



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Resistencia de la hoja de mazorca como alternativa de embalaje económico”

ÁREA TEMÁTICA: INGENIERÍA

M.I.I. Nicolás Francisco Mateo Díaz¹, M.I.I Francisco Gerardo Ponce del Ángel², M. en I. Juan José Hurtado Moreno³, M.I.I. Germán Domínguez Carrillo⁴

RESUMEN

Esta investigación busca una alternativa de material para usarse en el embalaje de productos, sin la de obtención de celulosa; La propuesta fue estudiar la resistencia de la hoja de mazorca de maíz (*Zea Mays*) bajo dos variables predictoras, el % de humedad relativa y el número de capas; el resultado obtenido indicó que el tratamiento y nivel más importante fue de 6 capas con 2 % de humedad relativa cuya combinación de factores se obtuvo una resistencia mecánica a la compresión vertical (Edge Crush Test, ECT) de 46 kg/ cm², superior a los rangos de aceptación por la industria cartonera y con un procedimiento referenciado por la norma NMX-N-007-SCFI-2011.

ABSTRACT

¹ El M.I.I. Nicolás Francisco Mateo Díaz es docente de ingeniería industrial y gestión empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Tantoyuca, Veracruz, México. paco_matthew@hotmail.com.

² El M.I.I. Francisco Gerardo Ponce del Ángel es Docente de posgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Tantoyuca, Veracruz, México. fgpda@live.com.mx

³ El M. en I. Juan José Hurtado Moreno es Investigador de UPIICSA-IPN. hurtadouiicsa@yahoo.com

⁴ El M.I.I Germán Domínguez Carrillo es egresado del programa de maestría en ingeniería industrial del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Tantoyuca, Veracruz, México. ger_1098@hotmail.com



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

This research looks for an alternative material for use on product packaging, without obtaining cellulose; proposal was to study the strength of the sheet corncob (Zea Mays) under two predictor variables, the% relative humidity and the number of layers, the result indicated that the treatment and most important level was 6 layers with 2% RH which combination of factors mechanical resistance to vertical compression (Edge Crush Test, ECT) was obtained from 46 kg / cm², higher than the acceptable ranges for the cardboard industry and a procedure referenced by the NMX-N-007-SCFI-2011 standard.

Palabras clave— Embalaje, hoja de mazorca, resistencia, compresión vertical, valor agregado.

I. Introducción

Éste trabajo tiene como fin experimentar para obtener un conocimiento referente a las propiedades de la hoja de la mazorca, cuya variable de respuesta sea la resistencia a la compresión vertical (Edge Crush Test, ECT) para uso en el embalaje; mediante pruebas similares a las que se realizan a las placas de cartón corrugado, que permita saber el comportamiento bajo la manipulación de dos variables de respuesta (número de capas y % de humedad) y determinar si podría ser usado como alternativa de materia prima en el embalaje.

Se tienen suficientes estudios acerca del cartón corrugado, es por ello que dicho material es usado en un 90% para elaborar el embalaje (Rodríguez, J.A., 2011); el cual ayuda al producto a ser contenido, almacenado, protegido, trasportado y distribuido al cliente final.

A la fecha y a pesar de los avances de la tecnología en la industria del envase y embalaje, se siguen realizando investigaciones para probar nuevos



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

materiales que cumplan los requisitos de un embalaje de calidad, se ha puesto especial énfasis a los residuos agrícolas y a las fibras no maderables.

Se estudió la resistencia de probetas elaboradas con hoja de mazorca y se comparó el resultado con los rangos de aceptación de la industria cartonera de acuerdo a las pruebas de compresión de canto o ECT (Edge Crush Test) teniendo como referencia -en el procedimiento de prueba- a la Norma Mexicana NMX-N-007-SCFI-2011 para prueba de resistencia a la compresión de canto de los cartones; como un parámetro cercano al experimento.

