

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Metodología para el diseño de empaques de cartón corrugado para
transporte de banano”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

José Ricardo Guerrero García

Luis Andrés Vera Izquierdo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de graduación a los forjadores de mi camino, mis padres Tnlgo. Jim Vera Andrade y Sra. Leticia Izquierdo Pozo que siempre me brindaron su apoyo y sus consejos para llegar a culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos Jim, Martha, Gabriel y Paulo, quienes son parte importante en mi vida y han sido el motor para continuar y alcanzar mis metas.

Luis Vera Izquierdo

El presente trabajo va dedicado de manera especial a mis padres, Sr. Fidel Guerrero y Sra. Gladys García; por su fe y apoyo incesante a lo largo de la carrera; a mi amada esposa, MBA. Romy Rodríguez por ser mi soporte y velar siempre por mi bienestar académico.

Ricardo Guerrero García

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer primero a Dios por el don de la perseverancia para culminar este proyecto.

Agradecidos por el apoyo y los consejos de nuestros tutores: Jorge Amaya, PhD., José Macías Zambrano, M. Sc., Fausto Maldonado, M. Sc y Master Galo Durazno por haber sido guía para el desarrollo de este proyecto.

Agradecimiento y afecto al Ing. Fabián Sánchez U. Por sus consejos y experiencia quien junto al Ing. Francisco Sarango fueron un soporte técnico importante para la culminación de este proyecto de graduación.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *José Ricardo Guerrero García* y *Luis Andrés Vera Izquierdo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



José Guerrero García



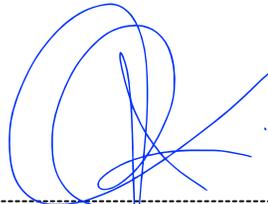
Luis Vera Izquierdo

EVALUADORES



José Macías Zambrano, M. Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA



Jorge Amaya Rivas, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las cajas de cartón se han convertido en uno de los recursos más utilizados como empaque, adaptándose siempre a la necesidad del exportador por su facilidad de uso. Además, se consideran como los elementos más comunes para el almacenamiento de productos alimenticios y tienen la ventaja de ser económico y reciclable.

Los empaques de cartón corrugado son utilizados para la exportación de banano, entre los principales destinos están Europa y Norteamérica; y con la capacidad de poder almacenar hasta 19 kilos de producto por caja.

Este proyecto se enfoca en desarrollar una metodología de diseño que permita obtener una caja de cartón óptima para transportar banano, a partir de la selección de la materia prima y analizando los factores que están presentes durante el proceso de almacenamiento y distribución de dicho producto.

En el caso de estudio realizado, se pudo aplicar la metodología de diseño desarrollada y para ello se escogió una caja 22XU, donde se utilizó la ecuación de McKee para el cálculo de resistencia que debe tener la caja. Se propuso el uso del conjunto tapa-fondo para la caja, donde se seleccionaron papeles de fibra virgen como material principal (conocidos por ser de buena resistencia a condiciones de humedad elevada). Se realizaron simulaciones para poder establecer la caída de resistencia que experimenta la caja cuando las agarraderas (hand-holes) y orificios de ventilación (vent-holes) se ubican en diferentes posiciones laterales de la misma y de esa manera seleccionar la posición más eficiente.

Palabras Clave: Metodología de diseño de cajas de cartón corrugado, empaque para transporte de banano, hand-holes, vent-holes.

ABSTRACT

The corrugated boxes have become one of the most widely used packaging resources, always adapting to the exporter's needs due to their ease of use. In addition, they are considered as the most common elements for the storage of food products and have the advantage of being economical and recyclable.

The corrugated board packaging is used for the export of bananas, among the main destinations are Europe and North America; and with the capacity to store up to 19 kilos of product per box.

This project focuses on developing a design methodology that allows obtaining an optimal board box for transporting bananas, based on the selection of the raw material and analyzing the factors that are present during the storage and distribution process of said product.

In the case of study carried out, the developed design methodology could be applied and for this a 22XU box was chosen, as the McKee equation considered to calculate the resistance that the box should have. The use of the cover-bottom set was proposed for the box, where virgin fiber papers were selected as the main material (known to be of good resistance to high humidity conditions). Simulations were carried out to establish the drop in resistance that the box experiences when the handles (hand-holes) and ventilation holes (vent-holes) are located in different lateral positions of the box and thus select the most efficient position.

Keywords: *Design methodology for corrugated cardboard boxes, banana transport packaging, hand-holes, vent-holes.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Empaque y su uso.....	3
1.4.2 Preparación del embarque.....	4
1.4.3 Cerrado o sellado de las cajas.....	5
1.4.4 Preparación de los pallets (proceso de paletizado).....	5
1.4.5 Proceso de carga del contenedor.....	7
1.4.6 Proceso de empacado de cajas de banano.....	8
1.4.7 Utilización de agarraderas y orificios de ventilación.....	9
1.4.8 Clasificación del papel.....	10
1.4.9 Formato de cajas para banano.....	12
CAPÍTULO 2.....	13
2. Metodología	13

2.1 Metodología del diseño.....	13
2.2 Procedimiento esquemático del diseño.	13
2.3 Condición de viaje, embarque y formato de cajas.	15
2.3.1 Matriz de decisión para la selección del tipo de paletizado.	15
2.4 Cálculo del nivel de apilamiento de las cajas.	18
2.5 Cálculo de los factores dinámicos involucrados en el diseño.	20
2.6 Cálculo de la resistencia a la compresión de la caja (BCT).	21
2.6.1 Criterio de selección y ubicación de orificios de ventilación.	21
2.6.2 Cálculo de caída de resistencia por aplastamiento de calibre.	22
2.7 Cálculo de la resistencia a la compresión del cartón (ECT).	23
2.7.1 Selección del coeficiente de ondulación de la flauta.....	24
2.7.2 Matriz de decisión para la selección del tipo de cartón.....	25
2.8 Cálculo de la resistencia a la compresión corta del papel.	28
2.8.1 Matriz de decisión para la selección del papel.	28
2.9 Ensayos de calidad.....	30
2.9.1 Condiciones de atmósfera para la realización de los ensayos.	30
2.9.2 Ensayo de SCT para papel.....	31
2.9.3 Ensayo de Porosidad Gurley para papel.	31
2.9.4 Medición de gramaje para papel y cartón.....	32
2.9.5 Medición de humedad para papel y cartón.....	32
2.9.6 Medición de calibre para papel y cartón.	32
2.9.7 Ensayo de Cobb para papel y cartón.....	32
2.9.8 Ensayo de ECT para cartón.	33
2.9.9 Ensayo de BCT para cartón.	33
2.9.10 Ensayo de Mullen para cartón.	34
2.10 Corrección de resultados por humedad.....	34
CAPÍTULO 3.....	35

3. Resultados y análisis	35
3.1 Caso de estudio.....	35
3.2 Análisis del BCT teórico del cartón.....	35
3.2.1 Cálculo de pérdida de resistencia por hand-holes y vent-holes.....	36
3.2.2 Pérdida de resistencia por aplastamiento de calibre.	36
3.2.3 Análisis del BCT teórico para el fondo.....	38
3.2.4 Análisis del BCT teórico para la tapa.....	38
3.2.5 Análisis del BCT teórico por la fórmula de McKee para el fondo.....	38
3.2.6 Análisis del BCT teórico por la fórmula de McKee para la tapa.....	38
3.3 Análisis del ECT teórico del cartón.....	39
3.3.1 Análisis del ECT teórico para el fondo.....	39
3.3.2 Análisis del ECT teórico para la tapa.....	39
3.4 Análisis del SCT teórico y selección de la combinación de papeles.....	40
3.4.1 Cálculo del peso básico del cartón.	40
3.4.2 Análisis del SCT teórico y combinación de papeles para el fondo.	42
3.4.3 Análisis del SCT teórico y combinación de papeles para la tapa.	42
3.5 Cálculo del SCT real del cartón.....	43
3.5.1 Cálculo del SCT real y combinación de papeles para el fondo.....	43
3.5.2 Cálculo del SCT real y combinación de papeles para la tapa.....	43
3.6 Cálculo del ECT real del cartón.....	44
3.6.1 Cálculo del ECT real del fondo.	44
3.6.2 Cálculo del ECT real de la tapa.	44
3.7 Cálculo del BCT real del cartón.....	44
3.7.1 Cálculo del BCT real del fondo.	45
3.7.2 Cálculo del BCT real de la tapa.	45
3.7.3 Alternativas de combinaciones de papeles.....	46
3.8 Análisis y selección de las agarraderas y orificios de ventilación.	46

3.8.1 Selección de las agarraderas y orificios de ventilación.....	46
3.8.2 Modelado 2D.	48
3.8.3 Análisis de la ubicación de las agarraderas y orificios de ventilación.....	49
CAPÍTULO 4.....	56
4. Conclusiones Y Recomendaciones	56
4.1 Conclusiones.	56
4.2 Recomendaciones.	57
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SCT	Short Compression Test “Prueba de compresión corta”
SCTcd _{index}	Índice de resistencia SCTcd
ECT	Edge Crush Test “Prueba de compresión a la columna corta”
BCT	Box Compression Test “Prueba de compresión de caja”
CD	Cross Direction “Dirección transversal”
MD	Machine Direction “Dirección máquina”
RSC	Regular Sloter Container “Caja Ranurada para Contenedores”
TAPPI	Normas y Métodos de Contenedores corrugados
HR	Humedad Relativa

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
mm	Milímetro
cm	Centímetro
σ_A	Esfuerzo de compresión
S_y	Esfuerzo último a la fatiga
W	Peso
F	Fuerza
R	Resistencia
#	Número
Kgf	Kilogramo fuerza
Lbf	Libra fuerza
K	Factor dinámico
plg	Pulgada
t	Calibre o espesor
Z	Perímetro
KN/m	KiloNewton sobre metro
α	Coeficiente de ondulación
β	Coeficiente de ondulación
L	Longitud de papel
°	Grado sexagesimal
°C	Grados centígrados
G	Peso básico
g/m^2	Gramos sobre metro cuadrado
H	Altura
w	Ancho
m^2	Metro cuadrado
% H	Contenido de humedad
T	Temperatura
A	Área
Ø	Diámetro
π	Pi
h	hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de paletizado	5
Figura 1.2 Recomendaciones para un correcto acomodo de las cajas.	6
Figura 1.3 Patrones de carga de un contenedor.	7
Figura 1.4 Partes principales de una caja de cartón corrugado.....	8
Figura 1.5 Tipos comunes de hand-holes	9
Figura 2.1 Metodología de diseño.	13
Figura 2.2 Proceso esquemático de diseño.....	14
Figura 2.3 Caída de resistencia por tipo de paletizado.....	15
Figura 2.4 Esfuerzos de compresión σ_A y S_y sobre una caja.	18
Figura 2.5 Niveles de apilamiento.	19
Figura 2.6 %caída de resistencia vs. % masa removida	22
Figura 2.7 Prueba de ECT del cartón	23
Figura 2.8 Esquema de tensiones en una lámina de cartón.....	23
Figura 2.9 Coeficiente de elongación de la flauta.....	24
Figura 2.10 Tipos de cartón.....	25
Figura 2.11 Diagrama de compresión SCTcd de una probeta de papel.....	28
Figura 2.12 Ensayo de compresión SCTcd	31
Figura 2.13 Ensayo de porosidad Gurley	31
Figura 2.14 Accesorios para ensayo de COBB	33
Figura 2.15 Prueba de ECT.....	33
Figura 2.16 Prueba de BCT.....	33
Figura 2.17 Prueba de Estallido.	34
Figura 3.1 Diagrama de corte ranurado (RSC).....	48
Figura 3.2 Dimensiones de largo y ancho de la caja	49
Figura 3.3 Homogeneización de la estructura del cartón	49
Figura 3.4 Direcciones de ejes principales del cartón	50
Figura 3.5 Restricciones y distribución de la carga en la caja	52
Figura 3.6 Simulación de la carga a 0.25 H.....	53
Figura 3.7 Simulación de la carga a 0.375 H.....	54
Figura 3.8 Simulación de la carga a 0.6 H.....	54
Figura 3.9 Simulación de la carga a 0.8 H.....	54
Figura 3.10 Factores de seguridad a 0.375 H.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de empaques elaborados de cartón.....	4
Tabla 1.2 Fallas, factores y buenas prácticas en el proceso de carga.	7
Tabla 1.3 Índice de resistencia de papeles estándar.....	11
Tabla 1.4 Índice de resistencia de papeles de alto desempeño	11
Tabla 2.1 Descripción de criterios	16
Tabla 2.2 Niveles de importancia para comparación de criterios	16
Tabla 2.3 Comparación de criterios.....	17
Tabla 2.4 Medición de criterios.....	17
Tabla 2.5 Matriz de decisión para seleccionar el tipo de apilamiento.....	17
Tabla 2.6 Factores dinámicos.....	20
Tabla 2.7 Rangos de calibres de las flautas.....	22
Tabla 2.8 Coeficiente teórico de ondulación de las flautas.....	24
Tabla 2.9 Descripción de criterios	25
Tabla 2.10 Comparación de criterios.....	26
Tabla 2.11 Medición de criterios para la tapa.....	26
Tabla 2.12 Medición de criterios para el fondo.....	27
Tabla 2.13 Matriz de decisión para seleccionar el cartón en la tapa.	27
Tabla 2.14 Matriz de decisión para seleccionar el cartón en el fondo.	27
Tabla 2.15 Descripción de criterios	29
Tabla 2.16 Comparación de criterios.....	29
Tabla 2.17 Medición de criterios.....	30
Tabla 2.18 Matriz de decisión para seleccionar el tipo de papel.	30
Tabla 3.1 Selección de papeles para el fondo.....	43
Tabla 3.2 Selección de papeles para la tapa.....	44
Tabla 3.3 Alternativas de combinaciones para el fondo	46
Tabla 3.4 Alternativas de combinaciones para la tapa	46
Tabla 3.5 Propiedades físicas y mecánicas para la tapa.....	50
Tabla 3.6 Propiedades físicas y mecánicas para el fondo.....	51
Tabla 3.7 Propiedades físicas de la lámina para la tapa	51
Tabla 3.8 Propiedades físicas de la lámina para el fondo	52
Tabla 3.9 Distribución de la carga	53
Tabla 3.10 Configuración de malla.....	53

Tabla 3.11 Factor de seguridad en diferentes ubicaciones de orificios55

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano estructural para la tapa.
- PLANO 2 Plano estructural para el fondo.
- PLANO 3 Modelado 3D para la tapa.
- PLANO 4 Modelado 3D para el fondo.
- PLANO 5 Modelado 3D para el acople tapa-fondo.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria del empaque ha crecido de manera exponencial, adaptándose siempre a la innovación y utilización de nuevos diseños y recursos para el almacenamiento y distribución de un producto. Son elaborados de diferentes materiales dependiendo de la necesidad (conservación, distribución, almacenamiento o marketing).

Los empaques elaborados de cartón corrugado son los más utilizados en la industria alimenticia. Podemos diferenciar las cajas primarias en las cuales el producto se encuentra en contacto directo con las mismas de la caja máster, que contiene a las cajas primarias (Embalajes Terra, 2019).

Los empaques de cartón cuentan con la ventaja de ser de producción económica, y se adapta dependiendo su diseño a las necesidades del usuario final, además de ser completamente, reutilizable y reciclable. En la actualidad, se está convirtiendo en uno de los productos más utilizados del mercado, debido a sus múltiples usos, no tan solo como un empaque para el transporte y la conservación del producto, sino también, como un empaque de presentación, donde influye de manera directa a la venta del producto.

El banano es uno de los principales productos de exportación del país, y los empaques elaborados de cartón corrugado son utilizados para el transporte, los principales destinos de exportación son Europa y Norteamérica. Se utilizan diferentes medios de transporte, considerando desde su empaque hasta su destino final. Se debe tener en cuenta que el empaque de cartón ofrece resistencia a la humedad, permite una impresión personalizada acorde a la imagen del distribuidor, es de fácil manejo, armado sencillo y pueden almacenar hasta 19 kilos de banano (GINA FRUIT, 2012).

1.1 Definición del Problema.

El presente proyecto de materia integradora persigue establecer una metodología de diseño de una caja de cartón para el transporte de banano; con la finalidad de obtener un prototipo elaborado a partir de las condiciones

de desempeño del empaque bajo factores que se definen en el almacenamiento y distribución.

De esta forma, el proyecto busca obtener un diseño optimizado tanto en la selección de la materia prima, como en su geometría para el mejor desempeño de su función. Para esto, entre los diferentes análisis, se deberá considerar el apilamiento de cajas para validar las dimensiones correctas considerando minimizar los concentradores de esfuerzos presentes en su utilización final.

1.2 Justificación del proyecto.

La industria del empaque de productos agrícolas ha crecido gracias al aumento en la demanda de productos ecuatorianos en el extranjero. Es así como esta industria ha ido adaptándose e innovando para el diseño de nuevos empaques que sirven para el almacenamiento y la distribución de los productos agrícolas. Durante el proceso de diseño, son utilizados diferentes criterios dependiendo de la conservación del producto y su almacenamiento. Por los motivos ya expuestos, es necesario formalizar el proceso de diseño de estos elementos, para obtener un empaque de cartón estándar que pueda ser utilizado según los criterios de distribución y almacenamiento.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Establecer un proceso de diseño para la elaboración de un empaque de cartón corrugado para banano mediante el análisis de requerimientos de almacenamiento y el principio de McKee.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Para el cumplimiento del objetivo general, se desarrollarán las siguientes acciones en cada fase del proceso de diseño:

- Establecer parámetros de apilamiento de cajas y dimensiones a través de las condiciones de almacenamiento y transporte.
- Analizar la ubicación de agarraderas y orificios de ventilación de una caja, utilizando las gráficas de regresión para pruebas de vent-holes.
- Seleccionar la materia prima, a través del análisis de sus propiedades físicas y mecánicas.

- Establecer parámetros de conversión de la caja mediante el análisis físico del producto en proceso.
- Analizar el comportamiento mecánico de la caja de cartón, mediante la ecuación de McKee¹ y sus pérdidas de resistencia por procesos.
- Realizar el análisis de desempeño de una caja por simulación.²

1.4 Marco teórico.

1.4.1 Empaque y su uso.

Un empaque se define como un material que almacena un artículo, con envase (caja primaria) o sin él, con el fin de preservarlo y sea entregado al consumidor final. Se le conoce también como empaque secundario debido a que en el mayor de los casos una vez que el producto llega a su destino, este empaque es desechado (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

El empaque no solo es importante para los productos que hayan sido procesados, sino también para los productos frescos, que cada vez utilizan más el empaque de cartón como una estrategia de marketing para lograr una consolidación en el mercado (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

Entre las funciones principales de los empaques son: la de contener, proteger y facilitar la manipulación de los productos que almacena; y ninguna de estas funciones se puede sacrificar para beneficiar su apariencia (impresión del empaque). Es importante considerar que, a la hora de realizar un diseño de un empaque siempre hay que tener en cuenta las normas y reglamentos de empackado y etiquetado del mercado de destino (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

Debido a que los materiales para los empaques cuentan con propiedades que se pueden ver afectados por factores ambientales como humedad y temperatura, en la tabla 1.1 se presentan las ventajas y desventajas de los empaques elaborados con cartón corrugado.

¹ **Principio de McKee:** Estima la resistencia máxima a la compresión de una caja de cartón. Para el cálculo de resistencia a la compresión se utilizan los valores de ECT, calibre del cartón y perímetro de la caja. (Cap. 2.6)

² Modelling Buckling and Post-buckling Behaviours of Corrugated Paperboard Structures (Cap 3.8.3)

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de empaques elaborados de cartón.
 [Rodríguez, Cruz y Lam (2009), “Logística para la exportación de productos agrícolas, frescos y procesados”]

Principales ventajas
Buena resistencia al aplastamiento.
Facilidad de impresión.
No ocupa mucho espacio de almacenamiento porque se puede guardar doblado.
Buena relación costo/calidad.
Se puede reciclar
Principales desventajas
La humedad puede cambiar sus propiedades mecánicas, en algunos casos para evitar el daño se utiliza cartón con recubrimiento de cera.
Las cajas de cartón tienen baja resistencia, comparadas con otro tipo de cajas.

