas del gabinete, lo que conlleva a menor resistencia mecánica del producto.
- Llenado de gabinete, generando que esta no tome la forma del espacio vacío interno y por ende existe el riesgo de deformaciones en el producto final.

3.3.2 Escapes de Aire

La espuma tendrá la capacidad de fluir durante el proceso de expansión, requiriendo para esto escapes de aire que permitan desalojar al fluido (aire) que llena el gabinete metálico inicialmente.

En la práctica se recomienda situar la salida de aire (respiradero) en el punto del gabinete más próximo al lugar donde termina de crecer la espuma internamente en el gabinete, durante el proceso de expansión.

3.3.3 Sobreempaque

El sobreempaque significa que el peso de la espuma de Poliuretano utilizada debe ser mayor que la cantidad requerida para llenar de manera el volumen exacto del gabinete, debido a que en la expansión con el peso exacto quedarán esquinas del gabinete vacías, por lo que es necesario sobredimensionar el peso para asegurar el no dejar espacios vacíos.

3.3.4 Adhesión

El poliuretano tiene gran capacidad adhesiva por el cambio de viscosidad en la etapa de reacción, esta propiedad se aprovecha en la inyección de los gabinetes para formar un sistema compacto:

Lámina metálica-Poliuretano-Lamina Plástica

Para asegurar una buena adhesión del sistema, se debe tener en cuenta que esta propiedad se ve afectada por las superficies de contacto.

- La capacidad de adhesión depende de la formulación (relación de mezcla y aditivos).
- Temperatura del gabinete, recomendado 40-45°C.
- No favorece a la adhesión las superficies contaminadas (suciedad, oxido, grasa, etc.)

3.4 Factores críticos durante la inyección

La tabla de parámetros de control de inyección (ver Tabla 3.1), muestra los valores críticos a controlar en el proceso de inyección de la mezcla Polioliol/Isocianato en el gabinete. Estos valores son considerados de gran importancia para el Set-Up de los cabezales inyectoros.

Presión de Trabajo (Presión de inyección en los cabezales)	140 bar
Temperatura de Materiales	19°C – 24°C
Temperatura de Moldes	< 40°C
Temperatura de Gabinetes	< 40°C
Relación de Mezcla	1.15
Tiempo de desmolde	Según volumen del Refrigerador
Densidad de Empaque	$34 \pm 2 \text{ Kg/m}^3$
Cantidad de Espuma Inyectada	Según volumen del Refrigerador

Tabla 3.1: Parámetros de Control de Inyección

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

3.5 Caracterización del Poliuretano Rígido Inyectado

El poliuretano rígido inyectado en los gabinetes es sometido a control de parámetros, estos permiten asegurar el desempeño en el aislamiento térmico del gabinete formado.

3.5.1 Tiempo de Desmolde

Es el tiempo de que debe permanecer el gabinete dentro del molde antes de ser removido sin que ocurra deformación alguna.

Esto se debe a la presión que genera la reacción exotérmica para la evaporación interna, por lo que este tiempo de desmolde ayuda a estabilizar el sistema con el medio, disminuyendo el cambio brusco de presión al quedar al contacto con la presión atmosférica.

Efecto del tiempo de desmolde en el proceso de inyección de PUR

- Aumenta el curado de la espuma.
- Disminuye la post-expansión.
- Mejora la estabilidad dimensional
- Mejor distribución de la densidad

En la figura 3.7, se observa gráficamente los factores que afectan el tiempo de desmolde (Sobreempaque y Espesor de Espuma), estos se comportan de manera lineal. En el caso del sobreempaque, se debe a que el sistema tiene mayor masa por estabilizar lo que conlleva a otorgarle al sistema mayor tiempo para este proceso. En el caso del espesor de espuma, se debe a que el sistema tendrá ambas caras del PUR rígido más alejadas de su centro geométrico por lo que requiere mayor tiempo para la transferencia de calor con el medio, considerando que el centro es la zona más caliente.

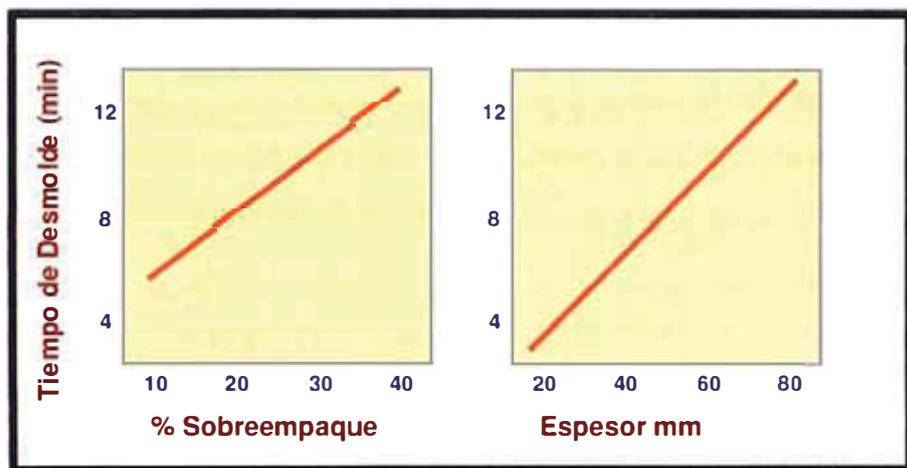


Figura 3.7 - Tiempo de Desmolde vs Sobreempaque, Espesor

Fuente: Poliuretano como Aislante Térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.



Figura 3.8 - Post Expansión vs Tiempo de Desmolde

Fuente: Poliuretano como Aislante Térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

3.5.2 Peso de Espuma de Poliuretano Inyectado

El peso de espuma inyectada, deben ser controlado más de una vez durante el turno de trabajo, ya que esto asegura el inyectando correcto de masa de espuma como también ayuda a determinar alguna descalibración en cuanto a los parámetros de inyección de máquina.

- Efecto negativo del peso de PUR en el proceso de inyección
 - Falta de % de sobreempaque.
 - Fugas y/o derrames.

- Efecto negativo del peso de PUR en el gabinete inyectado
 - Generación de vacíos en el gabinete.
 - Ondulaciones en la lámina metálica.
 - Encogimiento de la espuma.

3.5.3 Densidad Bajo Presión

Es la relación entre la masa y el volumen de la espuma de PUR extraída de un gabinete inyectado.

El tener baja densidad conlleva los siguientes efectos:

- Falta de % de sobreempaque
- Deformaciones en el producto final
- Problemas de adhesión en el gabinete
- Problemas de estabilidad dimensional.
- Espuma de Poliuretano blanda (mayor factor K)

3.5.4 Estabilidad Dimensional (ASTM D2116)

La estabilidad dimensional es la capacidad de la espuma de Poliuretano de permanecer sin cambiar de dimensiones al ser sometida a cambios de temperatura y presión. Para esto se requiere de “envejecer” el material en distintos ambientes y determinar sus cambios de dimensiones.

Estructuralmente mientras más circular sea la célula de la espuma mejor será la resistencia a los cambios de presión (ver figura 3.13), por tanto la estabilidad dimensional es esencialmente el resultado del balance entre las fuerzas internas (presión interna de la celda) y externas (presión ambiental, carga adicionales).

Es por tanto de suma importancia para la estabilidad dimensional la densidad final, ya que nos da la referencia entre la masa y el volumen ocupado, la cantidad de gas expansor usado en el proceso de inyección del PUR rígido, no favorece a la estabilidad dimensional, sin embargo es de gran importancia para disminuir el factor de conductividad, por lo que es necesario encontrar el balance óptimo entre estas características para tener una espuma de PUR adecuada para la aplicación de aislamiento térmico en el refrigerador.

La prueba de estabilidad dimensional es realizada según el Método de Ensayo Prueba patrón Hunstman (Anexo – 03). Para realizar esta prueba se destruye un gabinete inyectado para tomar en diferentes zonas. (Ver figura 3.9).

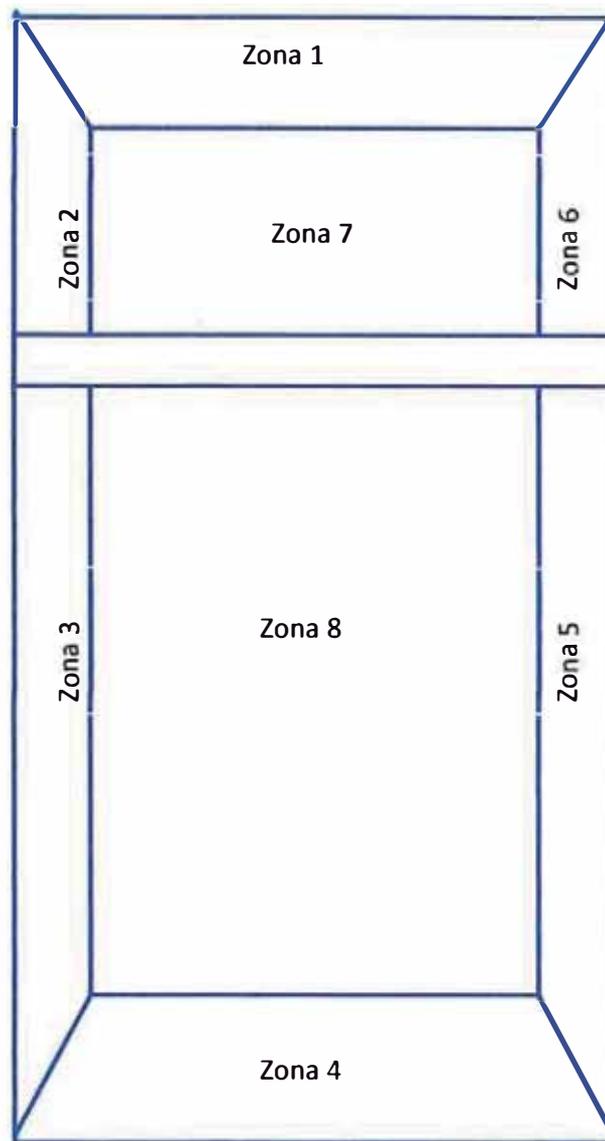


Figura 3.9 - Gabinete Inyectado

Fuente: Propia

3.5.5 Resistencia a la Compresión (ASTM 1621D)

La norma ASTM 1621 D refiere que, una muestra es colocada entre dos placas paralelas y se le aplica fuerza uniforme hasta comprimirla en un 10% del espesor original, registrando el valor de la fuerza aplicada, esta prueba se realiza para comprobar la resistencia de la espuma inyectada en el gabinete a la presión atmosférica, esta debe ser mayor o igual a $1.15\text{kg}/\text{cm}^2$. La resistencia a la compresión, está ligada directamente con la geometría de las celdas, para realizar esta prueba se destruye un gabinete inyectado para tomar en diferentes zonas. (Ver figura 3.9).

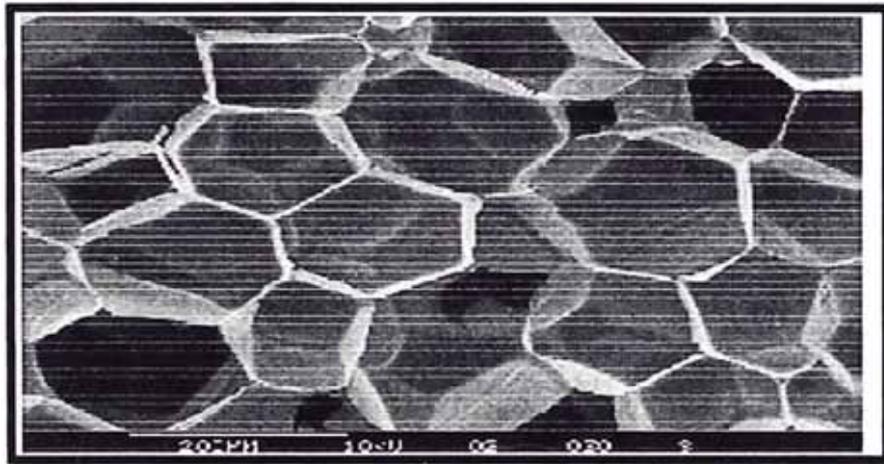


Figura 3.10 - Forma de Celda de Poliuretano

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

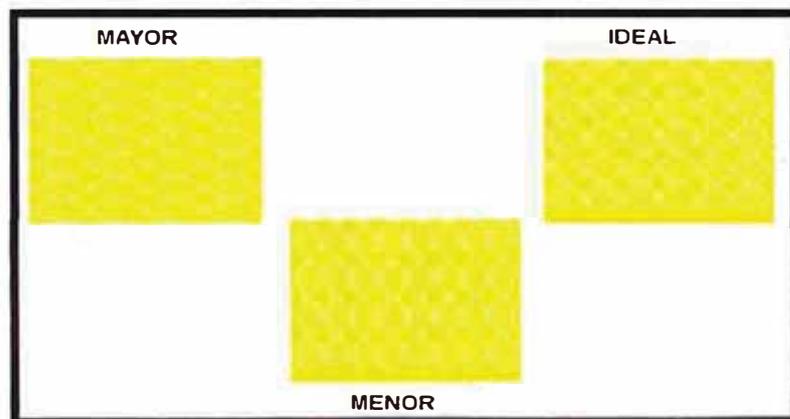


Figura 3.11 - Resistencia a la Compresión por Geometría de Celda

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

Se observa en la figura 3.13 los diferentes acomodos de las celdas internas de PUR rígido, estructuralmente es conveniente tener celdas circulares a ovaladas, esto debido a que el acomodo circular permite mejor distribución de las cargas externas atenuando el efecto de deformaciones en el producto final. Mientras que las formas ovaladas son estructuralmente menos resistentes y orienta en una sola dirección las fuerzas externas, lo que contribuye a la deformación en la dirección de la orientación de las celdas.

