



## ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DE PAPELES VÍRGENES VERSUS RECICLADOS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE CARTÓN CORRUGADO

MARÍA INÉS CARRACEDO<sup>1</sup>, BERNARDO GÁRATE<sup>2</sup>

Universidad Tecnológica Metropolitana

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica

<sup>2</sup>Vicerrectoría de Transferencia Tecnológica, Programa Tecnológico del Envase - PROTEN  
José Pedro Alessandri N° 1242, Ñuñoa, Santiago, Chile

*(Recibido 23 de marzo de 2003, para publicación 5 de junio de 2004)*

Resumen – Este trabajo presenta los resultados de una investigación para determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de papeles tipo “kraft”, destinados a la fabricación de cartón corrugado, bajo la acción de distintas condiciones de ambientación. Para las pruebas se seleccionaron 10 variedades de papeles, todas de significativo uso en la industria cartonera, incluyendo dentro de estos tanto papeles fabricados con fibra virgen como análogos fabricados con fibra reciclada, de supuesta menor calidad. Se indica que las propiedades de los envases de cartón corrugado dependen directamente de las propiedades mecánicas de los papeles con que se los fabrica.

### 1. INTRODUCCIÓN

La actual tecnología requiere cada vez de mayor precisión en la determinación de los parámetros y las características de los materiales que se emplean en los diseños de ingeniería, tales como, resistencia mecánica, resistencia térmica, resistencia a la corrosión, efectos del tiempo, por nombrar algunos.

Lo anterior hace necesaria la constante investigación de las propiedades de los materiales ya existentes, sus posibles mejoras, el desarrollo de nuevos materiales, el manejo de parámetros confiables, todo esto con el fin de obtener en forma detallada las características de desempeño, para que el ingeniero al emplearlos obtenga mejores resultados.

En este trabajo de investigación se estudió el efecto de la temperatura y la humedad en las propiedades mecánicas de papeles usados en el proceso de fabricación de cartón corrugado, siendo de particular interés conocer su evolución en el tiempo. La propiedad base del estudio es la resistencia a la compresión en anillo de papeles que es la relacionada directamente con la capacidad resistente del cartón corrugado resultante.

### 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la realización de esta investigación se emplearon diez diferentes tipos de papel de alta aplicación en los procesos de fabricación de cartón corrugado. Se seleccionaron dos papeles para mostrar en este trabajo, los que aparecen destacados con negrillas en Tabla 1.

Los ensayos permitieron determinar el efecto de la temperatura y la humedad en las propiedades fracto-mecánicas de estos papeles, cuando cada uno de ellos se sometió a diferentes ambientaciones [1] tales como 3°C - 85% HR, 23°C - 85% HR, 35°C - 85% HR, 23°C - 50% HR, 35°C - 30% HR, 35°C - 50% HR, y a tiempos de ambientación desde 4 horas (tiempo cero), 12 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 5 días y 7 días.

Se realizaron ensayos para determinar la resistencia a la compresión en anillo (Ring – Crush) [2], [3], [4] y [5], a cada grupo de probetas de los diez diferentes tipos de papel, obteniéndose valores promedio,

Tab. 1. Tipos de papeles estudiados.

| Tipo de papel                   | Gramaje (g/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Liner HRC (High Ring Crush)     | 174,1                       |
| Liner 100% Virgen               | 176,7                       |
| Liner Mezcla                    | 176,9                       |
| Test Liner                      | 171,3                       |
| <b>Onda 100% Reciclado N° 1</b> | <b>187,4*</b>               |
| Onda 100% Reciclado N° 2        | 142,7                       |
| Onda Mezcla                     | 202,6                       |
| <b>Onda SQ (Semi-Químico)</b>   | <b>206,7*</b>               |
| Blanco WTL (White Test Liner)   | 180,1                       |
| Blanco 100% Virgen              | 127,4                       |

(\*) papeles seleccionados para mostrar resultados en este trabajo.

máximos y mínimos entre otras características. Las cantidades de probetas ensayadas por tipo de papel para cada ensayo fueron 30 unidades, eso quiere decir que se ensayaron 210 probetas para los siete tiempos de ambientación, dando un total de 2.100 probetas para todos los papeles y tipo de ambientación. Finalmente, a modo de contramuestras y para repetición de series de ensayo, se prepararon en total 6.300 probetas de papel.

