

# Proyecciones

Publicación de Posgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires

Argentina - Año 4 N°2 - Octubre 2006



Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Buenos Aires



# *Proyecciones*

*Autoridades:*

*Universidad Tecnológica Nacional*

Rector

*Ing. Héctor C. Brotto*

Vice- Rector

*Ing. Carlos E. Fantini*

*Facultad Regional Buenos Aires*

Decano

*Arq. Luis A. De Marco*



# *Proyecciones*

Volúmen 4  
Número 2  
Octubre, 2006

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Director  
Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial  
Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires  
Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires  
Dr. Isaac Marcos Cohen, Facultad Regional Buenos Aires

Colaboración Técnica  
Ing. Marisa Arrondo, Comisión Nacional de Energía Atómica

Diseño y Diagramación  
Luciana Acuña Elias, Facultad Regional Buenos Aires

Propietario  
Facultad Regional Buenos Aires  
Medrano 951 (C1179AAQ)  
Buenos Aires, República Argentina

ISSN 1667-8400  
Registro de la  
Propiedad  
Intelectual  
No. 505347



**Universidad Tecnológica Nacional**

# Índice

## 5. Presentación

Sr. Decano de la Facultad Regional Buenos Aires  
Arq. Luis A. De Marco

## 7. Editorial

Sr. Secretario Académico y de Planeamiento de la Facultad Regional Buenos Aires  
Ing. Ricardo Bosco

## Contribuciones

### 9. Diseño conceptual de un sistema de separación electrónico de material particulado destinado a disminuir la contaminación atmosférica provocada por fuentes fijas

N. C. Duca

### 29. La tutoría como estrategia de innovación educativa

S. Granado Peralta

### 39. Estudio del efecto antioxidante de extractos vegetales

L. Janczuk, M. C. Gutiérrez, P. Della Rocca

### 49. Combustibles alternativos: biodiesel

C. Baglioni, N. Galante, H. Trigubó

### 65. Instrucciones para la presentación de artículos

### 69. Informaciones

**PROYECCIONES** es una publicación semestral, destinada a la difusión de trabajos originados en las tesis desarrolladas en el ámbito de las carreras de posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires, así como de otros trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, de su enseñanza y de las ciencias conexas. Eventualmente son aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Se permite la reproducción total o parcial de los artículos publicados en **PROYECCIONES**, con expresa mención de la fuente y autorización de la Dirección.



## Presentación

Está culminando, al cierre de esta edición de *Proyecciones*, la etapa de discusión pública del borrador de la Norma IRAM 30700, *Guía para la Interpretación de la Norma ISO 9001:2000 en el Poder Legislativo*. Este hecho, que pareciera a primera vista no tener conexión directa con nuestra publicación, tiene sin embargo implicancias de diferente naturaleza que establecen su vinculación.

En condición de ciudadanos, la aprobación de esta Norma reviste para todos obvia importancia, pues está ligada a la consolidación en democracia de nuestros sistemas. Desde la óptica institucional, la participación de uno de los docentes de la Facultad Regional Buenos Aires en el Grupo de Trabajo que preparó el borrador es motivo de satisfacción y orgullo. Por último, como miembros de una comunidad profesional interesada en preservar y mejorar la calidad de sus prácticas, nos lleva a la reflexión acerca de los diferentes campos en los que los principios de la gestión de la calidad tienen aplicación directa.

Con relación al comentario anterior, es oportuno mencionar que hace pocos meses se iniciaron las discusiones tendientes a la preparación de una nueva Norma IRAM, que llevará el número 30800, y que será la *Guía para la Interpretación de la Norma ISO 9001:2000 en Investigación y Desarrollo*.

Cuando aplicamos los principios de la calidad, la noción de cliente, como parte interesada y destinatario principal, está siempre presente. En relación con la tarea educativa, y más allá del hecho indudable de que el destinatario final es la sociedad en su conjunto, resulta claro que el cliente directo es el alumno.

Esta definición puede y debe extenderse a las actividades conexas; en particular, puesto que el tema está en la actualidad en discusión, a la investigación en la universidad; de sus propósitos y, sobre todo, de sus clientes. Siendo el estudiante nuestro cliente principal, tendrá que ser también reconocido como cliente en las actividades de investigación y desarrollo.

Entendemos a la investigación en nuestra casa como un proceso donde el alumnado tiene la posibilidad directa de participación y, fundamentalmente, recibe los beneficios derivados del enriquecimiento en la formación profesional de los docentes investigadores.

*"Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes"*, prescribe la Norma IRAM-ISO 9000. En la Facultad Regional Buenos Aires este principio tiene carácter de objetivo permanente.

Arq. Luis Ángel De Marco  
Decano

## Editorial

Una vez más nos encontramos transitando el trayecto correspondiente a la finalización del Ciclo Lectivo, escribiendo esta editorial entre informes de acreditación, concursos y carrera docente.

Hoy, ya en el cuarto año, podemos asegurar que "Proyecciones" es un proyecto consolidado dentro de nuestra facultad, gracias al invaluable aporte de profesores investigadores y posgraduados que a través de su trabajo renuevan el compromiso e interés de este emprendimiento.

Para esta edición el Comité Editorial ha seleccionado en primer lugar: "Diseño conceptual de un sistema de separación electrostático de material particulado destinado a disminuir la contaminación atmosférica provocada por fuentes fijas", luego "La tutoría como estrategia de innovación educativa", el "Estudio de la oxidación de lípidos y del efecto antioxidante de extractos vegetales" y finalmente "Combustibles alternativos: biodiesel."

Como de costumbre nuestra gratitud a todos los que colaboraron en esta edición.

Hasta nuestro próximo número.

Ing. Ricardo Bosco  
Secretario Académico y de Planeamiento

# Diseño conceptual de un sistema de separación electrostático de material particulado destinado a disminuir la contaminación atmosférica provocada por fuentes fijas\*

N. C. Duca

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires  
Escuela de Posgrados.  
Medrano 951, (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina.  
E-mail: nicolasduca@hotmail.com

Recibido el 21 de abril de 2006; aceptado el 3 de julio de 2006

## Resumen

Con el objetivo de retener el material particulado conocido como PM10 antes de su liberación a la atmósfera con alto rendimiento y eficiencia constante en el tiempo, se ha desarrollado el diseño conceptual y teórico de un separador electrostático de partículas comprendidas entre 1 y 10 micrones de diámetro, generando una metodología de cálculo que permite incluir dentro de las variables consideradas a aquellas de tipo operativo como tensión, temperatura y concentración y también las dependientes del lugar donde se requiere el equipo, como por ejemplo las dimensiones máximas de la zona de separación y el tamaño máximo del equipo.

**PALABRAS CLAVE:** RENDIMIENTO – IONIZACIÓN – CARGA DE PARTÍCULAS – RETENCIÓN – VELOCIDAD LÍMITE

## Abstract

In order to settle down the particles known as PM10 before they are released to the atmosphere with high performance and constant efficiency, a conceptual and theoretical design has been developed. This design is an electrostatic precipitator of particles within 1 and 10 micrometer of diameter, together with a methodology of calculation that allows the consideration of variables such as tension, temperature and concentration, and those depending on the place where the equipment will be installed like the maximum dimensions of the settle down zone and the total length of the equipment.

**KEYWORDS:** EFFICIENCY – IONIZATION – PARTICLE CHARGING – SETTLE DOWN OF PARTICLES – RETENTION - LIMIT SPEED

\*Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por N. Duca, para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental, bajo la dirección de P. A. Tarela

## Introducción

En la actualidad, el problema del tratamiento y la disposición final de los residuos generados por las actividades diarias compromete en gran medida al desarrollo de las generaciones futuras y al comportamiento de los recursos naturales, al verse estos mismos afectados por los desechos que se arrojan en forma descontrolada.

Más aún, este problema tiene como agravante principal la velocidad con la que aumenta la población, la saturación de los lugares de disposición final, la peligrosidad de los componentes con que se fabrican los productos y los elevados costos de las tecnologías que se requerirían para tratar estos desechos.

Son muchos y muy variados los procesos mediante los cuales se tratan los distintos residuos con el objetivo de disminuir o atenuar su peligrosidad y al mismo tiempo lograr su disposición final en forma segura y duradera en el tiempo. Pero estos procesos requieren constantes mejoras en su concepción, con el fin de aumentar los rendimientos de transformación y la eficiencia con la que los subproductos generados en el proceso son retenidos.

Principalmente se busca la reducción de tamaño del residuo para racionalizar el uso de los limitados espacios de disposición final. Por este motivo los tratamientos más comunes son los procesos de compactación y los procesos de incineración. Hay otros métodos en los que intervienen reacciones químicas u otros mecanismos que brindan buenos resultados, pero que son costosos y poco útiles para grandes cantidades a tratar.

Dentro de los procesos tradicionales, la incineración es la que mejores resultados brinda en cuanto a la reducción del volumen, pero es la que más tratamiento de subproductos requiere, no solo por la peligrosidad de los mismos, sino también por los volúmenes que se generan durante la operación.

Las cenizas, más conocidas como fly ash por su denominación en inglés, han sido motivo para el diseño de muchos sistemas de retención o dispositivos capaces de extraerlas de la corriente de gases que se pretendía liberar a la atmósfera. De esta forma se puede nombrar algunos sistemas, tales como por ejemplo: lavado de gases, reacciones químicas, filtros mecánicos, separadores ciclónicos y separadores electrostáticos.

Cada uno de estos equipos se combina para formar un sistema capaz de separar con buena eficiencia aquellas partículas que podrían potencialmente transportar estos

contaminantes y que, de ser arrojadas al medio, podrían ser potenciales generadoras de daños para el ser humano.

Resulta muchas veces imposible aplicar todos estos sistemas en una única instalación, no sólo por el elevado costo, sino también por la gran cantidad de espacio y obra necesarios para lograr su montaje.

Es por este motivo que resulta importante dedicar un especial cuidado al diseño de los sistemas de separación, poniendo particular atención a sus condiciones de funcionamiento, a los resultados que se espera obtener y a las posibles tecnologías a aplicar, para que el producto final sea de bajo costo, tamaño compacto y alto rendimiento.

Se desarrolla conceptualmente en este trabajo un sistema de separación electrostático de partículas sólidas que viajan en una corriente de gases, buscando alcanzar durante el diseño el máximo rendimiento, un tamaño compacto en relación a los sistemas existentes y una alta eficiencia de separación, de acuerdo a hipótesis oportunamente propuestas con el fin de orientar su aplicación a la reducción de la contaminación atmosférica producida por las fuentes fijas.

Se propone con este sistema cubrir una posible aplicación en todo lo relacionado a la quema de residuos en pequeña escala o de manera intermitente, donde se requiere una retención efectiva con un equipo que no ocupe mucho lugar y de mantenimiento sencillo, al igual que la forma en que se remueve el material particulado para llevarlo a tratamiento y disposición final. Ésta será otra de las mejoras que se aporta a los sistemas actuales, puesto que se reducirán al mínimo los porcentajes de reingreso de material particulado a la corriente de gases "limpia" durante las operaciones de recolección de partículas.

El objetivo es lograr el diseño conceptual de un separador electrostático de partículas sólidas, comprendidas entre 1 y 10 micrones de diámetro, que viajan en una corriente de gases. Se busca además concebir un equipo compacto, de eficiencia de separación constante en el tiempo, de fácil extracción de las partículas retenidas, que permita alta velocidad de los gases, de alto rendimiento y de bajo costo de producción, con la finalidad de utilizarlo para disminuir la contaminación atmosférica producida por el material particulado que arrojan a la atmósfera las fuentes fijas. Este diseño se basa en los separadores electrostáticos actuales y su desarrollo será exclusivamente teórico.

## Metodología de trabajo

El trabajo que se presenta a continuación es totalmente teórico y está basado en los principios de funcionamiento de equipos existentes y otros dispositivos que utilicen conceptos físicos similares.

El método elegido para su desarrollo contempla la proposición de una geometría inicial junto a las hipótesis de cálculo, un estudio detallado de cada uno de los fenómenos de las distintas zonas (carga y separación), un análisis del comportamiento de las ecuaciones, el estudio de las superficies de separación, un procedimiento de cálculo particular y general y la corrección del diseño y el cálculo frente a cambios en la zona de separación.

Las ecuaciones referenciadas corresponden a desarrollos existentes, mientras que los desarrollos personales aquí elaborados no están indicados con referencias.

## Hipótesis de trabajo

Las hipótesis bajo las cuales se hará el desarrollo tienen como principal objetivo simplificar los modelos matemáticos que explican los fenómenos que suceden en cada etapa del equipo a diseñar, para así alcanzar ecuaciones comprensibles y de buena aproximación con el suceso real. Ellas son:

Hipótesis N°1: las partículas son completamente esféricas, rígidas y de densidad de masa constante.

Hipótesis N°2: el material de las superficies de separación existe o bien su desarrollo es técnicamente viable y funciona de acuerdo a lo indicado.

Hipótesis N°3: la temperatura de entrada de los gases se mantiene constante a lo largo de todo el equipo, siendo la misma que la de los gases de salida.

Hipótesis N°4 : no se analizan las turbulencias que se pudieran generar en los vértices de las placas o de los cilindros de ionización.

Hipótesis N°5: la velocidad con la que se mueven las partículas en la dirección principal de los gases es constante e igual a la velocidad de dichos gases en cada una de las secciones del equipo.

Hipótesis N°6: existe distribución uniforme de las partículas en el seno del fluido que las transporta.

Hipótesis N°7: no se consideran los efectos de borde en el cálculo del campo eléctrico, tanto en el interior de los cilindros de ionización como en las placas planas de separación.

## Diseño preliminar

En forma previa al trabajo en un modelo matemático que exprese la posibilidad de separar las partículas y su comportamiento dentro del sistema, se dará una tentativa de disposición geométrica, con el fin de lograr una adecuada ubicación visual.

Para esto, se supone un conducto por el cual circulan los gases arrastrando partículas en suspensión, que además pasan por una zona de menor sección que la del conducto en el que viajan, en la cual, por medio de algún sistema, reciben una cantidad de carga eléctrica.

Si antes de un cambio de dirección del flujo se coloca un par de placas planas, delgadas y conductoras, sobre las cuales se aplica una diferencia de potencial, el campo eléctrico que se genera entre ellas interactuará con las cargas de estas partículas provocando un efecto de desvío, respecto de la corriente de gases, hacia un recinto o colector.

Si se coloca ese colector fuera de la zona de flujo, de forma tal que las partículas queden atrapadas en él sin que éste se ponga o interfiera en la corriente de gases, entonces se estarán respetando algunas de las hipótesis que inicialmente se propusieron y en principio se evitará que la retención afecte el rendimiento del equipo.

Esquemáticamente en la Figura 1 un perfil del sistema que describimos se tendría:

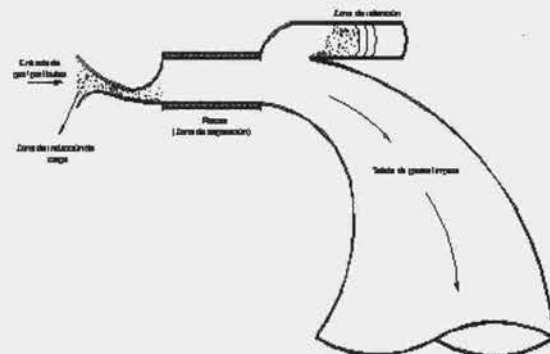


Figura 1. Disposición de los componentes del equipo



Más allá de la necesidad de definir un sistema de carga, se debe antes conocer la factibilidad de separar a las partículas del gas en el que viajan. Esta separación estará en función de la intensidad de campo eléctrico y de la cantidad de carga que la partícula adquiera.

Además, es necesario determinar la velocidad transversal a los gases que tendrá la partícula como consecuencia de las fuerzas aplicadas y el valor límite que alcanzará, puesto que esta velocidad dará la pauta del tipo de trayectoria que describirá y permitirá optimizar la forma y la ubicación de la zona de retención.

### Determinación de la velocidad límite

La determinación de la velocidad límite depende de un equilibrio de cuatro fuerzas: eléctrica, fricción con el aire, gravitatoria y empuje. Planteando la segunda ley de Newton y despreciando aquellas componentes de menor peso, se tendrán las siguientes expresiones (Böttner y Sommerfeld, 2001; Clarkson University, 1997):

$$\sum F = m_p \cdot a = F_{\text{eléctrica}} + F_{\text{fricción}} + F_{\text{gravitad}} + F_{\text{empuje}} \quad (1)$$

$$m_p \cdot y'' = E \cdot q_p - \frac{6 \cdot \pi \cdot \mu_G \cdot r_p \cdot y'}{C_c} \quad (2)$$

Integrando (2) y especificando las variables para las condiciones iniciales de  $t_0 = 0$  y  $V_{n0} = 0$  se obtiene:

$$V_d(t) = \frac{C_c \cdot E \cdot q_0}{6 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \mu_G} \left( 1 - e^{-\frac{6 \pi r_0 \mu_G t}{C_c q_0}} \right) \quad (3)$$

Esta expresión representa la ley de variación de la velocidad transversal al flujo de gases de una partícula en función del tiempo. De aquí se deduce que para tiempos "t" de un cierto valor, la partícula alcanzará su velocidad límite, cuyo módulo queda expresado por:

$$V_{lim} = \frac{C_c \cdot E \cdot q_p}{6 \cdot \pi \cdot r_p \cdot \mu_G} \quad (4)$$

### Generación de iones – Carga de partículas

La generación de iones es uno de los puntos más importantes de este trabajo, puesto que de esto dependerá la cantidad de carga que se le pueda dar a cada partícula. Básicamente, la ionización del aire entre dos electrodos con una geometría determinada se logra cuando sobre éstos se aplica una diferencia de potencial tal que el campo eléctrico en la superficie del electrodo de menor tamaño alcance el valor indicado por la expresión de Peek (Chen y Davison, 2002; EPA, 1999).