3.5.6 Conductividad Térmica (ASTM 518)

El factor de conductividad térmica “K”, es una función de la estructura celular así como también del gas atrapado en las celdas, por ejemplo una espuma rígida de Poliuretano con densidad $32\text{kg}/\text{m}^3$, está compuesto por 3% es polímero de Poliuretano sólido mientras que el 97% es el agente expansor atrapado en las celdas cerradas de la espuma.

En la tabla de conductividad térmica de materiales aislantes (Tabla 3.2), podemos observar diferentes valores de conductividad térmica a 10°C para algunos materiales aislantes usados comercialmente.

Tabla 3.2: Conductividad Térmica de Materiales Aislantes

Conductividad Térmica a 10°C		
Material Aislante	$\text{mW}/\text{m}^\circ\text{K}$	$\text{Kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$
Lana mineral	34-37	0.030-0.032
Fibra de vidrio	33-37	0.029-0.032
Corcho	39-44	0.034-0.038
Poliestireno expandido	33-37	0.028-0.032
Poliuretano (recién inyectado)	18-23	0.015-0.020
Poliuretano envejecido	22-25	0.019-0.022

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

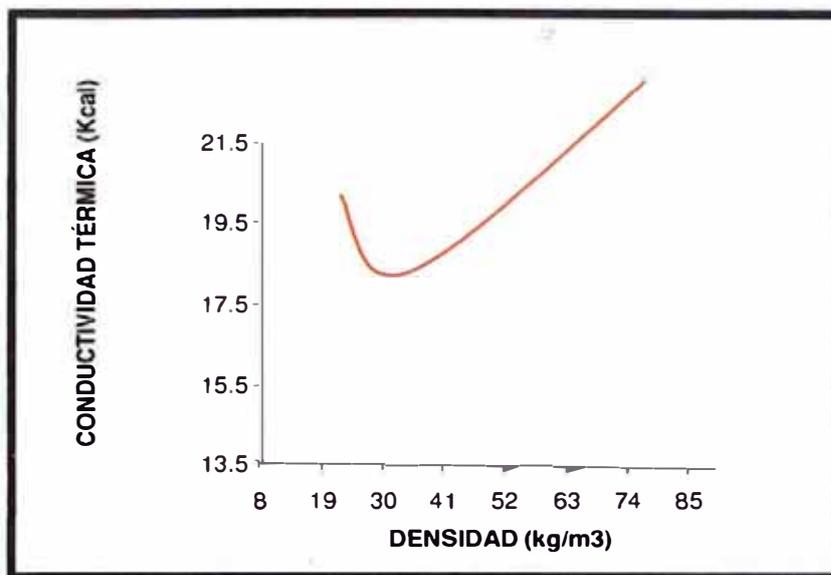


Figura 3.12 - Conductividad Térmica de Poliuretano vs Densidad Final

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

Tabla 3.3 Factor de Conductividad inicial de agente expensor

AGENTE EXPANSOR	HCFC (141b)	HCFC (245fa)	Ciclo/ Iso pentano
Peso Molecular	117.0	134.0	70.1
Punto de Ebullición (°C)	31.9	15.3	49
Factor de Conductividad K (mW/m ² K)	20-22	20-22	21-23

Fuente: Poliuretano como aislante térmico en refrigeradoras-Hunstman Polyurethanes.

3.6 Consumo de Energía

El consumo de energía se define como el gasto total para un proceso determinado, en el Perú existe la NTP 399.483 2007: Eficiencia energética en artefactos refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores

para uso doméstico, esta norma tiene por objetivo establecer los rangos de consumo de energía aceptados por el país, para los diferentes tipos de refrigeradores domésticos tales como:

- Refrigeradores
- Refrigerador- Congelador*
- Congeladores de alimentos.

* Para el presente trabajo se analizara un caso de Refrigerador-Congelador para modelo RFT-A2 de volumen nominal de 270 litros.

3.6.1 Condiciones de Prueba

La temperatura del ambiente del laboratorio de pruebas, juega un papel preponderante en el resultado por lo que es de gran importancia la estandarización y control de este parámetro, la temperatura del laboratorio de ser:

- +25°C para artefactos de la clase SN, N y ST
- +32°C para artefactos clase T

3.6.2 Preparación del Refrigerador

El artefacto debe ser instalado en el laboratorio acondicionado, cargado de paquetes de ensayo y paquetes “M” ver figura 3.13 y figura 3.14, según indica el método de la norma (ver Anexo – 04).

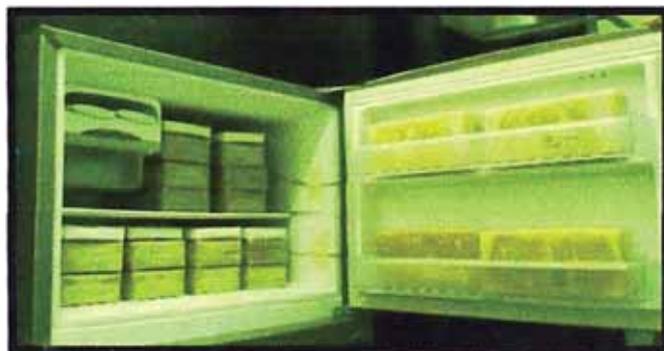


Figura 3.13 - Congelador cargado de paquetes de prueba

Fuente: Propia

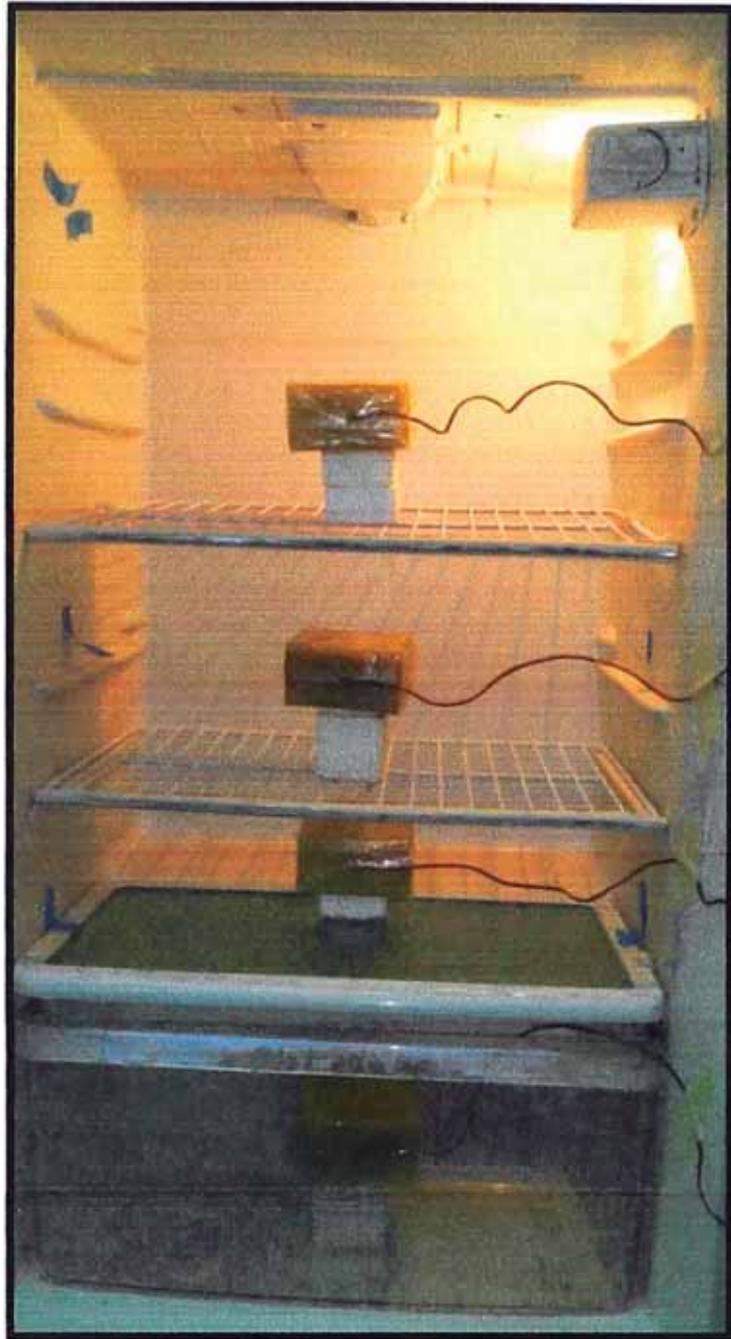


Figura 3.14 - Compartimiento de alimentos frescos cargado con paquetes de prueba

Fuente: Propia

La medida de consumo de energía debe realizarse bajo condiciones de almacenamiento con todos los compartimientos operando simultáneamente de acuerdo a la Tabla 2.3.

3.6.3 Determinación del consumo de energía

El consumo de energía se toma mediante un equipo analizador de red (ver figura 3.15) este equipo tiene por finalidad medir dentro de una red eléctrica todos los parámetros eléctricos (corriente eléctrica, corriente continua, potencia en vatios) que presenta la misma, para nuestro ensayo nos concentraremos en la potencia en vatios conectando el analizador con el refrigerador en funcionamiento y se tomara como medición de potencia la lectura en el momento que se hayan alcanzado las temperaturas especificadas como condición en la Tabla 2.3, esta lectura se mide en kWh/día.

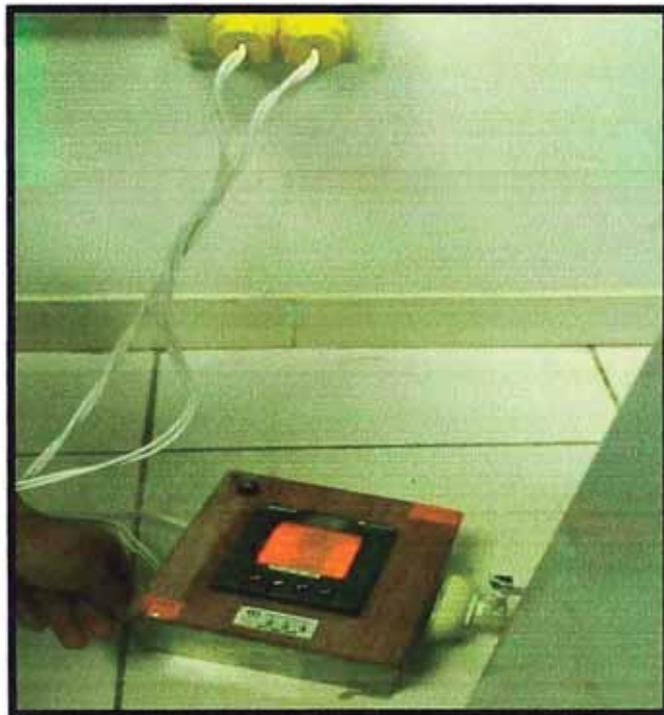


Figura 3.15 - Analizador de Red

Fuente: Propia

El consumo de energía debe ser aquel correspondiente a una de las condiciones de temperaturas dadas en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Temperatura de compartimiento

Temperatura	a	b	c	d
t^{***}	-18	≤ -18	≤ -18	≤ -16
t^{**}	≤ -12	-12	≤ -12	≤ -12
t_m	$\leq +5$	$\leq +5$	+5	$\leq +5$
t_{cm}	$\leq +12$	$\leq +12$	$\leq +12$	12

Fuente: NTP-ISO-7371 2002

Las variaciones de temperatura con respecto a la temperatura característica mencionada en la Tabla 3.4, utilizadas como base para la determinación del consumo de energía deben estar dentro del rango de $\pm 2^\circ\text{C}$.

El consumo energía debe ser determinado ya sea para una de las temperaturas características o por la interpolación de los resultados de 2 pruebas, la primera a temperatura más caliente y la otra más fría que las temperaturas características.

El valor de consumo de energía para refrigeradores domésticos operados eléctricamente debe ser expresado en kW-hora por 24 horas (kWh/24h), con dos cifras decimales.

En resumen el consumo de energía se obtiene bajo las siguientes condiciones de temperatura:

- 1) $t_m = +5^\circ\text{C}$ con $0^\circ\text{C} \leq t_1, t_2, t_3 \leq 10^\circ\text{C}$
- 2) $t_{cm} = +12^\circ\text{C}$ con $8^\circ\text{C} \leq t_1, t_2, t_3 \leq 14^\circ\text{C}$, cuando se dispone de un compartimiento inferior.
- 3) La temperatura máxima (t^{***}) del paquete “M” con la temperatura más alta en el compartimiento congelador y en los compartimientos para almacenar alimentos congelados de “dos estrellas”, es igual a -18° .