La resistencia a la compresión en anillo  $R$  se obtiene con la ecuación (1), donde  $C_m$  es la carga máxima a compresión resistida por la probeta, y  $L$  es el largo (perímetro del anillo) de la probeta. La resistencia  $R$  se expresa en kN/m.

$$R = \frac{C_m}{L} \quad (1)$$

El coeficiente de variación de la resistencia a la compresión en anillo  $F_v$  se obtiene con la ecuación (2), donde  $R_f$  es la resistencia a la compresión en anillo final proyectada (tiempo muy largo), y  $R_0$  es la resis-

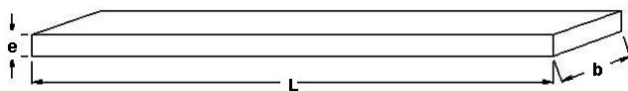


Fig. 1. Dimensiones de la probeta de papel ( $L = 152,4$ ;  $b = 12,7$ ;  $e =$  según el papel).

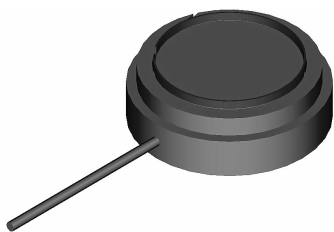


Fig. 2. Soporte que mantiene la probeta de papel en forma de anillo.

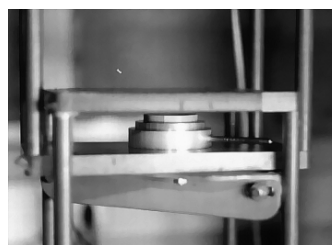


Fig. 3. Placas paralelas que aplican la carga de compresión a las probetas de papel.

tencia a la compresión en anillo inicial (tiempo cero) de la muestra.

$$F_v = \frac{R_f}{R_0} \tag{2}$$

La resistencia a la compresión en anillo final proyectada  $R_f$  se obtiene por regresión estadística según el modelo de la ecuación (3), donde  $A$ ,  $C$  y  $k$  son constantes, que se determinan matemáticamente para cada caso por regresión. Así, cuando  $t = 0$ ,  $R_0 = A + C$ , y cuando  $t \rightarrow \infty$ ,  $R_f = C$  es la carga máxima a compresión resistida por la probeta, y  $L$  es el largo (perímetro del anillo) de la probeta. La resistencia  $R$  se expresa en kN/m.

$$R = Ae^{-kt} + C \tag{3}$$

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En razón de la gran cantidad y extensión de la información obtenida, en este artículo se incluirá los resultados de 2 de los 10 tipos de papeles investigados, los que son denominados *onda*, dentro de los cuales se destaca el denominado *SQ* (virgen semi químico) y un papel 100% reciclado.

Tab. 2. Compresión en anillo para papeles Onda (3 °C / 85% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda     |               |
|---------------|------------------------|---------------|
|               | 100 % Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m)     |
| 0             | 1,53                   | 2,37          |
| 0,5           | 1,05                   | 1,46          |
| 1             | 1,06                   | 1,22          |
| 2             | 0,97                   | 1,28          |
| 3             | 0,95                   | 1,20          |
| 5             | 0,96                   | 1,15          |
| 7             | 1,07                   | 1,21          |
| Rf y Fv       | 0,998 ; 0,653          | 1,203 ; 0,507 |

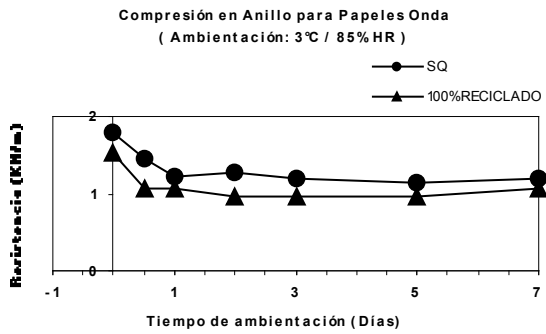


Fig. 4. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 3 °C / 85% HR).