Para almacenar y transportar el banano se utilizan cajas de cartón corrugado. Existen varios tipos de cartón corrugado y para asegurarse que se está escogiendo el tipo correcto, el exportador debe tener en consideración que, existen cajas de pared simple, doble o triple, cuya resistencia estará establecida por las características de los papeles con los que se fabriquen la lámina de cartón (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

1.4.2 Preparación del embarque.

Este proceso de preparación consiste en adecuar el espacio en el contenedor que va a ser utilizado para el almacenamiento de las cajas durante todo el transporte del producto, por lo que, un cargamento que no haya sido embalado correctamente se puede deteriorar durante el transporte, incluso durante el proceso de embarque.

Algunos de los factores que pueden ocasionar el deterioro del embarque son (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009):

- a) Movimientos fuertes durante el proceso de carga y descarga,
- b) Compresión por el peso de los niveles que se encuentren encima,
- c) Zonas húmedas o con charcos de agua,
- d) Vibraciones y golpes continuos durante el recorrido,
- e) Falta de control de humedad,
- f) Malos olores de otros productos o residuos descompuestos; y
- g) Falta de control de temperatura.

1.4.3 Cerrado o sellado de las cajas.

La preparación del embalaje se relaciona con el tipo de material con que se van a cerrar las cajas. El cual tiene que ser lo suficientemente fuerte para garantizar que la caja no se abra durante el transporte; pero al mismo tiempo, es importante tener en cuenta factores como: la facilidad de pegado, costos y sensibilidad a altas humedades. Los materiales que más se usan son las gomas o pegamentos, las cintas adhesivas, las grapas y las envolturas, aunque en algunas ocasiones se utilizan cajas de cartón auto-armables, las cuales no requieren de un sellado por pegamento o cinta (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

Para cajas agroindustriales, que son afectadas por altas humedades se utiliza pegamento (goma blanca) ya que, es la forma más segura de cerrar dichas cajas (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

1.4.4 Preparación de los pallets (proceso de paletizado).

Aunque en algunos casos de embarques se podrían enviar sin pallets, estos brindan una mayor protección a los productos durante el transporte y el almacenamiento.

El paletizado es el proceso de estiba de las cajas sobre la estructura del pallet, cuya fijación de la carga puede ser con tacos o film plástico. El proceso de paletizado se hace de dos formas (Comité Costarricense de Logística, 2003):

Paletizado tipo columna: La posición de las cajas se la hace en pilas, una caja sobre otra.

Paletizado tipo trabado: La posición de las cajas se la hace con cruzamientos entre sus bases, ambos tipos de paletizado se presentan en la fig. 1.1

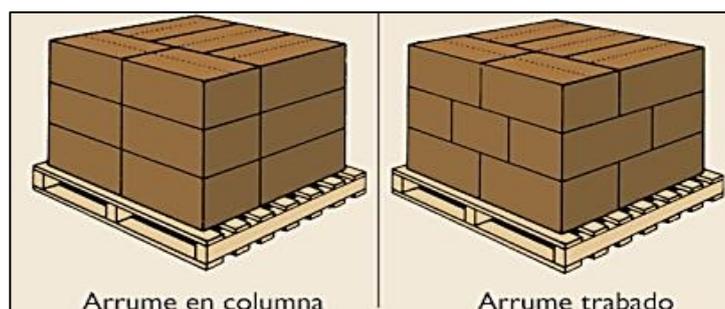


Figura 1.1 Tipos de paletizado [Grupo CARTOPEL (2020), "El cartón corrugado"]

Para realizar un correcto paletizado se debe recordar las siguientes acciones (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009):

- 1) El pallet debe contener la cantidad adecuada de tablas y en pequeñas separaciones, debido a que, a menor contacto de la caja con la tabla, la caja pierde hasta un 50% de su resistencia total.
- 2) Asegurarse que los pallets cubran la totalidad de las cajas, caso contrario las cajas podrían moverse durante el transporte.
- 3) Colocar refuerzos en las esquinas del pallet para asegurar y garantizar que las cajas no se muevan en el transporte y puedan colapsar.
- 4) Evitar usar en lo posible un paletizado trabado, debido a que si no están alineados su diseño puede perder hasta un 50% su resistencia.
- 5) Es recomendable usar un paletizado en columna, así aprovechar al máximo su resistencia.
- 6) Dependiendo del tipo de paletizado, el porcentaje de pérdida de resistencia va a ser variable.

Para obtener un paletizado idóneo cuyas cajas ubicadas no tengan una caída de resistencia como se establece en el numeral 6), se recomienda emplear una combinación de los dos tipos de paletizado (columna y trabado). Para ello, se establecen los siguientes métodos, representados en la fig. 1.2 (Comité Costarricense de Logística, 2003):

Método 1: Acomodar los tres o cuatro primeros niveles de cajas en columnas, haciendo coincidir las esquinas de las cajas. Para finalizar la carga, trabar el último o los dos últimos niveles de cajas.

Método 2: Acomodar las cajas en columnas haciendo coincidir las esquinas e intercalar cada dos niveles con una lámina de cartón y así sucesivamente cada dos filas.

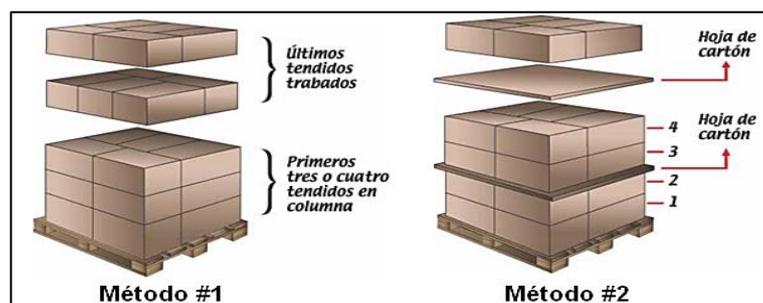


Figura 1.2 Recomendaciones para un correcto acomodo de las cajas. [Comité Costarricense de Logística (2003), "Manual de logística de paletización"]

1.4.5 Proceso de carga del contenedor

Se debe realizar la inspección física del contenedor antes de realizar la carga con la finalidad de identificar posibles fallas que alteren la conservación del producto. Para asegurarse del buen estado de este, se debe tener en cuenta las recomendaciones o buenas prácticas descritas en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Fallas, factores y buenas prácticas en el proceso de carga.
[Rodríguez, Cruz y Lam (2009), “Logística para la exportación de productos agrícolas, frescos y procesados”]

Posibles fallas	Evaluación de factores	Buenas prácticas
Derrame de fluidos	Integridad del contenedor	Contenedor debe estar cerrado para prevenir la entrada de plagas.
Ragaduras	Ambiente adecuado a la exigencia del producto	Los productos que requieren refrigeración deben pre-enfriarse antes de cargarlos al transporte.
Manchas	Limpieza	La circulación de aire debe ser la correcta ya que protege a los productos de los aumentos de temperatura por climas calientes así como por la respiración y concentración de etileno que produce la maduración del producto.
Clavos salidos		
Daños en la cubierta		

En el proceso de carga del contenedor se debe tener cuidado de no sobrepasar los límites de peso definidos y la distribución de la carga sea la correcta. En la fig. 1.3 se presentan los diferentes patrones vistos desde la parte superior del contenedor, para poder comparar y analizar la distribución y su efecto en la ocupación de espacio y resistencia.



Figura 1.3 Patrones de carga de un contenedor. [Rodríguez, Cruz y Lam (2009), “Logística para la exportación de productos agrícolas, frescos y procesados”]

1.4.6 Proceso de empacado de cajas de banano.

Partes principales de una caja de cartón corrugado

Las partes que conforman una caja de cartón corrugado son (ver fig. 1.4): el cuerpo, que es la sección que soporta el peso y establece las dimensiones internas; las aletas, que cierran la caja en su parte superior e inferior; y la aleta de pegado; que cierra la caja lateralmente.

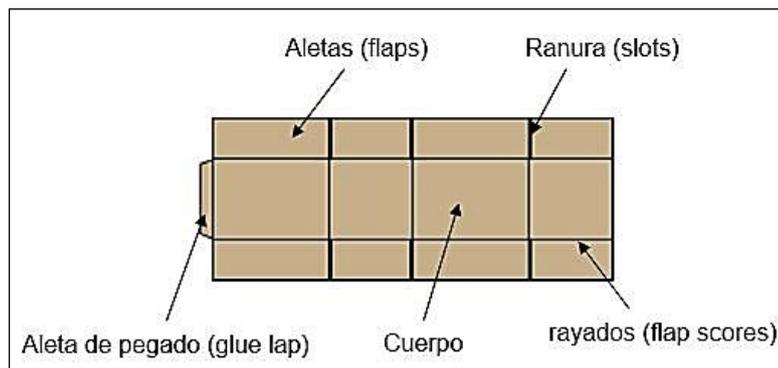


Figura 1.4 Partes principales de una caja de cartón corrugado. [Propio]

Armado y pegado.

No es recomendable pegar las aletas (flaps) de la base o de la tapa haciendo presión con los pies ya que la caja sufre una pérdida de espesor o calibre y el cartón se contamina, por lo que se aconseja utilizar máquinas pegadoras.

Empacado.

En este proceso se empaca el banano en la caja, el banano no debe exceder la altura de la caja, la cual disminuye considerablemente su resistencia si queda forzada y deformada en todo su perímetro por efecto de sobrepasar su contenido. Lo anterior mencionado causa maltrato al banano ya que es este el que soporta el peso de las demás cajas en los arrumes (Grupo CARTOPEL, 2011).

Paletizado o arrume.

El paletizado o arrume es el apilamiento de las cajas (colocar una caja encima de otra para formar niveles) sobre un pallet, el cual puede ser en columna o trabado como se ve en la fig. 1.1, cuando son colocadas en los pallets, en algunos casos se colocan esquineros y zunchos para que vayan reforzados durante el viaje (Grupo CARTOPEL, 2011).

Condiciones de embarque.

En general, cuanto mayor es el ritmo respiratorio del producto³, menor es su vida útil de almacenamiento. Frutas como el plátano es ligeramente alto (ver tabla 1.3). La vida útil de la fruta en post-cosecha depende de factores como temperatura y humedad.(Arias y Toledo, 2000).

Enfriamiento: El banano debe ser transportado en un rango de temperatura ya establecido por su tipo de maduración. Cuando no se toman esas precauciones, se tienen daños en las frutas como fallas en la maduración, desarrollo de sabores y aromas atípicos, decoloración, ennegrecimiento y deterioro de los tejidos, etc. Para el banano se recomienda una temperatura entre el 13 y el 16 °C (Arias y Toledo, 2000).

Humedad relativa: Durante el almacenamiento las frutas pierden agua la cual es irrecuperable y afecta la calidad del producto. Es por esta razón que, para una buena conservación se recomiendan humedades relativas entre el 85 y el 95 %, en un ambiente controlado (Arias y Toledo, 2000).

1.4.7 Utilización de agarraderas y orificios de ventilación.

En casos cuando el tamaño y/o peso del producto los justifica, se diseñan agarraderas (conocidas como hand-holes) para facilitar la manipulación. A pesar de ser variables importantes en un diseño, se tiene estándares de medidas y diseño (ver fig. 1.5), pero no de la ubicación de los orificios de ventilacion y las agarraderas. (Singh, 2008).

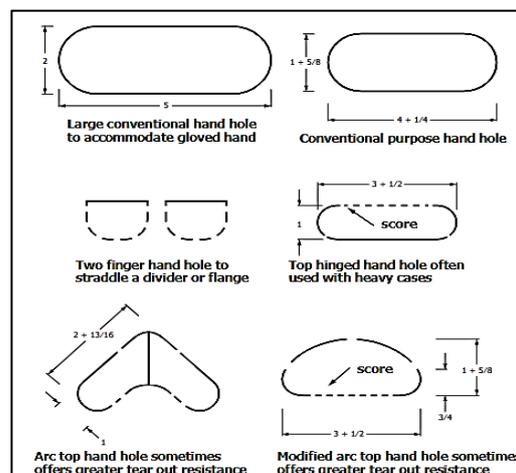


Figura 1.5 Tipos comunes de hand-holes [ASTM D6804 (1996) “Standard Guide for Hand Hole Design in Corrugated Boxes”]

³ Ritmo respiratorio: Consumo de dióxido de carbono para la maduración de la fruta.

Para un diseño estructural óptimo de una caja se debe considerar variables que restringen la capacidad de contención de la carga (peso del producto). Las agarraderas van en las caras frontales y deben ser tenidos en cuenta en los diseños de las cajas como concentradores de esfuerzos y zonas donde ocurrirá la falla. Estos parámetros establecen condiciones determinadas para que se garantice un correcto patrón de agarre y circulación de aire.

Se debe tener en cuenta que las cajas de cartón para banano necesitan de orificios ubicados estratégicamente sobre el área de la caja (conocidos como vent-holes). Estos orificios sirven como entrada del aire frío que pueda garantizar que la fruta se vaya madurando de manera homogénea (Arias y Toledo, 2000).

1.4.8 Clasificación del papel.

El papel utilizado en la industrial del cartón corrugado se puede clasificar de la siguiente manera (ASIMAG S.L, 2007):

1. Por su naturaleza:

Papel de fibra virgen: Papel que solo ha tenido un proceso de elaboración, por lo que su fibra es larga y cuya longitud comprende entre 3 y 4,4 mm., y un ancho entre 0,02 a 0,05 mm.

Papel de fibra reciclada: Aquel papel que ha tenido más de dos procesos de elaboración, por lo que su fibra es corta y cuya longitud comprende entre 0,8 y 1,5 mm., y un ancho entre 0,01 a 0,02 mm.

2. Por su uso:

Pared (liner): Son los papeles utilizados en las caras del cartón los cuales pueden ser de fibra virgen (kraftliner) o fibra reciclada (testliner).

Corrugado (médium): Son los papeles utilizados como flautas⁴ los cuales pueden ser de fibra virgen (semi-químicos) o fibra reciclada.

3. Por su resistencia:

Para la clasificación, se debe tomar en cuenta que el tipo de fibra y su procesamiento pueden incrementar su resistencia. Varios molinos de papel establecen una clasificación de papeles según su resistencia:

⁴ **Flauta:** Onda de corrugado que se encuentra en la parte media de una lámina de cartón.

Resistencia estándar: Cuya resistencia corresponde a lo establecido a su gramaje en un proceso con un solo refinamiento de fibra (SMURFIT KAPPA GROUP).

Resistencia de alto desempeño (High Performance): Cuya resistencia es mayor a lo establecido en lo estándar, lo que se conoce también como papeles de alto refinamiento (ILIM PULP).

Según las fichas técnicas de varios molinos productores de papel se tiene el siguiente análisis mostrado en la tabla 1.3 y 1.4. Los índices calculados en las tablas son utilizados para conocer la resistencia que deben cumplir los papeles que conforman el cartón y que está asociado al peso del cartón.

Tabla 1.3 Índice de resistencia de papeles estándar. [Datasheet; (Arkhangelsk Smurfit Kappa)]

Proveedor	Tipo	Gramaje	SCTcd	SCTcd index
		g/m ²	KN/m	KNm/g
Arkhangelsk	Kraftliner	150	2,70	0,018
		200	3,60	0,018
		225	3,80	0,017
Smurfit	Kraftliner	200	3,70	0,019
		225	4,15	0,018
		275	5,00	0,018

Tabla 1.4 Índice de resistencia de papeles de alto desempeño. [Datasheet; (Stora Enso – ILIM Pulp)]

Proveedor	Tipo	Gramaje	SCTcd	SCTcd index
		g/m ²	KN/m	KNm/g
Stora Enso	Kraftliner	150	3,10	0,021
		200	4,20	0,021
		225	4,70	0,021
ILIM pulp	Kraftliner	170	3,55	0,021
		200	4,35	0,022
		225	4,50	0,020

Teniendo en cuenta los índices de resistencia SCT ($SCT_{cd_{index}}$) resultantes en las tablas 1.3 y 1.4 se puede establecer la siguiente clasificación:

Papeles estándar: $SCT_{cd_{index}}$ entre 0.017 y 0.019 KNm/g

Papeles de alto desempeño: $SCT_{cd_{index}}$ mayor a 0.020 KNm/g

1.4.9 Formato de cajas para banano.

Las cajas de banano se componen de un conjunto tapa-fondo; donde la tapa cumple la función de cubrir el producto; aporta hasta un 40% de la resistencia total y es la representación del exportador (logotipo). El fondo cumple la función de aportar hasta un 70% de la resistencia restante y el peso básico de la caja (Grupo CARTOPEL, 2011).

Estas cajas (conjunto tapa – fondo) tienen medidas ya establecidas para el transporte de banano (GINA FRUIT, 2012) (MAGAP, 2016):

FORMATO 22XU

Las cajas pueden empacar de 18 a 19 kilos de banano compuestas por: una tapa que puede ser blanca o kraft; un fondo que generalmente es kraft doble pared; un pad para proteger la fruta por las aberturas (gap) inferiores.

Son tamaños comunes para los envíos a EEUU, Europa, Asia. En contenedores son 54 cajas por pallet; 6 cajas por nivel y 9 niveles de alto. En cubierta son 48 cajas por pallets; 6 cajas por nivel y 8 niveles de alto. Número de cajas por contenedor: 1200 cajas a granel o 1080 cajas paletizadas. Pallet Europeo 102 X 122cm. Medidas mm. (largo-ancho-altura): 498 - 391 – 237.

FORMATO 208

Las cajas pueden empacar de 13 a 14 kilos de banano compuestas por: una tapa que puede ser blanca o kraft; un fondo que generalmente es kraft doble pared; Un pad para proteger la fruta por las aberturas (gap) inferiores.

Son tamaños comunes para los envíos a Medio Oriente y Asia. En contenedores son 70 cajas por pallets; 7 cajas por nivel y 10 niveles de alto. Número de cajas por contenedor: 1540 cajas a granel. Pallet Europeo 102 X 122cm. Medidas mm. (largo-ancho-altura): 510 - 340 – 214.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología del diseño.

Se propone desarrollar una metodología de diseño para la fabricación de una caja de banano, esta metodología sigue una secuencia ordenada donde se establecen una serie de acciones o pasos a seguir. Es decir, abarca desde el planteamiento del problema hasta su manufactura. En la fig. 2.1 se puede observar la metodología general de diseño propuesta. Las diferentes fases se detallan a continuación:

Definición del problema: Etapa del diseño donde se establece los requerimientos del cliente.

Hipótesis: Etapa donde se establece las ecuaciones para determinar los parámetros de diseño y cumplimiento de los requerimientos establecidos en la definición del problema.

Proceso de diseño: Fase de desarrollo de los posibles diseños y selección de la solución (combinación de papeles y tipo de flauta).

Realización: Proceso de desarrollo del prototipo o simulación para su respectiva manufactura.