- 4) La temperatura máxima (t^{**}) del paquete “M” con la temperatura más alta en una sección de “dos estrellas” dentro del compartimiento congelador y dentro de los compartimientos para almacenar alimentos congelados de “tres estrellas”, es igual a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 5) La temperatura máxima (t^{**}) o (t^{*}) del paquete “M” con la temperatura más alta en un compartimiento de “dos estrellas” o de “una estrella”, es igual a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.
- 6) $t_{cm\ max} \leq +3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para fines prácticos se define:

- $T_{cc\ max, min}$ = Temperatura del chilled room máximo y/o mínimo (compartimiento de enfriamiento).
- t_1, t_2, t_3 = Temperatura de compartimientos de alimentos frescos.
- $t_m\ max$ = Promedio aritmético máximo de temperatura de compartimientos de alimentos frescos.
- t_{cm} = Temperatura de compartimiento de depósito (temperatura de compartimiento de legumbres)

Debido a que todas las condiciones por lo general no se pueden alcanzar al mismo tiempo, el consumo de energía será aquel que corresponda a:

- Las condiciones que si se puedan alcanzar simultáneamente y den el menor consumo de energía.
- El número de condiciones depende del número de posibilidades de ajuste, para nuestro caso los ajustes se harán variando la posición del Dumper (conducto regulable de aire que une el compartimiento de alimentos congelados del compartimiento de alimentos frescos) y del control de temperatura (termostato).
- Los demás valores que cumplan con el requisito básico de un límite máximo de temperatura.

3.7 Eficiencia energética

En nuestro país el 08 de septiembre del 2000, fue publicada la Ley N° 27345, Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía, mediante la cual se declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto negativo del uso y consumo de los energéticos, el numeral 3.1 del artículo 3° de la citada Ley, establece que los equipos y artefactos que requieren suministro de energéticos incluirán en sus etiquetas, envases, empaques y publicidad, la información sobre su consumo energético en relación a los estándares de eficiencia energética, bajo responsabilidad de sus productores y/o importadores.

Todo artefacto que usa como alimentación para su funcionamiento electricidad, debe estar clasificado por su **Rango de Consumo de Referencia**, para determinar el rango de referencia se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Consumo de energía de referencia (CER)**

Es la recta que relaciona el consumo de energía en kWh/año con el volumen ajustado en litros y determina el límite superior e inferior de cada rango de consumo de energía.

- **Consumo de energía de referencia nacional (CER_n)**

Es la recta que relaciona el consumo de energía en kWh/año (año de 365 días) con el volumen ajustado en litros, la cual es la base referencial para determinar los CER que definen los rangos de consumo de energía. Este consumo fue determinado, con base en el consumo promedio de los artefactos existentes en el mercado nacional, la ecuación que define dicha recta es:

$$CER_n = m_n \cdot VA + CE_{0n}$$

- CER_n : es el consumo de energía de referencia nacional, expresada en kWh/año.

- m_n : es la pendiente de la recta CER_n
- VA: es el volumen ajustado en litros.

$$VA = V_{bruto\ de\ alimentos\ frescos} + V_{bruto\ de\ compartimiento\ de\ baja\ temperatura} \times FA$$

- CE_{0n} : es el consumo de energía expresado en KWh/año para un volumen ajustado a cero.
- FA : Factor de ajuste

$$FA = \frac{T_{cuarto\ de\ pruebas} - T_{referencia\ del\ compartimiento\ de\ baja\ temperatura}}{T_{cuarto\ de\ pruebas} - T_{referencia\ del\ compartimiento\ de\ alimentos\ frescos}}$$

- **Consumo de energía nominal**

Es el consumo de energía declarado por el fabricante, expresado en kWh/año.

- **Rango de consumo de energía de referencia**

Es el consumo de energía que se encuentra entre dos CER consecutivos.

Según la NTP 399.483, para nuestro caso de análisis (Refrigerador sin escarcha con congelador superior) se tiene los siguientes parámetros:

- ✓ $m_n = 1,2$
- ✓ $CE_{0n} = 596,55$

El consumo de energía determinado según se describió en el capítulo 3.6.3, debe clasificar los artefactos en un rango determinado de acuerdo:

- Rango A: espacio comprendido entre CER_0 y el CER_1
- Rango B: espacio comprendido entre CER_1 .y el CER_2
- Rango C: espacio comprendido entre CER_2 .y el CER_3

- Rango D: espacio comprendido entre CER_3 .y el CER_4
- Rango E: espacio comprendido entre CER_4 .y el CER_5
- Rango F: espacio comprendido entre CER_5 .y el CER_6
- Rango F: espacio comprendido entre CER_6 .y el CER_7

Tabla 3.5: Rangos de Consumo de Energía de Referencia

Rango	Límite superior (%)	Límite inferior (%)
A	67.5	0
B	77.5	67.5
C	92.5	77.5
D	107.5	92.5
E	122.5	107.5
F	132.5	122.5
G	infinito	132.5

Fuente: NTP 399.484 2007

El criterio de aceptación del consumo de energía según NTP 399.484 2007, es considerado válido el consumo de energía del fabricante, si el resultado obtenido no supera en más de 15% al consumo nominal.

3.7.1 Etiqueta de Eficiencia Energética

Para refrigeradores comercializados en el Perú, el Ministerio de Energía y Minas recomienda usar la tarjeta de características (ver Anexo 09).

3.8 Cálculos y Resultados

Se muestra tablas con datos y valores obtenidos antes, durante y después de la inyección del Poliuretano, para dos modelos denominados RFT-A1 y RFT-A2.

En la tabla 3.6, se visualiza los valores de volumen, consumo y dimensiones que presenta cada modelo, se observa como es previsible que el modelo de mayor volumen tendrá también mayor consumo de energía por tener el objetivo de conservar mayor cantidad de alimentos.

Tabla 3.6: Cuadro de Volumen, Consumo y Dimensiones por Modelo

Modelo	Volumen Bruto Total (litros)	Volumen de Almacenamiento Fijado (litros)	Consumo de Energía (kWh/día)	Dimensiones Exteriores (mm)		
				Ancho	Alto	Profundidad
RFT-A1	249.00	235.00	1.00	615	1585	705
RFT-A2	270.00	256.00	1.04	615	1675	705

Fuente Propia

La tabla 3.7, muestra parámetros del proceso de inyección de PUR a cuatro gabinetes vacíos por modelo, considerando los parámetros previos e iniciales del proceso, estos parámetros deben ser controlados de manera estricta ya que la variación de ellos afecta directamente el producto final, a continuación se describe los parámetros listados en la tabla:

- Caudal (g/s): Caudal regulado en los cabezales de inyección para el flujo de los componentes (Componente 1: Polioli+Agente Expansor , Componente 2: Isocianato),
- Tiempo de disparo (s): Tiempo regulado en los cabezales de la maquina inyectora para el inicio de inyección de los componentes.

- Temperatura Polioliol (°C): Temperatura a la que ingresa el Polioliol por el cabezal de inyección, se recomienda el rango de 28 a 30 °C.
- Temperatura Isocianato (°C): Temperatura a la que ingresa el Isocianato por el cabezal de inyección, se recomienda que este se encuentre en el rango de 28 a 30 °C.
- Temperatura de Molde (°C): Temperatura a la que se encuentra el molde precalentado para iniciar el proceso de inyección, se recomienda 40°C.
- Temperatura de Gabinete (°C): Temperatura que se encuentra el gabinete precalentado para el inicio del proceso de inyección, se recomienda 40°C
- Presión de Polioliol (bar): Presión al que se inyectado el Polioliol por el cabezal de inyección al gabinete vacío.
- Presión de Isocianato (bar): Presión al que es inyectado el Isocianato por el cabezal de inyección al gabinete vacío.
- Relación de mezcla: Es la proporción óptima, recomendada por el proveedor de los componentes.
- % de Pentano: Porcentaje de gas expansor contenido en Componente 1.

La tabla 3.8, muestra los valores obtenidos en el control de la materia prima descritos en el punto 2.6.3 para los gabinetes inyectados de la tabla 3.7, los valores estándar son brindados por el proveedor de la materia prima, ya que este es quien realiza la formulación, estos valores solo se verán afectados ante cambios de formulación y/o condiciones ambientales. El cumplimiento de estos valores representa que la reacción se encuentra dentro del tiempo óptimo para el proceso y así asegurar el producto final, se evidencian tres valores de 68 seg. de tiempo de crecimiento, tres segundos por encima del valor estándar, lo que significara en el proceso mayor tiempo de desmolde y por ende menor productividad.

Tabla 3.7: Parámetros de Inyección para Modelos RFT-A1 y RFT-A2

Parámetro de Inyección	MODELO RFT-A1				MODELO RFT-A2			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Caudal (g/s)	1222.2	1222.2	1222.2	1222.2	1226.6	1226.7	1226.7	1227.6
Tiempo de disparo (s)	4.638	4.638	4.638	4.638	4.955	4.963	4.963	4.964
Temperatura Polioliol (°C)	28.8	28.5	29.1	26.5	29.2	28.5	28.4	29.1
Temperatura Isocianato (°C)	28.9	29.1	29.2	26	27.5	29.1	29	28.6
Presión Polioliol (bar)	142.0	141.5	143.1	141.2	140.6	147.2	147.8	139.4
Temperatura de Molde (°C)	40.5	40.1	40.3	40.8	39.2	40.1	40.8	40.1
Temperatura de Gabinete (°C)	40.1	40.3	40.8	40.5	40.5	40.2	40.6	40.3
Presión Isocianato (bar)	141.5	140.2	142.1	140.3	141.8	145.2	143.7	137.9
Relación de Mezcla (Polioliol/Isocianato)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
% de Pentano	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3

Fuente: Propia

Tabla 3.8: Datos de reactividad para materia prima usada en la inyección de modelos RFT-A1 y RFT-A2

PRUEBA	ESTANDAR	MODELO RFT-A1				MODELO RFT-A2			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Relación de mezcla	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Tiempo de crema	6 +/- 2 seg	6	6	6	6	6	6	6	6
Tiempo de hilo	43 +/- 3 seg	40	43	42	43	42	41	43	41
Tiempo de crecimiento	61 +/- 5 seg	60	62	61	68	68	66	68	62
Densidad Libre	24 +/- 1 kg/m ³	24.6	24.5	24.6	25	24.5	24.5	24.6	25.2

Fuente: Propia

La tabla 3.9, muestra los tiempos desmolde a los que fueron retirados los gabinetes inyectados mencionados en la descripción de la tabla 3.7, siendo el tiempo óptimo para este proceso de 4 minutos, sin embargo al haber obtenido mayores tiempo de crecimiento en las Muestra 4 para RFT-A1, Muestra 1 y Muestra 3 para RFT-A2, estos gabinetes necesitaran mayor tiempo de desmolde por lo se les otorga en este caso 30 segundos más para asegurar el curado, sin embargo este valor podría ser menor, pero se debe considerar que de retirar el gabinete sin el curado completo, indefectiblemente el gabinete producido será inservible ya que ante la acción de la presión atmosférica sufrirá deformaciones que provocaran deformaciones en la placa metálica y la placa plástica lo que es considerado un defecto estético grave.

La tabla 3.10, muestra el control de peso de espuma PUR de inyectada, cuando el gabinete ha sido retirado del molde, el estándar considerando el sobreempaque es de 5500 gramos para el modelo RFT-A1 y 5900 gramos para el modelo RFT-A2, en el proceso de inyección se obtuvieron pesos con una diferencia no mayor de 4 gramos para el modelo RFT-A1 y no mayor de 8 gramos para el modelo RFT-A2, siendo estos valores aceptables ya que no superan los 50 gramos (1% de desviación) aceptados como desviación máxima, de superar los 1% tolerado se tendrá que adicionar mayor cantidad de materia prima para asegurar el cumplimiento de este parámetro.

La tabla 3.11, muestra los valores de densidad bajo presión obtenidos para los gabinetes considerados Muestra 1 en ambos modelos respectivamente. Previamente la figura 3.16 grafica las zonas del gabinete donde serán tomadas las muestras para este ensayo. La densidad mínima considerada para asegurar un producto resistente a la presión y eficiente para el aislamiento es no menor de $31\text{kg}/\text{m}^3$, se observa en la tabla que los valores promedio superan este valor mínimo, por lo que el PUR rígido obtenido en los gabinetes presentara buena resistencia a la deformación y baja conductividad ya que la densidad y el factor de conductividad conservan relación directa con la cantidad de gas retenido en la espuma rígida de PUR inyectado.