Cuando esto sucede sobreviene el efecto denominado "de corona" en el cual se establece una zona unipolar y una zona de ionización.

$$E(r_w) = 3.126 \times 10^6 \cdot \delta \cdot \left( 1 + 0.0301 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{r_w}} \right) \quad (5)$$

Para el caso presente se ha adoptado, por una cuestión de comodidad de diseño, una geometría conformada por un cilindro exterior y un cable concéntrico, los cuales serán sometidos a una diferencia de potencial a partir de una conexión a una fuente de tensión continua, siendo el positivo para el alambre y el negativo para el cilindro. Una vez que éstos están polarizados, las zonas y las cargas en cada zona serán como las indicadas en la Figura 2.

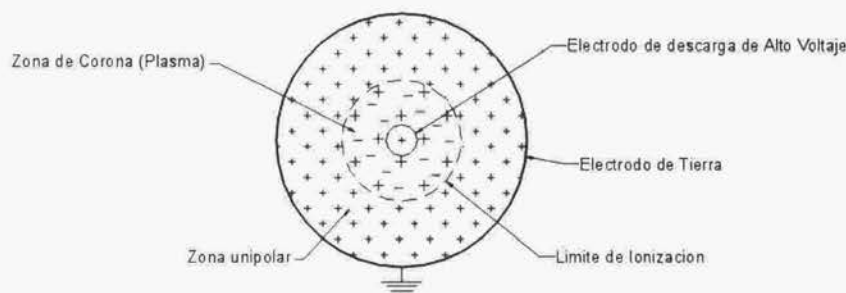


Figura 2. Disposición de las cargas bajo el fenómeno de corona

Para encontrar los valores de campo eléctrico y densidad de carga se debe resolver el sistema de ecuaciones que describen electrodinámicamente el proceso. Para esto se considera un conjunto de condiciones necesarias, que se expresan en coordenadas cilíndricas (Barsoukov, 2002):

carga que cada partícula puede adquirir. Se demuestra que el campo eléctrico en el límite de la corona es  $E = 3 \times 10^6 \text{ V.m}^{-1}$  (Huxley y Crompton, 1974; Morrow y Lowke, 1997; Peek, 1929).

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d(r \cdot E)}{dr} = \frac{\rho_l}{\epsilon_0} \quad (6)$$

$$E = \frac{dV}{dr} \quad (7)$$

$$A_e = 2\pi \cdot r \cdot J(r) \quad (8)$$

$$J = \rho_l \cdot \mu_l \cdot E \quad (9)$$

Reemplazando la (8) en (9) se tiene:

$$\rho_l = \frac{A}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu_l \cdot E} \quad (10)$$

Reemplazando (10) en (6) e integrando resulta:

$$E(r) = \sqrt{\frac{A}{2 \cdot \pi \cdot \mu_l \cdot \epsilon_0} \cdot \left( \frac{r^2 - r_0^2}{r^2} \right) + \left( \frac{r_0^2 \cdot E_0^2}{r^2} \right)} \quad (11)$$

Reemplazando (11) en (10):

$$\rho_l(r) = \frac{A}{2 \cdot \pi \cdot \mu_l \cdot e \cdot \sqrt{\frac{A}{2 \cdot \pi \cdot \mu_l \cdot \epsilon_0} \cdot (r^2 - r_0^2) + (r_0^2 \cdot E_0^2)}} \quad (12)$$

Integrando (8) se determina la expresión de la corriente por unidad de longitud del cable concéntrico, según:

$$\int_{r_0}^R E \cdot dr = U \Rightarrow A = \frac{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_l \cdot U \cdot (U - E_0 \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_0}\right))}{R^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_0}\right) \cdot \left(1 + 2.75 \times 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{R}{r_0}}\right)} \quad (13)$$

De donde se desprende que:

$$U_0 = E_0 \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_0}\right) \quad (14)$$

$$G = \frac{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{R^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_0}\right) \cdot \left(1 + 2.75 \times 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{R}{r_0}}\right)} \quad (15)$$

La ecuación (12) indica la densidad de iones para cada posición  $r$ . Estos iones son los disponibles para cargar aquellas partículas que se desea separar. Las expresiones de campo eléctrico y densidad de iones permitirán determinar más adelante la cantidad de

### Carga de partículas

La carga de las partículas depende principalmente del lugar en donde se encuentran y de la energía que mueve a los iones que las cargan.

La mecánica de la carga es única y consiste en que una vez que el ión está cerca de la partícula, éste genera sobre la misma una carga denominada "carga imagen" (por simple polarización). Esta carga imagen produce un efecto de atracción sobre el ión propiamente dicho y de esta forma se alcanza el contacto entre la partícula y el ión. Este contacto anula la carga imagen generada (que será negativa en caso de tener iones positivos) con la del ión (que es una carga positiva), quedando como única carga la misma que ha sido desplazada originalmente por la polarización de la partícula, siendo de signo positivo (por ser el ión positivo) y teniendo la misma magnitud que la del ión. (Figura 3)



Figura 3. Etapas de carga de las partículas

Bajo este concepto, a medida que los iones se acercan a la partícula se producirán descompensaciones de carga (nuevas polarizaciones), que harán que se repita este mecanismo y se continúen sumando los iones, hasta que la carga total alcance un valor tal que repela al próximo ión que intenta acercarse.

La forma en que los iones llegan a las partículas, antes de que se produzca la mecánica ya explicada, es a través del fenómeno de difusión o por la acción del campo eléctrico.

Por esto se encuentra que el mecanismo por el cual se cargan las partículas depende de dos mecanismos, uno de ellos es el de *Carga por difusión* y el otro es el de *Carga por campo* (EPA, 1999; Davison, 2000; Volkens, 2001; Zevenhoven, 1999).

### Carga por difusión

El fenómeno de carga por difusión está relacionado con la energía térmica del ión, la cual es adquirida en el interior de la corona y luego transformada en energía cinética que le brinda al ión la movilidad necesaria para alcanzar la partícula a cargar, venciendo la energía de repulsión que ésta pudiera provocar por encontrarse previamente cargada. Este tipo de carga nunca alcanza la saturación.

La expresión que regula la carga de las partículas por este fenómeno es (Davison, 2000):

$$q_d(t) = \frac{d_p \cdot K_g \cdot T}{2 \cdot e \cdot K_e} \ln \left( 1 + \frac{\pi \cdot K_e \cdot d_p \cdot C_i \cdot e^2 \cdot \rho_i}{2 \cdot K_g \cdot T} \times t \right) \quad (16)$$

### Carga por campo

Para explicar el mecanismo que gobierna la carga por campo, se supondrá una partícula con carga neutra en el seno de un campo eléctrico, tal cual se ve en la Figura 4.a.

En estas condiciones la partícula genera una distorsión uniforme en el campo eléctrico, observándose que la misma cantidad de líneas que entran a la partícula también salen de ella. Cuando la partícula es alcanzada por un ión y éste le transmite su carga, algunas líneas del campo comenzarán a distorsionarse y la evadirán, tal cual se observa en la Figura 4.b.

Suponiendo que la carga se encuentra en la parte izquierda del dibujo, sólo las líneas que interceptan ese lado de la partícula continuarán llevando cargas (iones), mientras que las líneas del lado derecho no se llevarán las cargas que llegan, puesto que la partícula no emite iones (Figura 4.c).

La saturación de este mecanismo es proporcional al área de la superficie de la partícula y al campo eléctrico en el que se encuentra sumergida.

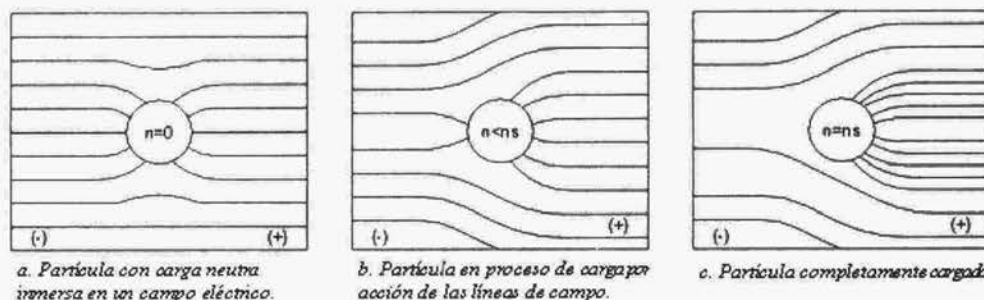


Figura 4. Mecanismo de la carga por campo

Finalmente, el mecanismo por el cual los iones alcanzan a las partículas obedece al movimiento que les imprime a estos últimos el campo. La expresión que regula la cantidad de carga en la partícula es:

$$q_p(t) = 12 \cdot \pi \cdot s_0 \cdot r_0^2 \cdot E(r) \cdot \left( \frac{t}{t + \frac{4 \cdot s_0}{\rho_1 \cdot \epsilon \cdot \mu}} \right) \quad (17)$$

En este caso la máxima carga que se puede alcanzar depende del radio de la partícula y de la intensidad de campo a la que esté sometida.

### Separación de partículas

La zona de separación podría estar materializada por una combinación de filtros y campos electromagnéticos que desvíen las partículas hacia ellos, o también podría considerarse un conjunto de placas planas con la capacidad de retener el particulado por acción mecánica. Pero cualquiera sea la forma que se adopte, la idea de sacar el particulado en esta zona es la que debe regir el diseño.

En líneas generales el rendimiento de separación del equipo se puede expresar como (Davison, 2000):

$$\eta = 1 - \frac{C_{salida}}{C_{entrada}} \quad (18)$$

La utilización de filtros podría ocasionar una disminución o una variación en el rendimiento en el tiempo, por lo que la mejor alternativa para materializar la zona de separación es la aplicación de placas planas que retengan el particulado mediante algún mecanismo. Esta geometría resulta ser más apta para el presente diseño, puesto que aún antes de alcanzarse la saturación por ensuciamiento el campo eléctrico se mantiene constante, lo cual garantiza una correcta separación de las partículas cargadas. En este caso también es necesario sacar de servicio al equipo para extraer el particulado retenido y así poder volver al estado original de operación.

Considerando a las placas como una alternativa viable y teniendo en cuenta la Hipótesis 5 es posible calcular el rendimiento de separación, de acuerdo al esquema de la Figura 5:

Expresando este balance en forma diferencial se tendrá:

$$\begin{aligned} V_G \cdot h \cdot B \cdot C(x) - V_G \cdot h \cdot B \cdot C(x + \Delta x) \\ = V_{lim} \cdot B \cdot C(x + \frac{\Delta x}{2}) \cdot \Delta x \end{aligned} \quad (19)$$

El motivo por el cual se usa la velocidad límite radica en que el tiempo necesario para alcanzar dicho valor, dentro de la zona en estudio, es despreciable frente al tiempo que dura su viaje hacia las placas.

Luego, dividiendo miembro a miembro por  $\Delta x$  y tomando el límite para  $\Delta x$  tendiendo a cero queda:

$$-V_G \cdot h \cdot B \cdot \frac{dC}{dx} = V_{lim} \cdot B \cdot C \quad (20)$$

Separando variables e integrando se obtiene:

$$\frac{C_{salida}}{C_{entrada}} = e^{\left( \frac{-V_{lim} \cdot L}{V_G \cdot h} \right)} \quad (21)$$

Esta última expresión relaciona el cociente de concentraciones con las dimensiones de la zona de separación y con las velocidades de la partícula, tanto en sentido vertical como así también en la dirección del flujo.

Ahora podemos reemplazar la ecuación (21) en la (18) de la siguiente forma:

$$\eta = 1 - e^{\left( \frac{-V_{lim} \cdot L}{V_G \cdot h} \right)} \quad (22)$$

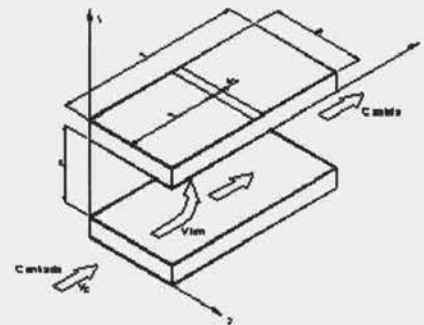


Figura 5. Balance de masas entre placas de separación

Así finalmente se deja expresado al rendimiento de separación en función de parámetros conocidos y que se puede variar durante la definición del diseño. Así, para un rendimiento deseado, existirán varias combinaciones entre la velocidad del gas, la velocidad límite y las dimensiones del equipo, por lo que será necesario (a través del programa de cálculo), buscar la combinación adecuada.

### Campo eléctrico de placas

Tal cual lo indicado en la determinación del rendimiento, la zona de separación será considerada en principio como un conjunto de placas no conductoras separadas por una distancia "h", que serán atravesadas por un campo eléctrico generado por dos placas exteriores. De esta forma el conjunto se comporta como un capacitor en serie, con dieléctricos en su interior, tal cual lo mostrado en la Figura 6:



Figura 6. Esquema del conjunto de placas de la zona de separación.

Para llegar a determinar el campo eléctrico entre dos placas cualesquiera, que es el valor que interesa para la operación de esta zona, se comienza calculando la capacidad del conjunto según:

$$\frac{1}{C_T} = \left( \frac{n}{C_v} + \frac{m}{C_e} \right) \Rightarrow C_T = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot K}{n \cdot h \cdot K + m \cdot e} \Rightarrow Q = C_T \cdot \Delta V \quad (23)$$

Esta carga total será igual para los distintos capacitores por tratarse de una conexión en serie, por cuanto la diferencia de potencial de cada uno de ellos se escribe como:

$$V_v = \frac{Q}{C_v} = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot K}{n \cdot h \cdot K + m \cdot e} = \frac{K \cdot V \cdot h}{n \cdot h \cdot K + m \cdot e} \quad (24)$$

Finalmente, el campo eléctrico  $E_n$  en la zona vacía será:

$$E_v = \frac{V_v}{h} = \frac{K \cdot V}{n \cdot h \cdot K + m \cdot e} \quad (25)$$

Esta expresión del campo en función de la cantidad de espacios vacíos, placas, distancias y áreas permitirá definir la intensidad de campo que se tendrá realmente cuando se aplique entre las placas exteriores una diferencia de potencial determinada. De esta forma y al igual que se hizo para el rendimiento, se encuentra la forma en que varía el campo según variables externas y constructivas.

### Estudio del comportamiento de las ecuaciones de carga

Para determinar la cantidad de carga que una partícula de un determinado diámetro puede adquirir, es necesario atender a las ecuaciones que describen el fenómeno de cargas por campo y por difusión. Como estas expresiones se encuentran fuertemente vinculadas con lo que sucede en la zona de ionización, es primordial definir el campo y la densidad de iones a través de las ecuaciones que describen el fenómeno de ionización, para luego calcular la carga total adquirida.

Como la zona de ionización se conforma por un cilindro exterior y un cable concéntrico, se comenzará adoptando valores iniciales de radios y tensiones a aplicar, con el fin de calcular el valor del campo y de la densidad en esa zona. A través de la Tabla 1 se definen todos los parámetros externos que se mantendrán constantes durante el estudio.

Tabla 1. Parámetros de Operación

P <sub>trabajo</sub>	1	ata
T <sub>trabajo</sub>	293	K
$\epsilon_0$	$8,845 \times 10^{-12}$	$C^2/Nm^2$
$K_E$	$9 \times 10^9$	$Nm^2/C^2$
$K_B$	$1,38 \times 10^{-23}$	Nm/K
$\mu_{iones}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$m^2/Vs$
$C_i$	240	m/s
e	$1,6 \times 10^{-19}$	C

En cuanto a la tensión aplicada se toma un valor inicial de 17000 Volts entre electrodos y se adoptan radios



de 0,025 m y 0,001 m para el cilindro y su cable concéntrico, respectivamente.

A partir de estos valores y aplicando las ecuaciones características de la zona de ionización se calculan los parámetros buscados, que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de Ionización

$\rho$	1	-
$E_w$	6101470	V/m
$r_0$	0,00203	m
$G$	$1,295 \times 10^{-7}$	$C^2/Nm^2$
$U_0$	15309	V
$A$	0,00052	A/m

La variación del campo y de la densidad de iones en función del radio se expresa a continuación en la Tabla 3 para distintos valores comprendidos entre el radio  $r_0$  (límite entre la zona de ionización y la unipolar) y el del cilindro exterior.

Por razones de simplificación del cálculo resultará conveniente adoptar valores constantes a lo largo de todo el espacio entre electrodos, tanto para el campo como para la densidad. Estos valores, calculados como valores promedio, son 534413 V/m para el campo y  $5,04 \times 10^{14}$   $1/m^3$  para la densidad de iones.