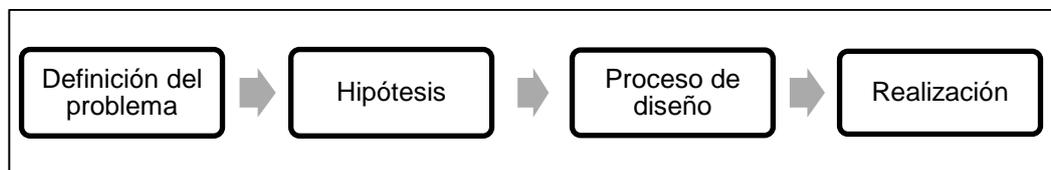


Figura 2.1 Metodología de diseño. [Propio]

2.2 Procedimiento esquemático del diseño.

En esta sección se propone una representación esquemática de la metodología para poder establecer de manera secuencial un proceso para diseñar una caja de cartón corrugado para transporte de banano. Se plantea el esquema de diseño en la fig. 2.2:

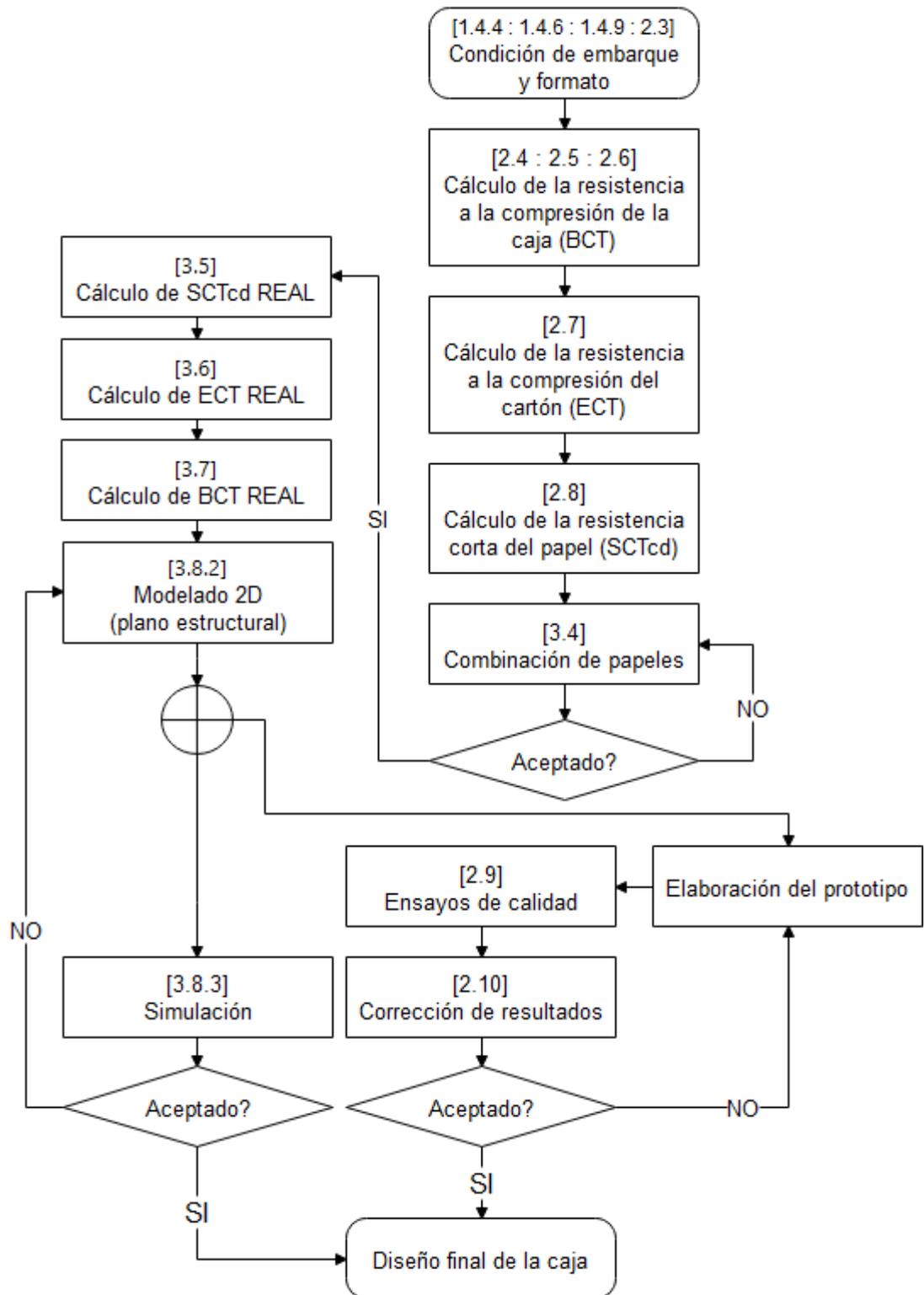


Figura 2.2 Proceso esquemático de diseño. [Propio]

2.3 Condición de viaje, embarque y formato de cajas.

Se consideran a continuación las condiciones de viaje y embarque establecidas en el capítulo 1.4:

- Temperatura del ambiente.
- Humedad relativa del ambiente.
- Tipo de paletizado (establecer matriz de decisión para su selección).
- Tiempo de viaje.
- Tipo de transporte.

El tipo de formato de caja estará establecido por el lugar de destino del producto sea el caso del tipo 22XU o 208.

2.3.1 Matriz de decisión para la selección del tipo de paletizado.

Para el transporte de las cajas se tiene dos tipos de paletizado, cada tipo produce un efecto de pérdida de resistencia sobre el desempeño de la caja durante el transporte (ver fig. 2.3).

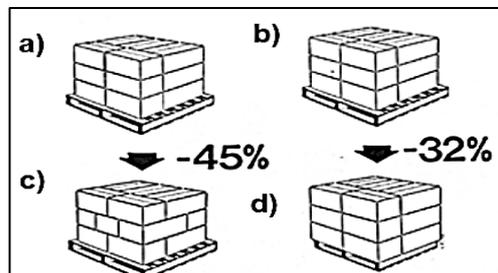


Figura 2.3 Caída de resistencia por tipo de paletizado. [George Maltenfort (1988), "Optimum Package Design"]

Se establece una matriz de decisión (ver tabla 2.5) para seleccionar el tipo de paletizado, cuyo dato se utiliza para el cálculo de la resistencia de la caja. Para dicho análisis se seleccionaron los dos tipos de paletizado convencionales (columna y trabado) además, se selecciona el método 1 de paletizado mixto (combinación de columna y trabado), todos ellos descritos en la sección 1.3.4 (Comité Costarricense de Logística, 2003):

Columna: Corresponde al apilamiento de una caja encima de otra, cuya coincidencia entre cajas se hace en las esquinas (ver fig. 1.1).

Trabado: Corresponde al apilamiento con cruzamiento de cajas.

Método mixto: Acomodar los cuatro primeros niveles de cajas en columna, luego trabar el último o los dos últimos niveles (ver fig. 1.2).

En el proceso de paletizado se debe garantizar que no colapsen las cajas por lo que, los criterios a evaluar serían estabilidad y caída mínima de resistencia, a su vez evaluar la aplicación de refuerzos. Por otra parte, se debe tomar en cuenta los tiempos de embarque desde la hacienda hacia los contenedores por lo que, también se considera en este análisis la rapidez de apilamiento, y se procede a establecer los criterios en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Descripción de criterios [Rodríguez, Cruz y Lam (2009), “Logística para la exportación de productos agrícolas, frescos y procesados”]

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Caída de resistencia	Pérdida porcentual de resistencia debido a la ubicación de las cajas en el pallet.
Estabilidad	Capacidad de las cajas de mantenerse firme en el pallet.
Rapidez de apilamiento	Posicionamiento de las cajas en el pallet en un corto tiempo.
Aplicación de refuerzos	Tacos ubicados como esquineros para minimizar la pérdida de resistencia y mejorar estabilidad.

Tratando de establecer los niveles de importancia de los criterios en un proceso de paletizado, se debe tener en consideración que, lo más importante es evitar el colapso de las cajas, por lo tanto, se debe asignar las calificaciones más altas a los criterios que cumplan con este requisito. A continuación, se presenta la tabla 2.2 con los niveles de importancia para la comparación de cada criterio:

Tabla 2.2 Niveles de importancia para comparación de criterios [Víctor Yepes P. (2020), “Proceso Analítico Jerárquico”]

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIO
0	Menos importancia	A es menos importante que B
1	Igual importancia	A es igual de importante que B
3	Importancia moderada	Experiencia y juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	Experiencia y juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho mas importante que el B
2, 4, 6	Valores intermedios entre los anteriores	

En la tabla 2.3 se realiza la ponderación de los criterios:

Tabla 2.3 Comparación de criterios [Propio]

CRITERIOS	Caída de resistencia	Estabilidad	Rapidez de apilamiento	Aplicación de refuerzos	TOTAL	PESO
Caída de resistencia	1	1	7	5	14	37%
Estabilidad	1	1	7	5	14	37%
Rapidez de apilamiento	0	0	1	3	4	10%
Aplicación de refuerzos	1	1	3	1	6	16%
TOTAL					38	100%

En la tabla 2.4 se presenta la forma de calificación de los criterios:

Tabla 2.4 Medición de criterios [Propio]

CRITERIO	MEDICIÓN
Caída de resistencia	Del 1 al 4; donde 4 es la menor caída de resistencia y el 1 la mayor caída de resistencia.
Estabilidad	Del 1 al 4; donde 4 es la estructura más estable y el 1 la es el menos estable.
Rapidez de apilamiento	Del 1 al 4; donde 4 es más rápido y el 1 el más lento.
Aplicación de refuerzos	Del 1 al 2; donde 1 necesita refuerzo y el 2 no necesita refuerzo.

En la tabla 2.5 se desarrolla la matriz de decisión para seleccionar el tipo de apilamiento, quedando con el peso más alto el apilado mixto con una calificación de 3.11.

Tabla 2.5 Matriz de decisión para seleccionar el tipo de apilamiento. [Propio]

CRITERIOS ALTERNATIVAS	Caída de resistencia	Estabilidad	Rapidez de apilamiento	Aplicación de refuerzos	PESO
PESO	37%	37%	10%	16%	100%
Columna	4	1	4	1	2,41
Trabado	1	4	3	2	2,47
Mixto	4	3	2	2	3,11

2.4 Cálculo del nivel de apilamiento de las cajas.

Todas las asunciones y relaciones de fórmulas utilizadas para realizar los diferentes cálculos tienen como base el análisis de resistencia a esfuerzos del libro “diseño en ingeniería mecánica” (Budynas y Nisbett, 2008).

Para determinar el esfuerzo al que estará sometido una caja (ver fig. 2.4), se debe garantizar que el esfuerzo a la compresión teórico σ_A (esfuerzos por paletizado y almacenamiento) sea menor que el esfuerzo último a la fatiga S_y (la caja en su transporte está sometido a factores externos que afectan directamente a su resistencia), por lo tanto, para poder determinar la resistencia de la caja, se debe considerar como principio la ecuación (2.1):

$$\sigma_A \leq S_y \quad (2.1)$$

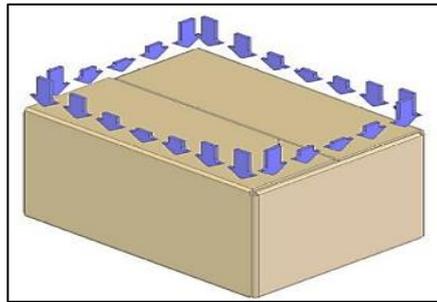


Figura 2.4 Esfuerzos de compresión σ_A y S_y sobre una caja. [Propio]

Por lo tanto, una caja de cartón estará sometida a varios factores dinámicos (ver tabla 2.6) que influyen directamente en su resistencia por lo que se debe garantizar la siguiente relación expresada en la ecuación (2.2):

$$F_{\text{base}} \leq R_{\text{dinámica}} \quad (2.2)$$

Dónde:

F_{base} = Fuerza estática de compresión sobre la caja. (Kgf o Lbf)

$R_{\text{dinámica}}$ = Resistencia afectada por los factores dinámicos. (Kgf o Lbf)

Se establece que la fuerza aplicada en el primer nivel del apilamiento (ver fig. 2.5) está dada por la ecuación (2.3):

$$F_{\text{base}} = W_{\text{caja}} * \#_{\text{niveles}} \quad (2.3)$$

Dónde:

W_{caja} = Peso de la caja con producto. (Kgf o Lbf)

$\#_{\text{niveles}}$ = Número de niveles por encima del nivel 1

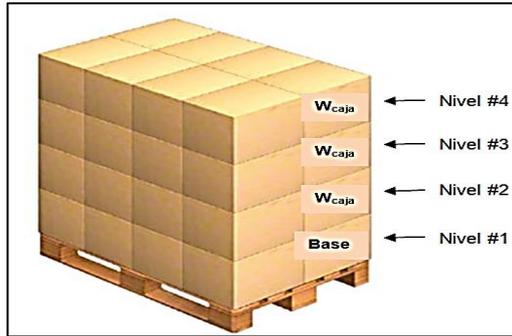


Figura 2.5 Niveles de apilamiento. [Mecalux (2020), “Cómo cargar mercancía sobre un pallet correctamente”].

Tomando en consideración todas las variables que afectan la vida útil de una caja de cartón corrugado a lo largo del ciclo de distribución, se establece la ecuación (2.4) cuya resistencia dinámica dependerá del producto de los factores que afectan directamente a su resistencia (Maltenfort, 1989):

$$R_{\text{dinámica}} = K * BCT \quad (2.4)$$

Dónde:

K= factores dinámicos (seleccionar de la tabla 2.6).

BCT= Resistencia a la compresión de la caja. (Kgf o Lbf)

Para determinar el nivel de apilamiento se procede a igualar las ecuaciones (2.3) y (2.4) y sumándole 1 nivel más que debe ser considerado en la base, se obtiene la ecuación (2.5) y (2.6):

$$F_{\text{base}} = R_{\text{dinámica}}$$

$$\#_{\text{niveles}} = \frac{F_{\text{base}}}{W_{\text{caja}}} = \frac{R_{\text{dinámica}}}{W_{\text{caja}}} = \frac{K * BCT}{W_{\text{caja}}}$$

$$\text{Apilamiento} = 1 + \#_{\text{niveles}} \quad (2.5)$$

$$\text{Apilamiento} = 1 + \frac{K * BCT}{W_{\text{caja}}} \quad (2.6)$$

Realizando el despeje de la ecuación (2.6) se tiene la ecuación para conocer la resistencia final que debe tener la caja del nivel 1:

$$BCT = \frac{(\text{Apilamiento}-1)}{K} * W_{\text{caja}} \quad (2.7)$$

2.5 Cálculo de los factores dinámicos involucrados en el diseño.

Para el cálculo de la resistencia de las cajas, se considera los factores dinámicos K, los cuales influyen directamente a la resistencia (tabla 2.6) y por lo tanto, la caja se va a ver afectada (Arias y Toledo, 2000).

Estos factores permiten determinar la resistencia final a la que la caja va a estar sometida durante el transporte, empaçado, carga y almacenamiento (Maltenfort, 1989).

Los factores dinámicos K más importantes a considerar en un transporte de banano son:

Humedad: El papel tiene propiedades higroscópicas, por lo que a mayor contenido de humedad menos resistencia presenta (Arias y Toledo, 2000).

Tiempo: Está dado por la cantidad de días que debe viajar el producto dependiendo la distancia del lugar de destino.

Arrume: Establecido por el tipo de apilamiento que el proveedor establece para la distribución del producto (tipo de caja) (Grupo CARTOPEL, 2011).

Trasbordo: Condición dada por la cantidad de intercambios de medio de transporte a la que está sometida el contenedor.

Transporte: El tipo de transporte se establece por el lugar de destino del producto (Rodríguez, Cruz y Lam, 2009).

Por lo tanto, se establece la siguiente ecuación 2.8 para determinar el factor dinámico K (Maltenfort, 1989) (Budynas y Nisbett, 2008):

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e \quad (2.8)$$

Donde los rangos de valores de los factores dinámicos están establecidos en la tabla 2.6:

Tabla 2.6 Factores dinámicos [George Maltenfort (1989), "Performance and evaluation of shipping containers"]

HUMEDAD Ka		TIEMPO Kb		ARRUME Kc		TRASBORDOS Kd		TRANSPORTE Ke	
%H	Ka	días	Kb	Tipo	Kc	No	Kd	Tipo	Ke
95	0,45	0	1	Trabado	0,6	1	0,93	Marítimo	0,6
80	0,56	10	0,66			2	0,75		
70	0,73	30	0,61	Columna	1	3	0,73	Terrestre	0,8
60	0,85	60	0,57			4	0,71		

2.6 Cálculo de la resistencia a la compresión de la caja (BCT).

Para el cálculo de la resistencia a la compresión (Box compression test en sus siglas BCT), se tiene el modelo matemático simplificado diseñado por McKee (De la Fuente, 2018):

$$BCT = 5.874 * ECT * \sqrt{t * Z} \quad (\text{Sistema inglés}) \quad (2.9)$$

Dónde:

BCT= Resistencia a la compresión (Lbf).

ECT = Resistencia a la compresión de la columna corta de cartón (Lbf/plg).

t = Calibre del cartón (plg).

Z = Perímetro de la caja (plg).

$$BCT = 1.8564 * ECT * (t)^{0.508} * (Z)^{0.492} \quad (\text{Sistema internacional}) \quad (2.10)$$

Dónde:

BCT= Resistencia a la compresión (Kgf).

ECT = Resistencia a la compresión de la columna corta de cartón (KN/m).

t = Calibre del cartón (mm).

Z = Perímetro de la caja (cm).

2.6.1 Criterio de selección y ubicación de orificios de ventilación.

Las perforaciones realizadas en la caja de cartón se consideran como concentradores de esfuerzos (Budynas y Nisbett, 2008), por lo tanto, son factores que deben considerarse para el análisis de la resistencia a la compresión. A través de un modelo de regresión (ver fig. 2.6), se puede determinar el rango de caída de resistencia vs la masa removida por efecto de los vent-holes en el total de la caja (Singh, 2008).

A través de diferentes análisis se ha podido determinar que la forma del agujero es fundamental en la pérdida de resistencia. Los orificios verticales que tienen forma rectangular o de paralelogramo son mejores para retener la resistencia de la caja en comparación con los orificios circulares (Singh, 2008).

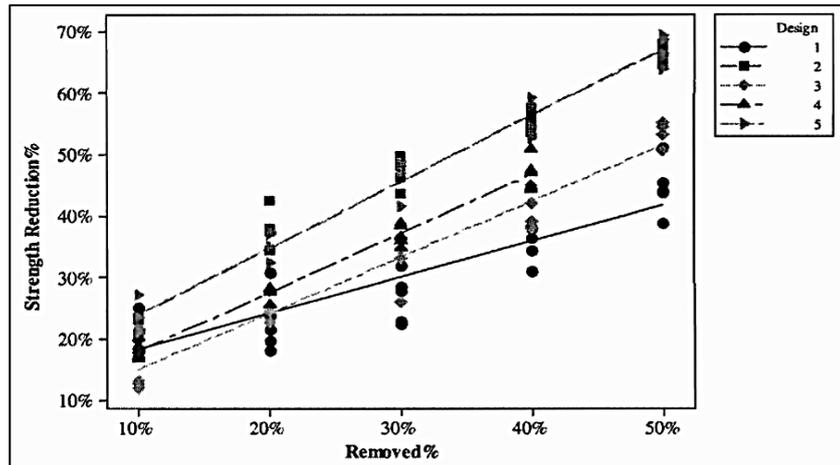


Figura 2.6 %caída de resistencia vs. % masa removida [J. Singh, Olsen, S. Singh, Manley, Wallace (2008). “The Effect of Ventilation and Hand Holes on Loss of Compression Strength in Corrugated Boxes”]

2.6.2 Cálculo de caída de resistencia por aplastamiento de calibre.

Cuando se procede a realizar el proceso de conversión en la corrugadora e imprentas, la lamina de cartón que se utiliza va perdiendo espesor o calibre a medida que pasa por el proceso de pegado, la alimentación de la imprenta y por cada cuerpo impresor.

Por lo tanto para poder determinar el porcentaje de pérdida de resistencia a la compresión que ocurre por aplastamiento, se utiliza la ecuación 2.11:

$$\% \text{ pérdida} = 100 - \left[\frac{BCT_{\text{pérdida}}}{BCT_{\text{ideal}}} * 100 \right] \quad (2.11)$$

Dónde:

$BCT_{\text{pérdida}}$ = Resistencia a la compresión de la caja (ecuación 2.9; 2.10) considerando como espesor la pérdida de calibre generada en el proceso.

BCT_{ideal} = Resistencia a la compresión de la caja (ecuación 2.9; 2.10) sin considerar la pérdida de calibre generada en el proceso de conversión.

La medición del calibre del cartón dependerá del tipo de flauta (Maltenfort, 1989) que se utilice y se muestran en la tabla 2.7:

Tabla 2.7 Rangos de calibres de las flautas. [Franja (2015). “Cartón corrugado y microcorrugado”]

Flauta	Calibre (plg)	# de flautas por pie lineal
A	0,184	33±3
C	0,142	39±3
B	0,097	47±3
E	0,0062	90±4

2.7 Cálculo de la resistencia a la compresión del cartón (ECT).

La medición o cálculo de la resistencia a la compresión, es un parámetro que expresa la resistencia al pandeo del cartón conocido como Edge Crush Test (ECT por sus siglas en inglés), de esta manera se puede conocer cuál sería la resistencia que debe tener la lámina de cartón (ver fig. 2.7).

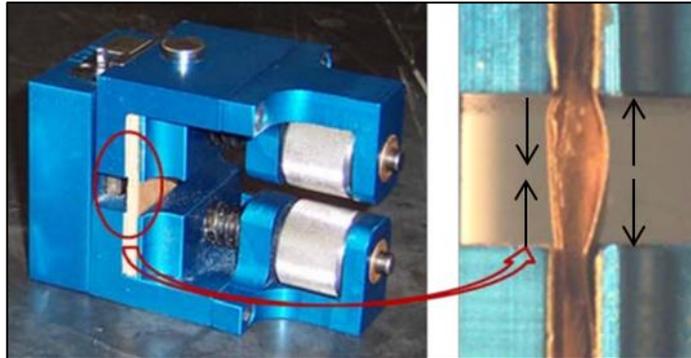


Figura 2.7 Prueba de ECT del cartón [Roman E. popil (2012). “Edge Compression Strength Test Methods”]

Por lo tanto, la prueba de ECT nos muestra el pandeo máximo del cartón producido por esfuerzos de compresión, donde el papel más débil actúa en compresión y el otro actúa en tensión como se muestra en la fig. 2.8.