Tab. 3. Compresión en anillo para papeles Onda (23 °C / 85% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda     |               |
|---------------|------------------------|---------------|
|               | 100 % Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m)     |
| 0             | 1,53                   | 1,78          |
| 0,5           | 1,02                   | 1,48          |
| 1             | 0,99                   | 1,27          |
| 2             | 0,99                   | 1,23          |
| 3             | 1,00                   | 1,28          |
| 5             | 0,93                   | 1,32          |
| 7             | 0,98                   | 1,28          |
| Rf y Fv       | 0,977 ; 0,679          | 1,271 ; 0,711 |

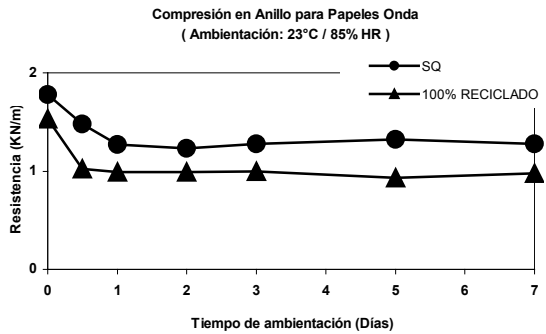


Fig. 5. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 23 °C / 85% HR).

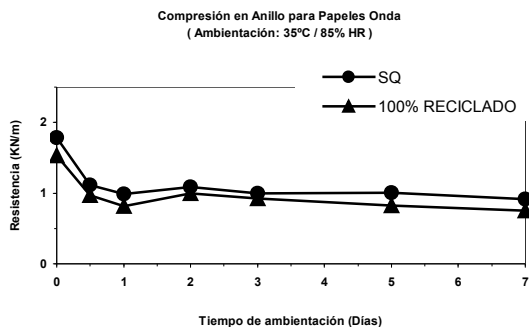


Fig. 6. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 35 °C / 85% HR).

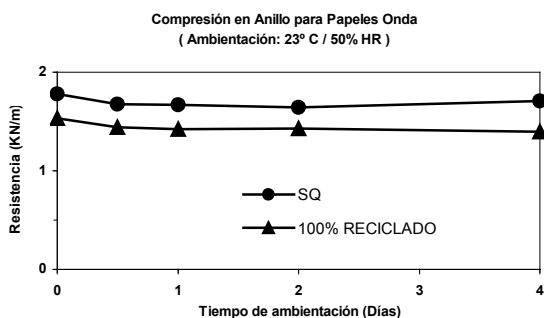


Fig. 7. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 23 °C / 50% HR).

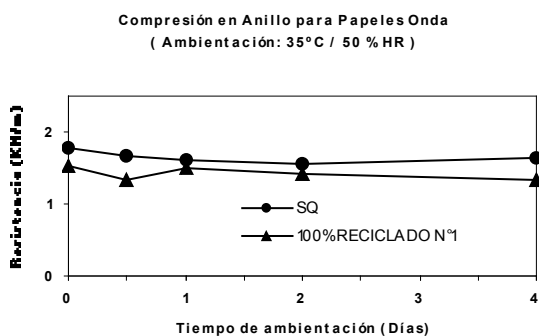


Fig. 8. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 35 °C / 50% HR).