Así, definidas estas constantes, la única variable que queda en la ecuación de carga por campo o por difusión y de la cual dependerá la cantidad de carga adquirida, es el tiempo de permanencia de la partícula en la zona ionizada. Luego, el comportamiento de la ley de variación de la carga con el diámetro y con el tiempo puede estudiarse a través de un conjunto de gráficos (Figura 9) en los cuales se representa, para cada partícula, la carga por campo y por difusión en función del tiempo de permanencia en la zona de ionización.

Para este estudio las condiciones de operación serán las indicadas en las Tablas 2 y 3.

Tabla 3. Variación del Campo y de la Densidad de Iones

$r$ [m]	$E(r)$ [V/m]	$\rho(r)$ [ $1/m^3$ ]
0,0020338	3000000	$6,07 \times 10^{14}$
0,0043304	1427358	$5,99 \times 10^{14}$
0,0066271	953035,51	$5,86 \times 10^{14}$
0,0089237	728650,59	$5,69 \times 10^{14}$
0,0112203	600346,06	$5,49 \times 10^{14}$
0,0135169	518797,1	$5,28 \times 10^{14}$
0,0158135	463327,32	$5,05 \times 10^{14}$
0,0181101	423758,55	$4,82 \times 10^{14}$
0,0204068	394511,68	$4,60 \times 10^{14}$
0,0227034	372284,36	$4,38 \times 10^{14}$
0,025	355006,23	$4,17 \times 10^{14}$

Las variaciones del campo y de la densidad de iones, en función del radio, se indican en las Figuras 7 y 8.

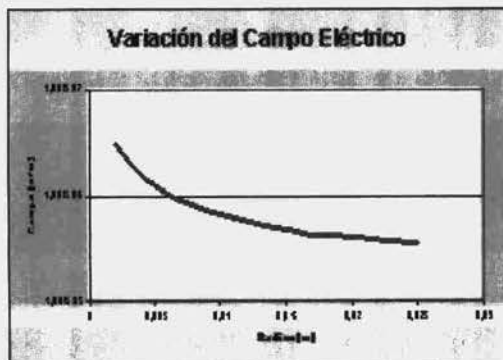


Figura 7. Campo eléctrico en la zona unipolar

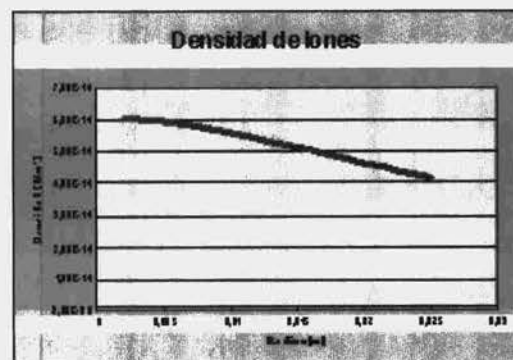


Figura 8. Variación de la densidad de iones

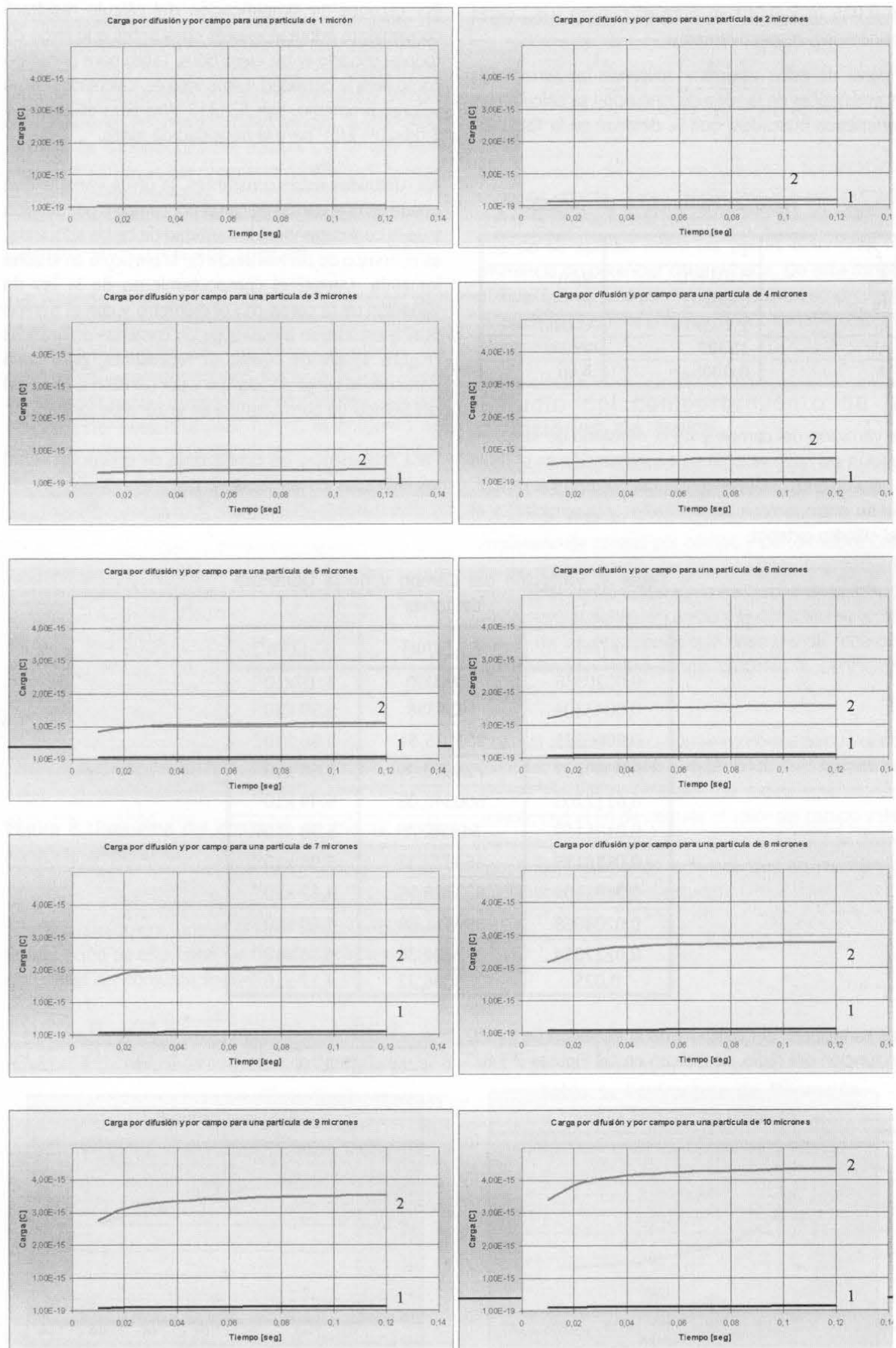


Figura 9. Carga por campo (Curva 2) y por difusión (Curva 1) para partículas entre 1 y 10 micrones

Estos gráficos permiten analizar dos aspectos muy importantes de la carga de partículas. El primero de ellos es que la carga por campo prevalece fuertemente sobre la carga por difusión y este efecto crece a medida que aumenta el diámetro de la partícula a cargar, siempre que el resto de los parámetros exteriores permanezca constante.

El segundo, y muy importante, es la definición de un tiempo de carga. En cada uno de los gráficos se advierte que, pasado un cierto tiempo (aproximadamente 0,12 s), se puede decir que el aumento de la carga es muy pequeño para grandes períodos. Esta conclusión permite adoptar, para este estudio, a 0,12 segundos como el tiempo para el cual las partículas adquieren el máximo valor de carga, ya sea por campo o por difusión. Además, este valor dependerá de la cantidad de iones libres que las partículas encuentren, la cual es función de la geometría de los electrodos de ionización y de la tensión aplicada, por cuya razón, para todos los casos de dimensiones similares, este valor será el mismo.

### Criterio de distribución de cargas en las partículas

Para calcular la cantidad de partículas que se pueden cargar en cada ionizador, es necesario determinar previamente la cantidad de cargas libres que cada tipo de partícula puede adquirir, la distribución de partículas que se tendrá en los gases a tratar y la cantidad de cargas libres que genera el ionizador.

La cantidad de cargas que cada tipo de partícula (caracterizada por su diámetro) adquiere durante el tiempo de permanencia en la zona ionizada (se habían adoptado 0,12 s) está dada por la Tabla 4:

El "porcentaje de distribución" de cada tipo de partícula se define como la cantidad, expresada en porcentaje, de partículas de un mismo diámetro que hay en el total de partículas entrantes. El número de cargas libres que genera el ionizador y que serán distribuidas sobre los diferentes diámetros se define mediante la densidad media de cargas en el interior de cada cilindro, según la siguiente expresión:

$$C_{T_d} = \rho_{medio} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_w^2) \cdot L_{cilindro} \quad (26)$$

La distribución de las cargas sobre las partículas dependerá principalmente del diámetro de cada una de ellas, del número de cargas que debe adquirir para alcanzar la máxima carga y de la cantidad, representada por el porcentaje de distribución en el gas entrante al equipo.

Así, combinando estos factores adecuadamente, se obtiene una expresión que indica el número de partículas que se pueden cargar para una condición de trabajo determinada.

$$N^{\circ} Particulas_i = \frac{C_{T_d} \cdot Distribución\%_i}{\sum_{i=0}^{i=10} \frac{N^{\circ} q_i \times Distribución\%_i}{100}} \cdot \frac{1}{100} \quad (27)$$

En la Tabla 5 se muestra, para cada tipo de diámetro, la cantidad de partículas que pueden ser cargadas por un solo ionizador, tomando como datos los indicados en las Tablas 2 y 3. El porcentaje de distribución se muestra en las mismas tablas y ha sido adoptado para este cálculo.

Tabla 4. Cantidad de cargas máximas por diámetro de partícula

Diámetro de Partícula [ $\mu\text{m}$ ]	Carga total [C]	Número de cargas [unidad]
1	$5,35 \times 10^{-17}$	334
2	$1,96 \times 10^{-16}$	1224
3	$4,26 \times 10^{-16}$	2661
4	$7,43 \times 10^{-16}$	4644
5	$1,15 \times 10^{-15}$	7173
6	$1,64 \times 10^{-15}$	10246
7	$2,22 \times 10^{-15}$	13863
8	$2,88 \times 10^{-15}$	18025
9	$3,64 \times 10^{-15}$	22731
10	$4,48 \times 10^{-15}$	27981

## Cantidad de partículas a tratar

La cantidad de partículas máximas que se pueden recibir depende de la superficie total de las placas y la concentración de particulado entrante. Esta relación definirá un tiempo de servicio, que está dado por la relación entre la superficie total de las placas y la superficie proyectada de todas las partículas que entran por unidad de tiempo, considerando su distribución dimensional. Para este cálculo inicial se considera que sólo se forma una única capa de partículas sobre cada superficie de separación.

Luego se hará un cálculo posterior para determinar la intensidad del campo eléctrico de contraposición y así definir la posibilidad o no de que otra capa de partículas se forme.

Si se expresa esta relación se tiene:

$$N^{\circ} \text{ part}_n = \frac{A_{\text{Total, placas}} \cdot \sum_{i=1}^{i=10} N^{\circ} \text{ part}_i}{\sum_{i=1}^{i=10} (N^{\circ} \text{ part}_i \cdot A_i)} \quad (28)$$

Hasta aquí se tiene el número de partículas que es posible retener. Para calcular el tiempo de operación se necesitaría expresar este número de partículas entrantes como una cantidad de área por segundo para cualquier concentración entrante, expresada en  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . La Tabla 6 muestra esta transformación entre el caudal másico y su equivalente en superficie por segundo.

Tabla 5. Determinación de la máxima cantidad de partículas a cargar por un cilindro de ionización

$\mu\text{m}$	$\rho$ sólido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Volumen [ $\text{m}^3$ ]	Masa [ $\text{kg}$ ]	Área [ $\text{m}^2$ ]	Carga q [ $\text{C}$ ]	Nº de cargas [Unid.]	Vol. Cilindro	Dist. %	Nº de Partículas [Unid.]
$\phi$ 1	2267	$5,24 \times 10^{-19}$	$1,19 \times 10^{-15}$	$7,85 \times 10^{-13}$	$5,35 \times 10^{-17}$	334	0,00057	3	$1,86 \times 10^{-6}$
$\phi$ 2	2267	$4,19 \times 10^{-18}$	$9,5 \times 10^{-15}$	$3,14 \times 10^{-12}$	$1,96 \times 10^{-16}$	1224	$\text{m}^3$	20	$1,24 \times 10^{-7}$
$\phi$ 3	2267	$1,41 \times 10^{-17}$	$3,2 \times 10^{-14}$	$7,09 \times 10^{-12}$	$4,26 \times 10^{-16}$	2661		40	$2,47 \times 10^{-7}$
$\phi$ 4	2267	$3,35 \times 10^{-17}$	$7,6 \times 10^{-14}$	$1,26 \times 10^{-11}$	$7,43 \times 10^{-16}$	4644	iones Libres	20	$1,24 \times 10^{-7}$
$\phi$ 5	2267	$6,55 \times 10^{-17}$	$1,48 \times 10^{-13}$	$1,96 \times 10^{-11}$	$1,15 \times 10^{-15}$	7173	$5,05 \times 10^{-4}$	5	$3,09 \times 10^{-6}$
$\phi$ 6	2267	$1,13 \times 10^{-16}$	$2,56 \times 10^{-13}$	$2,83 \times 10^{-11}$	$1,64 \times 10^{-15}$	10246	$1/\text{m}^3$	3	$1,85 \times 10^{-6}$
$\phi$ 7	2267	$1,79 \times 10^{-16}$	$4,07 \times 10^{-13}$	$3,85 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-15}$	13863		3	$1,85 \times 10^{-6}$
$\phi$ 8	2267	$2,68 \times 10^{-16}$	$6,07 \times 10^{-13}$	$5,03 \times 10^{-11}$	$2,88 \times 10^{-15}$	18025	Cargas Libres	3	$1,85 \times 10^{-6}$
$\phi$ 9	2267	$3,81 \times 10^{-16}$	$8,65 \times 10^{-13}$	$6,36 \times 10^{-11}$	$3,64 \times 10^{-15}$	22731	$2,85 \times 10^{-3}$	2	$1,28 \times 10^{-6}$
$\phi$ 10	2267	$5,23 \times 10^{-16}$	$1,19 \times 10^{-12}$	$7,85 \times 10^{-11}$	$4,48 \times 10^{-15}$	27981	cargas	1	$6,19 \times 10^{-6}$
								100	$6,18 \times 10^{-7}$

Tabla 6. Transformación del caudal másico a superficie por segundo

Concentración entrante de partículas		150	$\text{mg}/\text{m}^3$				
Q volumétrico gases entrante		0,141	$\text{m}^3/\text{seg}$				
Diám. [ $\mu\text{m}$ ]	Dist. %	$\text{mg}/\text{m}^3$ Entr.	Volum [ $\text{m}^3$ ]	Densidad [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Área [ $\text{m}^2$ ]	Entrantes Part/ $\text{m}^3$	Sup. total de las partículas $\text{m}^2/\text{m}^3$
1	3,00	4,50	$5,24 \times 10^{-19}$	2267	$7,85 \times 10^{-13}$	$3,79 \times 10^{-9}$	$2,97 \times 10^{-5}$
2	20,00	30,00	$4,19 \times 10^{-18}$	2267	$3,14 \times 10^{-12}$	$3,16 \times 10^{-9}$	$9,92 \times 10^{-5}$
3	40,00	60,00	$1,41 \times 10^{-17}$	2267	$7,07 \times 10^{-12}$	$1,87 \times 10^{-9}$	$1,32 \times 10^{-4}$
4	20,00	30,00	$3,35 \times 10^{-17}$	2267	$1,26 \times 10^{-11}$	$3,95 \times 10^{-8}$	$4,96 \times 10^{-5}$
5	5,00	7,50	$6,54 \times 10^{-17}$	2267	$1,96 \times 10^{-11}$	$5,05 \times 10^{-7}$	$9,92 \times 10^{-4}$
6	3,00	4,50	$1,13 \times 10^{-16}$	2267	$2,83 \times 10^{-11}$	$1,75 \times 10^{-7}$	$4,96 \times 10^{-4}$
7	3,00	4,50	$1,80 \times 10^{-16}$	2267	$3,85 \times 10^{-11}$	$1,10 \times 10^{-7}$	$4,25 \times 10^{-4}$
8	3,00	4,50	$2,68 \times 10^{-16}$	2267	$5,03 \times 10^{-11}$	$7,40 \times 10^{-6}$	$3,72 \times 10^{-4}$
9	2,00	3,00	$3,82 \times 10^{-16}$	2267	$6,36 \times 10^{-11}$	$3,47 \times 10^{-6}$	$2,20 \times 10^{-4}$
10	1,00	1,50	$5,24 \times 10^{-16}$	2267	$7,85 \times 10^{-11}$	$1,26 \times 10^{-6}$	$9,92 \times 10^{-5}$
						Total Part./ $\text{m}^3$	Total Part. $\text{m}^2/\text{m}^3$
						$9,30 \times 10^{-9}$	$3,37 \times 10^{-2}$
						Total Part./seg	Total Part. $\text{m}^2/\text{seg}$
						$1,32 \times 10^{-9}$	$4,76 \times 10^{-3}$
ENTRANTE A LEQUIPO							

Para estos primeros cálculos se han adoptado unas 34 placas de 1,5 x 1,5 m, de forma tal que dividiendo la cantidad de partículas entrantes tomadas en  $m^2 \cdot s^{-1}$ , se obtiene un tiempo de operación de aproximadamente 4,46 horas (siempre se considera que se forma una sola capa de partículas sobre la superficie).