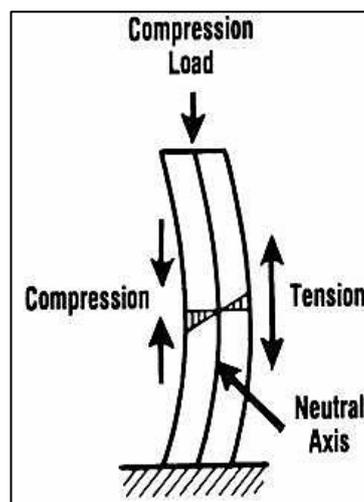


Figura 2.8 Esquema de tensiones en una lámina de cartón [George Maltenfort (1989), “Compression load distribution on corrugated boxes”]

La fórmula de ECT desarrollada está dada por la ecuación (2.12): (Popil, 2012) (Dimitrov, 2010)

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd}) \quad (2.12)$$

Dónde:

SCT_{cd} = Resistencia en corto del papel dirección transversal a la fibra (KN/m).

α y β = Coeficientes de ondulación.

2.7.1 Selección del coeficiente de ondulación de la flauta.

Se denomina coeficiente de ondulación a la relación que existe entre el largo del papel del corrugado y el largo del liner o cara (ver fig. 2.9); donde se obtiene la ecuación 2.13:

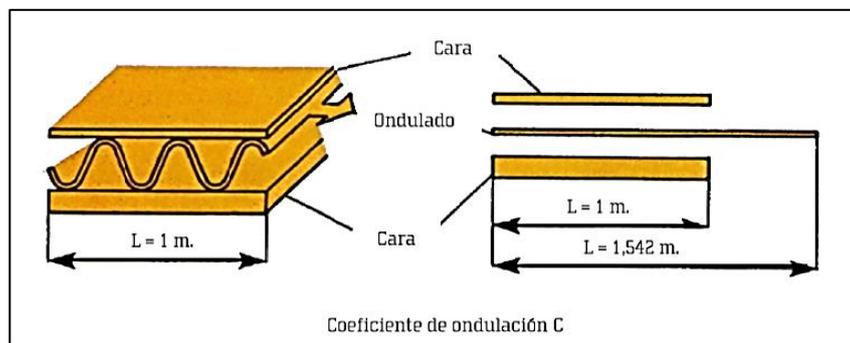


Figura 2.9 Coeficiente de elongación de la flauta [ASIMAG S.L. (2007). “Manual de elaboración del cartón ondulado vol.1”]

$$C_{ond} = \alpha = \beta = \frac{L'}{L} \quad (2.13)$$

Dónde:

C_{ond} = coeficiente de ondulación (α y β).

L = Longitud de la cara o liner. (m)

L' = Longitud del ondulado. (m)

Resolviendo para la flauta c:

$$\alpha = \frac{L'}{L} = \frac{1.5}{1} = 1.5$$

Resolviendo la ecuación 2.13 para cada una de las flautas, se tiene la tabla 2.8:

Tabla 2.8 Coeficiente teórico de ondulación de las flautas. [ASIMAG S.L. (2007). “Manual de elaboración del cartón ondulado vol.1”]

Flauta	Coeficiente teórico
A	1,48 - 1,6
C	1,39 - 1,5
B	1,3 - 1,51
E	1,17 - 1,43

2.7.2 Matriz de decisión para la selección del tipo de cartón.

Para poder determinar el ECT y BCT del cartón, se requiere establecer el tipo de flauta a utilizar en el diseño (ecuación 2.9; 2.10; 2.12). Se establece una matriz de decisión (ver tabla 2.13 y tabla 2.14) para seleccionar el tipo de flauta (ver fig. 2.10) con la que se fabricará la caja; de los cuales se tienen los siguientes tipos:

Pared simple: Formado por dos papeles de pared y un corrugado.

Pared doble: Formado por tres papeles de pared y dos corrugados.

Pared triple: Formado por cuatro papeles de pared y tres corrugados.

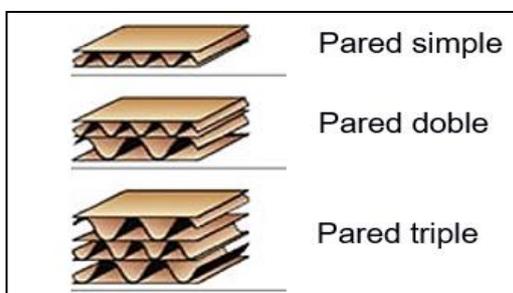


Figura 2.10 Tipos de cartón [N.G. Logística (2019), “Embalajes de cartón”]

Para seleccionar el tipo de cartón se debe considerar que su función principal es garantizar la rigidez de la caja, que sea resistente a la compresión y humedad del contenedor y cumpla con el peso básico establecido por el cliente. Por otra parte, considerar los costos de producción del cartón para poder determinar el tipo de flauta que garantice todos los criterios antes mencionados. Por lo tanto, se procede a establecer los siguientes criterios en la tabla 2.9:

Tabla 2.9 Descripción de criterios [TAPPI (2000), “Normas y Métodos de Contenedores Corrugados”]

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Costo de producción	Valor monetario utilizado para el proceso de manufactura de la caja.
Peso básico	Peso del cartón por unidad de área.
Rigidez	Propiedad de mantener su forma al sostener el material por sus bordes
Resistencia a la humedad	Capacidad del papel para resistir a la penetración del agua.
Resistencia a la compresión	Cantidad de carga que puede soportar la caja antes de que alguno de sus lados falle

Tomando en consideración los niveles de importancia de los criterios en un proceso de selección del tipo de cartón, donde lo más importante es la rigidez, la resistencia y peso de las cajas, por esto se debe asignar las calificaciones altas a estos criterios (ver tabla 2.2).

Se procede a realizar una tabla de comparación de criterios con una ponderación porcentual asignada desde la tabla 2.2 para establecer el peso de cada criterio a utilizarse (ver tabla 2.10):

Tabla 2.10 Comparación de criterios [Propio]

CRITERIOS	Costo de producción	Peso básico	Rigidez	Resistencia a la humedad	Resistencia a la compresión	TOTAL	PESO
Costo de producción	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,00	5%
Peso básico	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	18%
Rigidez	5,00	1,00	1,00	0,00	0,00	7,00	18%
Resistencia a la humedad	5,00	1,00	3,00	1,00	1,00	11,00	27%
Resistencia a la compresión	7,00	1,00	3,00	1,00	1,00	13,00	32%
TOTAL						40,00	100%

En la tabla 2.11 y 2.12 a continuación se presenta el rango y la forma de calificación de los criterios seleccionados para la realización de la matriz de decisión (tapa y fondo):

Tabla 2.11 Medición de criterios para la tapa [Propio]

CRITERIO	MEDICIÓN
Costo de producción	Del 1 al 4; donde 4 es la menor costo de producción y el 1 el mayor costo de producción.
Peso básico	Del 1 al 4; donde 4 es el más liviano y el 1 es el más pesado.
Rigidez	Del 1 al 4; donde 4 es más rígido y el 1 el menos rígido.
Resistencia a la humedad	Del 1 al 4; donde 4 es el más resistente y el 1 menos resistente.
Resistencia a la compresión	Del 1 al 4; donde 4 es el menos resistente y el 1 más resistente.

Tabla 2.12 Medición de criterios para el fondo [Propio]

CRITERIO	MEDICIÓN
Costo de producción	Del 1 al 4; donde 4 es la menor costo de producción y el 1 el mayor costo de producción.
Peso básico	Del 1 al 4; donde 4 es el más pesado y el 1 es el más liviano
Rigidez	Del 1 al 4; donde 4 es más rígido y el 1 el menos rígido.
Resistencia a la humedad	Del 1 al 4; donde 4 es el más resistente y el 1 menos resistente.
Resistencia a la compresión	Del 1 al 4; donde 4 es el más resistente y el 1 menos resistente.

Tabla 2.13 Matriz de decisión para seleccionar el cartón en la tapa. [Propio]

CRITERIOS ALTERNATIVAS	Costo de producción	Peso básico	Rigidez	Resistencia a la humedad	Resistencia a la compresión	PESO
PESO	5%	18%	18%	27%	32%	100%
Pared simple	4	4	1	1	4	2,65
Pared doble	3	2	3	2	2	2,23
Pared triple	1	1	4	3	1	2,08

En la Tabla 2.13 se presenta la matriz de decisión para seleccionar el cartón en la tapa y se puede observar en cada criterio que la alternativa que obtuvo el mayor peso (2,65) fue la de pared simple.

Tabla 2.14 Matriz de decisión para seleccionar el cartón en el fondo. [Propio]

CRITERIOS ALTERNATIVAS	Costo de producción	Peso básico	Rigidez	Resistencia a la humedad	Resistencia a la compresión	PESO
PESO	5%	18%	18%	27%	32%	100%
Pared simple	4	1	1	1	1	1,15
Pared doble	3	3	3	2	3	2,73
Pared triple	1	3	3	2	3	2,63

En la Tabla 2.14 se presenta la matriz para seleccionar el cartón en el fondo y se puede observar de acuerdo con la evaluación en cada criterio que la alternativa que obtuvo el mayor peso (2,73) fue la de pared doble.

2.8 Cálculo de la resistencia a la compresión corta del papel.

Teniendo en cuenta que para poder determinar la resistencia a la compresión de la columna corta ECT (ecuación 2.12), se requiere conocer la resistencia corta del papel SCT (Short Compression Test por sus siglas en inglés) en dirección transversal (90^0) a la dirección de la fibra (ver fig. 2.11) (Maltenfort, 1989).

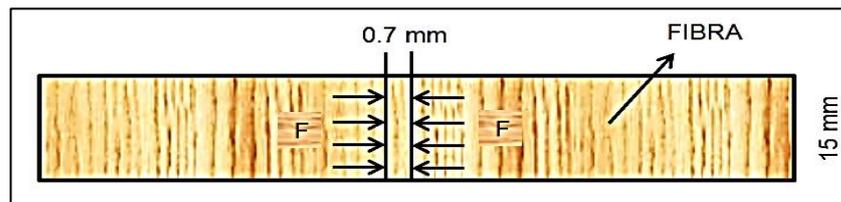


Figura 2.11 Diagrama de compresión SCTcd de una probeta de papel [Propio]

Se establece una relación de desempeño del papel con respecto a su gramaje lo que se conoce como “índice de resistencia SCT” dado por la ecuación 2.14 (SMURFIT KAPPA GROUP):

$$SCTcd_{index} = \frac{SCT_{cd}}{\text{gramaje}} \quad (2.14)$$

$$SCT_{cd} = SCTcd_{index} * \text{gramaje} \quad (2.15)$$

Dónde:

SCT_{index} = Índice de resistencia (KNm/g) (descrito en la sección 1.4.9).

SCT_{cd} = Resistencia corta a la compresión en dirección transversal (KN/m).

Gramaje = Peso del cartón por unidad de área (g/m^2).

Los datos requeridos en la ecuación 2.14 son utilizados para poder establecer las diferentes combinaciones de papeles que pueden cumplir con la resistencia calculada para el diseño de la caja.

2.8.1 Matriz de decisión para la selección del papel.

Para la elaboración de la lamina de cartón, se debe realizar una selección de papeles cuya combinación garantice la resistencia establecida por diseño y peso básico en caso de que se requiera; por lo tanto se realizará una matriz de decisión (ver tabla 2.18) para seleccionar la combinación de papeles que se acerque más a los requerimientos solicitados. De los cuales se tienen los siguientes tipos:

Papel de fibra virgen: papel que ha tenido un proceso de elaboración.

Papel de fibra reciclada: aquel papel que ha tenido más de dos procesos de elaboración.

En la selección del papel se debe considerar que cumplan los requisitos de resistencia y desempeño por lo que, los criterios a evaluar sería alta resistencia a la humedad y compresión, retener resistencia en ambiente húmedo. Por otra parte, considerar el grado de porosidad del papel cuyo parámetro es de control para el proceso de conversión del cartón.

Tabla 2.15 Descripción de criterios [ASIMAG S.L. (2007). “Manual de elaboración del cartón ondulado vol.1”]

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Resistencia a la humedad	Capacidad del papel para resistir a la penetración del agua.
Resistencia a la compresión	Cantidad de carga que puede soportar el papel antes de fallar por fractura.
Nivel de porosidad	Tiempo necesario para pasar 100 ml de aire a través de la muestra de papel
Retención de resistencia	Capacidad del papel de retener resistencia en ambiente húmedo

Tomando en consideración los niveles de importancia de los criterios en la selección de papel, donde lo más importante es la resistencia, se debe asignar las calificaciones altas a estos criterios (ver tabla 2.2). Se procede a realizar una tabla de comparación de criterios (ver tabla 2.16):

Tabla 2.16 Comparación de criterios [Propio]

CRITERIOS	Resistencia a la humedad	Resistencia a la compresión	Nivel de porosidad	Retención de resistencia	TOTAL	PESO
Resistencia a la humedad	1	0	5	2	8	24%
Resistencia a la compresión	3	1	5	1	10	30%
Nivel de porosidad	0	0	1	1	2	6%
Retención de resistencia	3	2	7	1	13	40%
TOTAL					33	100%

En la tabla 2.17 se presenta el rango y la forma de calificación de los criterios:

Tabla 2.17 Medición de criterios [Propio]

CRITERIO	MEDICIÓN
Resistencia a la humedad	Del 1 al 4; donde 4 es el más resistente y el 1 menos resistente.
Resistencia a la compresión	Del 1 al 4; donde 4 es el más resistente y el 1 menos resistente.
Nivel de porosidad	Del 1 al 4; donde 4 es de baja porosidad y el 1 de alta porosidad.
Retención de resistencia	Del 1 al 4; donde 4 es alta retención y el 1 de baja retención.

En la tabla 2.18 se desarrolla la matriz de decisión para seleccionar el tipo de papel, quedando con el peso de selección más alto (3,82) de acuerdo con la importancia en cada criterio evaluado el papel de fibra virgen.

Tabla 2.18 Matriz de decisión para seleccionar el tipo de papel. [Propio]

CRITERIOS ALTERNATIVAS	Resistencia a la humedad	Resistencia a la compresión	Nivel de porosidad	Retención de resistencia	PESO
PESO	24%	30%	6%	40%	100%
Fibra virgen	4	4	1	4	3,82
Fibra reciclada	2	2	4	2	2,12

2.9 Ensayos de calidad.

Los ensayos de calidad son pruebas que se realizan al cartón o al papel para determinar de manera práctica las propiedades físicas y mecánicas del material que será utilizado en la producción de cajas de cartón. A continuación, se presentan algunas pruebas de calidad que permiten realizar el diseño estructural de una caja.

2.9.1 Condiciones de atmósfera para la realización de los ensayos.

Las condiciones están establecidas en la norma TAPPI T-402 (Atmósferas estándar de acondicionamiento y prueba de papel, cartón, hojas de pulpa y productos afines), para la realización de los ensayos:

- a) Atmósfera de pre-acondicionamiento, 10 – 35 % HR y 22 – 40 °C.
- b) Atmósfera de acondicionamiento, 50 % ± 2% HR y 23 ± 1 °C.
- c) Atmósfera de prueba, la misma establecida en el acondicionamiento.

2.9.2 Ensayo de SCT para papel.

Para el ensayo de SCT se utiliza la norma TAPPI T-826 (Resistencia a la compresión de corta longitud del cartón para cajas), donde se coloca la muestra de (150 x 15 mm) para ser comprimida por unas mordazas con una separación de 0.7 mm como se muestra en la fig. 2.12. Cuyo resultado es la resistencia a la compresión distribuida a lo ancho de la probeta.

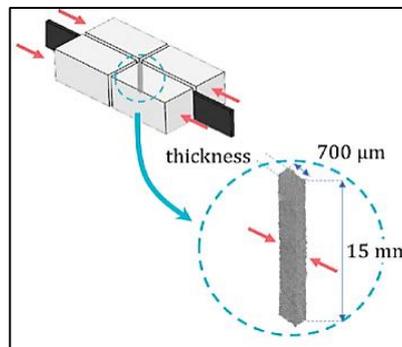


Figura 2.12 Ensayo de compresión SCTcd [Brandberg, Kulachenko (2020) “Compression failure in dense non-woven fiber networks”]

2.9.3 Ensayo de Porosidad Gurley para papel.

Para este ensayo se utiliza la norma TAPPI-T460 (Resistencia al aire del papel (método Gurley)). El cual consiste en medir el tiempo que demora en pasar 100 cm³ de aire a través del papel (ver fig. 2.13), con la finalidad de establecer una relación entre el tiempo y distancia entre las fibras del papel.



Figura 2.13 Ensayo de porosidad Gurley [Direct Industry (2021) “Densímetro para la determinación de la porosidad del papel”]

2.9.4 Medición de gramaje para papel y cartón.

Para la medición del gramaje se utiliza la norma TAPPI-T410 (Gramaje de papel y cartón (peso por unidad de área)), y consiste en cortar una probeta de 10 cm X 10cm y pesarla en una balanza en gramos y el resultado se multiplica por 100 para encontrar el peso en g/m².

2.9.5 Medición de humedad para papel y cartón.

Para la medición o cálculo de la humedad se utiliza la norma TAPPI-T412 (Humedad en pulpa, papel y cartón). Utilizando la ecuación 2.16 se calcula la humedad de la muestra como el porcentaje de pérdida del peso:

$$\%_{\text{humedad}} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad (2.16)$$

Dónde:

W_1 = Peso húmedo (g).

W_2 = Peso seco (g).

Para determinar los datos, se debe pesar la muestra (W_1) y luego colocarla en una estufa con circulación de aire durante 1 hora a una temperatura de $105^0 \pm 2^0\text{C}$. Si el gramaje es superior a 224 g/m², calentar durante 2 h y pesarla (W_2).

2.9.6 Medición de calibre para papel y cartón.

Para la medición de calibre (t) se utiliza la norma TAPPI T-411 (Espesor (calibre) de papel, cartón y combinado tablero), se utiliza un micrómetro con una precisión mínima de 0.001 mm para realizar la medición del espesor o calibre de la muestra.

2.9.7 Ensayo de Cobb para papel y cartón.

Para el ensayo de Cobb se utiliza la norma TAPPI T-441 (Capacidad de absorción de agua del papel encolado (no absorbente), cartón y cartón ondulado). Se procede a cortar una muestra de 12.5 x 12.5 cm y pesarla, luego colocarlo en el dispositivo Cobb y verter 100 ml de agua por un tiempo de 120 segundos, luego retirar el agua y colocar papel secante encima de la muestra y pasar el rodillo Cobb para retirar el residuo de agua y luego volverla a pesar. Realizar la diferencia de pesos y multiplicar por 100 para obtener el peso de agua absorbido por la muestra en g/m².



Figura 2.14 Accesorios para ensayo de COBB [MECALUX (2021) “Medidor de absorción de agua en cartón o papel”]

2.9.8 Ensayo de ECT para cartón.

Para el ensayo de ECT se utiliza la norma TAPPI T-839 (Resistencia a la compresión en el borde del corrugado utilizando el método de abrazadera (prueba de columna corta)). Se corta una muestra de cartón de 50.8 ± 0.8 mm (2.00 ± 0.03 plg.) y se la coloca en unas mordazas para prueba de ECT y se le aplica una fuerza vertical para medir la resistencia al aplastamiento.

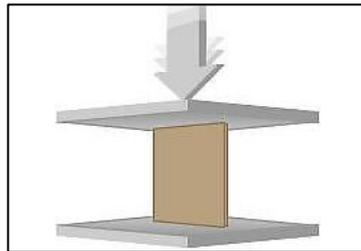


Figura 2.15 Prueba de ECT. [FORTUNE (2011) “Edge Crush Test”]

2.9.9 Ensayo de BCT para cartón.

Para el ensayo de BCT se utiliza la norma TAPPI T-804 (Prueba de compresión de contenedores de fibra), donde se coloca la caja en una prensa y aplicar una fuerza para medir la resistencia a la compresión, considerando una precarga de 223 N (50 lbf) para pared simple; 446 N (100 lbf) para pared doble; 2230 N (500 lbf) para pared triple.