La aplicación del diseño de experimentos en la ingeniería industrial, específicamente en el desarrollo y mejora de productos y procesos es de suma importancia para proponer e innovar en ésta área.

II. Metodología

La investigación se ubica en el **enfoque cuantitativo**, ya que se basa en fenómenos observables susceptibles de medición, análisis matemáticos y control experimental. (Sampieri, 2006). El alcance de esta investigación es **exploratorio y correlacional**; es **exploratorio** porque se realiza cuando el objetivo, consiste en examinar un tema muy poco estudiado; y **correlacional** ya que asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. (Sampieri, 2006).

En **Diseño de investigación**, está dentro de los **diseños experimentales** y a la vez se ubica como **experimento puro**, pretende lograr el control y la validez interna.

En este trabajo se realizó un diseño factorial 3 x 2, donde se estudió el efecto de dos factores sobre una variable de respuesta. Los factores o variables



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

predictoras fueron: **A:** número de capas de hoja de mazorca y **B:** % de humedad de la hoja de mazorca. Éstos se trabajaron en 3 y 2 niveles, respectivamente, como se muestra en la tabla I. Mientras que la variable dependiente o de respuesta fue “resistencia a la compresión vertical”:

Tabla I. Factores del diseño experimental

Factores:	A: Número de Capas de hoja de mazorca			B: humedad (%)	
Niveles:	A			b	
	2	4	6	2%	30%
Variable de respuesta (y)	Resistencia a la compresión vertical (kg/cm ²)				

El diseño factorial 3 x 2, tiene un arreglo factorial (tabla II) del factor **A** con **a** niveles y el factor **B** con **b** niveles, el cual resulta con **a x b combinaciones**, es decir, **3X2 = 6 combinaciones**.

Tabla II. Arreglo del experimento factorial 3x2

		Factor B: % de humedad de la Hoja de Mazorca (b= 2 niveles)	
		2%	30%
Factor A: Número de capas de hoja de mazorca (a= 3 niveles)	2	2,2%	2,30%
	4	4,2%	4,30%
	6	6,2%	6,30%
Número de réplicas (n):		10*	

(De acuerdo a la norma NMX-N-007-SCFI-2011)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Comparación del tamaño de la muestra y número de réplicas por la recomendación de Montgomery y la norma NMX-N-007-SCFI-2011

La Norma Mexicana NMX-N-007-SCFI-2011 sugiere solamente 10 especímenes de prueba o muestras representativas (No considera un estudio experimental).

De acuerdo a Montgomery sugiere que el tamaño mínimo de muestra sea $N=a+b+(a-1)(b-1)+24$, es decir: $N=3+2+(3-1)(2-1)+24 = 31$. Y el número de réplicas por celda sea N/ab , es decir: $31/(3 \times 2) = 5.16 \approx 6$

Sin embargo, dada las condiciones del experimento y para que el estudio arroje lecturas en el que se puedan analizar cambios significativos, se optó porque el número de réplicas por celda fueran 10 y el tamaño de la muestra fueron n ($a \times b$) pruebas o lecturas; es decir, $10 (3 \times 2) = 60$ pruebas.

Realización del experimento

Se adquirieron hojas de mazorca de la variedad maíz criollo, posteriormente se seleccionaron y se construyeron 60 probetas, tomando como referencia la norma NMX-N-007-SCFI-2011, cuyas dimensiones y corte fueron de 2.0” x 2.0” (de ancho y alto) con tolerancias de 0.031” (2.0 pulg \pm 0.031 pulg).

Las 60 probetas o especímenes se construyeron formando capas y en sentido transversal a sus fibras (de manera intercalada), esto con el fin de dar mayor resistencia a la probeta. En caso contrario, es decir si todas se empalmaban en el mismo sentido a las fibras, ésta no tendrían la misma resistencia en los costados (solo en el sentido paralelo a las fibras) (Ver figura 1).