## Metodología de cálculo

Para justificar la geometría alcanzada en el diseño es importante definir una metodología de cálculo que lo respalde y que permita, al mismo tiempo, modelar su funcionamiento y estudiar las variaciones en el rendimiento cuando cambian algunas de las condiciones operativas del equipo en cuestión. Por tal motivo, el procedimiento de cálculo tiene por objetivo dimensionar el equipo desde el punto de vista del rendimiento que se desee obtener para un tamaño de partículas dado, partiendo de dimensiones físicas predeterminadas, como distancia entre placas, cantidad de superficies de separación, permeabilidades y tensión aplicada, obteniendo como resultado las dimensiones de la zona de carga.

Así se tiene un procedimiento conformado por los siguientes pasos:

**Paso 1:** Determinación de los Valores Iniciales tales como presión, temperatura, distribución porcentual, etc.

**Paso 2:** Definición del diámetro de la partícula que se desea separar.

**Paso 3:** Determinación del rendimiento de separación buscado correspondiente al diámetro de partícula seleccionada en 2.

**Paso 4:** Cálculo de la velocidad límite  $V_L$  a partir de la expresión de rendimiento:

$$V_L = -\frac{k \cdot V_x}{L} \cdot \ln(1 - \eta)$$

$$q_i(t) = q_d + q_c = \frac{dp \cdot K_B \cdot T}{2 \cdot e \cdot K_E} \times \ln \left( 1 + \frac{\pi \cdot K_E \cdot dp \cdot C_i \cdot e^2 \cdot N_i \times t}{2 \cdot K_B \cdot T} \right) + 12 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r_p^2 \cdot E(\gamma) \cdot \left( \frac{t}{t + \frac{4 \cdot \epsilon_0}{N_i \cdot e \cdot \mu}} \right) \quad (29)$$

**Paso 5:** Determinación del factor de Cunningham para el diámetro de partícula elegido según:

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d_p} \cdot \left( 2,34 + 1,05 \cdot e^{\left( -0,39 \frac{\lambda}{d_p} \right)} \right)$$

**Paso 6:** Cálculo de la velocidad límite no corregida:

$$V_{L(\text{nc})} = \frac{V_L}{C_c}$$

**Paso 7:** Cálculo del producto  $E \cdot q$  necesario para alcanzar la velocidad calculada en 6.

$$E \cdot q = 6 \cdot \pi \cdot V_{L(\text{nc})} \cdot r_p \cdot \mu_{\text{aire}}$$

**Paso 8:** Conforme a los valores adoptados en el comienzo del cálculo, se puede determinar el valor del campo eléctrico que existirá entre superficies de separación. Este valor será:

$$E = \frac{k \cdot V}{N \cdot h \cdot k + M \cdot e}$$

**Paso 9:** La cantidad de carga que debe tener una partícula para alcanzar la velocidad calculada en 6 dentro de un campo eléctrico de valor indicado en 8, se obtendrá dividiendo el producto  $E \cdot q$  calculado en el Paso 7 por el campo calculado en el Paso 8.

**Paso 10:** Cálculo de los valores medios de campo eléctrico y densidad de iones dentro de la zona de carga a partir de las expresiones indicadas.

**Paso 11:** Determinación del tiempo que tarda la partícula definida en el Paso 2, para obtener la carga necesaria calculada en el Paso 9. Este valor se puede determinar a partir de la iteración de la siguiente expresión:



Como ésta es una ecuación no lineal el tiempo de carga se determinó por método gráfico, de acuerdo a lo indicado en el "Estudio del comportamiento de las ecuaciones de carga".

**Paso 12:** Determinación del diámetro de los cilindros. Para comenzar nuestros cálculos adoptamos un radio de 0,025 m y 0,001 m para el cilindro y para el cable, respectivamente, y calculamos el valor de tensión para obtener la densidad de carga media que se determinó en el "Estudio del comportamiento de las ecuaciones de carga".

**Paso 13:** Cálculo de la velocidad de los gases a través de los cilindros de ionización. A esos efectos es necesario definir la cantidad de cilindros que se adoptarán en el diseño, cantidad que estará relacionada con la velocidad que se desea mantener en la zona de separación para que el rendimiento de separación adopte los valores de diseño.

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{V_{\text{chimenea}} \cdot A_{\text{chimenea}}}{n_{\text{cilindros}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_w^2)} \quad (30)$$

**Paso 14:** Cálculo de la longitud de cada cilindro adoptando el tiempo de carga definido en el Paso 11.

$$L_{\text{min}} = V_{\text{carga}} \cdot t_{\text{carga}} \quad (31)$$

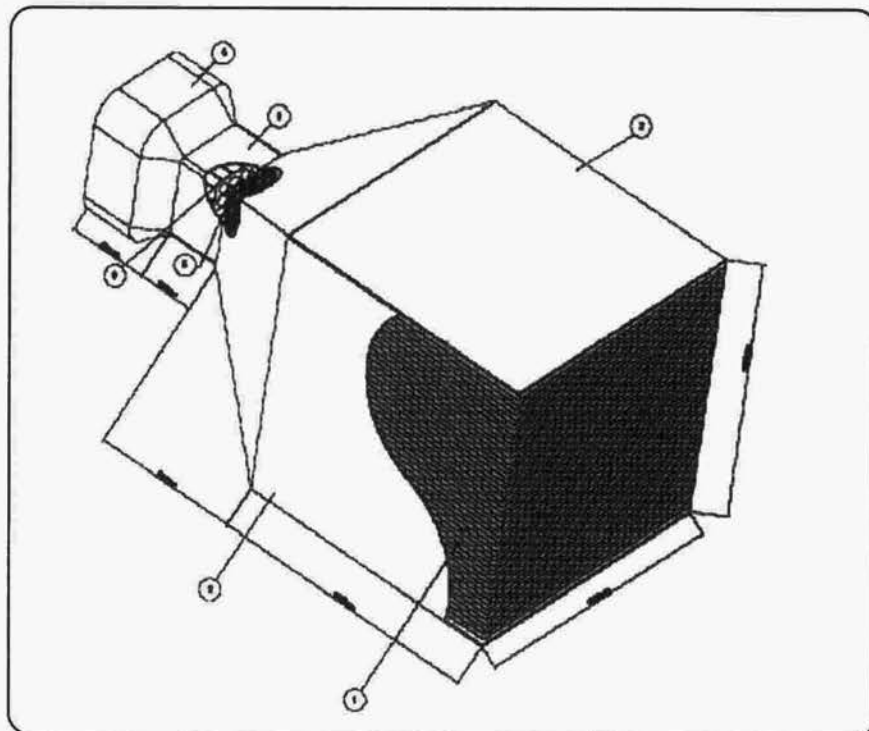
Así la secuencia presentada responde a un orden lógico de cálculo, partiendo de un porcentaje de separación deseado y llegando a las condiciones de carga de la partícula a través de la zona de ionización.

Pero se está trabajando con un conjunto de partículas que se van a mover dentro de un mismo equipo compartiendo la misma intensidad de campo eléctrico y enfrentándose a una misma densidad de cargas en la zona de ionización. Por tal motivo se debe plantear una mecánica de cálculo inversa en la que, partiendo de las condiciones físicas y dimensiones predeterminadas, sea posible calcular el rendimiento de separación de las partículas en función de su diámetro y de la carga que puedan adquirir y, en caso de ser este valor demasiado bajo, modificar las variables externas para alcanzar lo deseado.

Este nuevo método de cálculo es el que se utilizará como modelo matemático del equipo, y será desarrollado en forma de programa de hojas de cálculo.

### Modelado del equipo

Antes de modelar el equipo de separación se presenta un esquema de la forma que se considera más apropiada para combinar el sistema de carga o ionización y el sistema de separación.



Esquema 1. Vista general del conjunto

De esta forma, todo el gas pasará por la zona de ionización y luego entrará a la zona de separación en la cual las partículas quedarán retenidas en las placas. Para estudiar el funcionamiento del equipo se utiliza el programa de cálculo y se modela el conjunto suponiendo las variables dimensionales y operativas mostradas en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Variables Operativas

Parámetro	Valor	Unidad
$P_{trabajo}$	1	ata
$T_{trabajo}$	293	K
$r_{wire}$	0,001	m
$R_{cilindros}$	0,025	m
$\epsilon_0$	$8,85 \times 10^{-12}$	$C^2/N m^2$
$K_E$	$9 \times 10^9$	$N m^2/C^2$
$K_H$	$1,38 \times 10^{-23}$	$N m/K$
$\mu$	$1,40 \times 10^{-04}$	$m^2/V s$
$C_i$	240	m/s
U	17000	V
e	$1,60 \times 10^{-19}$	C
$U_{plac}$	18000	V

Tabla 8. Variables Dimensionales

Parámetro	Valor	Unidad
Ancho del equipo (B)	1,5	m
Altura entre superficies (h)	0,025	m
Longitud del equipo (L)	1,5	m
Espesor superficies	0,005	m
Constante dieléctrica (K)	6	
Espacios vacíos	34	Unidades
Diámetro de chimenea	0,3	m
Velocidad de gas en chimenea	2	m/s
Tiempo carga	0,12	s
Densidad aire	1,205	$kg/m^3$
Viscosidad aire	$1,82 \times 10^{-06}$	$N s/m^2$
Temperatura aire	20	$^{\circ}C$

Se adopta además una concentración de entrada de  $150 \text{ mg/m}^3$  con una distribución porcentual como la mostrada en la Tabla 9

Tabla 9. Distribución [%]

Diámetro [ $\mu\text{m}$ ]	Distribución [%]
1	3
2	20
3	40
4	20
5	5
6	3
7	3
8	3
9	2
10	1

## Resultados preliminares

Habiendo modelado el equipo con los parámetros y variables de las Tablas 7, 8 y 9, se presentan a continuación los resultados más relevantes arrojados por el programa en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Rendimientos de separación

Diámetro [ $\mu\text{m}$ ]	$\eta_{separación}$ [%]
1	98,585
2	99,914
3	99,995
4	99,9997
5	99,99998
6	100,000
7	100,000
8	100,000
9	100,000
10	100,000
Total	99,93834

Tabla 11. Resultados principales del programa

Parámetro	Valor	Unidad
Concentración de entrada	150	$\text{mg.m}^{-3}$
Tiempo de operación	4,4665	h
Campo promedio	534413	$\text{V.m}^{-1}$
Campo límite de chispa	560631	$\text{V.m}^{-1}$
Mínima tensión ( $U_0$ )	15308	V
Longitud de los cilindros	0,2884	m
Altura total del equipo	1,015	m
Tensión en placas	18000	V

A estos resultados generales se agregará el cálculo de la cantidad de cargas eléctricas que adquiere cada una de las superficies de separación (al tiempo máximo de operación) y el campo que dichas cargas generan, para así evaluar el efecto de contraposición de dicho campo con el campo exterior generado por el equipo y definir si los valores alcanzados resultan operativos o es necesario algún tipo de modificación en el mismo. Estos datos se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Cálculo del campo de contraposición

Diámetro	mg/m <sup>3</sup> retenido	Part/m <sup>3</sup>	Carga q	Carga entrante [C/m <sup>3</sup> ]	Carga total por partícula
1	4,50	3,791 x10 <sup>9</sup>	5,35 x10 <sup>-17</sup>	2,028 x10 <sup>-7</sup>	1,956 x10 <sup>-7</sup>
2	30,00	3,159 x10 <sup>9</sup>	1,96 x10 <sup>-16</sup>	6,187 x10 <sup>-7</sup>	5,966 x10 <sup>-7</sup>
3	60,00	1,872 x10 <sup>9</sup>	4,26 x10 <sup>-16</sup>	7,971 x10 <sup>-7</sup>	7,686 x10 <sup>-7</sup>
4	30,00	3,949 x10 <sup>8</sup>	7,43 x10 <sup>-16</sup>	2,934 x10 <sup>-7</sup>	2,830 x10 <sup>-7</sup>
5	7,50	5,055 x10 <sup>7</sup>	1,15 x10 <sup>-15</sup>	5,801 x10 <sup>-8</sup>	5,594 x10 <sup>-8</sup>
6	4,50	1,755 x10 <sup>7</sup>	1,64 x10 <sup>-15</sup>	2,877 x10 <sup>-8</sup>	2,774 x10 <sup>-8</sup>
7	4,50	1,105 x10 <sup>7</sup>	2,22 x10 <sup>-15</sup>	2,452 x10 <sup>-8</sup>	2,364 x10 <sup>-8</sup>
8	4,50	7,404 x10 <sup>6</sup>	2,88 x10 <sup>-15</sup>	2,135 x10 <sup>-8</sup>	2,059 x10 <sup>-8</sup>
9	3,00	3,467 x10 <sup>6</sup>	3,64 x10 <sup>-15</sup>	1,261 x10 <sup>-8</sup>	1,216 x10 <sup>-8</sup>
10	1,50	1,264 x10 <sup>6</sup>	4,48 x10 <sup>-15</sup>	5,657 x10 <sup>-9</sup>	5,455 x10 <sup>-9</sup>
	150,00			Carga total	1,989 x10 <sup>-6</sup>

Servido	6,82	s
Q entrante	0,14137	m <sup>3</sup> /s
Sup. total placas	117	m <sup>2</sup>

### Resultados

Densidad de carga "σ" por placa	1,700 x10 <sup>-8</sup>	C/m <sup>2</sup>
Campo a cada lado de la placa	1,921 x10 <sup>3</sup>	V/m
Campo generado en el equipo	40000	V/m

De la Tabla 12 se advierte que el campo eléctrico generado por todas las partículas que se podrían atrapar en la superficie de separación, de acuerdo a la hipótesis de cálculo presentada, es mayor que el campo generado por las placas del equipo para forzar dicha separación. Pero esta condición no se podrá alcanzar en la práctica, puesto que a medida que las partículas se vayan depositando en las placas, disminuirá progresivamente el campo del equipo, disminuyendo finalmente el rendimiento de separación hasta anularse.

De esta conclusión se desprende la necesidad de hacer un cambio en las superficies de separación, para evitar que las partículas generen el campo eléctrico que se contrapone al del equipo.

### Estudio de las modificaciones

Antes de estudiar alguna modificación posible es preciso identificar el motivo por el cual se genera ese campo eléctrico de contraposición. Cuando las partículas cargadas son atrapadas por las superficies de separación, que no son conductoras y por ende no están cargadas, dichas partículas se distribuirán sobre toda la superficie conformando una carga superficial. Estas cargas generarán entonces un campo eléctrico

sobre una de las caras de la superficie, cuya intensidad se indicó en la Tabla 12, y cuyo sentido resulta ser contrario al campo generado por el propio equipo para que se produzca la separación. Un esquema de esto se presenta en la Figura 10.

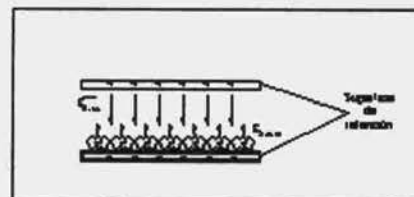


Figura 10. Campo de contraposición debido a la carga de las partículas

Entonces el problema radica en las cargas de las partículas y en la necesidad de anularlas de alguna forma para que no generen este campo de contraposición.

Una forma de solución que se propone aquí es la adoptada por los equipos actuales, en los que este inconveniente no se presenta, dado que cuando la placa de deposición está cargada con carga de signo contrario al de las partículas, las mismas se adhieren a la placa por atracción de cargas, generando así que cada partícula "neutralice" su carga con la de la placa (esto no implica que se pierda la atracción, puesto que las partículas no desprenden iones) (Guskov, 1996). En este caso las superficies de separación que se utilizaron antes se deben reemplazar por superficies conductoras conectadas a tierra, quedando una disposición como la mostrada en la Figura 11.

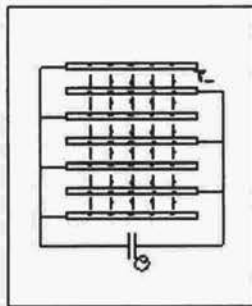


Figura 11. Nuevo esquema de conexión para las superficies conductoras

El estudio del comportamiento de esta disposición se hace fácilmente mediante el programa de cálculo, colocando para tal efecto "0" (cero) superficies de separación de espesor "0" (cero), una permeabilidad igual a la unidad, una separación entre las placas de 0,025 m y una cantidad de placas conductoras de 26 pares de 1,5 x 1,5 m.

Los resultados de esta corrida se muestran a continuación en las Tablas 13 y 14.

Como se ve, los rendimientos alcanzados son más altos que los indicados en la Tabla 10 y la tensión a aplicar en las placas es mucho más baja, mientras que el resto de los parámetros permanece con poca variación. El tiempo de operación, por su parte, sufre un cambio pronunciado y no puede ser claramente comparado entre los dos casos, porque la cantidad de área de separación cambió al sacar las superficies, aun cuando la forma de calcularlo es la misma, puesto que ahora se puede pensar en que son más de una capa las que se depositan en cada superficie. Luego, las 4,46 horas son sólo orientativas y responden a una sola capa de partículas en cada placa.