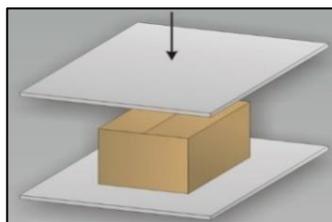


Figura 2.16 Prueba de BCT. [<https://blog.customboxesnow.com/edge-crush-tests-durability-ratings-for-your-packaging-and-display-needs/>]

2.9.10 Ensayo de Mullen para cartón.

Para el ensayo de Mullen se utiliza la norma TAPPI T-810 (Resistencia al estallido de tableros de fibra corrugada y sólida). Se Inserta la muestra entre el anillo de sujeción y la placa del diafragma, se aplica una presión de sujeción para que el anillo de compresión superior se mueva dentro de la tabla a una profundidad como se indica a continuación:

- a) Flauta "A" $2,08 \pm 0,05$ mm ($0,082 \pm 0,002$ pulg.).
- b) Flauta "B" $0,81 \pm 0,05$ mm ($0,032 \pm 0,002$ pulg.).
- c) Flauta "C" $1,62 \pm 0,05$ mm ($0,062 \pm 0,002$ pulg.).
- d) Pared doble $3,05 \pm 0,07$ mm ($0,12 \pm 0,003$ pulg.).

La muestra no debe resbalar durante la prueba. Aplicar la presión de ruptura forzando el pistón hacia adelante hasta que se rompa la muestra.



Figura 2.17 Prueba de Estallido. [YANTE (2021) "Equipo de prueba de ruptura"]

2.10 Corrección de resultados por humedad.

Para la realización de los ensayos de calidad, se debe cumplir con los requisitos establecidos por la norma TAPPI 402, donde se estable las condiciones de atmosfera de las pruebas.

Dichas condiciones provocan que la humedad presente en las muestras llegue al 7.06%. Por lo tanto, si se realiza pruebas de análisis de resistencia a muestras que no hayan sido ambientados, se debe realizar la corrección o ajuste de resultados con La ecuación 2.17:

$$R_{\text{tappi}} = \frac{R_{\text{húmedo}}}{1,89 * e^{(-0,09 * H)}} \quad (2.17)$$

Dónde:

R_{tappi} = Resistencia medida de una muestra al 7.06%. (Kgf o Lbf)

$R_{\text{húmedo}}$ = Resistencia medida con humedad elevada. (Kgf o Lbf)

H= Humedad de la muestra. (%)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Caso de estudio.

Se establece un caso de estudio a desarrollar empleando la metodología establecida en el literal 2.2, que consiste en el diseño de una caja para banano con formato 22XU, cuyas especificaciones establecidas por el exportador son:

- a) Apilamiento= 9 niveles.
- b) Peso del producto + caja = 19 kgf.
- c) Medidas internas del fondo (largo, ancho, alto) = 498, 391 y 237 mm.
- d) Medidas internas de la tapa (largo, ancho, alto) = 510, 403 y 241 mm.
- e) Paletizado= mixto

Se conoce que el formato 22XU se utiliza para exportaciones a Europa, por lo que, las condiciones de embarque son las siguientes:

- a) Temperatura= 14 °C
- b) Humedad= 95 %
- c) Tipo de transporte: Marítimo
- d) Tiempo de viaje: 30 días
- e) Traslado: 2

3.2 Análisis del BCT teórico del cartón.

Establecidas las condiciones en el literal 3.1, se procede a establecer los valores de los factores dinámicos k para cada una de las condiciones:

Humedad (K_a) = 0.45

Tiempo (K_b) = 0.61

Arrume (K_c) = 1

Traslado (K_d) = 0.75

Transporte (K_e) = 0.6

Resolviendo la ecuación 2.8 se tiene el valor del factor dinámico K:

$$K = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e = 0.45 * 0.61 * 1 * 0.75 * 0.6$$

$$K = 0.1235$$

Para el análisis del BCT teórico se requiere aplicar la ecuación 2.7

$$BCT = \frac{(Apilamiento - 1)}{K} * W_{caja}$$

Resolviendo:

$$BCT = \left[\frac{(9 - 1)}{0.1235} * 19 \right] \text{Kgf} = \mathbf{1231 \text{ Kgf}}$$

3.2.1 Cálculo de pérdida de resistencia por hand-holes y vent-holes.

La cantidad de masa removida por efecto de los agujeros no debe sobrepasar el 10% con respecto a la masa total de la caja, por lo tanto, realizando el análisis de la figura 2.6 se puede establecer que, la caída de resistencia (asociada al 10% de remoción de masa) está en el rango del 15% al 25%. Para el desarrollo del caso de estudio se selecciona una caída de la resistencia del 15% tanto para el fondo como para la tapa.

3.2.2 Pérdida de resistencia por aplastamiento de calibre.

En esta sección se considera la pérdida de calibre que experimenta el cartón cuando pasa por el proceso de conversión de imprentas. Se debe realizar un análisis por separado (tapa y fondo) debido a que, cada uno de estos elementos pasa por diferentes procesos de impresión. Se procede a desarrollar la ecuación 2.11:

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\frac{BCT_{pérdida}}{BCT_{ideal}} * 100 \right] \%$$

$$\% \text{ pérdida} = \frac{1.8564 * ECT * (t_{pérdida})^{0.508} * (Z)^{0.492}}{1.8564 * ECT * (t_{ideal})^{0.508} * (Z)^{0.492}} * 100$$

Simplificando se tiene:

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\left(\frac{t_{pérdida}}{t_{ideal}} \right)^{0.508} * 100 \right] \% \quad (3.1)$$

Se establece la caída de resistencia para el fondo, considerando que tendrá una afectación de 0.002 pulgadas debido a que los pierde por el cuerpo alimentador y 1 cuerpo impresor (Siconolfi, 1991).

Considerando que el fondo será diseñado con cartón de pared doble y al no conocerse la combinación de papeles, se procede a seleccionar como calibre mínimo la suma de las alturas de las dos flautas (ver tabla 2.7).

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\left(\frac{t_{\text{pérdida}}}{t_{\text{ideal}}} \right)^{0.508} * 100 \right] \%$$

Datos:

Pérdida de calibre = 0.002 plg = 0.05 mm

$t_{\text{ideal}} = 0.142 + 0.0097 = 0.239 \text{ plg} = 6.07 \text{ mm}$

$t_{\text{pérdida}} = 6.07 - 0.05 = 6.02 \text{ mm}$

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\left(\frac{6.02}{6.07} \right)^{0.508} * 100 \right] \%$$

$$\% \text{ pérdida} = \mathbf{0.42\%}$$

Se establece la caída de resistencia para la tapa, considerando que tendrá una afectación de 0.004 pulgadas. Esta disminución de resistencia se debe por el paso en el cuerpo alimentador y los 3 cuerpos impresores (valor promedio).

Considerando que la tapa será diseñada con cartón de pared simple y al no conocerse la combinación de papeles, se procede a seleccionar como calibre mínimo la altura de la flauta C (ver tabla 2.7).

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\left(\frac{t_{\text{pérdida}}}{t_{\text{ideal}}} \right)^{0.508} * 100 \right] \%$$

Datos:

Pérdida de calibre = 0.004 plg = 0.10 mm

$t_{\text{ideal}} = 0.142 = 3.61 \text{ mm}$

$t_{\text{pérdida}} = 3.61 - 0.10 = 3.51 \text{ mm}$

$$\% \text{ pérdida} = 100\% - \left[\left(\frac{3.51}{3.61} \right)^{0.508} * 100 \right] \%$$

$$\% \text{ pérdida} = \mathbf{1.42\%}$$

3.2.3 Análisis del BCT teórico para el fondo.

Como se establece en la sección 2.7.2, el fondo deberá soportar el 70% de la resistencia total. Por lo tanto, se resuelve la ecuación 2.7 considerando las pérdidas de calibre y orificios ya calculados:

$$BCT_{\text{fondo}} = [1231 * 1.0042 * 1.15 * 0.7] \text{Kgf} = \mathbf{995 \text{ Kgf}}$$

3.2.4 Análisis del BCT teórico para la tapa.

Como se establece en la sección 2.7.2, la tapa deberá soportar el 30% de la resistencia total. Por lo tanto, se resuelve la ecuación 2.7 considerando las pérdidas de calibre y orificios ya calculados:

$$BCT_{\text{tapa}} = [1231 * 1.0142 * 1.15 * 0.3] \text{Kgf} = \mathbf{430 \text{ Kgf}}$$

3.2.5 Análisis del BCT teórico por la fórmula de McKee para el fondo.

Se plantea la ecuación 2.10, que relaciona la resistencia a la compresión de la caja BCT con la resistencia a la compresión del cartón y su geometría.

$$BCT = 1.8564 * ECT * (t)^{0.508} * (Z)^{0.492}$$

Datos:

$$BCT = 995 \text{ Kgf.}$$

$$Z = (2 * 49.8) + (2 * 39.1) = 177.8 \text{ cm.}$$

Resolviendo:

$$995 = 1.8564 * ECT * (t)^{0.508} * (177.8)^{0.492}$$

$$41.9 = ECT * (t)^{0.508}$$

3.2.6 Análisis del BCT teórico por la fórmula de McKee para la tapa.

Se plantea la ecuación 2.10 bajo el criterio establecido en el literal 1.3.3:

Datos:

$$BCT = 430 \text{ Kgf.}$$

$$Z = (2 * 51.0) + (2 * 40.3) = 182.6 \text{ cm.}$$

Resolviendo:

$$430 = 1.8564 * ECT * (t)^{0.508} * (182.6)^{0.492}$$

$$17.9 = ECT * (t)^{0.508}$$

3.3 Análisis del ECT teórico del cartón.

Para el análisis del ECT teórico se debe resolver la ecuación 2.12. Para lo cual, se tiene valores de ECT que se calculan para tapa y fondo.

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd})$$

Utilizando la relación ECT vs. T generada en el cálculo teórico del BCT, se procede a generar las relaciones que se utilizarán para encontrar la combinación de papeles.

3.3.1 Análisis del ECT teórico para el fondo.

Se procede a utilizar la ecuación generada en el BCT teórico, suponiendo el calibre mínimo para un cartón de pared doble:

$$41.9 = ECT * (t)^{0.508}$$

$$ECT = \frac{41.9}{(t)^{0.508}} = \left[\frac{41.9}{(6)^{0.508}} \right] \text{KN/m} = \mathbf{16.86 \text{ KN/m}}$$

Reemplazando en la ecuación 2.12 se tiene:

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd})$$

$$24.15 = SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd}$$

3.3.2 Análisis del ECT teórico para la tapa.

Se procede a utilizar la ecuación generada en el BCT teórico, suponiendo el calibre mínimo para un cartón pared simple en flauta C:

$$17.9 = ECT * (t)^{0.508}$$

$$ECT = \frac{17.9}{(t)^{0.508}} = \left[\frac{17.9}{(3.61)^{0.508}} \right] \text{KN/m} = \mathbf{9.32 \text{ KN/m}}$$

Reemplazando en la ecuación 2.12 se tiene:

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd})$$

$$13.35 = SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd}$$

3.4 Análisis del SCT teórico y selección de la combinación de papeles.

Para determinar la resistencia en corto del papel (ecuación 2.15), se debe tener en consideración dos parámetros a cumplir, su resistencia y su gramaje.

$$SCT_{cd} = SCT_{cd_{index}} * \text{gramaje}$$

Debido a que no se tiene el gramaje que se va a utilizar en la producción de la caja, se procede a calcular y seleccionar el gramaje de los papeles a utilizarse.

3.4.1 Cálculo del peso básico del cartón.

Para poder determinar el peso básico del cartón, se realiza la suma de los gramajes de todos los papeles que conforman dicho cartón, considerando que para el papel corrugado debe multiplicarse por el factor de ondulación correspondiente a cada flauta.

$$G_{\text{cartón}} = G_{\text{ext}} + (\alpha * G_{\text{medC}}) + G_{\text{int}} + (\beta * G_{\text{medB}}) + G_{\text{interior}} \quad (3.2)$$

Dónde:

$G_{\text{cartón}}$ = Peso básico del cartón (g/m^2).

G_{ext} = Peso básico del liner exterior (g/m^2).

G_{medC} = Peso básico del corrugado de la flauta C (g/m^2).

G_{int} = Peso básico del liner intermedio (g/m^2).

G_{medB} = Peso básico del corrugado de la flauta B (g/m^2).

G_{interior} = Peso básico del liner interior (g/m^2).

Para calcular el peso del cartón se debe multiplicar por el área de la caja, se considera que por troquelado se pierde un 5 % del área y en las aletas tiene una pérdida del 10% de área (por efecto del GAP). Con esto, se obtiene la ecuación 3.3:

$$\text{Área}_{\text{caja}} = 0.95 * [[2 * (L * H)] + [2 * (W * H)]] + 0.9 * [L * W] \quad (3.3)$$

Dónde:

L=largo + calibre de la caja (mm)

W= ancho + calibre de la caja (mm)

H= alto + calibre de la caja (mm)

Cálculo del área para el fondo:

$$L = 498+6 = 504 \text{ mm}$$

$$W = 391+6 = 397 \text{ mm}$$

$$H = 237+6 = 241 \text{ mm}$$

$$A_{\text{fondo}} = \left[0.95 * \left[2 * (504 * 241) \right] + \left[2 * (397 * 241) \right] \right] + 0.9 * \left[504 * 397 \right] \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{fondo}} = 589899 \text{ mm}^2 = \mathbf{0.59 \text{ m}^2}$$

Cálculo del área para la tapa:

$$L = 510+3.61 = 513.61 \text{ mm}$$

$$W = 403+3.61 = 406.61 \text{ mm}$$

$$H = 241+3.616 = 244.61 \text{ mm}$$

$$A_{\text{tapa}} = \left[0.95 * \left[2 * (513.6 * 244.6) \right] + \left[2 * (406.6 * 244.6) \right] \right] + 0.9 * \left[513.6 * 406.6 \right] \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tapa}} = 615635 \text{ mm}^2 = \mathbf{0.62 \text{ m}^2}$$

Considerando que la carga de banano debe ser de 18 Kg, el peso de la caja debe estar entre 1 Kg y 1.2 Kg como máximo. Por lo tanto, se procede a establecer los diferentes gramajes de papeles que pueden cumplir con el requerimiento de la ecuación 3.4:

$$P_{\text{caja}} = G_{\text{cartón}} * \text{Área}_{\text{caja}} \quad (3.4)$$

Para el **fondo** se debe considerar un peso de entre 0.7 y 0.75 Kgf:

$$G_{\text{fondo}} = \frac{P_{\text{fondo}}}{\text{Área}_{\text{fondo}}} = \left[\frac{700}{0.59} \right] \frac{\text{g}}{\text{m}^2} = \mathbf{1186 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}}$$

El valor calculado debe de cumplirse cuando se seleccione los gramajes de la ecuación 3.2:

$$G_{\text{fondo}} = G_{\text{ext}} + (\alpha * G_{\text{medC}}) + G_{\text{int}} + (\beta * G_{\text{medB}}) + G_{\text{interior}}$$

$$G_{\text{fondo}} = \left[275 + (1.45 * 135) + 225 + (1.35 * 135) + 250 \right] \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$

$$G_{\text{fondo}} = \mathbf{1128 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}}$$

Para la **tapa** se debe considerar un peso de entre 0.30 y 0.40 Kg:

$$G_{\text{tapa}} = \frac{P_{\text{tapa}}}{\text{Área}_{\text{tapa}}} = \left[\frac{350}{0.62} \right] \frac{\text{g}}{\text{m}^2} = \mathbf{564 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}}$$

El valor calculado debe de cumplirse cuando se seleccionen los gramajes de la ecuación 3.2:

$$G_{\text{tapa}} = G_{\text{ext}} + (\alpha * G_{\text{medC}}) + G_{\text{interior}}$$

$$G_{\text{tapa}} = [175 + (1.45 * 125) + 200] \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$

$$G_{\text{tapa}} = 556 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$

3.4.2 Análisis del SCT teórico y combinación de papeles para el fondo.

Para el análisis del SCT teórico del fondo se debe utilizar la ecuación 2.15, conociendo ya el índice de resistencia y el gramaje calculado en el literal 3.5.1. Una vez seleccionado los SCT, se debe resolver la ecuación 2.12 descrita en el literal 3.4.

$$SCT_{\text{cdext}} = 0.020 * 275 = 5.5 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{\text{cdmedC}} = 0.022 * 135 = 2.97 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{\text{cdint}} = 0.020 * 225 = 4.5 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{\text{cdmed B}} = 0.022 * 135 = 2.97 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{\text{cdinterior}} = 0.022 * 250 = 5.5 \text{ KN/m}$$

$$24.15 = 5.5 + (1.45 * 2.97) + 4.5 + (1.35 * 2.97) + 5.5$$

$$24.15 \text{ KN/m} \approx 23.82 \text{ KN/m}$$

Se considera este valor como el más próximo considerando que el valor de ECT de 24.15 KN/m fue analizado con un calibre mínimo.

3.4.3 Análisis del SCT teórico y combinación de papeles para la tapa.

Para el análisis del SCT teórico de la tapa se debe utilizar la ecuación 2.15, aplicando el índice de resistencia y el gramaje calculado en el literal 3.5.1. Una vez seleccionado los SCT, se debe resolver la ecuación 2.12 descrita en el literal 3.4.

$$SCT_{\text{cd}} = 0.021 * 175 = 3.68 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{cd} = 0.023 * 125 = 2.88 \text{ KN/m}$$

$$SCT_{cd} = 0.022 * 200 = 4.44 \text{ KN/m}$$

$$13.35 = 3.68 + (1.45 * 2.88) + 4.44$$

$$13.35 \text{ KN/m} \approx 12.30 \text{ KN/m}$$

Se considera este valor como el más próximo teniendo en cuenta que el valor de ECT de 13.35 KN/m fue analizado con un calibre mínimo.

3.5 Cálculo del SCT real del cartón.

Para establecer el SCT real del cartón, se considera las resistencias establecidas en el literal 3.4.3, para realizar la respectiva combinación de papeles requeridos para la elaboración de la caja de cartón.

3.5.1 Cálculo del SCT real y combinación de papeles para el fondo.

Se considera los gramajes encontrados y sus resistencias, se procede a comparar con las diferentes fichas técnicas para establecer los papeles disponibles en el mercado (ver tabla 3.1):

Tabla 3.1 Selección de papeles para el fondo [Datasheet "ILIM PULP, ProVantage MONDI, SMURFIT KAPPA GROUP"]

Ubicación	Gramaje teórico	Resistencia teórico	Proveedor	Tipo de papel	Gramaje real	Resistencia real
L. exterior	275	5,50	SMURFIT	Kraftliner	275	5,00
corrugado C	135	2,97	MONDI	Semi-químico	135	3,29
L. intermedio	225	4,50	SMURFIT	Kraftliner	225	4,15
corrugado B	135	2,97	MONDI	Semi-químico	135	3,29
L. interior	250	5,50	ILIM PULP	Kraftliner	250	5,55

Combinación para el fondo = **275-135-225-135-250**

3.5.2 Cálculo del SCT real y selección de la combinación de papeles para la tapa.

Se considera los gramajes encontrados y sus resistencias, se procede a comparar con las diferentes fichas técnicas para establecer los papeles disponibles en el mercado (ver tabla 3.2):

Tabla 3.2 Selección de papeles para la tapa [Datasheet “ILIM PULP, ProVantage MONDI, SMURFIT KAPPA GROUP”]

Ubicación	Gramaje teórico	Resistencia teórico	Proveedor	Tipo de papel	Gramaje real	Resistencia real
L. exterior	175	3,68	SMURFIT	White-top	175	3,60
corrugado C	125	2,88	MONDI	Semi-químico	125	2,93
L. interior	200	4,40	ILIM PULP	Kraftliner	200	4,35

Combinación para la tapa = **175-125-200**

3.6 Cálculo del ECT real del cartón.

3.6.1 Cálculo del ECT real del fondo.

Para el cálculo del ECT se utiliza la ecuación 2.12 cuyos valores de resistencia a utilizar serán los desarrollados y establecidos en la sección 3.6.1:

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd})$$

$$ECT = [0.6982 * (5.00 + (1.45 * 3.29)) + 4.15 + (1.35 * 3.29) + 5.55] \text{ KN/m}$$

$$ECT = 16.66 \text{ KN/m}$$

3.6.2 Cálculo del ECT real de la tapa.

Para el cálculo del ECT se utiliza la ecuación 2.12 cuyos valores de resistencia a utilizar serán los establecidos en la sección 3.6.2:

$$ECT = 0.6982 * (SCT_{cd} + \alpha SCT_{cd} + SCT_{cd} + \beta SCT_{cd} + SCT_{cd})$$

$$ECT = [0.6982 * (3.60 + (1.45 * 2.93)) + 4.35] \text{ KN/m}$$

$$ECT = 8.52 \text{ KN/m}$$

3.7 Cálculo del BCT real del cartón.

Para determinar el BCT real, se debe calcular el calibre del cartón descrito en la ecuación 3.5 (suma de todos los calibres de los papeles más las alturas de las flautas utilizadas) con los papeles ya seleccionados (ver calibre en la ficha técnica del proveedor o realizar la medición de la muestra física):

$$t = t_{ext} + (t_{medC} + 0.142) + t_{int} + (t_{medB} + 0.097) + t_{interior} \quad (3.5)$$

Dónde:

t_{ext} = calibre del liner exterior (mm).

t_{medC} = calibre del corrugado C (mm).

t_{int} = calibre del liner intermedio (mm).

t_{medB} = calibre del corrugado B (mm).

t_{interior} = calibre del liner interior (mm).