Tabla 3.9: Tiempo de desmolde en inyección de gabinetes para Modelos RFT-A1 y RFT-A2

Tiempo de desmolde (min)	MODELO RFT-A1				MODELO RFT-A2			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
04:30				X	X		X	
04:20								
04:10								
04:00*	X	X	X			X		X
03:50								
03:40								

Fuente: Propia

Tabla 3.10: Peso de Poliuretano Inyectado por Modelo durante el proceso de inyección

Peso de PUR inyectado (g)	MODELO RFT-A1				MODELO RFT-A2			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Peso 1	5500	5500	5500	5500	5880	5900	5900	5900
Peso 2	5520	5520	5500	5480	5900	5920	5920	5920
Peso 3	5480	5500	5500	5500	5900	5920	5900	5920
Peso 4	5500	5500	5520	5500	5920	5900	5900	5900
Estandar	5500	5500	5500	5500	5900	5900	5900	5900
Promedio	5500	5504	5504	5496	5900	5908	5904	5908

Fuente: Propia

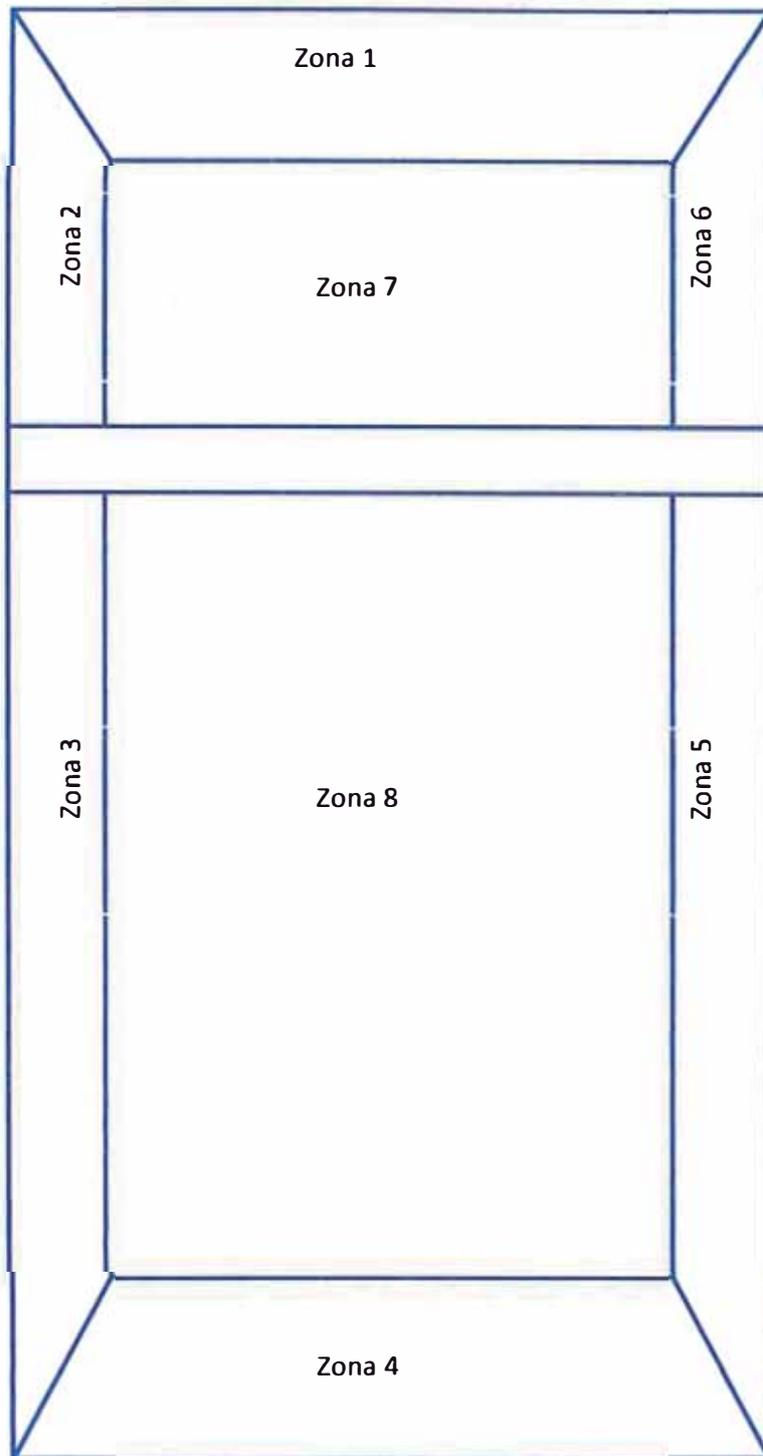


Figura: 3.16 - Distribución de Zonas para Extracción de Probetas de Prueba

Fuente: Propia

Tabla 3.11: Cuadro de Resultados de Densidad bajo Presión por zona y por modelo

ZONA	MODELO RFT-A1	MODELO RFT-A2
	Densidad bajo presión (kg/m^3)	Densidad bajo presión (kg/m^3)
1	39.8	39.4
2	35.5	39.4
3	35.5	34.2
4	33.7	33.5
5	34.8	35.5
6	39.2	38.4
7	38.9	38.2
8	37.0	38.7
Estándar	>31.00	>31.00
Promedio	36.80	37.16

Fuente: Propia

La figura 3.17, muestra las medidas que son tomadas para la prueba de Estabilidad Dimensional, la figura 3.9 nos muestra las zonas donde serán tomadas las muestras para realizar este ensayo.

Para efectos de cálculo se aplica la siguiente formula:

$$\text{Variacion Porcentual} = \frac{\text{medida inicial} - \text{medida final}}{\text{medida inicial}} \times 100\%$$

Se considera la prueba conforme si la variación porcentual en valor absoluto no es mayor al 1%.

A continuación se detalla los resultados de la prueba de Estabilidad Dimensional, tomadas para las Muestra 1 tanto para el modelo RFT –A1, como para RFT –A2.

- Modelo RFT-A1 (Volumen = 249 litros): La tabla 3.12 presenta los valores de las medidas iniciales de las probetas extraídas del gabinete, la tabla 3.13 presenta los valores de medida de las probetas “envejecidas”, la tabla 3.14 presenta los valores porcentuales de la diferencia entre la medida inicial y final respecto a la medida inicial, se observa que en todos los casos la variación porcentual en valor absoluto no supera el 1%, por lo que se considera que la espuma inyectada de PUR presenta buena Estabilidad Dimensional, lo que asegura que el gabinete no sufra deformaciones drásticas con el tiempo.
- Modelo RFT-A2 (Volumen = 270 litros): La tabla 3.15 presenta los valores de las medidas iniciales de las probetas extraídas del gabinete, la tabla 3.16 presenta los valores de medida de las probetas “envejecidas”, la tabla 3.17 presenta los valores porcentuales de la diferencia entre la medida inicial y final respecto a la medida inicial, se observa que en todos los casos la variación porcentual en valor absoluto no supera el 1%, por lo que se considera que la espuma inyectada de PUR presenta buena Estabilidad Dimensional, lo que asegura que el gabinete no sufra deformaciones drásticas con el tiempo.

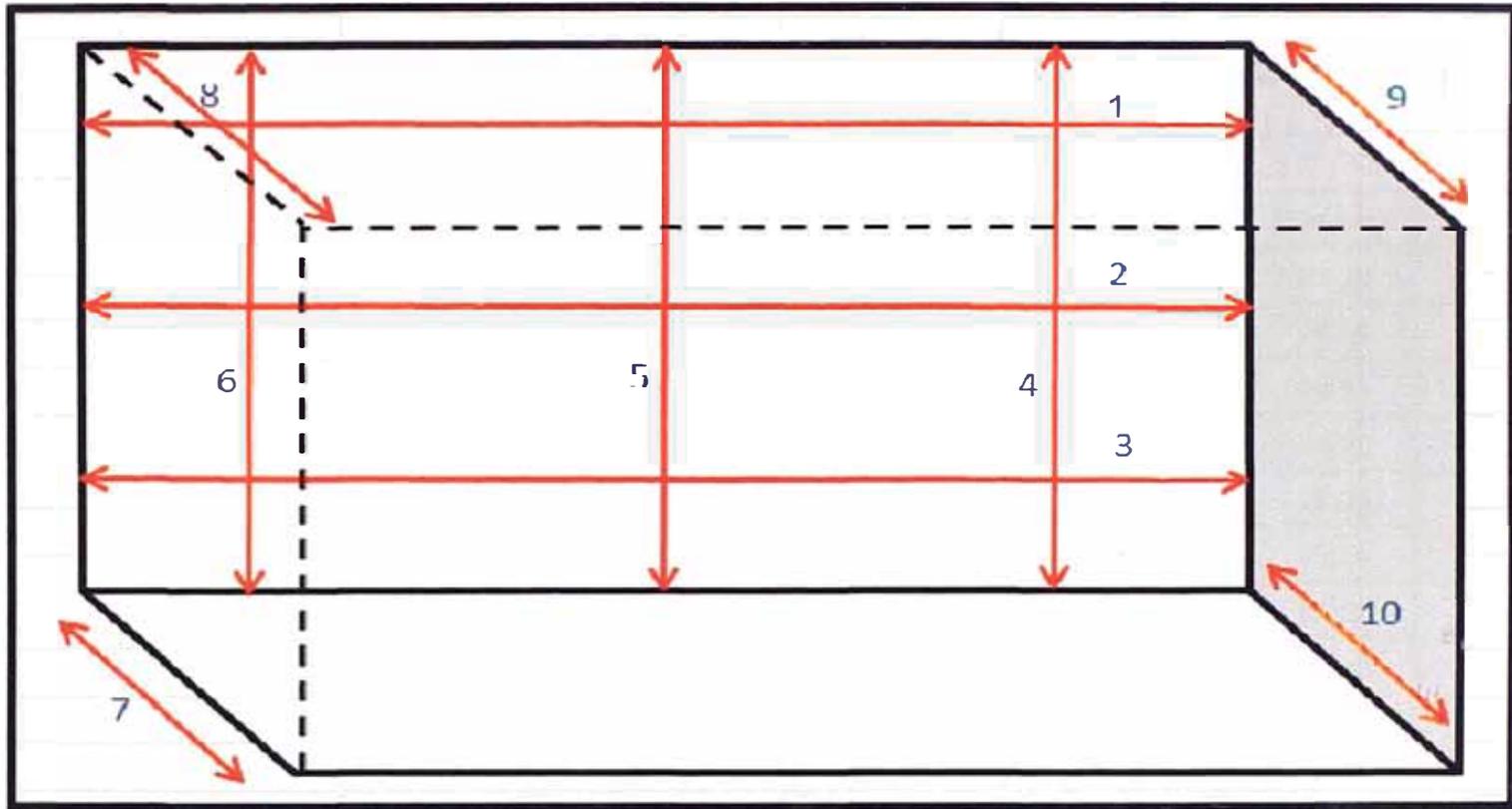


Figura 3.17 – Medidas a Tomar en Probeta Prueba de Estabilidad Dimensional

Fuente: Propia

Tabla 3.12: Medida Inicial de Probeta extraída de Gabinete RFT-A1

Zona	MODELO RFT-A1									
	Medida Inicial de Probeta (mm)									
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10
1	100.42	100.51	100.60	99.58	98.90	98.74	25.27	24.88	25.10	25.34
2	99.63	99.49	99.69	99.85	99.69	99.75	24.56	24.35	24.89	24.61
3	99.09	99.33	99.44	99.95	99.93	100.10	24.19	24.27	24.42	24.22
4	100.61	100.61	100.24	99.56	99.61	99.65	24.61	24.76	24.78	24.78
5	99.58	99.49	99.44	99.02	99.10	99.24	24.57	24.77	24.24	24.61
6	99.95	99.94	99.93	99.14	99.73	100.28	25.30	25.31	25.24	25.02
7	100.28	100.44	100.68	100.02	99.63	99.79	25.50	25.20	24.99	25.47
8	99.85	99.90	99.88	99.43	99.50	99.51	24.88	24.90	24.70	24.79

Fuente: Propia

Tabla 3.13: Medida Final de Probeta extraída de Gabinete RFT-A1

Zona	MODELO RFT-A1									
	Medida Final de Probeta (mm)									
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10
1	100.43	100.52	100.58	99.58	98.92	98.72	25.22	24.89	25.04	25.39
2	99.66	99.45	99.67	99.80	99.71	99.70	24.55	24.28	24.82	24.61
3	99.03	99.32	99.45	99.21	99.99	100.11	24.21	24.27	24.42	24.22
4	100.65	100.62	100.17	99.56	99.63	99.65	24.73	24.76	24.78	24.80
5	99.51	99.38	99.46	99.07	99.12	99.17	24.59	24.75	24.31	24.63
6	99.90	99.98	99.98	99.11	99.76	100.22	25.28	25.27	25.18	25.04
7	100.26	100.39	100.62	100.12	99.70	99.74	25.47	25.16	25.01	25.51
8	99.83	99.83	99.84	99.45	99.46	99.44	24.98	24.92	24.66	24.77

Fuente: Propia

Tabla 3.14: Variación porcentual de medidas para probetas extraídas de Gabinete RFT-A1

Zona	MODELO RFT-A1												
	Variación Porcentual (ESTANDAR $\leq 1\%$)												ESTADO DE LA PROBETA
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10	NUMERO DE MEDIDAS NO CONFORMES	PROMEDIO	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.2	0.2	0	0.0	CONFORME
2	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0	-0.1	CONFORME
3	-0.1	0.0	0.0	-0.7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0	-0.1	CONFORME
4	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0	0.1	CONFORME
5	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.3	0.1	0	0.0	CONFORME
6	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	0.1	0	0.0	CONFORME
7	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.2	0	0.0	CONFORME
8	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.4	0.1	-0.2	-0.1	0	0.0	CONFORME

Fuente: Propia

Tabla 3.15: Medida Inicial de Probeta extraída de Gabinete RFT-A2

Zona	MODELO RFT-A2									
	Medida Inicial de Probeta (mm)									
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10
1	101.25	101.22	101.13	101.58	101.22	100.97	27.22	27.52	27.12	27.09
2	102.80	102.87	102.63	102.96	102.44	102.12	27.75	27.24	28.14	28.45
3	102.08	102.05	101.78	102.41	101.99	101.66	28.77	28.54	27.48	27.34
4	101.75	101.73	102.00	103.68	103.35	102.96	28.00	28.84	28.49	27.33
5	101.99	102.49	102.70	102.90	102.78	102.57	27.88	27.43	27.75	28.22
6	101.68	101.98	102.26	102.30	102.55	102.65	28.34	26.76	26.77	27.84
7	101.44	101.80	102.64	101.24	101.29	101.18	27.65	27.07	27.47	27.96
8	103.41	102.76	102.07	102.52	102.54	102.43	29.57	28.98	28.35	29.57

Fuente: Propia

Tabla 3.16: Medida Final de Probeta extraída de Gabinete RFT-A2

Zona	MODELO RFT-A2									
	Medida Final de Probeta (mm)									
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10
1	101.23	101.20	101.13	101.57	101.22	100.98	27.24	27.52	27.13	27.08
2	102.80	102.85	102.63	102.97	102.42	102.13	27.77	27.23	28.18	28.47
3	102.07	102.03	101.76	102.40	101.98	101.66	28.78	28.56	27.50	27.35
4	101.73	101.73	102.01	103.69	103.33	102.97	28.03	28.83	28.48	27.35
5	101.97	101.49	102.68	102.88	102.78	102.56	27.90	27.43	27.76	28.20
6	101.68	101.98	102.25	102.29	102.56	102.66	28.36	26.78	26.76	27.83
7	101.45	101.81	102.64	101.25	101.27	101.18	27.64	27.08	27.48	27.94
8	103.40	102.76	102.08	102.51	102.52	102.42	29.57	29.00	28.35	29.54

Fuente: Propia

Tabla 3.17: Variación porcentual de medidas para probetas extraídas de Gabinete RFT-A2

Zona	MODELO RFT-A2												
	Variación Porcentual ($ \text{ESTANDAR} \leq 1\%$)												
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10	NUMERO DE MEDIDAS NO CONFORMES	PROMEDIO	ESTADO DE LA PROBETA
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0.0	CONFORME
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0	0.0	CONFORME
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0	0.0	CONFORME
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0	0.0	CONFORME
5	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1	0	-0.1	CONFORME
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	0.0	CONFORME
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0	0.0	CONFORME
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.1	0	0.0	CONFORME

Fuente: Propia

La tabla 3.18 muestra los valores de resistencia a la compresión y el promedio por zona de extracción de muestra, para los gabinetes de muestra RFT-A1 y RFT A-2 respectivamente.