Tabla 13. Rendimientos de separación del modelo corregido

Diámetro [ $\mu\text{m}$ ]	$\eta_{\text{separación}}$ [%]
1	99,975
2	99,9999
3	100,000
4	100,000
5	100,000
6	100,000
7	100,000
8	100,000
9	100,000
10	100,000
Total	99,99924

Tabla 14. Resultados principales del programa del modelo corregido

Parámetro	Valor	Unidad
Concentración de entrada	150	$\text{mg.m}^{-3}$
Tiempo de operación	4,46	h
Campo promedio	534413	$\text{V.m}^{-1}$
Campo límite de chispa	560631	$\text{V.m}^{-1}$
Mínima tensión ( $U_0$ )	15308	V
Longitud de los cilindros	0,288	m
Altura total del equipo	1,56	m
Tensión en placas	1000	V

Con estas pautas es simple pensar que si se aumentan los pares de placas, se aumentarán la cantidad de horas de servicio y también el rendimiento, puesto que por un lado se suma superficie para la retención y por el otro se incrementa la sección de pasaje de los gases, bajando así su velocidad y elevando el rendimiento de separación.

Entonces, el cambio que se hará al equipo será quitar las superficies de retención no cargadas y colocar en su lugar superficies conductoras cargadas, como indica la Figura 11, y separadas la misma distancia que las superficies anteriores.

Los resultados que se obtienen con esta modificación superan a los obtenidos con la otra configuración, en especial en el tiempo de operación continua y en la tensión a aplicar en cada una de las placas.

### **Nota:**

*A partir de esta modificación es preciso aclarar que el tiempo de operación que alcanzará el equipo ya no es comparable, desde el punto de vista físico, al que se consideró para el caso de un equipo con superficies de separación en su interior.*

*Ahora las partículas no generarán un campo eléctrico de contraposición, y tampoco serán retenidas por acción mecánica.*

*Por este motivo, es muy probable que haya más de una capa de partículas sobre cada placa cargada y esto sólo se determinará mediante ensayos de laboratorio que escapan al alcance del presente trabajo.*

*Este nuevo comportamiento trae un nuevo límite conceptual al tiempo de operación, basado en que una vez que el campo eléctrico que se establezca entre las diferentes capas que se forman sobre una misma placa de colección alcance un valor igual o mayor al campo de ionización, habrá una re-ionización de las partículas ya cargadas, perdiéndose así parte de la carga que mantiene a las partículas adheridas a las placas.*

*Este efecto es el nuevo límite de tiempo de operación, pero como no será determinado en este trabajo, se adoptará el correspondiente a la formación de una única capa sobre cada placa.*

## **Conclusiones**

Analizando todos los resultados obtenidos a lo largo de los diferentes capítulos y evaluando el funcionamiento teórico del equipo a partir del programa de cálculo, se concluye que:

- Se ha logrado un diseño compacto del equipo en cuanto a sus dimensiones exteriores, considerando el tipo de servicio al que estará sometido.
- Se han alcanzado altos rendimientos de separación del particulado, aun con condiciones bastante variables de los parámetros de operación y de los componentes entrantes.
- Se ha logrado disminuir la tensión a aplicar entre las placas de separación, bajando la energía necesaria para la operación y mejorando los rendimientos de separación.
- Se ha generado un modelo matemático del equipo que permite predecir su comportamiento ante diferentes condiciones de operación y así dimensionar sus partes físicas, conforme se requiera.
- Por el tamaño pequeño del equipo, se ha logrado cumplir con el concepto de "compacto"; además, el modelo matemático permite modificar las dimensiones, haciendo que el estudio sea adaptable a las condiciones bajo las cuales deberá funcionar.

Adicionalmente, se ha logrado determinar con buena aproximación lo que sucede en cada etapa del equipo, por lo que cualquier cambio en las dimensiones o en los parámetros de operación puede ser entendido desde los cambios físicos que provoca, y no es necesario estudiar detalladamente el efecto a través del modelo.

El conocer a priori lo que sucederá en caso de cambiar algún parámetro mejora el uso del modelo para el estudio detallado de las condiciones de operación.



## Lista de variables

A continuación se presenta un listado ordenado de las variables utilizadas, junto a las correspondientes unidades.

- $A$ : Superficie de retención. [ $m^2$ ]  
 $C_c$ : Factor de corrección de Cunningham.  
 $C_e$ : Capacidad de una superficie de separación de espesor "e". [ $F$ ]  
 $C_{entrada}$ : Concentración de material particulado a la entrada al equipo. [ $mg/m^3$ ]  
 $C_t$ : Velocidad térmica del Ión. [ $m/seg$ ]  
 $C_{salida}$ : Concentración de material particulado a la salida del equipo. [ $mg/m^3$ ]  
 $C_v$ : Capacidad de los espacios vacíos. [ $F$ ]  
 $C_T$ : Capacidad total de la disposición. [ $F$ ]  
 $C_T$ : Cantidad de cargas disponibles.  
 $C(x)$ : Concentración de partículas para la posición.  
 $x^n$  [ $mg/m^3$ ]  
 $d$ : Diámetro del cable concéntrico. [ $m$ ]  
 $D$ : Diámetro del cilindro de ionización. [ $m$ ]  
 $d_p$ : Diámetro de la partícula. [ $m$ ]  
 $e$ : Carga del electrón.  
 $\vec{E}$ : Vector campo eléctrico. [ $V/m$ ]  
 $E(r)$ : Campo eléctrico para una distancia "r". [ $V/m$ ]  
 $J(r)$ : Densidad de corriente eléctrica entre electrodos. [ $A/m^2$ ]  
 $K$ : Constante dieléctrica de las superficies de separación.  
 $K_B$ : Constante de Boltzman.  
 $K_E = \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$   
 $m$ : Número de superficies de separación colocadas.  
Masa de la partícula. [ $kg$ ]  
 $n$ : Cantidad de espacios vacíos.  
Número de partículas de la especie "i" que se pueden cargar.  
Número de cargas por partícula indicado en la Tabla 9.  
Carga de la partícula. [ $C$ ]  
 $r$ : Radio genérico entre la zona de plasma y la unipolar.  
 $R$ : Radio interior del cilindro exterior de la zona de ionización. [ $m$ ]  
 $r_p$ : Radio de la partícula. [ $m$ ]  
 $r_w$ : Radio del cable. [ $m$ ]  
 $T$ : Temperatura. [ $K$ ]  
 $U_0$ : Tensión en el límite entre la zona de ionización y unipolar. [ $V$ ]  
 $y'$ : Velocidad de la partícula en la dirección vertical.  
 $y''$ : Aceleración de la partícula en la dirección vertical.  
 $\epsilon_0$ : Constante dieléctrica del vacío.

$\mu_G$ : Viscosidad del gas.

$\mu_e; \mu_p; \mu_n$ : Movilidad de los electrones, iones positivos y negativos, respectivamente.

$\rho_i$ : Densidad de cargas.

$\rho_{medio}$ : Densidad de cargas media generada en el interior del ionizador.

## Agradecimientos

El autor desea agradecer muy especialmente a P. Tarela por haber aceptado y llevado adelante la dirección del trabajo de tesis del cual se desprende este artículo y a O. Domínguez por haber apoyado el proyecto a lo largo de todo su desarrollo.

Este agradecimiento se hace extensivo también a familiares y amigos que lo han acompañado y a las empresas Arcan Engineering y Skanska L.A. por haber brindado el tiempo necesario para los ajustes finales.

## Referencias

- BARSOUKOV, E. (2002) *Stric Formulations of Corona Discharge Electrokinetics. Solutions for Field Intensity, Charge Dusty and Force*, [http://sudy\\_zhenja.tripod.com/lifter\\_theory/theor\\_corona2.html](http://sudy_zhenja.tripod.com/lifter_theory/theor_corona2.html)
- BÖTTNER, C. U.; SOMMERFELD, M. (2001) *Euler / Lagrange Calculations of Particle Motion in Turbulent Flow Coupled with an Electric Field*, Institut für Verfahrenstechnik, Martin – Luther – Univerität Halle – Wittenberg, D-06099 Halle (Saale), Germany. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference 2001, Swansea, Wales, Reino Unido.
- CHEN, J.; DAVISON, J. H. (2002) *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 22, Nº. 2, MN55455.
- CLARKSON UNIVERSITY (1997) *Drag Force and Drag Coefficient*, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, ME537, *The Mechanics of Aerosols*, [www.clarkson.edu/~rayb/crcd/aerosols/hydrodynamic\\_forces/hydrodynamic\\_force](http://www.clarkson.edu/~rayb/crcd/aerosols/hydrodynamic_forces/hydrodynamic_force)
- DAVISON, J. H. (2000) *Electrostatic Precipitators*, ME 5115.
- EPA / 452 / B-02-001. (1999) Section 6: Particle Matter Controls; Chapter 3: Electrostatic Precipitators, [www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs6ch3.pdf](http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs6ch3.pdf)
- GUSKOV, S. (1996) *Electrostatic Phenomena in Powder Coating*, (Presented in the Powder Coating '96 Conference in Indianapolis, Indiana, Powder System Group, Nordson Corporation, Amherst, Ohio, (1196).
- HUXLEY, L. G. H.; CROMPTON, R. W. (1974) *The Diffusion and Drift of Electrons in Gases*, John Wiley and Sons, New York.
- MOROW, R.; LOWKE, J. J. (1997) *J. Phys. D. Appl. Phys.* 30 (4), 614 – 627.

## La tutoría como estrategia de innovación educativa\*

S.Granado Peralta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,  
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información,  
Medrano 951, (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina.  
E- mail: *gperalta@sistemas.frba.utn.edu.ar*

Recibido el 16 de mayo de 2006; aceptado el 28 de julio de 2006

### Resumen

En el presente trabajo se tratan algunas de las cuestiones analizadas en la tesis de Maestría: "Los saberes previos, el Sistema Institucional de Tutorías y la inserción temprana de los alumnos en la carrera Ingeniería en Sistemas de Información de UTN-FRBA".

Se toma como estudio de caso la situación de los alumnos ingresados a dicha carrera en 2004, año en que se implementa en la Facultad Regional Buenos Aires el Sistema Institucional de Tutorías. El propósito planteado es mostrar que la disponibilidad de los saberes adquiridos por el estudiante en el nivel medio y la ayuda de un tutor mejoran el rendimiento académico y la inserción en el nuevo escenario y que esto incide en la permanencia de los ingresantes en el sistema.

**PALABRAS CLAVE:** INSERCIÓN – PERMANENCIA – DESEMPEÑO - TUTOR

### Abstract

The present work deals with some of the issues analysed in the master thesis: "The previous skills, the Institutional System of Tutorials and the early insertion of the students in the Engineering in Systems of Information Programme of UTN-FRBA"

The situation of the students that entered to this programme in 2004 is taken as the case under study; in that year, the Institutional System of Tutorials was implemented at the Buenos Aires Regional Faculty. The purpose outlined is to show that the availability of the skills acquired by the student at the high school level and the help of a tutor improve the academic yield as well as the insertion in the new panorama, thus influencing the permanence of those coming in the system.

**KEYWORDS:** INSERTION – PERMANENCE – PERFORMANCE - TUTOR

---

\* Trabajo realizado sobre la base de la tesis presentada por S. Granado Peralta para optar al grado de Magíster en Docencia Universitaria, bajo la dirección de M. Mollis

## Introducción

La sociedad ha experimentado profundos cambios en los últimos años, que no pueden ser ignorados en el momento de educar. "En las últimas décadas del siglo XX asistimos a un conjunto de transformaciones económico -sociales y culturales cuya vertiginosidad y complejidad no reconoce precedentes" (Filmus, 1996).

Según Filmus, [...] "El conocimiento, la ciencia, la tecnología y la capacitación de los ciudadanos pasa a ser la principal estrategia para el crecimiento con equidad de los países, al mismo tiempo que los sistemas educativos muestran una menor capacidad de responder a las nuevas demandas que les plantean los actuales modelos de desarrollo" [...].

En la actualidad, la educación y en particular la carrera de grado, si bien no garantizan movilidad social ni ofrecen demasiadas ventajas para insertarse en el medio laboral, podemos decir que cumplen el papel de "paracaídas" y posibilitan un descenso más lento durante las crisis. (Gallart, 1992).

Vivimos en un mundo cambiante y vertiginoso en el que el consumismo, la individualidad y la ley del menor esfuerzo parecen triunfar; un mundo en el que la ética aparentemente no tiene cabida; un mundo en el que no importa el pasado ni se proyecta el futuro.

Esta es la sociedad en la que nos desenvolvemos y a la que pertenecen los jóvenes que comienzan su trayecto universitario. Está claro que la universidad, no puede ignorar esta realidad pues una de sus funciones es preparar a sus graduados para desempeñarse en ella. Sociedad contradictoria en la que conviven enormes progresos tecnológicos con la degradación del esfuerzo y la dedicación, así como el consumismo y la devaluación de valores más profundos que hacen a la formación del ser humano.

Este escenario pide, con urgencia, articular las relaciones entre la educación, en todos sus niveles, la producción científica y tecnológica y la sociedad. Según Müller (2002) [...] "estamos en el momento preciso para reafirmar la tarea educativa como proceso orientador, como acompañamiento de la continua conquista de convertirnos en más humanos, con afán de personalizarnos y solidarizarnos con nuestra especie, de interrogarnos y reflexionar desde los valores, desde lo que elegimos preservar y desarrollar como vida de mejor calidad, de mayor humanidad" [...].

Para mejorar la calidad educativa es necesario mirar críticamente los procesos de formación, enseñanza y aprendizaje. Así que, es preciso, que en cada uno de

los niveles que conforman el trayecto educativo, exista un espacio de acompañamiento al alumno. Un espacio que favorezca su inserción y permanencia en el medio al que accede, que le permita adquirir estrategias para que su aprendizaje sea integral y para que pueda reflexionar acerca de la problemática social.

En el mundo de hoy, frente a un nuevo milenio y a una redefinición del orden mundial, la educación está teniendo un lugar nuevo y diferente. El rol de las instituciones educativas en la vida de los jóvenes también ha sufrido cambios: ya no se las piensa como simples transmisoras de conocimientos, sino como contenedoras y formadoras de la personalidad del alumnado.

Según Müller, [...] "La escuela como instructora ha cedido paso en forma creciente, a la escuela asistencial y tutorial que suple funciones hoy difíciles de cumplir en la familia en crisis y ante las transformaciones socioculturales[...]" Creemos que en este contexto la figura del tutor, entendido como orientador, debería existir en cada institución educativa donde, según sus necesidades, tendrá un perfil particular.

Es el docente quien en cada nivel educativo, hace de la educación un proceso integral y personalizado.

La labor educativa trata de favorecer el crecimiento y la madurez de cada estudiante en sus dimensiones personal, social, moral y trascendental. Desde esa perspectiva el trabajo cotidiano apunta al desarrollo de las capacidades en los niveles psicomotor, cognitivo, afectivo-personal y moral. Se trata de que el estudiante pueda autorregular su aprendizaje a través de un proceso activo y constructivo que le permita tener experiencias de aprendizaje significativo. En todo este proceso, los docentes entablan con los estudiantes una relación personal de cercanía, convivencia y amistad, que favorece la consecución de estos objetivos en un clima en el que todos se sienten a gusto. Esta orientación, que debe ser continua porque el proceso educativo lo es, hace que la institución se adapte a los jóvenes.

La función del docente como orientador cumple una labor muy importante en la personalización de la enseñanza, en el aprendizaje y en la educación del individuo, de ahí que esa acción tutorial sea continua.

Se trata de coordinar la intervención de las distintas personas e instituciones involucradas con la familia y cada uno de los grupos informarles a los que el alumno pertenece. De esta forma es posible pensar que el educando se auto orientará y podrá, progresivamente, tomar decisiones fundadas en cuanto a su vida académica, social y profesional.



El papel del tutor se centra en el acompañamiento para encontrar un camino personal de inserción social.

## El tutor en la universidad

La Universidad intenta brindar una educación integral, en cuanto a conocimientos, actitudes, ética profesional y problemas inherentes a la sociedad en la que está inmersa. Busca la excelencia de los futuros graduados, docentes altamente calificados y se preocupa por la investigación y por la calidad de los proyectos educativos. Pero, a la vez, se encuentra con un alto grado de deserción y frustración, fundamentalmente durante los primeros años de la carrera, que inciden en la prolongación de los estudios superiores y en el fracaso del proyecto educativo. Estamos viviendo, a nivel mundial, un momento de numerosas transformaciones sociales, culturales, laborales y económicas y la problemática educativa no escapa a esta realidad. Al respecto, Müller dice: [...] "La crisis educativa y ética que transcurre en este contexto urge replantear la formación universitaria y la actualización de sus docentes. [...] requiere acompañar a los alumnos y las alumnas en sus procesos de aprendizaje, en su integración a la vida académica y a los objetivos de la universidad elegida...."

Es imprescindible construir un puente entre el nivel medio y el universitario y crear un espacio institucional que dé respuesta a esta difícil situación, de modo que se optimice el tránsito del estudiante por la Universidad. Al considerar al individuo como centro de un proceso integral de educación, desde el nivel inicial hasta el universitario, la acción del tutor en la universidad es necesaria y se constituye como un dispositivo de innovación curricular y didáctica.