Tab. 4. Compresión en anillo para papeles Onda (35 °C / 85% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda    |               |
|---------------|-----------------------|---------------|
|               | 100% Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m)     |
| 0             | 1,53                  | 1,78          |
| 0,5           | 0,97                  | 1,11          |
| 1             | 0,82                  | 0,98          |
| 2             | 0,99                  | 1,09          |
| 3             | 0,92                  | 1,00          |
| 5             | 0,83                  | 1,01          |
| 7             | 0,75                  | 0,91          |
| Rf y Fv       | 0,840 ; 0,535         | 0,850 ; 0,548 |

Tab. 5. Compresión en anillo para papeles Onda (23 °C / 50% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda    |           |
|---------------|-----------------------|-----------|
|               | 100% Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m) |
| 0             | 1,53                  | 1,78      |
| 0,5           | 1,44                  | 1,68      |
| 1             | 1,42                  | 1,67      |
| 2             | 1,43                  | 1,64      |
| 4             | 1,40                  | 1,71      |
| Rf y Fv       | Cte ; 1               | Cte ; 1   |

Tab. 6. Compresión en anillo para papeles Onda (35 °C / 50% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda     |           |
|---------------|------------------------|-----------|
|               | 100 % Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m) |
| 0             | 1,53                   | 1,78      |
| 0,5           | 1,34                   | 1,66      |
| 1             | 1,49                   | 1,62      |
| 2             | 1,42                   | 1,54      |
| 4             | 1,35                   | 1,65      |
| Rf y Fv       | Cte ; 1                | Cte ; 1   |

Aplicando la regresión estadística a los resultados de resistencia a la compresión en anillo versus tiempo, para las distintas condiciones de ambientación, tal como se ha mostrado en fig. 4 a 9 y tablas 2 a 7, se puede construir los gráficos de las figuras 10 y 11, donde se representa el coeficiente de variación de la resistencia versus las distintas condiciones de ambientación, a partir de los cuales, se fundamentan las conclusiones de esta parte de la investigación.

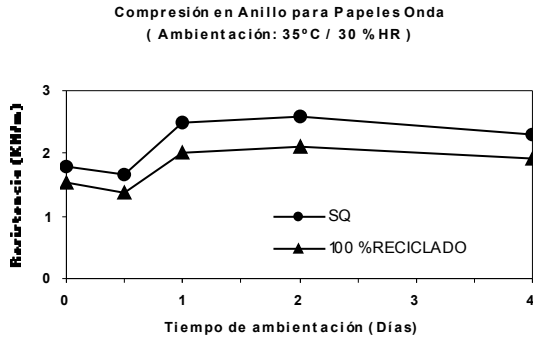


Fig. 9. Compresión en anillo para papeles Onda (Ambientación: 35 °C / 30% HR).

Tab. 7. Compresión en anillo para papeles Onda (35 °C / 30% HR).

| Tiempo (Días) | Tipo de Papel Onda     |               |
|---------------|------------------------|---------------|
|               | 100 % Reciclado (KN/m) | SQ (KN/m)     |
| 0             | 1,53                   | 1,78          |
| 0,5           | 1,36                   | 1,66          |
| 1             | 2,00                   | 2,49          |
| 2             | 2,09                   | 2,58          |
| 4             | 1,92                   | 2,31          |
| Rf y Fv       | 2,040 ; 1,432          | 2,483 ; 1,491 |

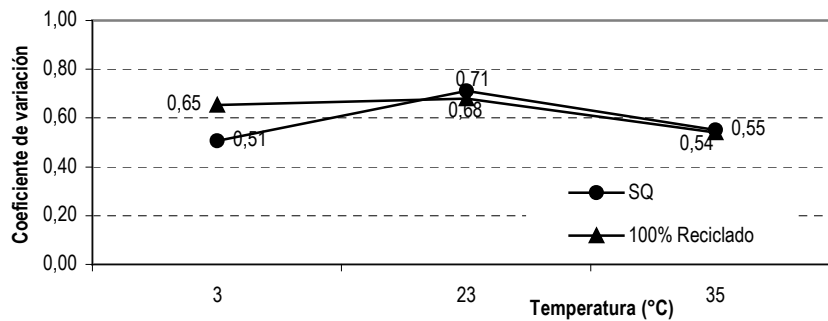


Fig. 10. Coeficiente de variación v/s temperatura de ambientación para papeles Onda sometidos a 85% HR.