Altura de la flauta C = 0.142 plg = 3.607 (mm).

Altura de la flauta B = 0.097 plg = 2.464 (mm).

Resolviendo para el fondo:

$$t = [0.380 + (0.210 + 3.607) + 0.310 + (0.210 + 2.464) + 0.330] \text{mm}$$

$$\mathbf{t = 7.511 \text{ mm}}$$

Resolviendo para la tapa:

$$t = [0.215 + (0.200 + 3.607) + 0.275] \text{mm}$$

$$\mathbf{t = 4.297 \text{ mm}}$$

3.7.1 Cálculo del BCT real del fondo.

Para el cálculo del BCT se utiliza la ecuación 2.11 cuyos valores de resistencia ECT a utilizar serán los establecidos en la sección 3.7.1:

$$\text{BCT} = 1.8564 * \text{ECT} * (t)^{0.508} * (Z)^{0.492}$$

$$\text{BCT} = [1.8564 * 16.66 * (7.511)^{0.508} * (177.8)^{0.492}] \text{Kgf}$$

$$\mathbf{\text{BCT} = 1102 \text{ Kgf}}$$

3.7.2 Cálculo del BCT real de la tapa.

Para el cálculo del BCT se utiliza la ecuación 2.11 cuyos valores de resistencia ECT a utilizar serán los establecidos en la sección 3.7.2:

$$\text{BCT} = 1.8564 * \text{ECT} * (t)^{0.508} * (Z)^{0.492}$$

$$\text{BCT} = [1.8564 * 8.52 * (4.297)^{0.508} * (182.6)^{0.492}] \text{Kgf}$$

$$\mathbf{\text{BCT} = 430 \text{ Kgf}}$$

3.7.3 Alternativas de combinaciones de papeles.

Considerando que se tiene el peso básico del cartón y el ECT que debe cumplir, se puede establecer diferentes alternativas de combinaciones de papeles que cumplan con estos requisitos como se muestra en la tabla 3.3 y 3.4:

Tabla 3.3 Alternativas de combinaciones para el fondo [Datasheet “ILIM PULP, ProVantage MONDI, SMURFIT KAPPA GROUP, SAPPI, ARKHANGELSK”]

	COMBINACION 1		COMBINACION 2		COMBINACION 3	
Posición	Gramaje	SCTcd	Gramaje	SCTcd	Gramaje	SCTcd
L. ext	275	5,00	250	4,00	200	4,35
Med. C	150	3,76	125	3,20	140	3,70
L. int	200	4,35	250	5,55	200	3,60
Med. B	125	3,29	125	3,20	150	4,10
L. interior	225	4,50	250	5,55	275	5,00
Peso básico	1086,25		1100		1080,5	
ECT	16,58		16,8		16,65	

Tabla 3.4 Alternativas de combinaciones para la tapa [Datasheet “ILIM PULP, ProVantage MONDI, SMURFIT KAPPA GROUP, SAPPI”]

	COMBINACION 1		COMBINACION 2		COMBINACION 3	
Posición	Gramaje	SCTcd	Gramaje	SCTcd	Gramaje	SCTcd
L. ext	175	3,60	180	3,60	160	3,30
Med. C	125	2,93	140	3,70	125	3,20
L. interior	200	4,35	170	3,55	200	4,35
Peso básico	556,25		553		541,25	
ECT	8,52		8,74		8,58	

3.8 Análisis y selección de las agarraderas y orificios de ventilación.

3.8.1 Selección de las agarraderas y orificios de ventilación.

Para la selección de los orificios, se tiene diferentes geometrías que siempre son seleccionadas por los exportadores dependiendo el diseño que le quieran dar a sus cajas, por lo tanto, para el análisis se debe considerar:

- Determinar las medidas internas de la caja final (revisar el plano estructural).
- Determinar el porcentaje del área total efectiva (área del cuerpo de la caja) de la masa removida por los orificios.

- c) Dividir el área total para el número de orificios, para determinar el área de cada uno.
- d) El análisis se debe realizar al fondo debido a que tiene menor área, el resultado es aplicable para tapa y fondo porque deben ir acoplados y coincidir en geometría y ubicación.

Bajo estas consideraciones se establece la ecuación 3.6:

$$\%A_{rem} = \frac{A_{orif}}{A_{caja}} * 100$$

$$A_{orif} = \frac{\%A_{rem} * A_{caja}}{100} \quad (3.6)$$

Dónde:

A_{orif} = Área total de los orificios (mm^2).

A_{caja} = Área lateral de la caja (mm^2).

$\%A_{rem}$ = Porcentaje de área removida (%).

Resolviendo:

$$A_{orif} = \frac{5 * [[2 * (498 * 237)] + [2 * (391 * 237)]]}{100}$$

$$A_{orif} = 21069 \text{ mm}^2$$

Por diseño ya establecido por los exportadores, las cajas tienen 2 agarraderas distribuidas en las caras de menor área y 8 orificios de ventilación distribuidos 2 en cada cara.

$$A_{vent} = \frac{A_{orif} - (2 * A_{hand})}{8} \quad (3.7)$$

Dónde:

A_{vent} = Área del orificio de ventilación (mm^2).

A_{hand} = Área de la agarradera (mm^2) se considera el de tipo convencional (ver fig. 1.5).

Resolviendo:

$$A_{vent} = \left[\frac{21069 - (2 * 4090)}{8} \right] \text{ mm}^2$$

$$A_{vent} = 1611 \text{ mm}^2$$

Si se diseñan orificios circulares, se resuelve la ecuación del área de la circunferencia para determinar el diámetro de los orificios.

$$A_{vent} = \frac{\pi * \phi_{vent}^2}{4}$$

$$\phi_{vent} = \sqrt{\frac{4 * A_{vent}}{\pi}}$$

Dónde:

ϕ_{vent} = Diámetro del orificio de ventilación (mm).

Resolviendo:

$$\phi_{vent} = \left[\sqrt{\frac{4 * 1611}{\pi}} \right] \text{ mm}$$

$$\phi_{vent} = 45.29 \text{ mm}$$

3.8.2 Modelado 2D.

Para realizar el modelado 2D, se debe conocer las partes que conforman una caja de cartón, para poder establecer los parámetros calculados considerando que en las dimensiones intervienen variables como calibre del cartón, rayado (score) y ranuras (slots) (Maltenfort, 1989). En la figura 3.1 y 3.2 se muestran las principales partes y dimensiones para el diseño de la caja:

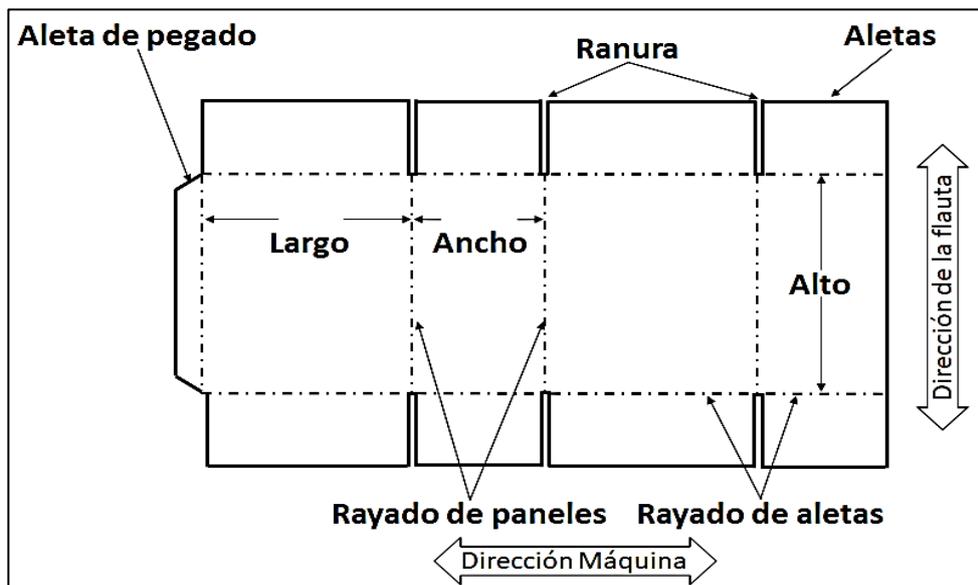


Figura 3.1 Diagrama de corte ranurado (RSC) [George Maltenfort (1989), "Shipping Container Basic"]

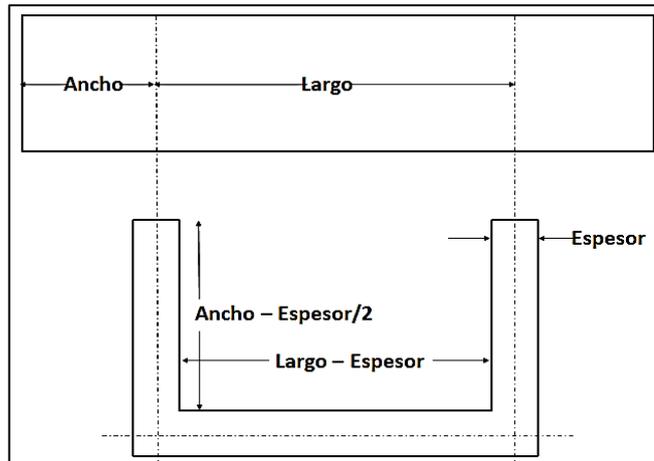


Figura 3.2 Dimensiones de largo y ancho de la caja [George Maltenfort (1989), "Container styles and scoring allowances"]

3.8.3 Análisis de la ubicación de las agarraderas y orificios de ventilación.

Debido a que los orificios son concentradores de esfuerzos, la ubicación de cada uno va a influir de manera directa en la caída de resistencia de la caja. A través de una simulación se debe seleccionar la posición donde la caída de resistencia sea mínima.

Para realizar la simulación se necesita la combinación de las propiedades de cada uno de los papeles que componen el cartón para generar la geometría compleja del corrugado.

Para realizar la simulación se requiere un modelo simplificado y equivalente (ver fig. 3.3); y se recurre a modelos empíricos para obtener las propiedades del cartón a través de las propiedades de los papeles. Todo esto tanto para la tapa como el fondo de la caja para banano. Obteniendo así un solo material para la simulación (Swee Li Kueh, 2012).

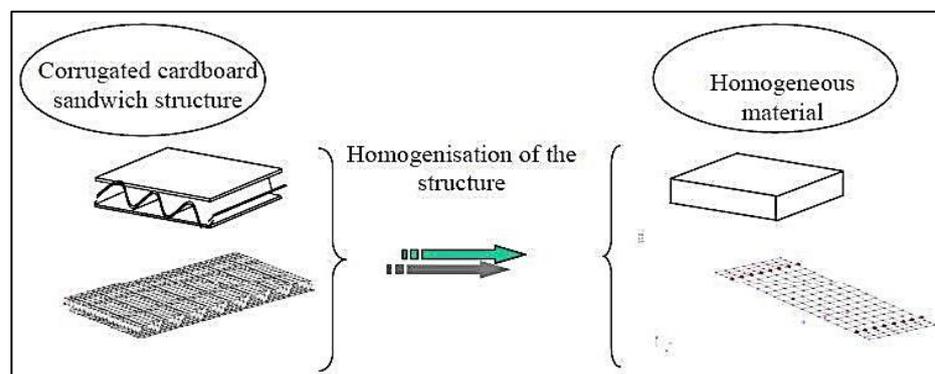


Figura 3.3 Homogeneización de la estructura del cartón [Swee Li Kueh, (2012), "Modelling Buckling and Post-buckling Behaviours of Corrugated Paperboard Structures"]

Una vez aplicada la simplificación del modelo, se obtienen las ecuaciones (Swee Li Kueh, 2012) y los valores del material que serán aplicados a la simulación (ver tabla 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8). El modelo debe realizarse mediante la configuración de chapa metálica para conservar las propiedades del material en cada eje, sea la dirección máquina – MD (x), dirección transversal – CD (y) y la dirección Z. Se debe evitar el intercambio de propiedades por la orientación de la caja, ya que el material es considerado ortotrópico (ver fig. 3.4).

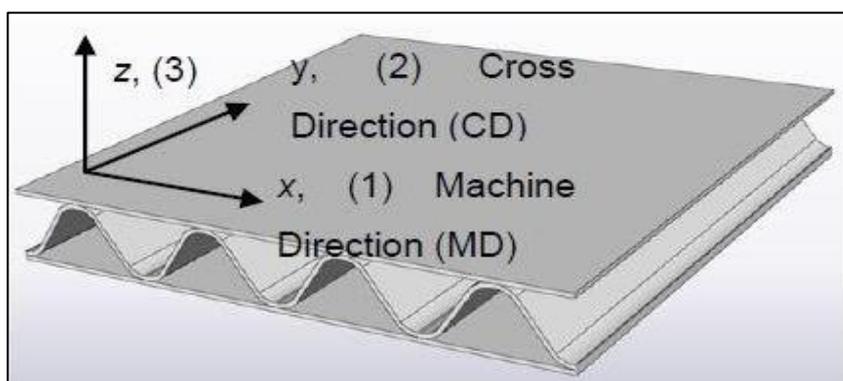


Figura 3.4 Direcciones de ejes principales del cartón [Swee Li Kueh, (2012), “Modelling Buckling and Post-buckling Behaviours of Corrugated Paperboard Structures”]

Tabla 3.5 Propiedades físicas y mecánicas para la tapa [Propio]

TAPA			
Propiedades Físicas y Mecánicas de Papeles			
Proveedor	Ilim Pulp	Mondi	Smurfit kappa
Gramaje [g/m ²]	200	125	175
Calibre [mm]	0.28	0.20	0.22
SCT _{CD} [KN/m]	4.35	2.93	3.60
S _{tx} [KN/m]	1850.0	1438.0	1700.0
S _{ty} [KN/m]	750.0	638.0	700.0
E _x [MPa]	6607.14	7190.00	7727.27
E _y [MPa]	2678.57	3190.00	3181.82
E _z [MPa]	330.357	35.950	386.364
G _{xy} [MPa]	1628.06	1853.41	1918.94
G _{xz} [MPa]	120.13	130.727	140.496
G _{yz} [MPa]	765.306	911.429	909.091
v _{xy} [MPa]	0.18656	0.19516	0.18801
v _{xz} [MPa]	0.01	0.01	0.01
v _{yz} [MPa]	0.01	0.01	0.01

Tabla 3.6 Propiedades físicas y mecánicas para el fondo [Propio]

FONDO					
Propiedades Físicas y Mecánicas de los Papeles					
Proveedor	Ilim pulp	Mondi	Smurfit kappa	Mondi	Smurfit
Gramaje [g/m²]	250	135	225	135	275
Calibre [mm]	0.33	0.21	0.31	0.21	0.38
SCT_{CD} [KN/m]	5.55	3.29	4.15	3.29	5.00
S_{tx} [KN/m]	2750	1553	2250	1553	2750
S_{ty} [KN/m]	1100	689	900	689	1100
E_x [MPa]	8333.33	7395.24	7258.06	7395.24	7236.84
E_y [MPa]	3333.33	3280.95	2903.23	3280.95	2894.74
E_z [MPa]	416.667	369.762	362.903	369.762	361.842
G_{xy} [MPa]	2039.67	1906.28	1776.49	1906.28	1771.29
G_{xz} [MPa]	151.515	134.459	131.965	134.459	131.579
G_{yz} [MPa]	952.381	937.415	829.493	937.415	827.068
v_{xy} [MPa]	0.18531	0.19516	0.18531	0.19516	0.18531
v_{xz} [MPa]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
v_{yz} [MPa]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Tabla 3.7 Propiedades físicas de la lámina para la tapa [Propio]

Propiedades físicas de la lámina de la tapa	
Calibre, t [mm]	4.297
Densidad, ρ [g/m³]	0.129
Factor de corrugación, α	1.45
E_x [MPa]	834.0
E_y [MPa]	556.2
E_z [MPa]	4.2
G_{xy} [MPa]	206.4
G_{xz} [MPa]	15.2
G_{yz} [MPa]	23.8
v_{xy} [MPa]	0.12
v_{xz} [MPa]	0.01
v_{yz} [MPa]	0.01
S_y [MPa]	2.90

Tabla 3.8 Propiedades físicas de la lámina para el fondo [Propio]

Propiedades físicas de la lámina del fondo	
Calibre, t [mm]	7.511
Densidad, ρ [g/m ³]	0.158
Factor de corrugación Promedio, $\alpha\beta$	1.4
E_x [MPa]	688.91
E_y [MPa]	404.0
E_z [MPa]	3.44
G_{xy} [MPa]	168.62
G_{xz} [MPa]	12.53
G_{yz} [MPa]	19.683
ν_{xy} [MPa]	0.13
ν_{xz} [MPa]	0.01
ν_{yz} [MPa]	0.01
S_y [MPa]	2.30

Una vez seleccionados estos parámetros, se realizan las configuraciones para llevar a cabo la simulación; como son: restricción fija, distribución de cargas (ver tabla 3.9) en cada área de contacto (ver fig. 3.5), configuración del mallado (ver tabla 3.10).

La simulación se la realizará para el fondo, debido a que es la caja que soporta el mayor porcentaje de la carga; establecida la resistencia y la ubicación de los orificios más eficientes, la tapa tendrá la misma configuración.

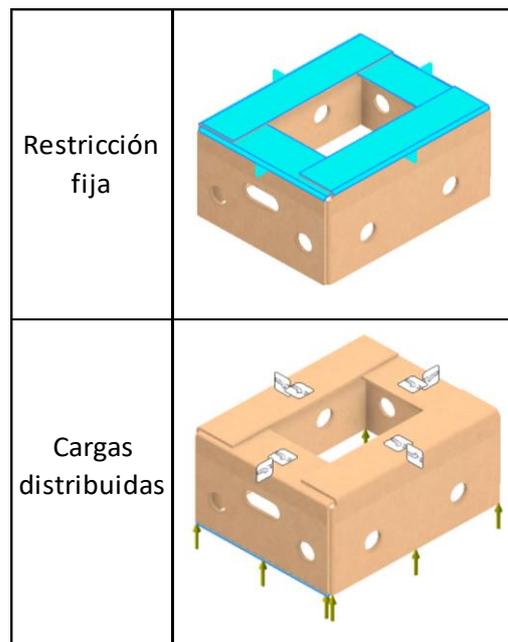


Figura 3.5 Restricciones y distribución de la carga en la caja [propio]

Tabla 3.9 Distribución de la carga [Propio]

Fuezas		
Tipo de carga	Fuerza (N)	Posición
Fuerza 1	1695,64	frontal
Fuerza 2	1695,64	posterior
Fuerza 3	2123,52	derecha
Fuerza 4	2163,14	izquierda
Fuerza 5	110,93	aletas
Fuerza 6	32,56	esquinas
Total	7821,44 N	Área de contacto
	797,29 Kgf	

Tabla 3.10 Configuración de malla [Propio]

Configuración de la malla	
Tamaño medio de elemento (Fracción del diámetro del modelo)	0,025
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,01
Factor de modificación	1,5

Se realiza varias simulaciones considerando diferentes alturas para determinar el impacto que tiene realizar cambios en los orificios (ver fig. 3.6; 3.7; 3.8; 3.9) y aplicando varias fuerzas de compresión y realizando varias comparaciones, se obtiene como factor de seguridad mínimo: 1.06 (ver tabla 3.11) con una aplicación de fuerza a la compresión de 7821 N o 797 Kgf para el fondo.