Se considera como mínimo 4 muestras por zona de extracción, a partir de estos valores se obtiene el promedio de resistencia a la compresión por zona para mejor análisis, sin embargo para efectos de cálculo se reporta el promedio total de todas las zonas como resistencia a la compresión del gabinete.

En la tabla 3.18 se obtiene como promedio de resistencia en ambos casos $1.18\text{kg}/\text{cm}^2$, ambos mayores a $1.15\text{kg}/\text{cm}^2$, valor que se considera el mínimo necesario para soportar la presión atmosférica sin presentar deformaciones.

El valor de $1.15\text{kg}/\text{cm}^2$, es un valor referencial ya que la presión atmosférica variara según la altura geográfica a la que opere el artefacto, estando sometidos a la máxima presión los artefactos que operen en zonas costeras, donde la presión atmosférica es aproximadamente $1.04\text{kg}/\text{cm}^2$.

La tabla 3.19, muestra el valor de consumo de energía declarado por el fabricante para el refrigerador modelo RFT-A2 (Volumen=270 litros). Este valor es usado para determinar si el refrigerador fabricado cumple con la norma peruana, la cual exige que el valor obtenido mediante pruebas en laboratorio tenga una desviación máxima del 15% al valor declarado.

Para la realización del ensayo de Consumo de Energía, se debe contar con un laboratorio que mantenga condiciones ambientales estables, los valores durante el ensayo en el que se obtuvieron los valores de la tabla 3.20 fueron:

- Temperatura ambiente: 25.4°C
- %Humedad: 51.6%

Tabla 3.18: Resistencia a la Compresión en Probetas Extraídas

Zona	MODELO RFT-A1			MODELO RFT-A2		
	Presión (bar)	Compresión (kg/cm ²)	Promedio de Compresión por zona (kg/cm ²)	Presión (bar)	Compresión (kg/cm ²)	Promedio de Compresión por zona (kg/cm ²)
1	2.20	1.23	1.21	2.10	1.17	1.22
	2.18	1.21		2.50	1.39	
	2.20	1.22		2.20	1.22	
	2.10	1.17		2.10	1.17	
	2.15	1.20		2.10	1.17	
2	2.10	1.17	1.20	1.95	1.08	1.16
	2.15	1.20		2.10	1.17	
	2.20	1.22		2.10	1.17	
	2.15	1.20		2.10	1.17	
	2.20	1.22		2.15	1.20	
3	2.15	1.20	1.22	2.10	1.17	1.20
	2.20	1.22		2.20	1.22	
	2.20	1.22		2.15	1.22	
	2.20	1.22		2.10	1.17	
	2.20	1.22		2.15	1.20	
4	2.10	1.17	1.20	2.05	1.19	1.20
	2.20	1.22		2.20	1.22	
	2.18	1.21		2.20	1.22	
	2.20	1.22		2.15	1.20	
	2.10	1.20		2.10	1.17	
5	2.10	1.17	1.20	1.95	1.08	1.15
	2.20	1.22		2.15	1.20	
	2.15	1.20		2.15	1.20	
	2.20	1.22		2.10	1.17	
	2.10	1.17		2.05	1.11	
6	2.08	1.15	1.10	2.00	1.11	1.13
	1.90	1.06		1.90	1.06	
	1.95	1.08		2.10	1.17	
	2.00	1.11		2.00	1.11	
	1.95	1.08		2.15	1.20	
7	2.10	1.17	1.19	2.05	1.21	1.16
	2.15	1.20		2.10	1.11	
	2.10	1.17		2.05	1.19	
	2.20	1.22		2.10	1.17	
	2.18	1.21		2.05	1.11	
8	2.00	1.11	1.10	2.20	1.22	1.23
	1.95	1.08		2.20	1.22	
	2.05	1.11		2.25	1.25	
	1.95	1.08		2.20	1.22	
	2.00	1.11		2.20	1.22	
PROMEDIO TOTAL	2.12	1.18	1.18	2.12	1.18	1.18

Fuente: Propia

Tabla 3.19: Valores declarados por el Fabricante para modelo RFT-A2

Volumen Bruto Total (litros)	Volumen de Almacenamiento Fijado (litros)	Consumo de Energía (KWh/día)	Dimensiones Exteriores (mm)		
			Ancho	Alto	Profundidad
270.00	256.00	1.04	615	1675	705

Fuente: Indurama

Tabla 3.20: Cuadro de Resultados del Ensayo de Consumo de Energía

EJECUCION DE PRUEBA	Posición de control	1.8	Posición Damper	1
Requisito		Resultado		
		ON	OFF	PROMEDIO
Paquete M1	$\leq -12^{\circ}\text{C}$	-11.8	-11.9	-11.8
Paquete M2	$\leq -12^{\circ}\text{C}$	-11.7	-11.7	-11.7
Paquete M3	$\leq -12^{\circ}\text{C}$	-	-	-
$T_{cc\ max, min}$	-2 a +3°C	0.7	0.8	0.8
t_1	0 a 10°C	2.9	2.9	2.9
t_2	0 a 10°C	2.1	2.3	2.2
t_3	0 a 10°C	3.7	3.7	3.7
$t_{m\ max}$	0 a 5°C	2.9	3.0	3.0
t_{cm}	8 a 14°C	7.7	7.6	7.7
Consumo de Energía Real (Kwh/día)	Medido con Analizador de Red calibrado.	1.193Kwh/día		

Fuente: Propia

El valor obtenido por el equipo analizador de red es 1.193 kWh/día. Este valor según los parámetros declarados por el fabricante (tabla 3.20) está 14.7% por encima del estándar declarado por el fabricante, siendo este menor a la diferencia máxima aceptada de 15% según norma NTP 399.483 acápite 6.1, por lo tanto este producto **puede ser comercializado.**

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones:

1. El cumplimiento de la norma de eficiencia energética en cuanto clasificación y consumo de energía depende en gran medida de la correcta inyección del Poliuretano ya que un mal control de parámetros podría significar un producto de aislamiento deficiente, exigiendo así al aparato mayor esfuerzo en tiempo de funcionamiento.

Para efectos de cálculo:

$$\text{Desviación de Consumo} = \frac{CE(\text{Prueba}) - CE(\text{fabricante})}{CE(\text{fabricante})} \times 100\%$$

*CE: Consumo de energía.

Según NTP, el criterio de aceptación es:

$$\text{Desviación de Consumo} \leq 15\%$$

Tabla 4.1: Cálculo de la desviación de refrigerador de prueba

DATOS DEL FABRICANTE				RESULTADO DE PRUEBAS	Desviación de Consumo
Modelo	Volumen Bruto Total (litros)	Volumen de Almacenamiento Fijado (litros)	Consumo de Energía (kWh/día)	Consumo de Energía (kWh/día)	
RFT-A2	270	256	1.04	1.193	14.7%

Fuente: Propia

El cuadro 3.21 muestra que, bajo los resultados obtenidos en cuanto a inyección en todo el capítulo 3.8, obtenemos una desviación de consumo del 14.7% del estándar declarado por el fabricante.

2. La propiedad aislante del poliuretano se ve grandemente afectada por la porosidad, la forma de las celdas y la cantidad de agente expansor retenida en las mismas, es por esto que en la tabla 3.2 se observa como el poliuretano recién inyectado tiene menor coeficiente de conductividad térmica que el mismo ya envejecido.
3. El costo del pentano es bajo, sumado a su nula capacidad para dañar la capa de ozono ya que luego de ser liberado al ambiente se descompone en dióxido de carbono y agua es actualmente el agente expansor más usado para este proceso, ver Anexo – 07.

4.2 Recomendaciones

1. El comportamiento de un refrigerador doméstico, depende directamente del ambiente externo (tipo de clima) ya que el mayor flujo de calor al interior del artefacto proviene del medio ambiente que lo rodea, es de gran importancia que los ensayos se realicen en laboratorios acondicionados con climas estándar de operación que mantengan la temperatura según la clasificación estipulada en la tabla 2.2.
2. Las variaciones de masa en el proceso de inyección afectan la densidad del producto final, es de alto riesgo para el producto la presencia de espacios vacíos en el gabinete inyectado, los esfuerzos del control en el proceso deben estar orientados a que este parámetro se cumpla irrestrictamente.

ANEXO 01

Temperatura de almacenamiento de compartimientos según

NTP ISO 399.483 2007

3.4.3.2 **temperatura de almacenamiento de alimentos congelados, t^{***} , t^{**} , t^*** (según sea lo apropiado): Temperaturas máximas del paquete “M” más caliente de una carga colocada en almacenamiento, según lo especificado en 8.6.

3.4.3.3. **temperatura del compartimiento de bodega; t_{cm}** : El promedio aritmético de la temperatura media t_{c1} , t_{c2} y t_{c3} (como corresponda, véase Figura 10), que son las temperaturas medias internas medidas con cilindros de cobre o bronce (véase 8.4) colocadas en puntos determinados del compartimiento de bodega, según lo especificado en 8.5, es decir, el promedio aritmético de los valores extremos en esos puntos durante un ciclo de control completo (véase 3.4.6).

3.4.4 **Descongelamiento**

3.4.4.1 **descongelamiento automático**: Un compartimiento es automáticamente descongelado cuando el usuario no debe realizar acción alguna para iniciar la remoción del hielo acumulado ni para restablecer la operación normal, y cuando la remoción del agua descongelada es automática.

3.4.4.2 **descongelamiento semiautomático**: Un compartimiento es de descongelamiento semiautomático cuando es necesaria la acción del usuario para iniciar la remoción de hielo acumulado y la operación normal se restablece automáticamente, el agua descongelada es retirada manualmente o mediante un dispositivo automático.

Se considera también descongelamiento semiautomático cuando no se necesita acción del usuario para iniciar la remoción del hielo acumulado ni restablecer la operación normal, pero debe retirarse el agua descongelada en forma manual.

3.4.4.3 **descongelamiento manual**: Un compartimiento es descongelado manualmente cuando es necesaria una acción de parte del usuario para iniciar la remoción del hielo acumulado y el restablecimiento de la operación normal requiere una acción posterior del usuario, el agua descongelada es retirada manualmente o retirada y evacuada automáticamente.

El método de descongelamiento debe ser especificado en forma separada para el compartimiento(s) de almacenamiento de alimentos frescos y el compartimiento(s) de baja temperatura.

8.6 Medición de la temperatura de los compartimientos o secciones de almacenamiento de alimentos congelados (véase también 7.2.6)

Las temperaturas deben medirse en los paquetes “M” que están distribuidos a lo largo de la carga de los paquetes de ensayo especificados en el plan de almacenamiento (véase 13.1.2)

La temperatura de almacenamiento de cada compartimiento o sección (véase 3.4.3.2) es entonces la máxima temperatura del paquete “M” más caliente en ese compartimiento o sección.

8.7 Medición del porcentaje de tiempo de funcionamiento

Cuando un refrigerador opera entre “prendido/apagado” bajo condiciones de almacenamiento a una temperatura de 32 °C, 38 °C ó 43 °C, como la apropiada para la clase de clima del artefacto (véase capítulo 12), el tiempo de funcionamiento debe ser medido durante un período de ensayo de al menos de 24 horas, tal como especificamos en 8.8.

8.7.1 Refrigeradores operados por electricidad

Debe utilizarse un reloj sincrónico que opere cuando el sistema de refrigeración esté en funcionamiento. Cuando el relay de corriente, conectado en serie en el circuito de suministro de energía, es energizado por la corriente que fluye a través de él, aplica un voltaje a un reloj sincrónico cuya lectura es registrada al comienzo y al final del ensayo. El tiempo de funcionamiento es la diferencia entre las dos lecturas.