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635



Figura 1. Sentido de las fibras en las probetas

Método empleado

El método seguido fue el “método de sujeción (mordazas)” el cual consiste en colocar las probetas en un instrumento con dos mordazas, una inferior y otra superior para sujetarla. Un lado de la mordaza debe estar fijo y una con alineación tal que la probeta se sostenga exactamente en posición perpendicular a la base del instrumento. Las dos mordazas cuentan con tornillos de ajuste manual para abrirlas y poder insertar la probeta. (Figura 2: a), b) y c))

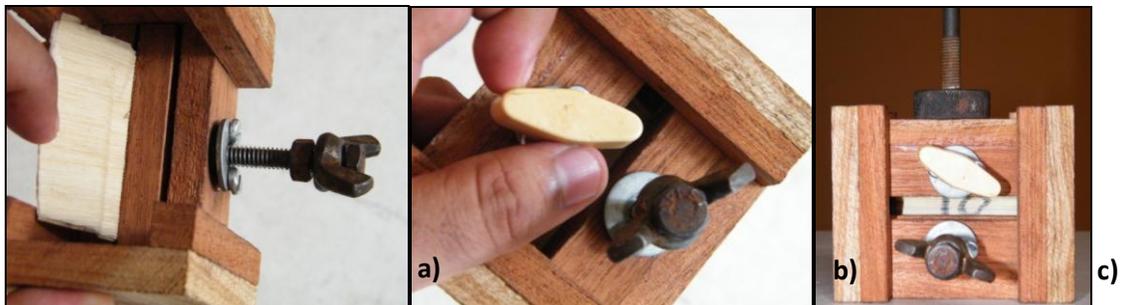


Figura 2. a) Mordaza inferior, b) Mordaza superior c) Sujeción de la probeta

Procedimiento



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Las lecturas sobre la resistencia a la compresión vertical se obtuvieron de forma aleatoria. Para tal efecto se necesitaron dos equipos adaptados con un dinamómetro análogo. Todos los especímenes se sometieron a pruebas destructivas para obtener su resistencia con el equipo cuyo dinamómetro soportaba hasta 50 kg.

Éstas fueron colocadas en el instrumento de sujeción de mordazas y ajustadas con el tornillo de ajuste manual, se le aplicó una fuerza de compresión vertical con velocidad constante sobre la mordaza movable (superior), la cual quedaba en contacto con el dinamómetro, dicho instrumento ejercía una compresión vertical en la probeta, la lectura se obtuvo hasta que la probeta fallara exactamente en el centro.

El ensayo se consideró como válido cuando al aplicarle una fuerza de compresión vertical la deformación ocurría en el área central de la probeta (figura 3a), algunas veces las muestras fallaron en las orillas perpendiculares a la aplicación de la carga (figura 3b). Cuando esto ocurría se tomaba una probeta adicional a fin de que las lecturas no afectaran resultados.



a)

Figura 3. a) Falla central de la probeta. b) Falla en la orilla de la probeta



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

III. Resultados

Los resultados obtenidos de este experimento se muestran en la tabla III del arreglo factorial con las 10 réplicas correspondientes.

IV. **Tabla III.** Datos del experimento factorial 3x2

Tabla de datos del experimento factorial 3x2											
		B: Humedad de la Hoja de Mazorca									
		2%					30%				
A: Número de capas de hoja de mazorca	2	3.92	3.15	4.94	4.73	4.52	2.52	1.68	2.63	2.31	2.94
		4.20	3.15	4.31	3.05	2.94	1.05	0.52	0.95	2.07	1.90
	4	27.35	9.47	6.31	15.78	36.82	12.94	8.41	18.99	3.54	6.55
		37.88	21.04	18.94	17.88	14.73	13.70	20.00	10.03	16.67	18.64
	6	35.77	44.19	31.56	48.4	35.77	32.62	41.03	22.09	30.51	22.09
		33.67	37.88	41.03	44.19	43.14	29.46	35.77	14.73	41.03	38.93