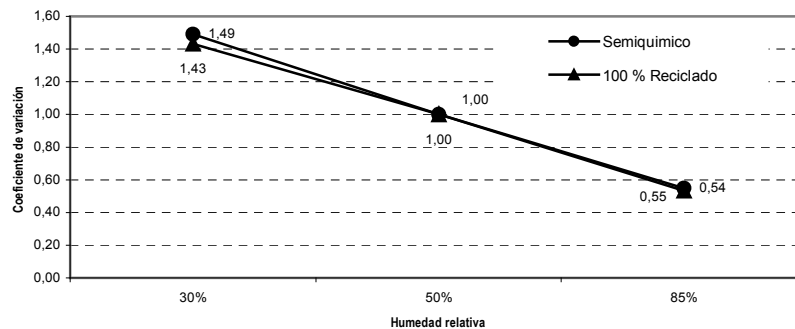


Fig. 11. Coeficiente de variación v/s humedad relativa para papeles Onda sometidos a temperatura de 35 °C.

#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis de la fig. 10, que muestra el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión en anillo (ring crush) de los papeles onda ambientados a distintas temperaturas, pero siempre con alta humedad de 85% HR, se concluye que la presencia de altos niveles de humedad ambiental, independientemente de la temperatura, disminuye las propiedades resistente de los papeles, tanto para el

caso del papel virgen como el reciclado. Esta propiedad llegó a disminuir en un 49%. Aun más, se esperaba que el papel reciclado tuviese una degradación de sus propiedades en forma más acentuada que su análogo virgen, lo que no se confirma con estos resultados. Lo evidente es que la presencia de humedad afecta por igual a ambos tipos de papel.

Del análisis de la fig. 11, que muestra el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión en anillo (ring crush) de los papeles, considerando una ambientación a temperatura constante de 35 °C y con distintas condiciones de humedad ambiental, 30%, 50% y 85% HR, se confirma la conclusión que la alta humedad resulta ser la condición más desfavorable para esta propiedad, la que disminuye hasta en un 45%. Por el contrario, cuando las condiciones de ambientación significan una baja humedad, por ejemplo 30% HR, esta resistencia se incrementa, invirtiendo el efecto de la alta humedad. El incremento de la resistencia en ambientaciones secas puede llegar al 49%. A partir de la observación del gráfico, no se puede determinar diferencias significativas entre los coeficientes de variación de la resistencia a la compresión en anillo, según se modifique la presencia de humedad ambiental.

Según estas conclusiones, y en atención a que el valor de mercado del papel onda reciclado es más barato, se debe considerar que una buena elección de éste último puede aportar comportamientos satisfactorios análogos a sus similares vírgenes.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo prestado por la Universidad Tecnológica Metropolitana UTEM, y la empresa Envases Impresos S.A., quienes aportaron las muestras de papel e instalaciones de laboratorio.

### REFERENCIAS

- [1] Norma Guía: Tappi 402 om – 93, Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp, and related products.
- [2] Normas Guías: Tappi T 818 om – 87, Ring crush of paperboard; y Tappi T 822 om – 93, Ring crush of paperboard (rigid support method).
- [3] Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI -, "Tappi test methods", Atlanta (1997).
- [4] G. Maltenfort, "Corrugated shipping containers: An Engineering approach", Jermal Publishing Co., New York (1996).
- [5] Billerud (Stora Group), "Pruebas para el Cartón Ondulado y sus Componentes", Säffle (1995).

### RESISTANCE ANALYSIS OF VIRGIN PAPERS VERSUS RECYCLED PAPERS USED IN CORRUGATED BOARD PRODUCTION

**Abstract** – This work presents the results of an investigation to determine the behavior of the mechanical properties of "kraft" papers, used in corrugated cardboard industry, under the action of different atmosphere conditions. For the tests 10 varieties of papers were selected, all of significant use in the corrugated cardboard industry, including some papers manufactured with virgin fiber as similar manufactured with recycled fiber, supposed smaller quality. It is indicated that the properties of the containers of corrugated cardboard depend directly of the mechanical properties of the papers with which are manufactured.