Alternativamente, la corriente o la potencia pueden ser graficadas en función del tiempo con un amperímetro o watímetro registrador, y los períodos de funcionamiento e inactividad computados a partir del gráfico.

8.7.2 Refrigeradores que no son operados eléctricamente

Puede ser utilizado cualquier dispositivo apropiado para registrar el tiempo de funcionamiento de un sistema de refrigeración.

13.1 Procedimiento

13.1.1 Preparación del artefacto

El artefacto debe ser instalado en el cuarto de ensayo de acuerdo con 8.1.3 El(los) evaporador(es) deben ser descongelados, si fuera necesario, y las paredes internas y componentes del artefacto secados. Los medios de acceso (puertas y tapas) deben ser mantenidas cerradas durante los ensayos.

El artefacto debe ser puesto en servicio de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Todos los accesorios internos suministrados con el artefacto, incluido las cubetas de hielo deben ser colocadas en su lugar. Las cubetas de hielo deben retirarse en el caso que el compartimiento de almacenamiento de alimentos congelados no tenga subdivisiones específicas para acomodar a estas. Si el artefacto tiene termostato(s) y/o otros dispositivos de control de temperatura que está(están) diseñado(s) para ser ajustados por el usuario, el(los) termostato(s) y/o dispositivo(s) deben ser puestos en la posición recomendada por el fabricante para operación normal a la temperatura ambiente apropiada. Cuando el termostato(s) y/o dispositivo(s) no está(son) diseñado para ser ajustado por el usuario, las mediciones deben ser realizadas en el artefacto conforme ha sido despachado. El artefacto debe operar en vacío al menos 24 horas hasta alcanzar el equilibrio.

Los compartimientos de almacenamiento de comida fresca y de bodega, si existieran, deben ser equipados con cilindros de cobre o bronce de acuerdo con 8.4 y 8.5.

El(los) compartimiento(s) de almacenamiento de alimentos congelados deben ser equipados con paquetes de ensayo y paquetes "M" de acuerdo con el siguiente plan de almacenamiento.

13.1.2 Plan de almacenamiento

El(los) compartimiento(s) de almacenamiento de alimentos congelados deben ser llenados con tantos paquetes de ensayo como puedan entrar. Los paquetes de ensayo deben haber sido puestos previamente a una temperatura aproximadamente igual a la temperatura de clasificación del compartimiento.

Se deben cumplir las siguientes condiciones.

13.1.2.1 Sobre cada superficie horizontal destinada para almacenamiento, debe hacerse el mayor número posible de pilas de paquetes de ensayo, con una base de 100 mm x 200 mm de paquetes de 1 kg (50 mm x 100 mm x 200 mm), colocados tendidos (es decir con la cara teniendo las dimensiones horizontales más grandes).

Cuando un paquete “M” (500 g y 50 mm x 100 mm x 100 mm) tiene que ser colocado en una pila, debe colocarse plano también, cara a cara con otro paquete de 500 g, con excepción de los anaqueles de puertas (véase 13.1.2.7).

La carga puede, si es necesario, ser completada con pilas teniendo una base de 100 mm x 100 mm hechas con paquetes de 500 g tendidos horizontalmente, y finalmente por pilas teniendo una base de 50 mm x 100 mm con paquetes de 125 g colocados también en esa posición.

Cuatro paquetes de 125 g pueden ser reemplazados por uno de 500 g colocado verticalmente.

13.1.2.2 La altura de las pilas debe ser tal que la luz vertical entre el extremo superior del paquete más alto y el límite de carga, el estante o la superficie horizontal situada inmediatamente por encima no es mayor de 25 mm, y no existe contacto físico entre el paquete más alto y ese estante o superficie horizontal.

En el caso de un gabinete de apertura superior sin una línea de límite de carga, debe dejarse una luz vertical mayor a 10 mm pero menor a 35 mm entre el borde superior del paquete más alto y la superficie interior de la tapa.

Con la finalidad de satisfacer esos requerimientos, paquetes de 125 g (25 mm x 50 mm x 100 mm), tendidos, deben ser utilizados a partir de la mitad de cualquier pila.

El número de paquetes para cada pila debe ser determinado primero de acuerdo con su espesor nominal, 50 mm y 25 mm. Para la carga real, los paquetes deben ser escogidos de tal forma que, teniendo en cuenta su espesor individual, la luz vertical encima de cada pila está dentro de los límites arriba mencionados.

13.1.2.3 Las pilas de paquetes deben ser colocadas en contacto directo con las superficies de carga horizontales y verticales excepto en los siguientes casos.

a) Cuando la superficie vertical es la superficie interior de una puerta, las pilas deben ser cargadas de la siguiente manera:

si existe una línea marcada para el límite de carga, los paquetes deben ser cargados hasta esa línea véase Figura 11a;

si no existe una línea marcada para el límite de carga, pero sí un límite de carga natural, los paquetes deben ser cargados hasta ese límite (véase Figuras 11b y 11g);

NOTA 5: las puertas internas, extremos de anaqueles, canastas o alerones son considerados límites naturales de carga.

si el fabricante declara el volumen total de un compartimiento como volumen de almacenamiento, aún si existe un límite natural de carga, los paquetes deben ser cargados dentro de 15 mm de la superficie interior vertical o cualquier proyección de la puerta; en ese caso, los paquetes pueden sobresalir horizontalmente el extremo frontal de cualquier anaquel (véase Figuras 11c y 11d).

b) Cuando la intersección de una superficie de carga horizontal y una superficie vertical es curvada, el paquete del fondo de cualquier pila debe estar colocado en contacto directo con la superficie de carga horizontal y el restante de la pila debe proyectarse mas allá del paquete del fondo de manera de estar en contacto con la superficie vertical (véase Figuras 11e, 11f y 11h).

13.1.2.4 Si se suministra una subdivisión específicamente para producir y almacenar hielo y no se puede remover sin el uso de herramientas, las cubetas de hielo deben ser llenadas con agua, los contenidos congelados y colocados en posición antes que el compartimiento sea cargado con paquetes de ensayo; caso contrario, las cubetas de hielo y las subdivisiones deben ser retiradas y el compartimiento completo cargado con paquetes.

13.1.2.5 Se debe dejar un mínimo de 15 mm (calculados a partir de las dimensiones nominales de los paquetes de ensayo) tan igual como sea posible, entre pilas de paquetes de ensayo adyacentes.

Es permitido el uso de separadores para mantener espacios de aire libres entre las pilas de los paquetes de ensayo tratando que sean de la sección transversal más pequeña y de la menor conductividad térmica posibles, y deben ser colocados de tal forma que no interfieran significativamente con la circulación normal de aire.

13.1.2.6 Los paquetes “M” deben ser colocados donde se espera la temperatura más alta posible. Esos lugares pueden ser diferentes para las pruebas de temperaturas de almacenamiento, consumo de energía y elevación de temperatura.

13.1.2.7 Los anaqueles, secciones y compartimientos de las puertas deben ser cargados también con tantos paquetes como sean posibles. Los paquetes se deben colocar en una posición tal que el espacio de aire libre entre los paquetes y la superficie interior de las puertas y entre los paquetes y el retenedor sean iguales. En el caso de los anaqueles y compartimientos de las puertas, los paquetes pueden, si es necesario, colocarse al final. Sin embargo, paquetes de 125 g deben colocarse solamente horizontales, deben usarse espaciadores para mantener la estabilidad de las pilas (véase 13.1.2.5).

13.1.3 Artefactos con compartimiento de bodega ajustable

Si el artefacto incluye un compartimiento de bodega y los volúmenes de ese compartimiento y la relación del compartimiento de almacenamiento de comida fresca puede ser cambiado, uno con respecto al otro por el usuario, el compartimiento de bodega debe ser ajustado a su volumen mínimo para el ensayo en ambientes de elevada temperatura y a su máximo volumen para el ensayo en ambientes de baja temperatura (véase 8.1.1).

13.1.4 Mediciones

Para cada temperatura ambiente, el(los) termostato(s) y otros controles, si hubieran, deben ser ajustados conforme sea necesario, a una posición que nos dé la temperatura de almacenamiento requerida. (véase 8.5 y 8.6) que cumple con 6.2.1, después que se han alcanzado condiciones estables (véase 3.4.7) de operación.

ANEXO 02

**Instrumentos de medición de temperatura y puntos de lectura según
NTP ISO 399.483 2007**

La manera de evacuar el agua descongelada debe ser de alguna de las siguientes formas:

3.4.4.4 evacuación automática del agua descongelada: La evacuación del agua descongelada es automática cuando la remoción y evaporación del agua descongelada no requiere ninguna acción del usuario.

3.4.4.5 remoción manual del agua descongelada: La remoción del agua descongelada es manual cuando es necesaria una acción de parte del usuario para retirar el agua descongelada.

3.4.5 paquetes "M": Un paquete de ensayo de acuerdo con el apartado 8.2, de 50 mm x 100 mm x 100 mm, habilitado con un sensor de temperatura en su centro geométrico.

3.4.6 ciclo de control: Período entre dos arranques o dos paradas sucesivas de un sistema de refrigeración, o parte de un sistema, bajo condiciones de operación estables.

3.4.7 condiciones de operación estable: En el caso de operación cíclica de un sistema refrigerante, o parte de un sistema, incluyendo cualquier período de descongelamiento automático, se estima que se alcanzan las condiciones de operación estable cuando, por cada paquete "M" y cilindros de cobre o bronce, las temperaturas de todos los puntos correspondientes durante los ciclos de operación sucesivos coinciden dentro de $+ 0,5$ K y no existe una tendencia marcada a salirse de la temperatura media durante un período de 24 horas.

En el caso de operación continua de un sistema de refrigeración, o de una parte de un sistema, se consideran alcanzadas las condiciones estables de operación cuando, no obstante pueda haber una cierta variación de la temperatura, el aumento o disminución en la temperatura de todos los paquetes "M" y cilindros de cobre o bronce no exceden $0,5$ K durante un período de 18 horas.

3.4.8 porcentaje de tiempo de funcionamiento, R (aparatos con control encendido/apagado de la fuente refrigerante): Bajo condiciones de temperatura ambiente y temperaturas de almacenamiento interno dadas, la relación:

8.3.3 Suministro de energía

8.3.3.1 Suministro de energía eléctrica⁷

El artefacto debe ser ensayado al voltaje y frecuencia especificado o al valor medio del rango de voltaje especificado $\pm 1 \%$.

8.3.3.2 Suministro de energía distinta al eléctrico

Los artefactos que usan energía diferente a la eléctrica deben ser ensayados bajo condiciones de suministro correspondiente a la que figura en las especificaciones de placa.

8.3.3.3 Suministro de energía múltiple

Los artefactos equipados para operación con diferentes suministros de energía deben ser ensayados con cada una de las condiciones de suministro indicados en la placa de especificaciones (véase 8.3.3.1 y 8.3.3.2).

8.3.4 Condiciones generales para el uso de canastas, contenedores, parrillas y bandejas

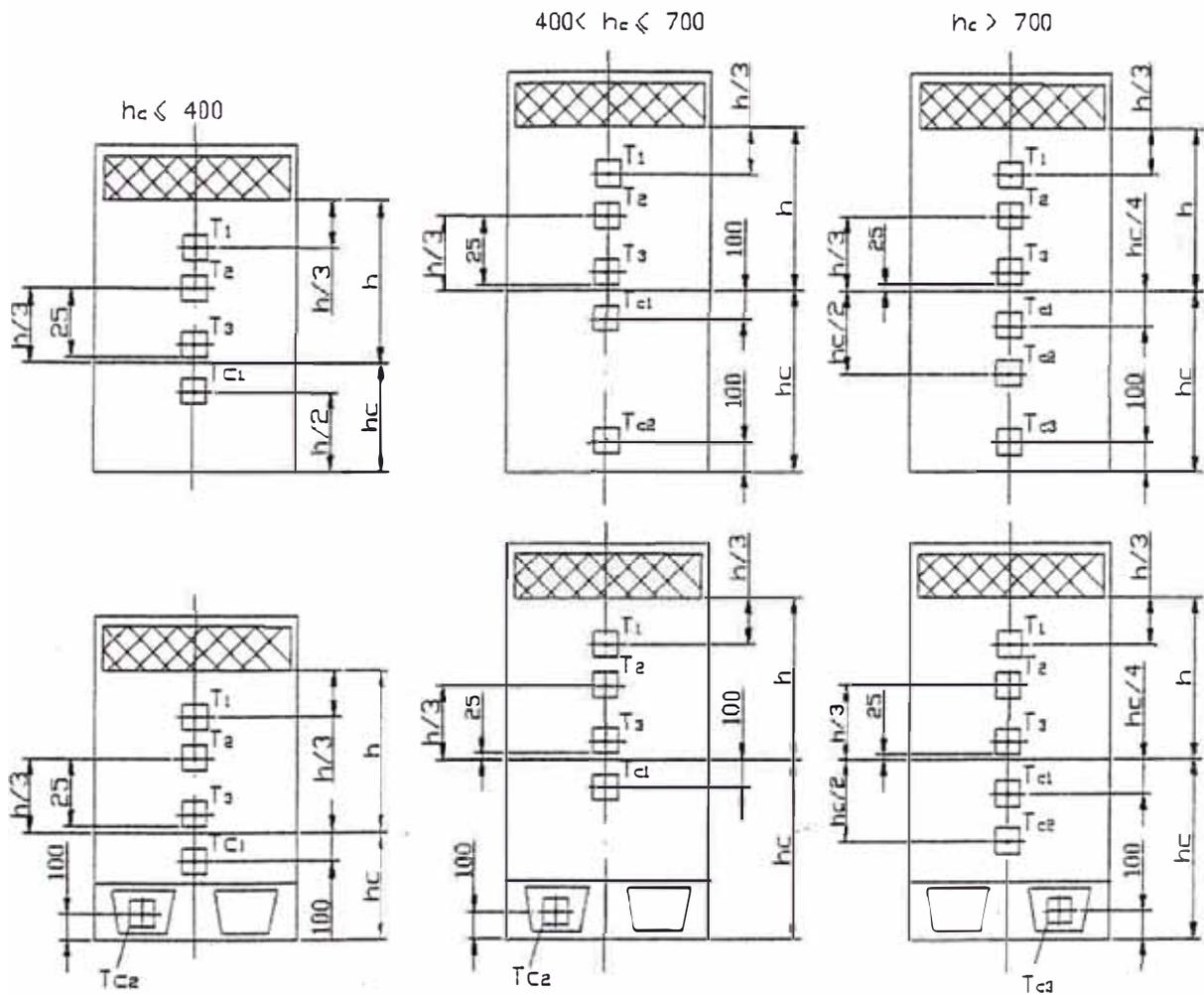
Deben estar colocados todo tipo de estante y solo aquellas canastas, contenedores y bandejas que han sido tomados en consideración cuando se determinó el volumen de almacenamiento.