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) lo cual permitió tener un adecuado manejo de los datos además sirvió para realizar estimaciones del comportamiento futuro del fenómeno como a continuación se presenta:

Tabla IV. Factores y resultados del experimento (ANOVA)

Análisis de varianza para Resistencia, utilizando SC ajustada para pruebas



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Fuente	GL	SC Sec.	SC. Ajust.	CM Ajust.	F	P
A: No. Capas	2	10512.7	10512.7	5256.3	124.09	0.000
B: Humedad (%)	1	566.8	566.8	566.8	13.38	0.001
AB: No. Capas*Humedad	2	129.7	129.7	64.8	1.53	0.226
Error	54	2287.4	2287.4	42.4		
Total	59	13496.6				
S = 6.50841		R-cuad. = 83.05%		R-cuad.(ajustado) = 81.48%		

El análisis de varianza arrojado para este estudio experimental indica que los dos factores A y B, tienen un efecto significativo sobre la variable de respuesta (resistencia a la compresión vertical) ya que los valores de P son menores que el nivel de significancia de la prueba 0.05 utilizado. Para el factor A, el P arrojado es de 0.000, lo que indica que este valor no alcanza a determinar qué tan pequeño es. En cambio el valor P del factor interacción AB es 0.226, cuyo valor es mayor a 0.05 por lo que se concluye que éste no es significativo.

Lo mismo se puede concluir usando F (calculado) respecto a F (tablas) para cada factor del experimento. Dado que $F_{\alpha, gl(t), gl(E)} = F_{0.05}$

Para el factor A: $F_{(tablas)}: F_{0.05, 2, 54} = 3.18$

Para el factor B: $F_{(tablas)}: F_{0.05, 1, 54} = 4.03$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

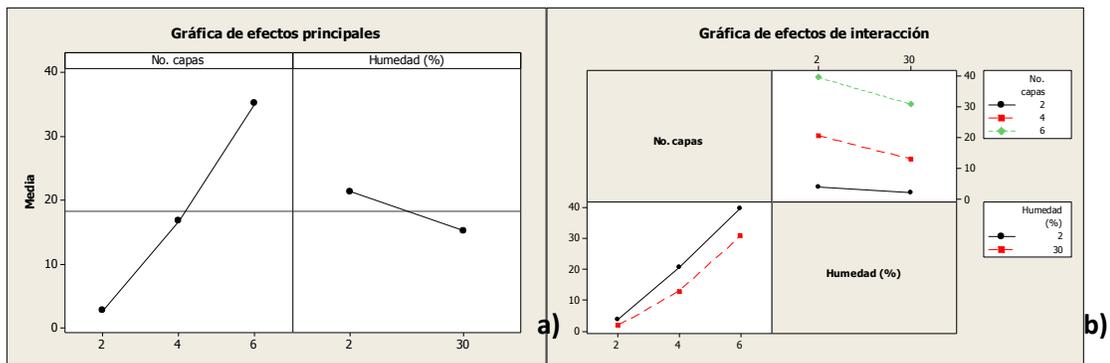
Para el factor A: F (tablas): $F_{0.05, 2, 54} = 3.18$

Para el factor A; F (calculado) = **124.09** > 3.13, por lo tanto es significativo al $\alpha = 0.05$

Para el factor B; F (calculado) = **13.38** > 4.03, por lo tanto es significativo al $\alpha = 0.05$

Para el factor AB; F (calculado) = **1.53** < 3.13, por lo tanto no es significativo al $\alpha=0.05$