Los tutores deben:

- facilitar a los alumnos la toma de decisiones respecto de su itinerario académico;
- favorecer el desarrollo de habilidades y estrategias de aprendizaje, potenciando las fortalezas y respetando las diferencias individuales;
- atender la problemática de la actitud ante el estudio y las evaluaciones y
- aconsejar respecto de posibles crisis de vocación.

Sintetizando, deben brindar a los alumnos ayuda sistemática e integrada para hacer frente a las demandas académicas, personales y sociales que implica la inserción en el nuevo escenario.

Se ve claramente que las funciones de un tutor están vinculadas con lo académico, lo institucional y lo administrativo. En efecto, la función tutorial tiene incumbencias académicas, por cuanto permite desarrollar las habilidades necesarias para aprender y reflexionar acerca de los hábitos de estudio. Es también un ámbito donde el estudiante tiene una orientación personalizada en función de sus necesidades, que puede ajustarse y acomodarse en el tiempo. Es el ambiente adecuado para lograr que el aprendizaje sea eficaz, para hacer un seguimiento y orientar en función de las dificultades que se van presentando y a la vez favorecer la toma de decisiones vocacionales.

Respecto de las incumbencias institucionales debe colaborar con el alumno para que se integre a un nuevo grupo, ayudarlo a conocer la cultura institucional y sus objetivos y aconsejarlo en la elección de un circuito académico alternativo en el caso de no poder responder a las demandas del plan de estudios.

En cuanto a los aspectos administrativos, debe ayudarlo en el conocimiento de los circuitos de esa índole para resolver cuestiones puntuales, tales como modalidad y horarios de biblioteca, inscripción a exámenes finales, horarios de clases de consulta.

El tutor puede, a partir del conocimiento de los intereses del alumno, proporcionar una orientación que encamine su proyecto personal, académico y profesional.

Con la tutoría universitaria se pretende que el alumno disponga de un apoyo personalizado que facilitará su adaptación a la lógica universitaria, la planificación correcta de su itinerario curricular, la optimización del rendimiento académico y el acceso al mundo laboral. En este sentido, es tarea del tutor la información, la formación y la orientación del alumno durante su estancia en la Universidad.

Las tutorías intentan dar respuesta a las necesidades tanto de la institución como de los estudiantes y se relacionan con la masificación de la universidad y con la heterogeneidad de los estudiantes. Las tutorías constituyen un dispositivo institucional para mejorar el rendimiento académico del alumno y favorecer su integración en el medio universitario.

La Facultad Regional Buenos Aires es consciente de la necesidad de implementar medidas, que además de posibilitar el ingreso atiendan a la retención y graduación de los alumnos en las diversas ofertas educativas.

En la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, la problemática planteada está agravada por las



siguientes razones: crecimiento desmedido de la matrícula sin aumento presupuestario en la década del ochenta, auge de la tecnología informática y alumnos ingresantes con ideas equivocadas acerca de la especialidad. Estas cuestiones incluyen desconocimiento tanto del plan de estudio como de las incumbencias profesionales, lo que provoca frustración y abandono por fracasos reiterados.

El propósito de este trabajo es mostrar la incidencia de la disponibilidad de los saberes previos, adquiridos en el nivel medio, y la figura del tutor, como facilitadores para responder a las demandas académicas.

### Análisis de una muestra

Nos ocuparemos de considerar la función tutorial como dispositivo de contención y retención, tomando como población a los ingresantes a Ingeniería en Sistemas.

Para implementar el sistema tutorial se entregó material a los tutores, con el objeto de llevar a cabo las actividades de la siguiente manera:

Se realizó una primera reunión grupal, con todo el curso, durante la cual el tutor debía presentarse, explicar el sentido y las características de su función y administrar un cuestionario para recabar información de los datos personales y el perfil académico del estudiante. A partir de allí se realizó un primer diagnóstico del alumno, que fue complementado con una entrevista individual obligatoria para todos los tutorados.

Sobre la base de las características de cada estudiante, sus recursos cognitivos e interpersonales, se realizaron dos entrevistas más durante el cuatrimestre, en las cuales se realizó un seguimiento del tutorado. En total se debían concretar cuatro entrevistas. Al finalizar el período era posible tener una idea del trayecto académico de cada estudiante. Este acompañamiento personal fue sostenido, además, a través de la comunicación vía correo electrónico o telefónicamente.

Para monitorear la tarea y ayudar a resolver los problemas, que pudieran presentarse, se organizaron encuentros quincenales o semanales para aquellos tutores. Se solicitó un informe acerca de lo acontecido a lo largo del cuatrimestre tanto al tutor como al tutorado, en el que constaban la cantidad de encuentros o reuniones con los estudiantes, las dudas o inquietudes encontradas y cualquier otro dato de interés. Teniendo en cuenta que los profesores de las asignaturas Matemática Discreta e Ingeniería y Sociedad, de primer año de la especialidad, encontraban que los estudiantes tenían las mismas

dificultades, entre las que se destacaban la dificultad para interpretar consignas de trabajo, la incapacidad para extraer ideas principales, la inconsistencia entre el rendimiento en los parciales en relación con lo que los alumnos decían estudiar, se decidió que las tutorías se desarrollarían en los cursos correspondientes a Matemática Discreta.

De la población de alumnos afectados al Sistema Tutorial sólo seiscientos cuatro planillas de primera reunión grupal volvieron a la coordinación, es decir que el 22 % de los estudiantes no completó la primera ficha de seguimiento. Esta situación pudo haberse dado por distintos motivos: se inscribieron en la asignatura en la que se aplicaba la tutoría y finalmente no la cursaron; no asistieron el día de la visita del tutor; el tutor asistió, se presentó y no llevó el material, o, ante la manifestación de que la actividad no era obligatoria, decidieron no participar de la misma.

Ciento setenta (40 %) alumnos tutorados corresponden a la muestra con la que se trabajó y que se constituyó con cuatrocientos seis estudiantes que cursaron el Seminario Universitario y dieciocho de los que rindieron y aprobaron el examen de admisión en el mes de diciembre de 2003.

La Tabla 1 muestra la distribución de promedios de graduación obtenidas por los ingresantes en el nivel medio y el número de alumnos, discriminados por nota que están afectados al sistema tutorial.

**Tabla 1. Número de alumnos tutorados discriminados por nota en el nivel medio**

Promedio en nivel medio	Número de alumnos	Alumnos con tutor
5 - 5,99	1	0
6 - 6,99	44	21
7 - 7,99	187	92
8 - 8,99	138	45
9 - 9,99	54	12
Total	424	170

La menor demanda del tutor está dada por alumnos cuyo promedio en el nivel medio está entre 8 - 8,99 y 9 - 9,99.

Llama la atención, también, que menos de la mitad de los estudiantes con promedio de graduación entre 6 y 6,99 consideren necesaria la ayuda de un tutor.

Es posible pensar que aún su actitud es la de un alumno

de nivel medio y no la de un estudiante universitario preocupado por avanzar en su carrera.

Hay algunos estudiantes (doce de cincuenta y cuatro) con nota en el rango 9 -9,99 que están afectados al sistema de tutorías. Esto muestra que independientemente del rendimiento en el nivel medio otros factores, tales como la problemática de insertarse en un nuevo ambiente, hacen oportuno recurrir a una ayuda adicional. Esta cuestión debe ser considerada al evaluar la figura del tutor.

### Relación entre tutorías y desempeño en el primer nivel de la carrera

Para analizar esa relación se tomaron los datos obtenidos de dos planillas:

Integradora I e Integradora II. En Integradora I figuran las notas obtenidas en la graduación en el nivel medio y en la prueba de admisión, la modalidad de cursado en el nivel anterior y el desempeño en el primer nivel de la carrera. En Integradora II, se comparan esos datos con las planillas de seguimiento académico entregadas por los tutores y las de desempeño académico, facilitadas por la Secretaría de Gestión Académica de la Facultad Regional.

### Relación entre tutorías, saberes previos y desempeño

Si se cruzan los datos anteriores se puede deducir que el rendimiento de los estudiantes se caracteriza como mediano y que en el 62 % de los casos se ha mejorado el desempeño a partir del segundo cuatrimestre, cuando comenzaron su programa tutorial.

Las conclusiones a las que se arribó son las siguientes:

- De los treinta y siete tutorados que obtuvieron cuatro en la prueba de admisión, veinticuatro (65 %) han firmado entre 0-2 asignaturas y cuatro (11 %) han aprobado entre 6-9 asignaturas. Dos de esos alumnos se han recibido en el nivel medio con promedio entre 8-8,99.
- Los estudiantes que obtuvieron cinco en la prueba de admisión también mayoritariamente están en el mismo rango de rendimiento. Sin embargo, se destacan dos alumnos que han firmado y aprobado entre 6 y 9 asignaturas y cuyo promedio del nivel medio fue entre 9 y 9,99.
- De los estudiantes que ingresaron con seis y se recibieron con promedio similar, el 46 % firmaron o aprobaron entre 3 y 5 asignaturas.

Tabla 2. Rendimiento de alumnos

Materias Firmadas			Materias aprobadas			Alumnos con Tutor
0 - 2	3 - 5	6 - 9	0 - 2	3 - 5	6 - 9	
24	12	1	23	12	2	37
16	18	1	22	11	2	35
35	11	0	29	15	2	46
18	7	0	19	5	1	25
6	8	1	7	8	0	15
6	6	0	5	6	1	12
105	62	3	105	57	8	170

Si se compara el rendimiento explicitado con el de alumnos no afectados al Sistema Tutorial y se considera que el mejor rendimiento está dado por aquellos estudiantes en los que el número de asignaturas regularizadas está entre cero y dos y al mismo tiempo el número de aprobadas entre seis y nueve, se tiene que el acompañamiento de un tutor si bien no es determinante de una mejora drástica en el desempeño de los alumnos más flojos, de alguna manera ayuda a encontrar el camino y es significativa para los alumnos medios (entre tres y cinco asignaturas aprobadas).

- Alumnos con nota de graduación entre 9- 9,99 en el nivel medio, no aprobaron más de dos asignaturas.
- De los veinticinco alumnos que ingresaron con siete, dos, cuyo promedio fue entre 9 y 9,99, han aprobado entre 3 y 5 materias y ninguno está en el intervalo 6-9 para las asignaturas aprobadas.
- Los alumnos que ingresaron con ocho están en la banda de 3-5 materias firmadas o aprobadas.

- Los alumnos que ingresaron con nueve tuvieron un desempeño mediocre. Si bien se trató de alumnos tutorados y se vislumbraron dificultades ajenas a los saberes específicos de las asignaturas

Por lo tanto, se evidencia la necesidad de difundir la figura del tutor, como nexo entre las falencias de los estudiantes y las demandas académicas. La falta de articulación entre los niveles involucrados hace que las propuestas pedagógicas sean fragmentadas, que los estudiantes no aprendan a desarrollar su pensamiento y una de las consecuencias es la deserción por fracasos reiterados.

### Relación entre tutorías e inserción en el ámbito universitario

Una vez establecidas las correlaciones anteriores importa conocer el papel de la acción tutorial en cuanto a la inserción de los ingresantes en el primer nivel de la carrera.

Se trabajó con los ciento setenta alumnos con tutor ya que, por un lado, se conocía la expectativa de los estudiantes acerca del programa tutorial y por el otro, con alumnos sin tutor solamente se podrían haber inferido algunos resultados.

Como la muestra está constituida por estudiantes que aprobaron el examen final sin cursar el Seminario Universitario y otros que sí lo cursaron, se trabajó con dos subconjuntos: once alumnos que rindieron final y ciento cincuenta y nueve que ingresaron después de cursado y aprobado el Seminario Universitario.

A continuación, se realizaron indagaciones mediante las fichas de seguimiento y los tutores acerca de:

- Grado de integración familiar
- Grado de integración social
- Grado de integración en la facultad.

Haciendo un análisis del desempeño académico de los alumnos que aprobaron la prueba de admisión sin cursar el Seminario Universitario, se llegó a la conclusión de que tuvieron un muy buen desempeño durante el primer nivel de la carrera, y están afectados al régimen tutorial, aunque éste no es obligatorio.

Una de las lecturas que puede hacerse es que las tutorías universitarias son vistas, por algunos estudiantes, como un espacio de formación e información donde no solamente se asiste para la solución de dificultades académicas sino también para resolver otros problemas, que aun siendo graves muchas veces son ignorados, como es el caso de la asistencia y el apoyo para el conocimiento e inserción del ingresante en el escenario de la facultad.

Estos alumnos manifestaron que conocían técnicas para estudiar y que pudieron aplicarlas, fueron metódicos para afrontar las demandas académicas, pero al mismo tiempo estuvieron inseguros para desenvolverse en el escenario de la universidad. Esta cuestión influye negativamente para insertarse en el medio universitario y por lo tanto dificulta la permanencia del ingresante ya que al no poder comunicarse, desconoce los pasos a seguir para solucionar los problemas que se presentan.

La Figura 1 muestra el excelente desempeño de los alumnos que presentan las dificultades explicitadas.

Con referencia a los ciento cincuenta restantes (aquellos que cursaron y aprobaron el Seminario Universitario) se da la siguiente situación, también expresada por medio de la Figura 2, que muestra los resultados obtenidos.

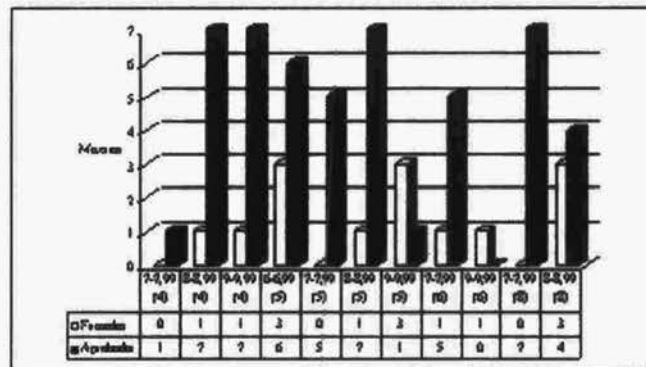


Figura 1. Rendimiento académico de alumnos tutorados con déficit de integración

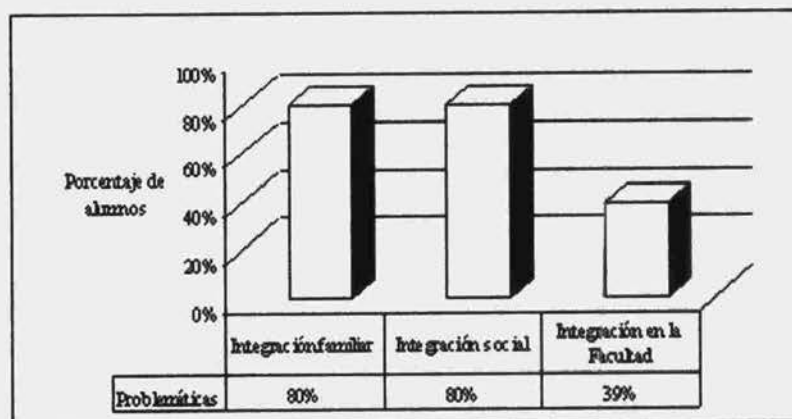


Figura 2. Dificultades no académicas presentada por los alumnos

Cabe aclarar que el haber elegido mostrar el desempeño académico de los once estudiantes que no hicieron el Seminario Universitario y exhibir los resultados del cuestionario relativos a la inserción en el escenario de nuestra Facultad y en cuanto a la forma de relacionarse con los pares o familia, del conjunto de estudiantes que sí cursaron el Seminario Universitario, tiene como objetivo alertar que en forma independiente del desempeño académico, muchos ingresantes carecen de herramientas para desempeñarse en la Facultad.

Esta cuestión se agrava por conflictos para relacionarse en lo cotidiano. Es aquí, para las causas endógenas de inserción, donde la Facultad puede y debe intervenir.

## Algunos resultados

Podemos decir que el sistema tutorial, implementado por la Facultad Regional Buenos Aires, es un dispositivo interesante aunque aún no se ha difundido en la comunidad universitaria.

Asiste, a los alumnos que lo requieren, desde distintas perspectivas:

- Académicas, como aprender a estudiar, ya que reconocen ignorar hábitos y metodologías.
- Como instrumento facilitador para insertarse en el nuevo escenario, aun conociendo la forma de estudiar.
- Como instrumento de remediación, para encarrilar el desempeño.

Por otra parte, se concluye que:

- Los alumnos involucrados constituyen una

población heterogénea en cuanto a intereses, habilidades y desempeño.

- La menor demanda del tutor está dada por alumnos cuyo promedio en el nivel medio está entre 8 - 8,99 y 9 - 9,99.
- Menos de la mitad de los estudiantes con promedio de graduación entre 6 y 6,99 consideran necesaria la ayuda de un tutor.
- Hay algunos estudiantes (doce de cincuenta y cuatro) que, con nota en el rango 9 - 9,99, están afectados al sistema de tutorías. Esto muestra que independientemente del rendimiento en el nivel medio otros factores, tales como la problemática de insertarse en un nuevo ambiente, hacen oportuno recurrir a ayuda adicional.

Específicamente:

### a. En cuanto a la relación entre tutorías y desempeño en el primer nivel de la carrera

Como consideramos que el mejor rendimiento está dado por aquellos alumnos que regularizaron entre cero y dos asignaturas y al mismo tiempo aprobaron entre seis y nueve; se concluye que la figura del tutor ayuda a mejorar el desempeño en el caso de los alumnos más flojos (ninguna o dos asignaturas regularizadas y a veces ninguna aprobada) y es significativa para los alumnos medios (entre tres y cinco asignaturas aprobadas) quienes, sin duda alguna, mejoraron su desempeño a partir de la relación con el tutor.