8.4 Instrumentos de medición

Las temperaturas deben ser medidas con sondas de temperatura, cuyos sensores son insertadas ya sea en los paquetes "M" o, para la medición de temperaturas del ambiente y para la medición de las temperaturas t_1 , t_2 , t_3 y t_{c1} , t_{c2} , t_{c3} durante todos los ensayos, en el centro de cilindros sólidos de cobre o bronce con una masa de 25 g y un área externa

⁷ Véase Anexo A para condiciones particulares.

Dimensiones en milímetros



NOTAS:

1. Estos esquemas muestran los puntos de medición de temperatura de los cilindros de cobre o bronce
2. También se aplican a las disposiciones 1a a 7b de la Figura 9

FIGURA 10 - Puntos de medición de temperatura en compartimentos de bodega con relación a su altura (h_c) y accesorios internos

ANEXO - 03

Método de prueba para determinación de Estabilidad Dimensional

B. ESTABILIDAD DIMENSIONAL

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

PRUEBA PATRÓN HUNTSMAN

Exponer la muestra de espuma de 4 in x 4 in x 1 in sin piel por 14 días a las siguientes condiciones de envejecimiento:

1. A - 25°C y una humedad ambiente.
2. A + 70°C y una humedad relativa del 97%.

Nota: Los resultados se expresan como un cambio de % en las dimensiones lineales de largo, ancho y espesor.

los valores típicos son:

Para 1: 0.0	a	- 3.0%
Para 2: 1.0	a	+ 7.0%

ANEXO - 04

Ensayo de consumo de energía según NTP ISO 399.483 2007

15. ENSAYO DE CONSUMO DE ENERGÍA

El propósito de este ensayo es verificar el consumo de energía de refrigeradores bajo condiciones de ensayo especificadas.

NOTA 6: En algunos países se requiere por ley, un método diferente para medir el consumo de energía (véase anexo A)

15.1 Procedimiento

15.1.1 Temperatura ambiente⁸

La temperatura ambiente debe ser:

+ 25 °C para artefactos de la clase SN, N y ST

+ 32 °C para artefactos de clase T

y deben ser controladas dentro de las tolerancias especificadas en 8.1.1

15.1.2 Preparación del artefacto

El refrigerador debe ser instalado y cargado como para la prueba de temperatura de almacenamiento (véase 13.1). Si son suministrados calentadores anticongelación que pueden ser prendidos o apagados por el usuario, pero que no fueron necesarios para el ensayo de condensación de agua (véase capítulo 14), no deben prenderse.

Si el refrigerador incluye un compartimiento de bodega y el volumen de éste y el del compartimiento de almacenamiento de comida fresca es ajustable por el usuario, uno con respecto al otro, el de bodega debe ajustarse a su volumen mínimo.

⁸ Véase Anexo A para condiciones particulares.

15.2 Mediciones

El consumo de energía (eléctrica, gas o cualquiera otras), debe ser medido durante el período de prueba (véase 8.8).

En el caso de operación cíclica, los valores iniciales y finales deben ser leídos inmediatamente después de apagar el termostato del compartimiento que tiene el ciclo de control más largo.

La medida de consumo de energía debe ser llevada a cabo bajo condiciones de almacenamiento con todos los compartimientos operando simultáneamente.

15.2.1 Condiciones generales de temperatura

El consumo de energía debe ser obtenido cuando todas las condiciones de temperatura de almacenamiento, de acuerdo con la Tabla 2, si es aplicable, se alcanzan simultáneamente y dan el consumo de energía más bajo.

15.2.2 Determinación del consumo de energía

El consumo de energía debe ser aquel correspondiente a una de las condiciones de temperatura dadas entre a y d en la Tabla 4.

El consumo de energía debe ser determinado ya sea para una de las temperaturas características o por interpolación de los resultados de 2 pruebas, una dando una temperatura más caliente y la otra más fría que las temperaturas características $t^{***} = -18$ °C para la condición a, $t^{**} = -12$ °C para la condición b, $t_m = +5$ °C para la condición c, o $t_{cm} = +12$ °C para la condición d en la Tabla 4.

TABLA 4 - Temperaturas de almacenamiento posibles para la determinación del consumo de energía

Temperatura	Valores en grados Celsius			
	Condiciones de temperatura de acuerdo con 15.2.1			
	a	b	c	d
t^{***}	-18	≤ -18	≤ -18	≤ -16
t^{**}	≤ -12	-12	≤ -12	≤ -12
t_m	$\leq +5$	$\leq +5$	+5	$\leq +5$
t_{mb}	$\leq +12$	$\leq +12$	$\leq +12$	+12

NOTA: si existe cualquier sección “dos estrellas” o compartimiento “una estrella”, las condiciones de temperatura para esas secciones o compartimientos debe ser $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferior, o $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferior, según sea lo apropiado.

La variación de temperatura, con respecto a las temperaturas características mencionadas arriba, utilizadas como base para la determinación del consumo de energía, debe estar dentro de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

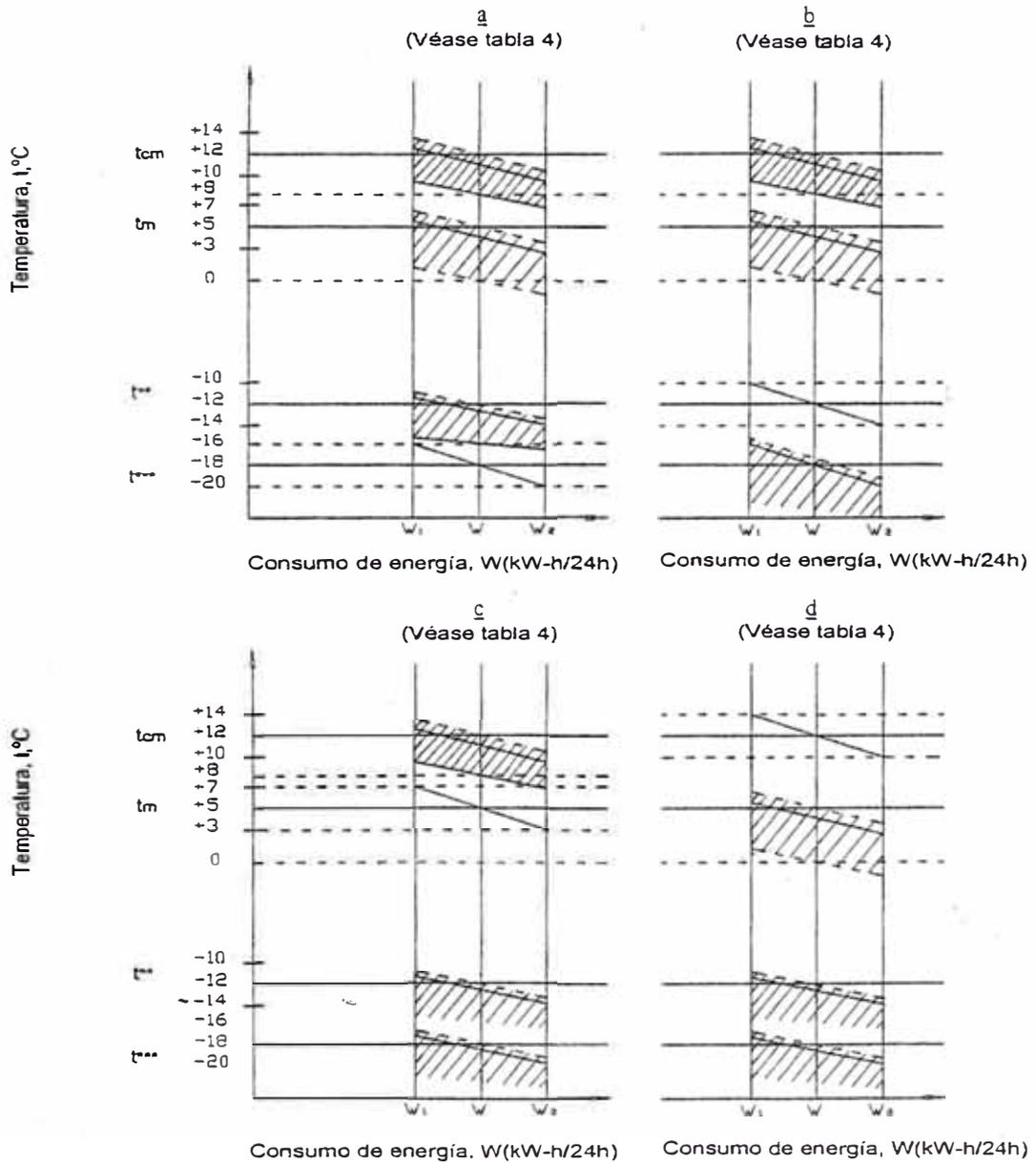
En el caso de dos ensayos, los resultados se deben interpolar para alcanzar los requerimientos de una de las condiciones de a hasta d (por ejemplo véase la Figura 6).

15.3 Reporte del ensayo

El valor del consumo de energía debe ser calculado a partir de los valores medidos para un período de exactamente 24 horas.

El valor del consumo de energía para refrigeradores operados eléctricamente debe ser expresado en kilowats-hora por 24 horas (kWh/24h), con dos cifras decimales.

Si existe declaración del consumo de energía, el reporte debe indicar si cumple los requerimientos de 6.2.2.



NOTA: Las áreas sombreadas muestran los rangos permisibles

FIGURA 6 – Determinación del consumo de energía para refrigeradores por interpolación (véase 15.2.2 y la Tabla 4)

ANEXO - 05

Certificado de Calidad de Materia Prima

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

DC-36
VER 4
02-08-2007

PRODUCTO: **RUBITHERM LA 18605**

LOTE No: **10038**

CERTIFICADO DE ANALISIS

FECHA: 26-Jun-12

DATOS DE CONTROL DE CALIDAD

			Peso Muestra en laboratorio (g)
SISTEMA	POLIOL:	RUBITHERM LA 18605	20
	ISOCIANATO:	RUBINATE 5005	26

TEMPERATURA:	LABORATORIO (°C):	25
	POLIOL:	25
	ISOCIANATO (°C):	25

RESULTADOS LABORATORIO

RELACION POLIOL/ISOCIANATO	100/130
TIEMPO DE AGITACION	6
TIEMPO DE CREMA (s)	11
TIEMPO DE HILLO (s)	40
TIEMPO DE SECADO (s)	56
DENSIDAD LIBRE (Kgm ³)	50
HUMEDAD (%)	1,98

Laboratorio ubicado en Cartagena a 2 msnm.

Este producto es conforme con los parámetros de calidad establecidos.

PATRICIA DE LAS SALAS
Jefe de Laboratorio

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

PRODUCTO: **RUBITHERM LA 18605**LOTE No: **10119****CERTIFICADO DE ANALISIS**FECHA: 30-Jul-12**DATOS DE CONTROL DE CALIDAD**

			Peso Muestra en laboratorio (g)
SISTEMA	POLIOL:	RUBITHERM LA 18605	20
	ISOCIANATO:	RUBINATE 5005	26
TEMPERATURA:	LABORATORIO (°C):		25
	POLIOL:		25
	ISOCIANATO (°C):		25

RESULTADOS LABORATORIO

RELACION POLIOL/ISOCIANATO	100/130
TIEMPO DE AGITACION	6
TIEMPO DE CREMA (s)	11
TIEMPO DE HILO (s)	40
TIEMPO DE SECADO (s)	58
DENSIDAD LIBRE (Kg/m ³)	55
HUMEDAD (%)	1.92

Laboratorio ubicado en Cartagena a 2 msnm.

Este producto es conforme con los parámetros de calidad establecidos.