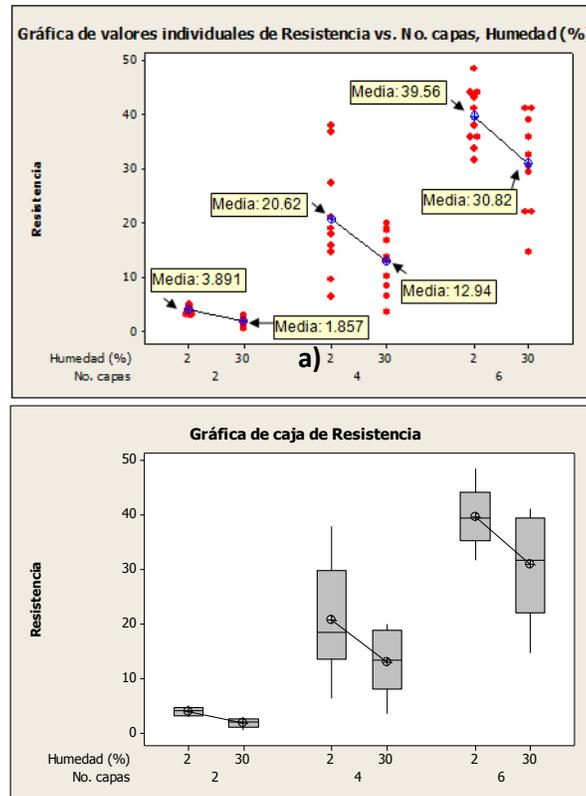
Estos efectos significativos sobre la variable se pueden observar si se analiza gráficamente:



Gráfica 1. a) Gráfica de efectos principales del factor No. De capas y % de humedad. b) Gráfica de efectos de interacción de los factores No. De capas & % de humedad.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635



Gráfica 2. a) Valores individuales de Resistencia vs. No. de Capas, Humedad (%). b) Gráfica de caja de Resistencia

La gráfica 1 muestra los efectos principales de cada factor. El del factor A: No. de capas (izquierda) hay más efecto, por eso la gráfica tiene más pendiente a los tres niveles 2, 4 y 6. En cambio en el factor B: % de humedad (derecha) tiene menos efecto sobre la variable de respuesta a los niveles 2% y 30%, la gráfica tiene menos pendiente. La gráfica 2, revela la interacción de los factores A y B sobre la resistencia a la compresión vertical, en esta se observa la significancia de la interacción detectada en el ANOVA, en el hecho de que las líneas tienen pendientes relativamente diferentes; a mayor % de humedad, menor resistencia.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

En la gráfica 2a las lecturas o resultados individuales obtenidos del experimento demuestran que para la combinación a 2 capas, los datos fueron muy consistentes y no muestra dispersión; el círculo en azul al 2% de humedad es el promedio del conjunto de datos (3.891 kg/cm^2) y es mejor en cuanto a resistencia que el del 30% de humedad (1.857 kg/cm^2).

Para 4 capas, se aprecia que al 2% de humedad relativa hay dispersión de los datos; la media es de 20.62 kg/cm^2 , mientras que la media al 30% es de 12.947 kg/cm^2 .

Para 6 capas y con la combinación de 2% de humedad los resultados fueron muy significativos ya que la media fue de 39.56 kg/cm^2 , mientras que al 30% el promedio de la resistencia a la compresión vertical fue de 30.826 kg/cm^2 .

Las gráficas de caja mostrada en la gráfica 5b permiten comparar las 6 distribuciones de datos o combinaciones del experimento.

V. Conclusiones

De la realización del ANOVA y de acuerdo a los resultados obtenidos para determinar qué variables predictoras afectan a la variable de respuesta “resistencia a la compresión vertical”, mostró que el tratamiento y nivel más importante fue el de 6 capas con 2% de humedad relativa. Con esta combinación de factores se obtuvo una resistencia mecánica a la compresión vertical de 46 kg/cm^2 , siguiendo con el procedimiento sugerido por la norma y comparándola con el rango de aceptación más bajo encontrado en la consulta de información y usado comúnmente en las industrias cartoneras se observó que el resultado fue



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

muy superior a los rangos aceptables; ya que un test con un liner 125 tiene un rango de aceptación de 19 a 23 lb/plg² equivalente: 1.33 a 1.61 kg/ cm²; es necesario mencionar que esta norma sólo es usada para cuestiones de referencia y comparación, ya que dicha norma aplica para las pruebas a los cartones corrugados.