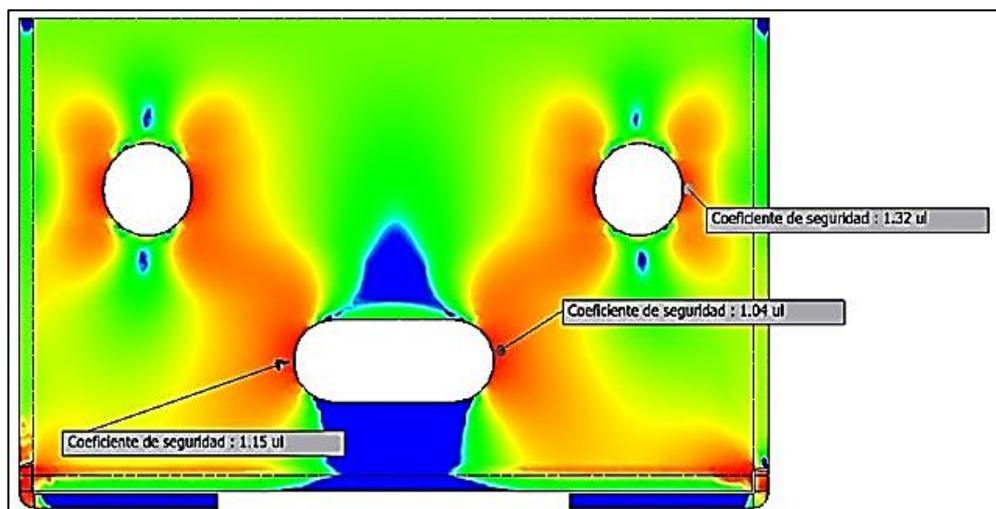


Figura 3.6 Simulación de la carga a 0.25 H. [propio]

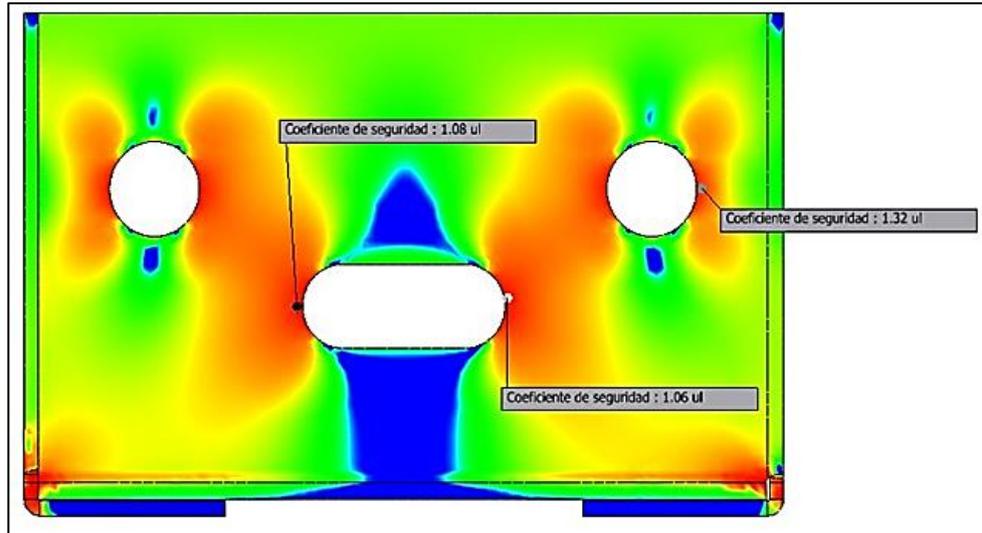


Figura 3.7 Simulación de la carga a 0.375 H. [propio]

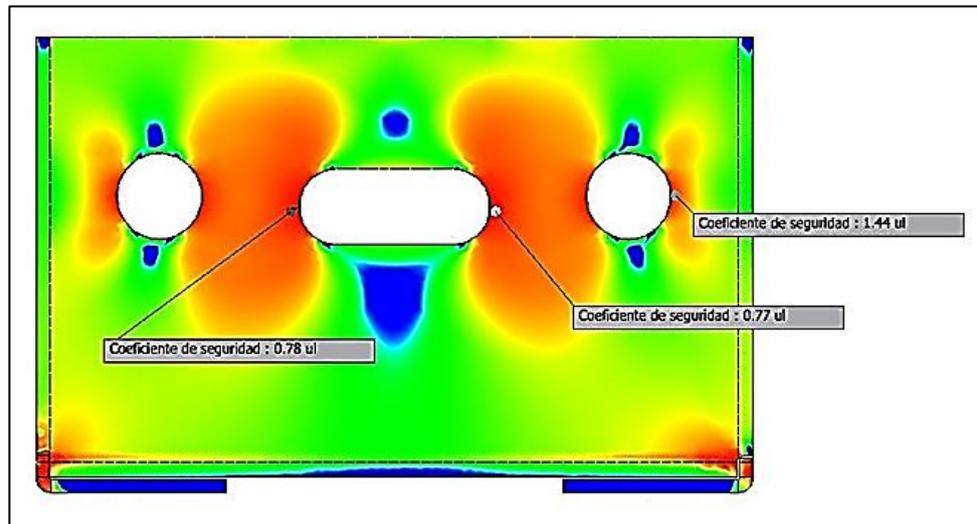


Figura 3.8 Simulación de la carga a 0.6 H. [propio]

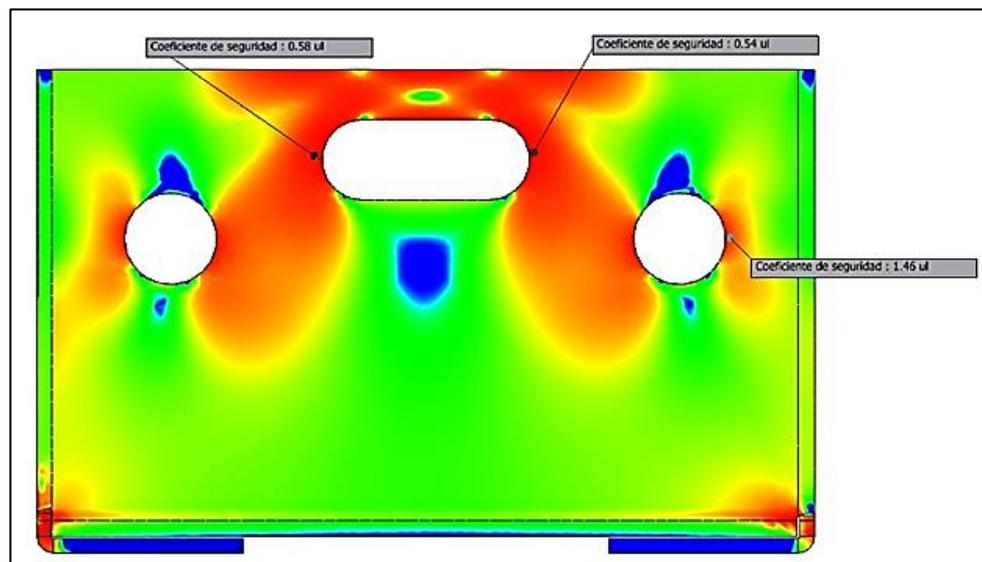


Figura 3.9 Simulación de la carga a 0.8 H. [propio]

Tabla 3.11 Factor de seguridad en diferentes ubicaciones de orificios [Propio]

Posición	Carga	Factor de seguridad
0,25 H	7821,44 N	1,04
0,375 H		1,06
0,6 H		0,77
08 H		0,54

Dando como resultado que la ubicación de las agarraderas es de 0.375 veces la altura H; se desarrollando la simulación en 3D para visualizar los factores de seguridad (ver fig. 3.10).

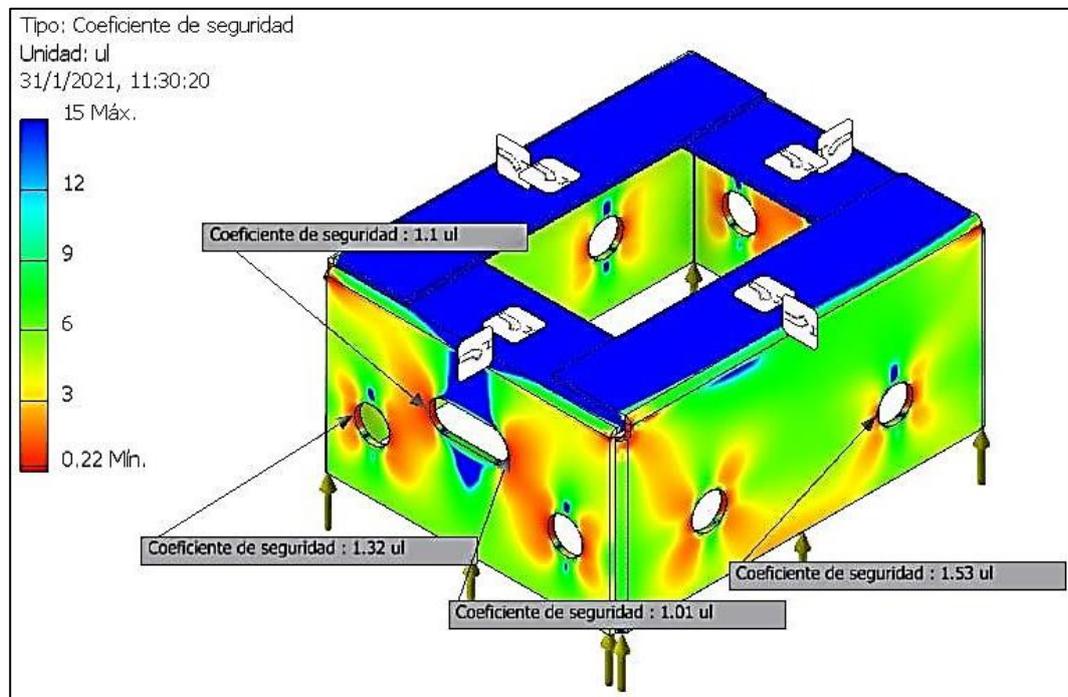


Figura 3.10 Factores de seguridad a 0.375 H. [propio]

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Se pudo establecer una metodología que nos permite diseñar una caja de cartón para banano, considerando las condiciones de empaque, embarque, capacidad de carga, transporte y almacenamiento.
- Debido a que los formatos de cajas para banano ya están establecidos, se desarrolló un caso de estudio para aplicar la metodología propuesta para un formato 22XU, donde se pudo establecer que, se pueden generar varias alternativas de combinaciones de papeles, teniendo en cuenta los parámetros calculados y referentes al peso básico y el ECT.
- Se calculó la resistencia dinámica de la caja del nivel 1 dando un resultado de 1231 Kgf, cuya resistencia se distribuye en un 70% para el fondo (862 Kgf) y un 30% para la tapa (369 Kgf).
- Se consideró las pérdidas de resistencia relacionadas al proceso de conversión de la lámina de cartón en las imprentas, como la disminución de calibre y los concentradores de esfuerzos por efecto del troquelado de la lámina, dando como resultado que, el porcentaje de pérdida de resistencia por calibre es de 1.42% para la tapa y 0.42% para el fondo; y un 15% de pérdida de resistencia por efecto del troquelado.
- Se calculó la resistencia final que debe cumplir el diseño considerando la resistencia dinámica y las pérdidas del proceso de conversión, dando como resultado: 1102 Kgf para el fondo y 430 Kgf para la tapa; y un total en conjunto de 1532 Kgf. Estos datos se utilizaron para poder establecer la fórmula simplificada de McKee y encontrar la combinación de papeles asociados a la resistencia final.
- Se pudo establecer la combinación de papeles para el fondo 275-135-225-135-250 con peso básico de 1086 Kg/m² y ECT de 16.58 KN/m; y para la tapa 175-125-200 con peso básico de 556 Kg/m² y ECT de 8.52 KN/m. Con estos datos se podrían establecer otras combinaciones de papeles que también cumplan con el peso básico y el ECT.

- La resistencia obtenida con la fórmula de McKee debe ser mayor al obtenido por el cálculo de resistencia dinámica, esto para asegurar cualquier pérdida de resistencia que pueda darse por el acople tapa-fondo o por mala manipulación al cargar la caja con producto, por lo que, 1532 Kgf > 1425 Kgf (995 Kgf para el fondo y 430 Kgf para la tapa).
- A continuación, se establece la geometría y selecciona la ubicación de los orificios (hand-holes y vent-holes), realizando análisis por elementos finitos se pudo cuantificar la pérdida de resistencia por efecto de dichas partes. Se seleccionaron agarraderas o hand-holes de tipo convencional con un área de 4090 mm² y orificios de ventilación o vent-holes de tipo circular con un área de 1611 mm².
- Se pudo analizar varias posiciones de las agarraderas para determinar la ubicación más eficiente en la estructura de la caja y se estableció que, la ubicación de las agarraderas debe ser a 0.375H. A pesar de que, al bajar la posición de dichas agarraderas se obtiene una mejor resistencia, no es conveniente por ergonomía.
- Desarrollando una simulación estructural de la caja, se determinó la resistencia máxima a la compresión para el fondo, resultando en 797 Kgf. Dicho resultado presenta un error del 7.54 % por debajo del resultado de 862 Kgf obtenido en el cálculo de carga dinámica. Por lo tanto, se valida la resistencia estructural de la caja final diseñada frente a los esfuerzos aplicados.

4.2 Recomendaciones.

Como trabajo complementario para el proyecto desarrollado tenemos las siguientes recomendaciones:

- Realizar simulaciones para visualizar el tipo de falla que ocurre en la caja debido a la geometría y ubicación de los hand-holes y vent-holes.
- Al realizar la combinación de papeles, no utilizar con diferencias altas de pesos entre los liner, debido a que, un desbalance en los gramajes produce el defecto conocido como COMBA en el cartón.

- Al construir la caja se deben realizar controles constantes de la pérdida de calibre en el proceso, con la finalidad de evitar caídas de resistencias no consideradas en el diseño.
- Utilizar papeles de fibra virgen al menos en los liner, estos papeles son de alto desempeño en condiciones críticas de humedad.
- Seleccionar papeles que permitan obtener un BCT un poco más elevado que el calculado, debido a que, este valor ayudará siempre a compensar alguna pérdida de resistencia no controlada que se puede dar en: el proceso de embarque, el proceso de llenado de producto o por el acople defectuoso de tapa-fondo.
- Durante la construcción de la caja, se debe controlar la presión ejercida por el troquelado, una excesiva presión produce aplastamiento de calibre en los orificios, provocando que la caja falle en esa zona.
- Controlar el contenido de humedad de los papeles y del cartón producido en la corrugadora, porque una variación de humedad elevada produce comba y caída de resistencia del ECT y el BCT.
- Verificar que los agujeros en el acople tapa-fondo tengan al menos el 90% de coincidencia, para evitar problemas de circulación del aire ya que, produce maduración temprana de la fruta en condición húmeda.
- Al realizar el pegado de las cajas, evitar la excesiva manipulación debido a que cualquier golpe disminuye su resistencia.
- Para el desarrollo del diseño estructural considerar siempre el calibre del cartón a utilizarse, así evitar el descuadre del cuerpo por el traslape que se forma entre las caras del pegado.
- Realizar ensayos de compresión en húmedo y con carga interna para poder predecir el comportamiento real de la caja bajo condiciones críticas y conocer la retención de resistencia que puede experimentar.
- Verificar que los cortes o slots no excedan su longitud y comprometan la estructura de la caja, ya que, pueden disminuir la estabilidad y resistencia de esta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Daniel Rodríguez Sáenz, Connie Cruz y Frank Lam (2009). “LOGÍSTICA PARA LA EXPORTACIÓN DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS, FRESCOS Y PROCESADOS”, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – Costa Rica. IICA Publications.
- [2] Ciro Arias Velázquez y Julio Toledo Hevia (2000). “DE MANEJO POSTCOSECHA DE FRUTAS TROPICALES”, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) Roma – Italia. © FAO 2000
- [3] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca “MAGAP” (2016). ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE CAJAS DE CARTÓN PARA EMPAQUE DE BANANO Y OTRAS MUSÁCEAS DE EXPORTACIÓN. Recuperado de: www.una.gob.ec
- [4] Grupo CARTOPEL. (2011). “Manejo Adecuado de las Cajas para Obtener un Máximo Beneficio”. Recuperado de: www.issuu.com/cartopel/docs/cartopel_manejo_de_cajas+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec
- [5] GINA FRUIT. (2012). “CAJAS PARA BANANO”. Recuperado de: <https://www.ginafruit.com.ec/productos.html>
- [6] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett (2008) “Diseño en Ingeniería mecánica de shigley”. Octava edición. Mexico. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [7] George Maltenfort (1989), “Performance and evaluation of shipping containers”. New York. .Jelmar Publishing Co., Inc.
- [8] Embalajes Terra (2019). “cajas de cartón en la industria embalaje”. Recuperado de: <https://www.embalajesterra.com/blog/cajas-de-carton-industria-embalaje/>
- [9] Comité Costarricense de Logística (2003). “Manual de logística de paletización”. Recuperado de: https://www.gs1cr.org/wp-content/uploads/2016/04/manual_logistica.pdf
- [10] J. Singh, E. Olsen, S. Singh, J. Manley, F Wallace (2008). “The Effect of Ventilation and Hand Holes on Loss of Compression Strength in Corrugated Boxes”. © 2008 DEStech Publications, Inc.
- [11] ASIMAG S.L. (2007). “Manual de elaboración del cartón ondulado vol.1”. Asociación Española de fabricantes de envases y embalajes de cartón ondulado.
- [12] J. de la Fuente, J. Singh, R. Kisch, S. Roy, D. Peleman (2018) “Investigation of Compression Strength of Bliss Style Corrugated Fiberboard Boxes”. California Polytechnic State University.

- [13] Roman E. Popil (2012). "Edgewise Compression of corrugated". BIORESOURCES. Renewable Bioproducts Institute - Georgia Tech
- [14] Kiril Dimitrov (2010). "Relationship between the ECT-strength of corrugated board and the compression strength of liner and fluting medium papers". University of Pretoria.
- [15] TAPPI (2000), "Normas y Métodos de Contenedores Corrugados". EEUU. TAPPI PRESS.
- [16] Grupo TENSA (2021) "Guía de calidad para empaques de cartón corrugado". Recuperado de: <http://www.grupotensa.com.mx/pdf/Guia%20de%20Calidad.pdf>
- [17] Celia Swee Li Kueh (2012) ("Modelling Buckling and Post-buckling Behaviours of Corrugated Paperboard Structures". The University of Waikato. Recuperado de: <https://researchcommons.waikato.ac.nz/>
- [18] Frank N. Siconolfi (1991) ("FLEXOGRAFÍA, principios y prácticas". Cuarta edición Foundation of flexographic technical association, Inc. EE.UU.