PATRICIA DE LAS SALAS
Jefe de Laboratorio

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

PRODUCTO: **RUBITHERM LA 18605**LOTE No: **10120****CERTIFICADO DE ANALISIS**FECHA: 30-Jul-12**DATOS DE CONTROL DE CALIDAD**

			Peso Muestra en laboratorio (g)
SISTEMA	POLIOL:	RUBITHERM LA 18605	20
	ISOCIANATO:	RUBINATE 5005	26

TEMPERATURA:	LABORATORIO (°C):	25
	POLIOL:	25
	SOCIANATO (°C):	25

RESULTADOS LABORATORIO

RELACION POLIOL/SOCIANATO	100/130
TIEMPO DE AGITACION	6
TIEMPO DE CREMA (s)	11
TIEMPO DE HILO (s)	40
TIEMPO DE SECADO (s)	58
DENSIDAD LIBRE (Kgm ³)	54
HUMEDAD (%)	1.9

Laboratorio ubicado en Cartagena a 2 mmnm.

Este producto es conforme con los parámetros de calidad establecidos.



PATRICIA DE LAS SALAS
Jefe de Laboratorio

ANEXO - 06

Hidrocarburos soplantes (agentes expansores)

Agentes Soplantes Características ambientales		HUNTSMAN Enriching lives through innovation	
	ODP	GWP	
CFC 11	1.0	4000	
CFC 12	1.0	8500	
HCFC 141b	0.1	630	
HCFC 22	0.05	1700	
HCFC 124	0.02	480	
HFC 365 mfa/227fa	0	794	
HFC 134a	0	1300	
HFC 245fa	0	790-1040	
Ciclopentano	0	11	
Ciclo/Iso pentano	0	11	
Ciclo/Iso butano	0	11	

2 Polyurethanes

¿Ciclo o ciclo/iso pentano?		HUNTSMAN Enriching lives through innovation	
<u>Ciclopentano puro</u>		<u>Ciclo/iso pentano</u>	
▪ 3-4 % menor energía		▪ 5-7% menor densidad	
▪ 15 % más caro			
▪ Disponible de importación		▪ Disponible de importación	

11 Polyurethanes

ANEXO - 07

Criterio de aceptación de consumo energético según NTP ISO 399.483 2007

TABLA 4 - Temperaturas de referencia

Clase de Clima	Temperatura del cuarto de pruebas (°C)	Temperatura de referencia del compartimiento de baja temperatura (°C)			Temperatura del compartimiento de alimentos frescos (°C)
		*	**	***	
SN, N, ST y T	+32	-6	-12	-13	+5

4.3 VOLUMEN AJUSTADO

El volumen ajustado de un artefacto debe ser tomado como:

$$VA = V_{\text{Bruto alimentos frescos}} - (V_{\text{bruto compartimiento de baja temperatura}} \cdot FA)$$

Donde:

VA	volumen ajustado, en litros
V _{bruto alimentos frescos}	volumen bruto del compartimiento de alimentos frescos, en litros
V _{bruto compartimiento de baja temperatura}	volumen bruto del compartimiento de baja temperatura en litros
FA	factor de ajuste, determinado como se indica en el apartado 4.2

5. MUESTREO

Selección de la muestra. Se determina un lote de 3 refrigeradores como mínimo por referencia, de donde se toma una muestra de 4 refrigeradores al azar.

6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA NOMINAL

6.1 De la muestra seleccionada se toma un artefacto al azar y se determina su consumo de energía a través de un ensayo de laboratorio, si el resultado obtenido no supera en

mas de un 15 % al consumo nominal, se dará por aceptado el consumo de energía declarado por el fabricante.

6.2 Si el resultado del ensayo realizado en el primer artefacto es mayor al valor declarado mas el 15 %, se procede a realizar pruebas de laboratorio a los tres artefactos sobrantes de la muestra; Si la media aritmética de los valores de consumo de energía de los tres artefactos es igual o menor que el consumo nominal mas el 10 %, el valor declarado es aceptado. En caso contrario la declaración del fabricante no es aceptada.

7. ETIQUETADO

Los artefactos deben llevar una etiqueta que cumpla con las siguientes características:

7.1 PERMANENCIA

La etiqueta debe ir adherida al artefacto, no debe removerse del producto hasta después de que este ha sido adquirido por el consumidor final.

7.2 UBICACIÓN

La etiqueta debe estar ubicada sobre el propio artefacto en su parte frontal y en un lugar visible al consumidor.

7.3 INFORMACIÓN

La etiqueta debe marcarse de forma legible y contener mínimo la siguiente información.

- Una leyenda que diga "ENERGÍA"
- Una leyenda que diga "Marca" y enfrente el espacio para especificar la marca registrada, nombre del fabricante o logotipo.

Anexo - 08: Impacto Ambiental

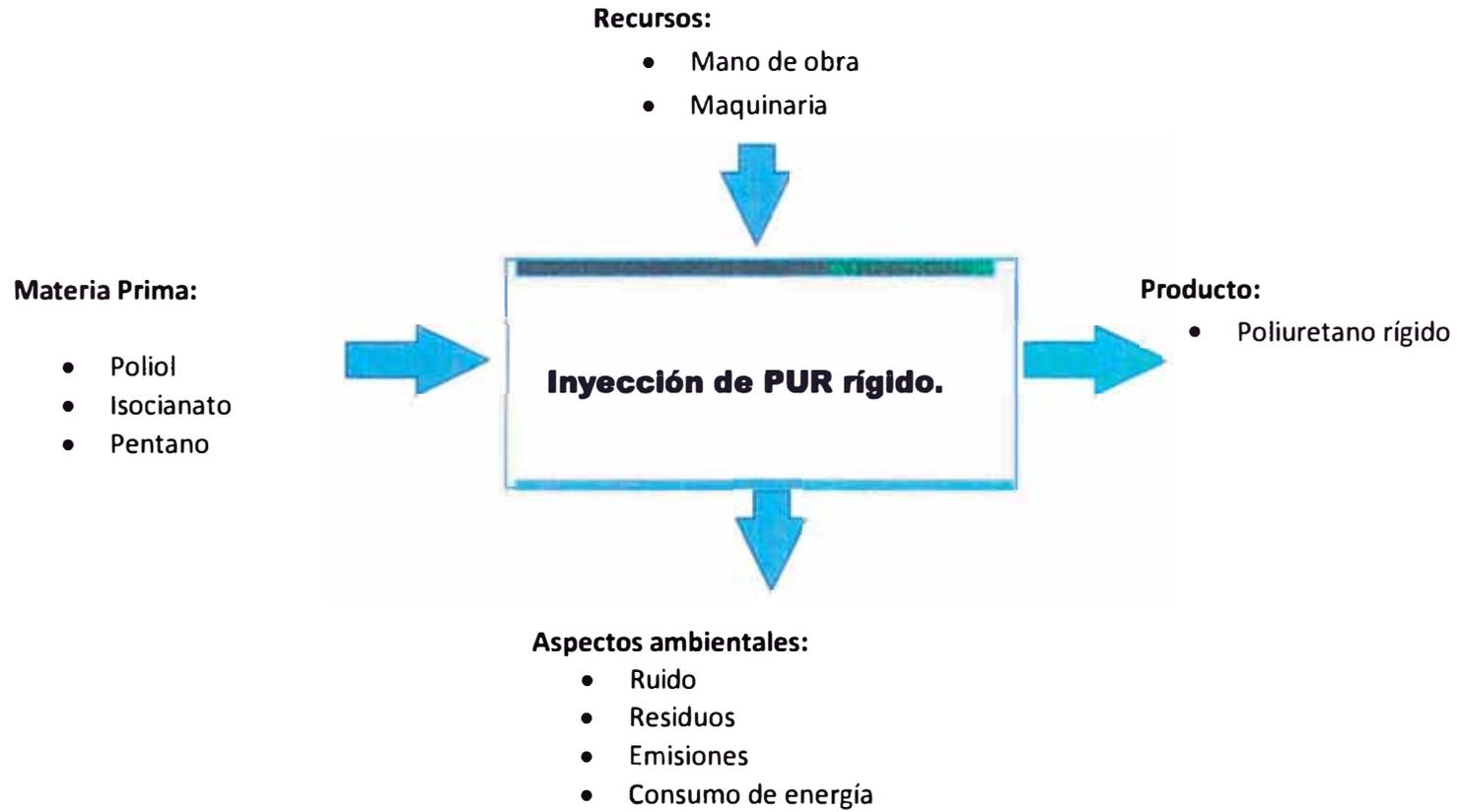


Figura A1: Impactos ambientales en el proceso de Inyección de PUR

Fuente: Propio

Tabla A1: Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales en el Proceso de Inyección de PUR

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Inyección de PUR rígido	Aumento de nivel sonoro	Alteración de fauna
	Generación de residuos sólidos	Contaminación de suelos
	Emisión de gases	Contaminación del aire
	Consumo de energía no renovable	Agotamiento de recursos no renovables

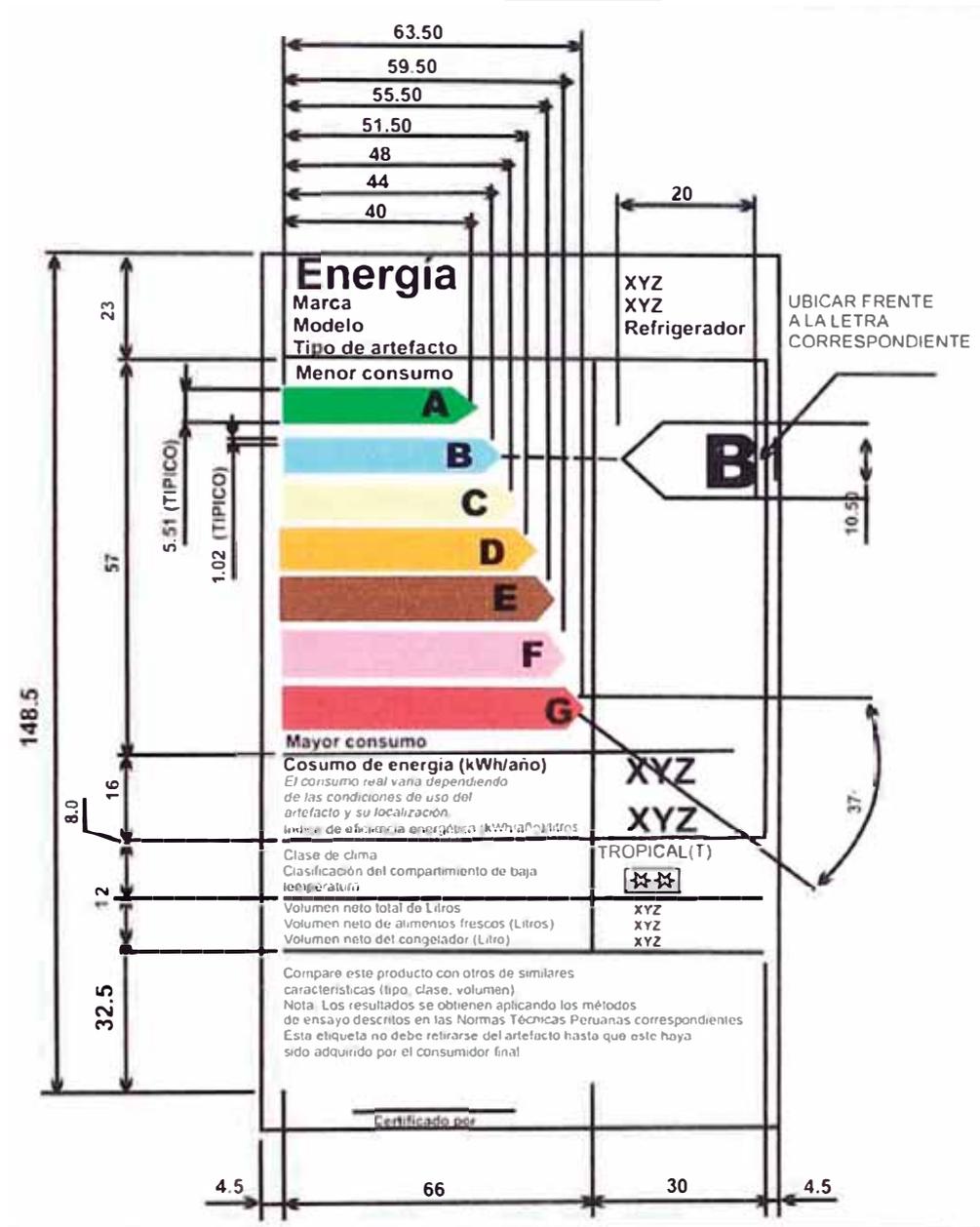
Fuente: Propia

ANEXO - 09

Etiqueta de Eficiencia Energética

Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Electricidad
 Guía de la Etiqueta de Eficiencia Energética

Norma Técnica Peruana NTP 399.483 2007 Eficiencia Energética en artefactos refrigeradores, refrigeradores – congeladores y congeladores para uso doméstico.



V. BIBLIOGRAFIA

Fabricación de Espumas Rígidas de Poliuretano

Krapps M.- Bayer Material Science, Alemania- Año 2004.

Técnicas de Aislamiento Térmico y Acústico

Tejela J.- Fundación Laboral de Construcción, España-Año 2010.

Química Orgánica

Thorton R.- Addison Wesley Longman, México-Año 1998

Empleo del Frio en la Industria de la Alimentación

Plank R.- Editorial Reverté, España-Año 1980

Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes

Lonescu M-Rapra Techonology Limited, Inglaterra-Año 2005.