Las lecturas obtenidas de la resistencia arrojaron que de los 60 datos, sólo tres no cumplieron siquiera con la norma del valor mínimo de aceptación de 19 lb/plg², estos datos estuvieron con el 30% de humedad a dos capas, ya que el peor resultado obtenido fue de 0.52 kg/ cm² equivalente a 7.39 psi. Lo cual se pronuncia que un 95% de los datos superan al valor del rango de aceptación para las prueba a la compresión vertical o prueba de compresión de canto “ECT” (Edge Crush Test).

Se observó en los resultados que en todos los casos un nivel del 2% de humedad relativa siempre es mejor que un nivel del 30% ya que los valores de la resistencia a la compresión vertical son mayores y superan a todos los rangos de aceptación para ECT en todas las formas del test de liner, es decir, que van de 125 a 350.

De la misma manera es recomendable evaluar las características de un embalaje hecho a base de hoja de mazorca, en lo referente a la pérdida de resistencia por el tiempo de almacenaje, con el fin de determinar la vida útil; sin embargo se puede adelantar una resistencia del material ya que por su morfología éste absorbe menos humedad que las fibras del cartón corrugado.

De manera general se puede concluir que la hoja de mazorca sí presenta características apropiadas para ser utilizada como embalaje alternativo al cartón corrugado. Esto tras las pruebas a las que fueron sometidas las muestras. Lo que ayudaría a aprovechar en un mayor porcentaje los residuos agrícolas generados de la planta del maíz; traería beneficios ambientales por la sustentabilidad,



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

además por el beneficio económico que representaría para los agricultores la venta de este material.

VI. Bibliografía

ACCCSA. Recuperado 02 de enero del 2011, de:
http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20:el-a-b-c-de-la-calidad&catid=3:edicion-20

ACCCSA. Recuperado el 4 septiembre de 2011, de
<http://www.acccsa.org/directorio/mexico.htm#VERACRUZ>

ANDERSON Marroquín, Milton Giovany. Fabricación y proceso de control de calidad en cajas de cartón corrugado, para el mercado agrícola de exportación. Tesis. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de mecánica industrial, 2006. 116 p.

ANGARITA, M., Díaz, D. & Lozano, U. (2009). Fibra de palma africana (*Elaeis guineensis*) para mejorar las propiedades mecánicas del cartón reciclado. [En línea], *Revista ION*. 22 (1): 63-71. Disponible en: <
<http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/202>>. [2011, septiembre 28].

Aplicaciones de papel y cartón, ensayo de estallido. Recuperado el 01 de Febrero del 2012. <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/papel-y-carton/ensayos-de-papel-y-carton-corrugados/ensayo-de-estallido.html>

Aplicaciones de papel y cartón, ensayo de laminación. Recuperado el 01 de Febrero del 2012. <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/papel-y-carton/ensayos-de-papel-y-carton-corrugados/ensayo-de-delaminacion-interna.html>



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Aplicaciones de papel y cartón, preparación de probetas. Recuperado el 01 de Febrero del 2012. <http://cz.zwick.com/es/aplicaciones/papel-y-carton/preparacion-de-probetas.html>

ARROYO Rosas, Karina. Biocompósitos de Almidón termoplástico con microfibras de celulosa. Tesis (Maestro en Tecnología Avanzada). Tamaulipas, México, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, 2008. 90 p. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/123456789/3812>>. [2013, Enero 28].

CARRACEDO, M. I. & Gárate, B. (2004) Comportamiento mecánico de papeles vírgenes versus reciclados usados en la fabricación de cartón corrugado. [En línea], Disponible en: <<http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/laserena/164.pdf>>. [2011, septiembre 28].