### b. En cuanto a la relación entre tutorías, saberes previos y desempeño



Si consideramos que el mejor rendimiento está dado por aquellos alumnos que regularizaron entre cero y dos asignaturas y al mismo tiempo el número de aprobadas varía entre seis y nueve, puede decirse que la figura del tutor ayuda en el caso de los alumnos más flojos, y es significativa para los alumnos medios (entre tres y cinco asignaturas aprobadas).

De los cuatrocientos veinticuatro alumnos que constituyen la muestra, hay una pequeña mayoría (doscientos setenta y uno) que manifiesta tener cierta rutina para estudiar. Trescientos veinte (75 %) no utiliza técnicas de estudio y solamente setenta y dos utilizan técnicas y además tienen hábitos para hacerlo. El acompañamiento de un tutor revirtió la situación expuesta, ya que se mejoró el desempeño a partir del segundo cuatrimestre.

Llama la atención que alumnos que no saben desempeñarse en el nuevo escenario no consideren necesaria la ayuda del tutor. Los docentes caracterizan a esos estudiantes como: inmaduros, dependientes, con poca capacidad creativa, con actitudes de espectadores y no de protagonistas, con escaso juicio crítico y cuestionamientos, poseen una formación regular con escasos contenidos teóricos, no relacionan teoría y práctica, tienen faltas de ortografía, dificultades para hacer abstracciones, para comprender textos y redactar y desconocen los alcances de la carrera y las incumbencias profesionales. Si bien no podemos hablar de un fenómeno notable, ya que se trata de alumnos que recusan, sí es necesario destacar la labor del tutor, quien sin conocer la materia debe ayudar a los alumnos a revertir la modalidad de estudio, acompañarlos en la adquisición de estrategias cognitivas, ayudarlos en la organización de un cronograma de exámenes parciales y finales, aconsejarlos respecto de la asistencia a las clases de consulta.

Sintetizando puede afirmarse que, en general, el rendimiento alcanzado por los estudiantes es mediano, aunque fue mejorado después de haber iniciado su plan tutorial. Los alumnos que obtuvieron cuatro en la prueba de admisión regularizaron entre 0 y 2 asignaturas con excepción de aquéllos que tenían un buen desempeño en el nivel medio. El desempeño de los alumnos que ingresaron con cinco es similar, aunque se destacan dos estudiantes con promedio de graduación en el intervalo 9-9,99. Con referencia a los alumnos que ingresaron con seis (nota media) se destaca que su nota de graduación es similar y que su desempeño en el primer nivel de la carrera es también medio. Los alumnos que aprobaron la prueba de admisión con siete no se destacan por su

desempeño en primer año, ya que ninguno de ellos ha aprobado más de cinco asignaturas. Los estudiantes que ingresaron con ocho o nueve no han tenido un buen rendimiento en el primer nivel de la carrera, pero sí en su nivel medio.

La Figura 3 muestra la situación analizada:

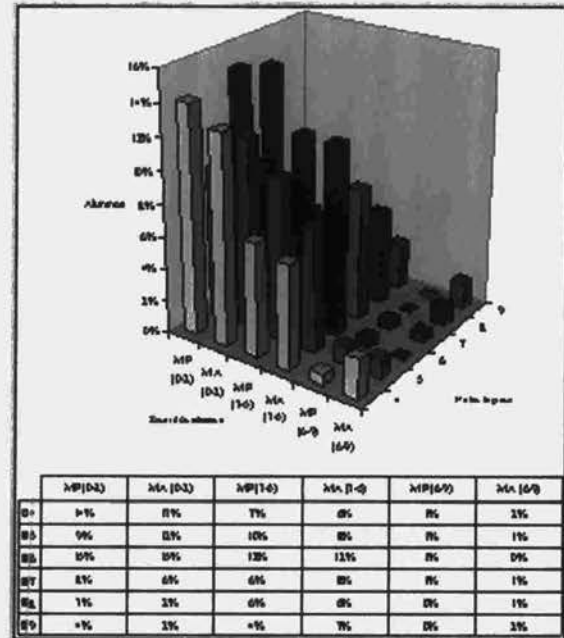


Figura 3. Desempeño y Tutorías

## Conclusiones

- Los alumnos afectados al sistema tutorial constituyen una población heterogénea en cuanto a intereses, habilidades y desempeño.
- Los estudiantes presentan resistencia a ser ayudados, a pesar de tener dificultades para insertarse en el escenario universitario.
- El tutor debería trabajar en equipo con el docente y de esa forma constituirse en un canal efectivo de comunicación entre el alumno y el profesor. Sin embargo, esta situación no es común, pues no todos los docentes perciben al sistema implementado como un dispositivo institucional cuyo único objetivo es contribuir a mejorar la calidad educativa y algunas veces se cree que apunta a un control sobre las prácticas docentes.

El papel del tutor se debe centrar en:

- Ayudar a los alumnos ingresantes en las



decisiones académicas en cuanto a la elección de trayectos alternativos, en el caso de no poder responder a las demandas de todas las asignaturas que el estudiante está cursando.

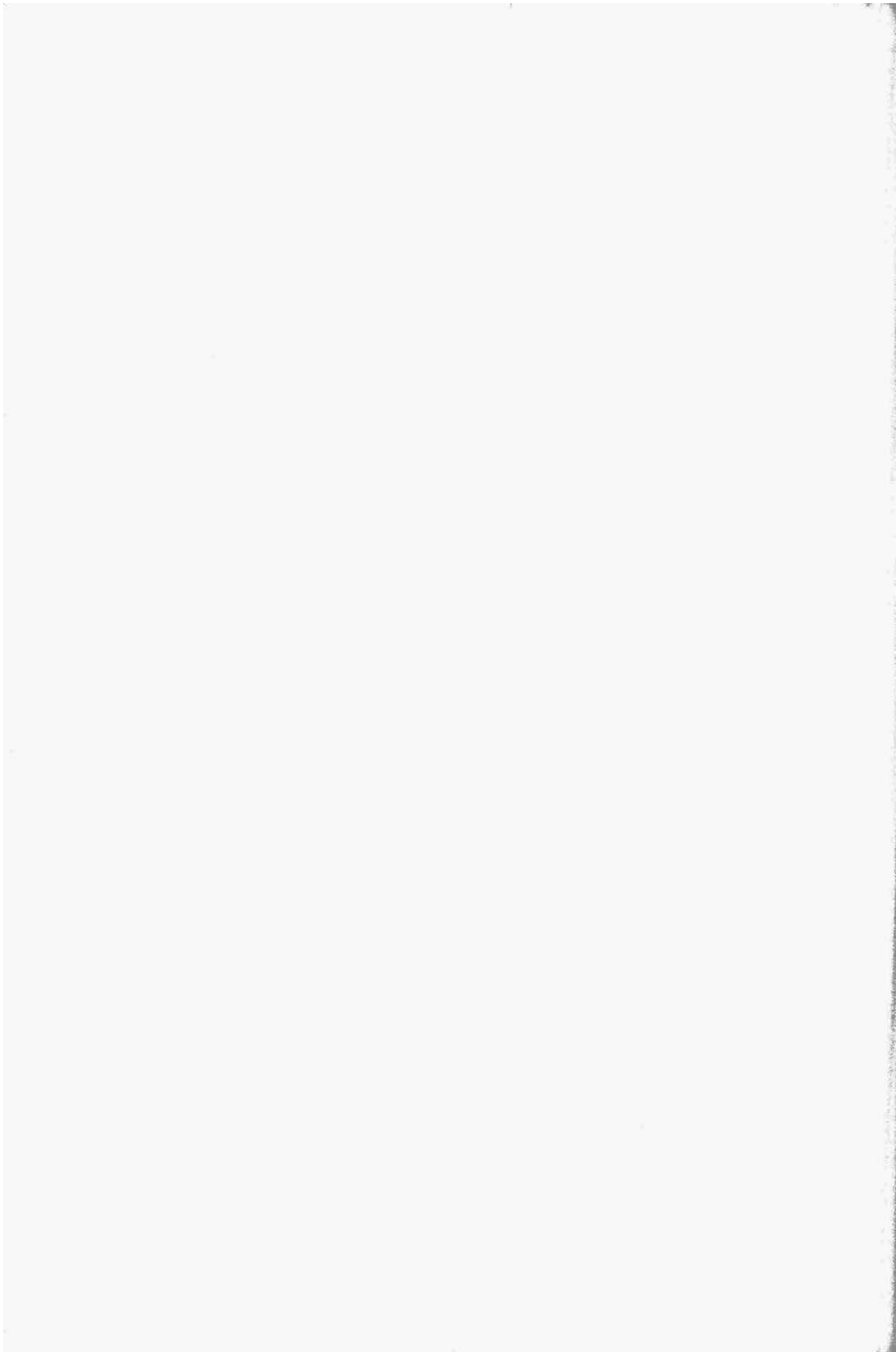
- Actuar como mediador entre la dificultad y el tutorado, pero de ninguna manera revertir situaciones sin la voluntad del interesado.
- aconsejar en la forma de encarar el estudio pero no explicar las asignaturas, es decir el tutor muestra el camino que hay que recorrer; depende de cada uno empezar a caminarlo.
- Favorecer la inserción temprana de los estudiantes en la carrera. Esta situación es evidente, por cuanto muchos alumnos afectados al sistema tutorial que no tienen dificultades para el desenvolvimiento académico, ven al tutor como facilitador de la inserción en el nuevo escenario.

Teniendo en cuenta lo expuesto en cuanto al sistema implementado y a las acciones del tutor, nos permitimos sugerir:

- Sostener al actual Sistema Institucional de Tutorías.
- Destinar un lugar fijo para las actividades tutoriales.
- Establecer trayectos de capacitación continua para tutores, con el objetivo de formar un grupo homogéneo en cuanto a habilidades e intereses.
- Organizar talleres de discusión para compartir experiencias y determinar fortalezas y debilidades.
- Arbitrar los medios para que la tutoría pase a ser una actividad extracurricular reconocida por los estudiantes.
- Organizar regularmente para los alumnos talleres de metodologías y hábitos de estudio.
- Organizar, por especialidad, talleres de difusión de la figura del tutor al que asistan docentes, alumnos y tutores.
- Concientizar a los docentes cuyos alumnos estén afectados al Sistema de Tutorías acerca de que es necesario y posible trabajar con el tutor y no contra el tutor.

## Referencias

- FILMUS, D. (1996) *Estado, sociedad y educación en la Argentina de fin de siglo*. Buenos Aires, Troquel.
- GALLART, M. A. (1992) comp. *Educación y trabajo. Desafíos y perspectivas de investigación y política para la década de los noventa*. Red Latinoamericana de educación y trabajo CHD-CENEIV CINTERFOR, Montevideo.
- GRANADO PERALTA, S. (2006) "Los saberes previos, el Sistema de Tutorías y la inserción temprana de los alumnos en el primer nivel de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información", Tesis de Maestría.
- MÜLLER, M. (2002) *Docentes Tutores*. Buenos Aires, Bonum.



## Estudio del efecto antioxidante de extractos vegetales

L. Janczuk, M. C. Gutiérrez, P. Della Rocca\*

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,  
Grupo Tecnología de Alimentos, Departamento de Ingeniería Química,  
Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.  
E-mail: [patriciadellarocca@hotmail.com](mailto:patriciadellarocca@hotmail.com)

Recibido el 30 de junio de 2006; aceptado el 11 de agosto de 2006

### Resumen

Se analizó la autooxidación de los lípidos y particularmente el efecto antioxidante que ejercen los extractos de diversos productos de origen vegetal (porotos de soja, salvado de avena, ajo, romero y coriandro) sobre la oxidación del aceite de maíz durante su almacenamiento en condiciones estáticas a una temperatura de 60 °C. Asimismo, se estudió la influencia de las variaciones en la concentración de los extractos y el uso de diferentes solventes de extracción (etanol, metanol y acetato de etilo) en la capacidad antioxidante de los mismos. La actividad antioxidante se examinó a distintos intervalos de tiempo mediante el método de índice de peróxido (AOCS, 1997) y en todos los casos los resultados fueron comparados con la capacidad antioxidante de un antioxidante sintético, el butilhidroxitolueno (BHT). Los compuestos fenólicos de algunos de los extractos (porotos de soja, salvado de avena y ajo) se determinaron por métodos espectrofotométricos. También se caracterizó el aceite utilizado determinándose su composición en ácidos grasos por cromatografía gaseosa y se verificó la ausencia de antioxidantes agregados mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). A partir de los resultados obtenidos se pudo inferir que los extractos etanólicos de ajo, porotos de soja y de las especias, romero y coriandro poseen actividad antioxidante sobre el aceite de maíz en las condiciones de los ensayos de oxidación. El extracto de ajo y los extractos de las especias (romero y coriandro) demostraron poseer una actividad antioxidante significativa. En el caso de las especias, romero y coriandro, se pudo apreciar una importante acción antioxidante aun en presencia de prooxidantes (cationes metálicos). El contenido de compuestos fenólicos resultó ser superior en los extractos etanólicos.

**PALABRAS CLAVE:** AUTOOXIDACIÓN LIPÍDICA- ANTIOXIDANTES NATURALES- PRESERVACIÓN DE ALIMENTOS- EXTRACTOS VEGETALES- INHIBIDORES DE OXIDACIÓN LIPÍDICA

### Abstract

The lipid autoxidation and, especially, the antioxidant activity of the extracts of different vegetables like soy beans, oat bran, rosemary and coriander and their effects on the corn oil oxidation during storage at a temperature of 60°C, were studied. The influence of the concentration variation and the type of the extraction solvent were also evaluated. The solvents analysed were: ethanol, methanol and ethyl acetate. The antioxidant activity was examined by the peroxide index (AOCS, 1997). The results were compared by a synthetic antioxidant, butylhydroxytoluene, BHT. The phenolic compounds were determined by spectrophotometry. The oil was characterized in its fatty acid composition by gas chromatographic. The ethanolic extracts of garlic, soya beans and the spices, rosemary and coriander, have an antioxidant effect on corn oil. The garlic extract and the spices extracts (rosemary and coriander) showed noticeable antioxidant activity. In the case of the ethanolic extracts of the spices, rosemary and coriander an important antioxidant effect was observed even in the presence of prooxidants like metallic cations. The phenolic compounds content in the ethanolic extracts was higher than in the extracts of other solvents.

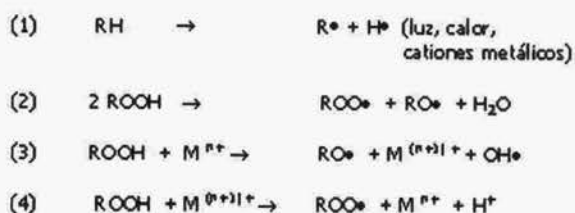
**KEYWORDS:** LIPID AUTOOXIDATION- NATURAL ANTIOXIDANTS- FOOD PRESERVATION- VEGETABLE EXTRACTS- LIPID OXIDATION INHIBITORS

## Introducción

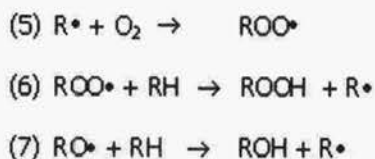
La oxidación de los lípidos es una de las principales causas del deterioro de alimentos, que tiene una gran implicancia económica sobre la industria ya que reduce el tiempo de vida útil de los mismos. Los alimentos afectados resultan inaceptables frente al consumidor, debido al desarrollo de aromas y sabores desagradables. Sin embargo, cierto grado de oxidación es deseable en la producción de algunos quesos típicos o en los alimentos fritos. Ciertos productos obtenidos en la oxidación realzan el aroma y hacen en algunos casos más apetecibles determinados alimentos. La oxidación también ocasiona modificaciones en las proteínas similares a las producidas por la exposición de los alimentos a la radiación ionizante. En ambas ocasiones, los radicales libres formados son responsables de la destrucción de ciertos aminoácidos (arginina, serina, ácido glutámico, metionina, tirosina, triptófano, fenilalanina y treonina), la polimerización, el entrecruzamiento y la escisión de proteínas.

Las reacciones que intervienen en la oxidación de los lípidos son extremadamente complejas (Chan, 1987). Esta serie de reacciones en cadena son las que producen los radicales libres. Para su estudio se puede subdividir en tres etapas, conocidas cada una de ellas como iniciación, propagación y terminación. Por la acción del calor, la luz o la presencia de cationes metálicos, en la etapa de iniciación se produce la ruptura homolítica de la molécula de un ácido graso no saturado o su éster, dando origen a la formación de un radical libre alquílico,  $R\cdot$ . En la fase de propagación, este radical reacciona rápidamente con el oxígeno para formar un radical peroxi,  $ROO\cdot$ , el cual a su vez reacciona con otras moléculas de lípidos no saturados para formar hidroperóxidos,  $ROOH$  y más radicales lipídicos,  $R\cdot$ . Los hidroperóxidos pueden descomponerse en otros radicales peroxi,  $ROO\cdot$ , y radicales alcoxi,  $RO\cdot$ , que luego darán lugar a la generación de nuevos radicales libres lipídicos,  $R\cdot$  y más hidroperóxidos. Cabe resaltar que la descomposición de los hidroperóxidos puede ser catalizada por metales presentes en el medio,  $M^{n+}$ ,  $M^{(n+1)+}$ . Durante la fase de terminación se unen los radicales libres entre sí. Como la velocidad de reacción entre un radical alquílico y el oxígeno es muy rápida, la mayoría de los radicales libres son radicales peroxi,  $ROO\cdot$ . Entonces, el principal producto obtenido en la etapa de terminación es el originado a partir de la unión de dos radicales peroxi (reacción 10).