APÉNDICES

PLANOS ESTRUCTURALES

1 2 3 4 5

A

B

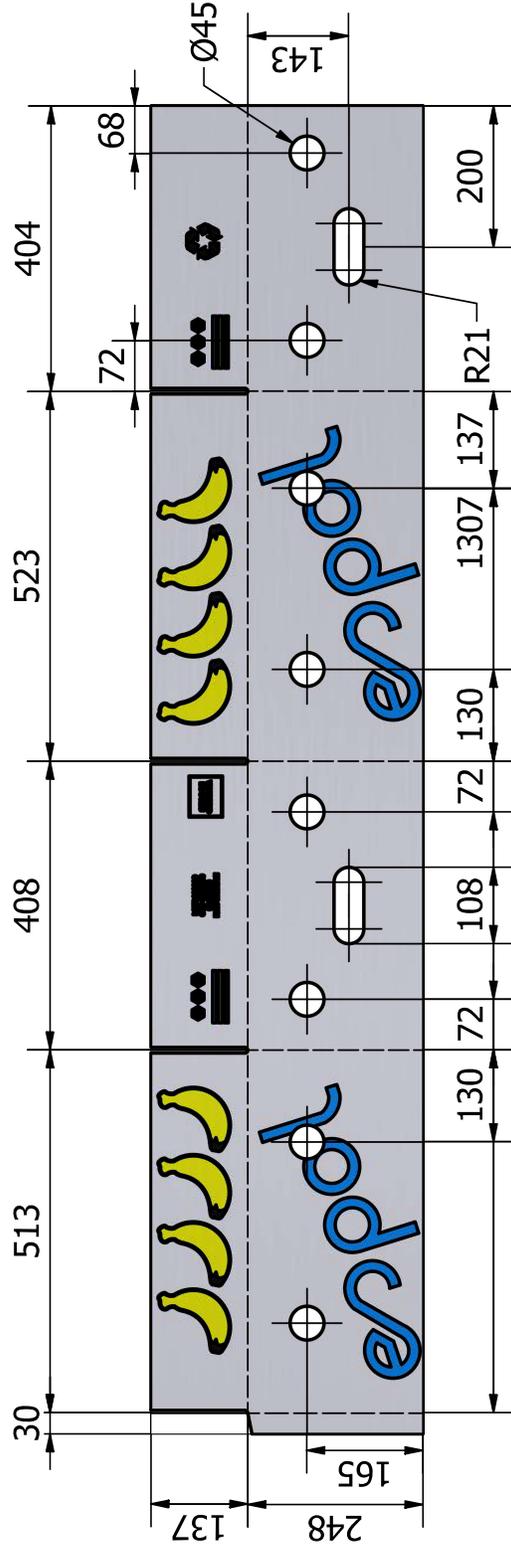
C

A

B

C

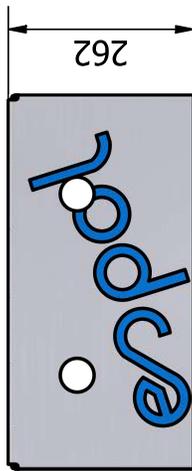
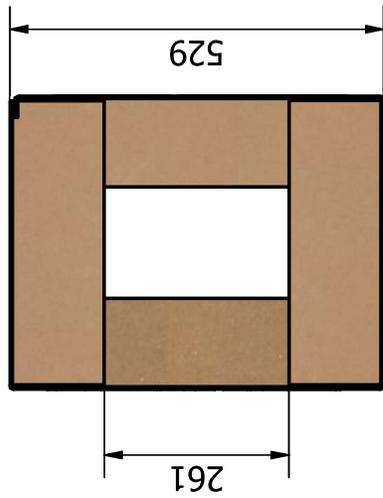
D



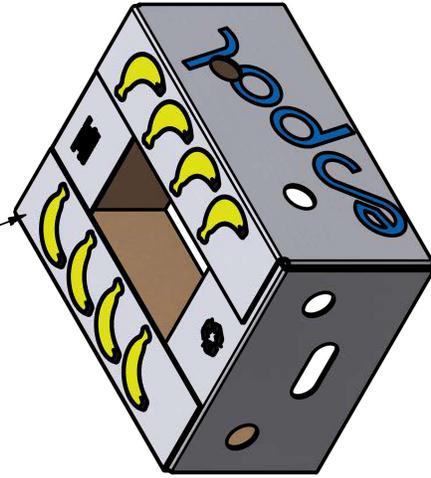
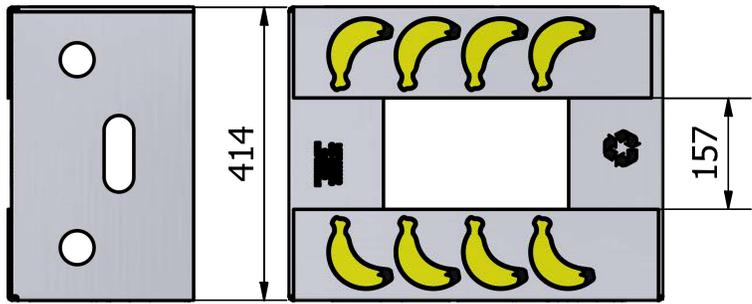
Fecha:	22/01/2021	Título:	Plano estructural para la tapa
Dibujado por:	José Guerrero; Luis Vera	Curso:	MATERIA INTEGRADORA
Tutor:	Jorge Amaya, PhD.	Plano:	1/5
Unidades:	mm	Escala:	1:10
			
		Hoja: A4	

1 2

1 2 3 4 5



Tapa de banana armada



A

B

C

A

B

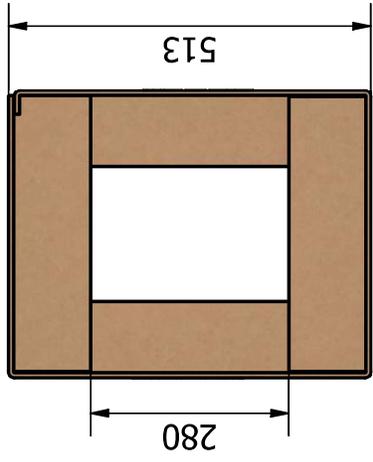
C

D

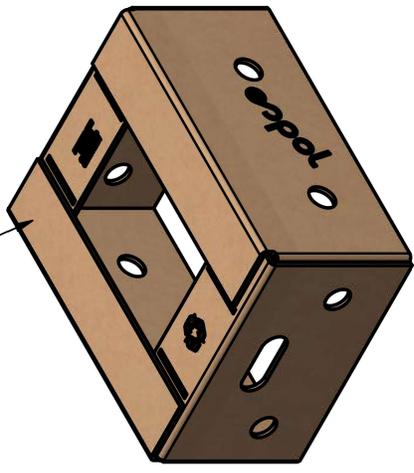
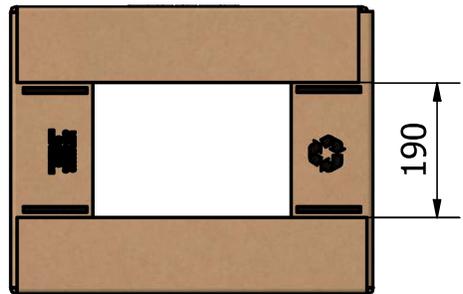
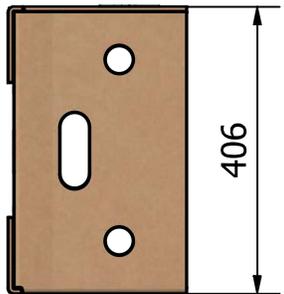
		Fecha:	22/01/2021	Título:	Modelado 3D para la Tapa
		Dibujado por:	José Guerrero; Luis Vera	Curso:	MATERIA INTEGRADORA
		Tutor:	Jorge Amaya, PhD.	Plano:	3/5
		Unidades:	mm	Escala:	1:10
				Hoja:	A4

1 2

1 2 3 4 5



Fondo de banano armado



A

B

C

A

B

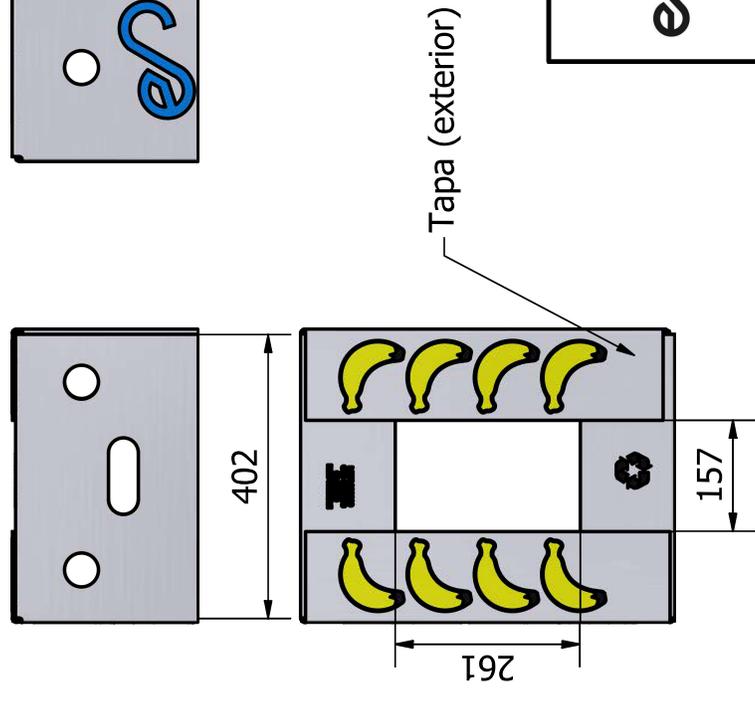
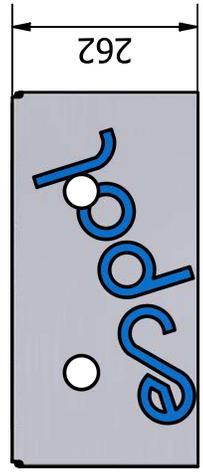
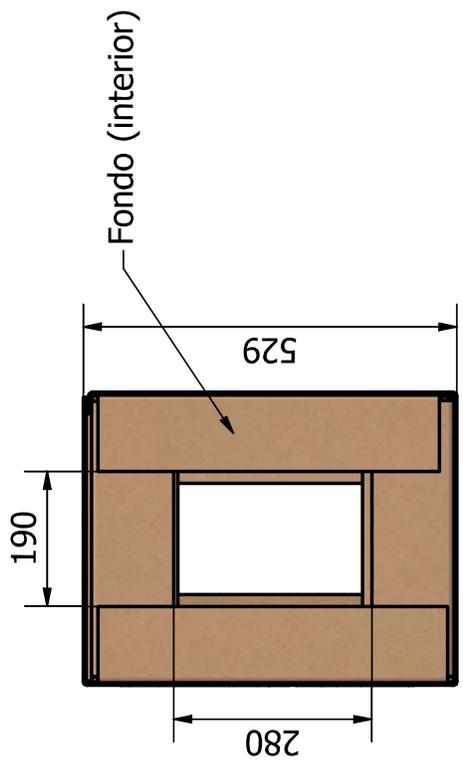
C

D

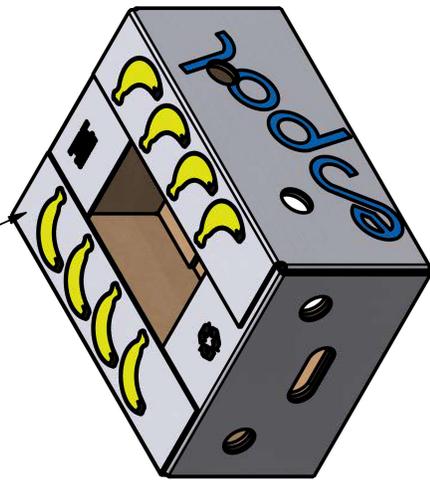
		Fecha: 22/01/2021	Título: Modelado 3D para el fondo
		Dibujado por: José Guerrero; Luis Vera	Curso: MATERIA INTEGRADORA
Tutor: Jorge Amaya, PhD.		Plano: 4/5	
Unidades: mm		Escala: 1:10	Hoja: A4

1 2

1 2 3 4 5



Acople tapa-fondo



A B C

A B C D

		Fecha:	22/01/2021	Título:	Modelado 3D para el acople tapa-fondo
		Dibujado por:	José Guerrero; Luis Vera	Curso:	MATERIA INTEGRADORA
		Tutor:	Jorge Amaya, PhD.	Plano:	5/5
		Unidades:	mm	Escala:	1:10
				Hoja:	A4

1 2

FICHAS TÉCNICAS

Typical Values

ULTRAFLUTE - STANDARDISED GRAMMAGE RANGE

PROPERTY	UNIT	METHOD OF ANALYSIS	125	140	150	165
Nominal Basis Weight	g/m ²	On-line	125	140	150	165
Moisture	%	On-line	9.5	9.6	9.6	9.3
Burst Index	kPa.m ² /g	ISO 2758	3.6	3.5	3.5	3.5
Ring Crush CD	kN/m	ISO 12192	1.2	1.5	1.7	2
CMT	N/10AF	ISO 7263	322	370	427	482
SCT CD	kN/m	ISO 9895	3.2	3.7	4.1	4.4
Porosity (Bendsten)	ml/min	ISO 5636/3	149	117	109	118
Test Date			May	May	May	May

Above values indicative of typical values

Also on request - other tests: CCT, Tensile MD, Tensile CD

Reel Size

1270 mm diameter x 102 mm core

Certifications

ISO 14001

ISO 9001

Forest Stewardship Council (FSC)[®]

Ultraflute has been tested for compliance with heavy metals and cadmium as specified by the BfR Recommendation XXXVI - Paper and Board for Food Contact.

Крафтлайнер

КДМ-4, Коряжма

Типичные значения

Физико-механические показатели	К-115	К-120	К-125	К-135	К-140	К-150	К-155	К-165	К-170	К-175	К-186	К-195	К-200	К-225	К-250	Метод испытаний	
Масса 1 м ² , г	115	120	125	130	140	150	155	165	170	175	186	195	200	225	250	ГОСТ Р ИСО 536	
Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа																	
620	630	660	680	690	720	725	730	735	740	740	750	765	785	820	870	ГОСТ 13525.8	
Сопротивление сжатию (SCT), (CD), кН/м																	
2,30	2,40	2,50	2,60	2,80	2,95	3,10	3,25	3,55	3,60	3,60	3,80	4,20	4,35	4,50	5,55	ГОСТ Р ИСО 9895	
Поверхностная впитываемость воды (Кобб_{вод}), г/м²																	
min/max верхняя сторона	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	20-35	ГОСТ 12605
min/max нижняя сторона	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80	ГОСТ 12605
Разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT), Н, (CD), ширина образца 15 мм																	
—	170	190	210	230	250	265	280	310	315	320	340	360	400	490	490	ГОСТ 10711	
Влажность, %																	
min/max значения	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9	ГОСТ ISO 287	
Пористость по Гарлею, с																	
min значения	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	ISO 5636/5	
Максимально допустимое отклонение по массе ± 3%																	



Arkhangelsk Pulp and Paper Mill, OJSC

1, Melnikov st., Novodvinsk
 Arkhangelsk reg., Russia, 164900
 Phone: +7(81852) 6-35-00
 Fax: +7(81852) 6-32-31
 www.appm.ru
 info@appm.ru

KRAFTLINER

Technical Parameter													Test method			
1. Substance, g/m ²		100+/-3.0	110+/-3.3	115+/-3.4	125+/-3.7	135+/-4.1	140+/-4.2	150+/-4.5	170+/-5.1	175+/-5.4	186+/-5.6	200+/-6.0	225+/-6.8	250+/-7.5	275+/-7.5	GOST 13199/ ISO 536
	Typical value	450	500	550	600	630	670	680	740	760	810	850	890	920	950	GOST 13525.8 / ISO 2759
2. Absolute bursting strength, kPa	Guaranteed value	400	450	480	580	580	610	640	710	710	750	760	790	830	860	GOST 12605/ ISO 535
	Maximum	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	GOST 10711/ ISO 12192
3 Surface water absorption of the top side, Cobb60, g/m ²	Typical value	100	120	140	160	160	200	210	230	240	300	320	340	360	380	GOST 10711/ ISO 12192
	Guaranteed value	80	110	130	150	150	170	180	210	220	270	280	290	300	320	ISO 5636-5
4. RCT (CD), N, strip width – 12.7 mm.	Typical value	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	ISO 9895
	Guaranteed value	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	GOST 13525.19/ISO
5. Air resistance, sec.	Typical value	1,5	1,8	2,1	2,3	2,3	2,6	2,7	3,0	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	
	Guaranteed value	1,3	1,5	1,7	2,0	2,0	2,2	2,3	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	
6. Moisture, %.	Typical value	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	
	Guaranteed value	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	

Tested at 23 °C 50%RH



The mark of responsible forestry

Only the products that are identified as such on this document are FSC certified
 ISO 9001:2008
 ISO 14001:2004

ProVantage Kraftliner



Benefits

- Excellent strength
- Optimum runnability with reduced waste
- Fewer failures and fewer stoppages
- Stable and uniform moisture and glue absorption properties
- 100% recyclable for environmentally sound packaging

End-uses

- **Food & beverage packaging:** Fruit & vegetable packaging, Agricultural produce, High-humidity & extreme-climate storage
- **Industrial packaging:** Automotive industry, Consumer durables, Chemicals, Furniture
- **Luxury packaging:** Electronics, cigarettes & tobacco
- **Heavy-duty packaging**



Food Contact	ISO 9001	ISO 14001	ISO 45001	FSC®	PEFC™
•	•	•	•	•	•

Typical Values

Properties	Method	Unit of measure	Substance (g/m ²)												
			100	110*	125*	135*	150	160	170*	186*	200	225	250	275	300
Moisture	ISO 287	%	7.8												
Bursting strength	ISO 2758	kPa	460	530	580	610	680	700	730	790	850	914	966	1050	1176
SCT _{CD}	ISO 9895	kN/m	2.00	2.30	2.50	2.70	3.00	3.20	3.40	3.70	4.00	4.40	5.00	5.40	6.00
Tensile stiffness index _{MD}		kNm/g	12						11						
Tensile stiffness index _{CD}		kNm/g	5												
Cobb ₆₀ (top)	ISO 535	g/m ²	30												
Cobb ₆₀ (bottom)			70												
Dennison test	TAPPI 459 om-08	No.	18												
Gurley	ISO 5636-5	s	max. 150												



Issued from 01.01.2021,
latest version available on
www.mondigroup.com

Test conditions:
Typical values after conditioning,
measured at 50 ± 2% RH and 23 ± 1°C (ISO 187 : 1990)

*ECO Premium Service, fast delivery option

WWF's Environmental Paper Company Index: Mondi's constant high packaging score increased from 73.7% in 2013 to 85.7% in 2019.



Semi Chem

ProVantage Fluting Fresco TYPICAL VALUES

Parameter	Test method	Unit of measure	Substance (g/m ²)									
			122	126	125	130	135	150	160	175	185	200
Moisture	ISO 287	%	10									
SCT _{CD}	ISO 9895	kN/m	2.59	2.80	2.93	3.11	3.29	3.76	3.99	4.36	4.52	4.94
Tensile Stiffness Index _{MD}		kNm/g	11.5									
Tensile Stiffness Index _{CD}		kNm/g	5.1									
CMT ₃₀	ISO 7263	N	252	289	315	336	357	410	437	478	494	546
Drop test	T 432-om-87	s	40									
Gurley	ISO 5636-5	s	200									

Valid until: 31.12.2018

Typical values after conditioning measured at 50 ± 2% RH and 23 ± 1°C (ISO 187 : 1990)

* ECO Premium Service, fast delivery option

IN TOUCH EVERY DAY

www.mondigroup.com

FSC Trademark License Code - FSC® C015591

Certificates

- ISEGA
- ISO 9001
- ISO 14001
- OHSAS 18001
- FSC® or PEFC
- EN 13432

Technical Customer Service

Mondi Świecie S.A.

Bydgoska 1

86-100 Świecie, Poland

Tel: +48 52 332 1123

Kraftliner Brown

Quality Declaration

Typical values at 50 % RH and 23°C

Property	Unit	Test method											
Substance	g/m ²	ISO 536	115	125	135	170	186	200	225	275	300	400	
Moisture content	%	on - line	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.5	
Thickness	µm	ISO 534	155	165	180	230	250	275	310	380	415	565	
SCT, CD	kN/m	ISO 9895	2.1	2.35	2.6	3.2	3.4	3.7	4.15	5.0	5.45	7.3	
Bursting strenght	kPa	ISO 2758	510	580	610	755	795	850	960	1065	1145	1290	
Cobb ₆₀ , top side	g/m ²	ISO 535	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	

Guaranteed values at 50 % RH and 23°C

We guarantee that our measured values are equal to or better than the guaranteed values given. For the intervals specified we guarantee that our measured values are within the tolerance given. Our testing equipment is calibrated to match the round robin mean value of the CEPI Comparative Test.

Property	Unit	Test method											
Substance	g/m ²	ISO 536	115	125	135	170	186	200	225	275	300	400	
Substance tolerance	%	ISO 536	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	+/- 4	+/- 4	+/- 4	+/- 4	
Moisture tolerance	%	on - line	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	+/-1.5	
SCT, CD	kN/m	ISO 9895	1.8	2.0	2.15	2.7	3.0	3.2	3.6	4.4	4.8	6.3	
Bursting strength	kPa	ISO 2758	450	510	555	685	715	775	835	980	1010	1200	
Scott Bond	J/m ²	Tappi T569 om-09	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	
Cobb ₆₀ , top side	g/m ²	ISO 535	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	
Cobb ₁₈₀₀ , top side	g/m ²	3 blotting papers	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	≤ 155	

Valid from January 2016