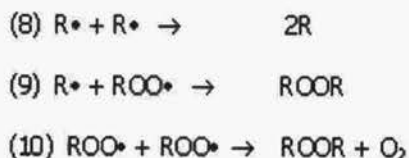
### Etapas de iniciación:



### Etapas de propagación



### Etapas de terminación



La velocidad de autooxidación se incrementa con el grado de insaturación del lípido. Cuanto mayor sea el número de enlaces dobles en la molécula del lípido, mayor será su grado de insaturación  $\gamma$ , en consecuencia, más rápidamente se oxidará. El linolenato, que posee tres dobles enlaces y el linoleato, con dos dobles enlaces, se oxidan respectivamente 20 y 10 veces más rápido que el oleato de un sólo doble enlace.

Los principales factores que influyen en la velocidad de oxidación de los lípidos son (Nawar, 1996):

**Composición de los ácidos grasos:** El número, la posición y la geometría de los dobles enlaces afecta la velocidad de oxidación. Las velocidades relativas de oxidación de los ácidos araquidónico, linoléico, linoleico y oleico son aproximadamente 40:20:10:1, respectivamente. Los ácidos grasos cis se oxidan más rápidamente que los isómeros trans y los dobles enlaces conjugados son más reactivos que los no conjugados. La autooxidación de los ácidos grasos saturados es extremadamente lenta a temperatura ambiente. Sin embargo, a altas temperaturas el deterioro oxidativo puede ser significativo.

**Ácidos grasos libres versus sus correspondientes alcliglicerol:** Los ácidos grasos se oxidan a una velocidad levemente mayor cuando están en su estado libre que cuando se hallan esterificados con glicerol.

**Concentración de oxígeno:** La oxidación lipídica no podría producirse sin la presencia de oxígeno. Sin embargo, aun los alimentos envasados al vacío sufren autooxidación, como consecuencia del oxígeno contenido en su interior y la presencia de radicales libres formados en las etapas iniciales de oxidación que podrían haberse generado antes del envasado al vacío.

Si el suministro de oxígeno es ilimitado, la velocidad de oxidación es independiente de su presión parcial, pero cuando la presión de oxígeno es muy baja, la velocidad es aproximadamente proporcional.

**Temperatura:** La velocidad de oxidación aumenta a medida que la temperatura se incrementa. Este efecto sobre la velocidad tiende a compensarse en alguna

medida al ser el oxígeno menos soluble en lípidos y en agua al aumentar la temperatura.

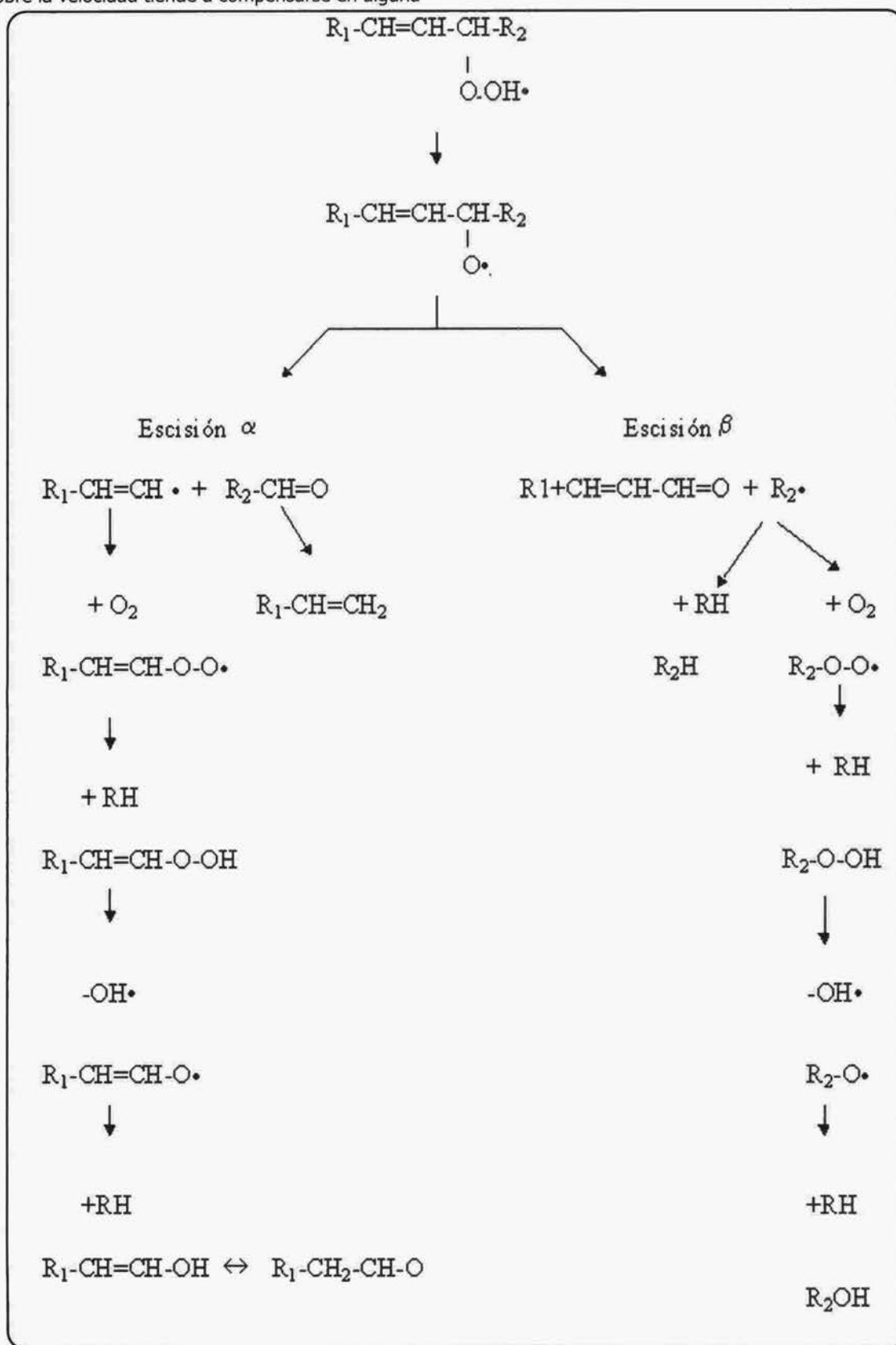


Figura 1. Ruptura homolítica de hidroperóxidos de lípidos insaturados (escisión  $\alpha$  o  $\beta$ ) (Madsen y colaboradores, 1997)



**Área superficial:** La velocidad de oxidación aumenta en forma proporcional al área superficial de lípido expuesta al aire.

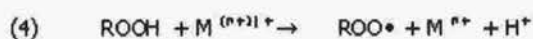
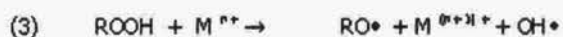
**Humedad:** La oxidación depende fuertemente de la actividad de agua. En alimentos secos, con muy baja actividad de agua ( $a_w < 0,1$ ) la oxidación procede rápidamente. Al aumentar la actividad se produce un mínimo en la velocidad de oxidación a  $a_w \cong 0,3$ . Este efecto protector del agua se debe, posiblemente, a una disminución de la actividad de los catalizadores metálicos o a la imposibilidad de acceso del oxígeno al lípido. A actividades de agua altas ( $a_w = 0,55 - 0,85$ ), la velocidad de oxidación aumenta nuevamente ya que se incrementa la movilidad de los catalizadores metálicos presentes.

**Energía radiante:** Las radiaciones visible, ultravioleta y gamma favorecen la autooxidación.

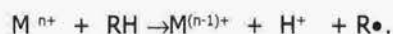
**Prooxidantes:** Los principales prooxidantes son los metales de transición (por ejemplo, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel), particularmente los que poseen dos o más estados de valencia. La mayoría de los aceites comestibles contienen trazas de estos metales, originarias del suelo en que han crecido las plantas oleaginosas de los cuales derivan o del equipo empleado en el procesamiento o almacenamiento del aceite. En el caso particular del hierro, éste se puede presentar en su forma inorgánica, proveniente de la superficie metálica de algunos equipos, o en su forma orgánica, unido a biopigmentos en la forma hemo. Asimismo, algunos pigmentos como la clorofila y la feofitina pueden actuar como fotosensibilizadores y producir oxígeno singulete que actúa en las reacciones de formación de hidroperóxidos.

En el caso de los catalizadores metálicos, varios son los mecanismos que se han propuesto para describir el proceso de catálisis:

1. Aceleración de las reacciones de descomposición de los hidroperóxidos



2. Reacción directa con el lípido



3. Activación del oxígeno molecular para producir oxígeno singulete

El oxígeno singulete es más electrofílico que el oxígeno en el estado triplete y, en consecuencia, reacciona más rápidamente con las zonas de alta densidad

electrónica, como los enlaces dobles C=C.

**Potencial de hidrógeno, pH:** El efecto del pH es extremadamente complejo, debido a que los diferentes prooxidantes operan en rangos distintos de este potencial.

Anteriormente se explicó cómo se llevaba a cabo la oxidación primaria. Los productos que aparecen en esta etapa no poseen olores y sabores preponderantes. A la oxidación primaria le sucede la secundaria, en la que aparecen compuestos con grupos carbonilos: aldehídos, cetonas y componentes con grupos carboxilos, responsables del aroma y sabor desagradable de la oxidación de los lípidos. Los hidroperóxidos de ácidos grasos insaturados formados durante la oxidación son muy inestables y se descomponen en una amplia variedad de compuestos, tanto volátiles como no volátiles. En la descomposición de los hidroperóxidos se produce la ruptura homolítica de los grupos -OOH, dando origen a un radical alcoxi,  $RO\cdot$  y un radical hidroxilo  $OH\cdot$ .

Cuando el radical alcoxi sufre una escisión  $\beta$  en el enlace C-C, se obtienen como productos un aldehído y un radical alquílico. Al sufrir una escisión  $\alpha$  se forman un radical vinilo y un aldehído. Las posteriores descomposiciones pueden dar lugar a la formación de aldehídos volátiles, alquenos, alcanos y alcoholes, como se puede apreciar en la Figura 1.

De todos los productos volátiles obtenidos a partir de la ruptura de los radicales alcoxi, los aldehídos son los que poseen aroma y sabor preponderantes. Los productos formados en las reacciones de escisión dependen de los ácidos grasos presentes, los isómeros de hidroperóxidos formados y de la estabilidad de los productos de descomposición. La temperatura y el tiempo de calentamiento influyen en la oxidación térmica. Los flavors de los aldehídos se describen generalmente como: rancio, metálico, aroma a pasto o a pintura. El hexanal es uno de estos aldehídos. Este componente suele usarse como indicador de los deterioros oxidativos de los lípidos en algunas técnicas de medición de oxidación. También las cetonas son características de los lípidos oxidados. Entre ellas cabe mencionar la 1 octen-3-ona, que posee un aroma típico a moho.

## Antioxidantes

Una manera eficiente de frenar la reacción de oxidación es el empleo de antioxidantes que inhiben la formación de radicales libres en la etapa de iniciación (inhibidores de iniciación) o interrumpen la propagación de la cadena de radicales libres (inhibidores de propagación). El inicio de la formación de radicales libres puede ser demorado por el uso de sustancias que descompongan los peróxidos, agentes quelantes de metales, o inhibidores de oxígeno singulete. Como las trazas de peróxido y los iniciadores metálicos no pueden ser eliminados completamente, la mayoría de los estudios

han centrado especial atención en la acción de los inhibidores de propagación. Estos antioxidantes actúan como donantes de hidrógeno o como aceptores de radicales libres. Bolland y Have (1947) postularon que los antioxidantes reaccionaban principalmente con el ROO· y no con los radicales libres R·.



También pueden reaccionar con los radicales alcoxi según:



El radical libre antioxidante generado debe ser lo suficientemente estable como para no iniciar por sí mismo la formación de nuevos radicales libres u oxidarse rápidamente por una reacción en cadena. En la Figura 2 se puede apreciar una curva típica de oxidación de un alimento seco. Se observa una zona de pendiente casi constante que corresponde a la zona de la curva denominada período de inducción (lag phase) en la que los radicales libres son interceptados por el antioxidante y así se demora la etapa de propagación de la reacción. Cuando se consumen estos inhibidores totalmente la oxidación aumenta apreciablemente, llegando a la rancidez del producto. Entonces, la oxidación pasa por un máximo. Si existen agentes reductores en el medio el antioxidante puede regenerarse nuevamente y comienza a actuar otra vez, inhibiendo la oxidación. La oxidación del alimento decrece en esta última etapa.

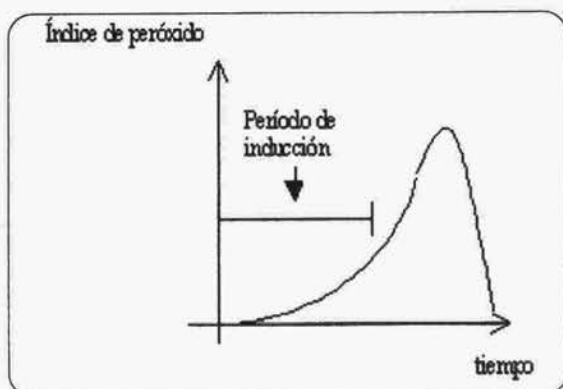


Figura 2 Curva de oxidación lipídica de un alimento seco

Los antioxidantes fenólicos son excelentes donantes de hidrógeno y además sus radicales libres son muy estables, debido a la deslocalización de electrones por resonancia y a la falta de posiciones apropiadas para ser atacadas por el oxígeno. Sin embargo, los fenoles no son muy activos como antioxidantes, a menos que posean sustituciones en las posiciones orto o para que incrementen la densidad electrónica del grupo hidroxilo y disminuyan la energía de enlace oxígeno-hidrógeno. De esta manera, la reactividad de los fenoles sustituidos con los radicales libres lipídicos (ROO· y RO·) aumenta.

La sustitución en compuestos fenólicos en la posición meta tiene un efecto bastante limitado, como en el caso del resorcinol con un grupo hidroxilo en esta posición. Estos compuestos son antioxidantes menos eficientes que aquellos compuestos similares con sustituciones en las posiciones orto o para. Es decir que la presencia de grupos hidroxilo adicionales, ya sea en la posición orto o para, aumenta la actividad antioxidante del compuesto, debido a que estabiliza los radicales fenoxi mediante enlaces hidrógeno intramoleculares (Madsen y colaboradores, 1997).

En la eficacia del antioxidante influyen también su solubilidad en el aceite y su volatilidad. La solubilidad influye en la facilidad de acceso a los radicales peroxi y su volatilidad en su permanencia durante el calentamiento o almacenamiento. Asimismo, al elegir un antioxidante se deben tener en cuenta otros factores, tales como la facilidad de incorporación a los alimentos, la sensibilidad al pH, la posibilidad de producir olores o colores desagradables, la disponibilidad y su costo. También las propiedades hidrofílicas-lipofílicas de los diversos antioxidantes tienen una especial relevancia con respecto a su eficacia en las diferentes aplicaciones. Cuando la relación superficie-volumen es pequeña, como ocurre en los aceites donde la interfase gas-líquido no es significativa, los antioxidantes con valores relativamente grandes del factor hidrofílico-lipofílico, como propil galato (PG) o ter-butilhidroquinona (TBHQ), son más eficaces, debido a que el antioxidante se concentra en la superficie del aceite donde se produce la reacción de la grasa con el oxígeno molecular. Sin embargo, cuando la relación superficie-volumen es grande, tal como sucede con las micelas de los aceites emulsionados, por ejemplo en los aliños de ensalada, los antioxidantes más lipofílicos, como 2,3-ter-butil-4-hidroxianisol (BHA), 2,6-di-ter-butil-4-hidroxitolueno (BHT), los galatos con grupos alquílicos grandes y los tocoferoles, son más efectivos. (Nawar, 1996)

Algunos antioxidantes se comportan como sinergistas. El fenómeno de sinergismo se produce cuando una mezcla de antioxidantes posee una actividad superior a la suma de las actividades de los antioxidantes individuales empleados. Existen dos tipos de sinergistas: los que implican la acción de aceptores de radicales libres mezclados y aquellos que consisten en la acción combinada de un aceptor de radical libre y un quelante de metales. Algunos antioxidantes, como el ácido ascórbico, pueden actuar de varias formas a la vez: como donantes de hidrógenos, quelantes de metales, eliminando oxígeno y, además, contribuyendo a la formación de productos de pardeamiento que tienen actividad antioxidante.

Los antioxidantes anteriormente mencionados, todos ellos de origen sintético, se emplean en la industria alimenticia ampliamente. Sin embargo, las actuales tendencias buscan el uso de antioxidantes naturales, compatibles con una vida más saludable.

Los antioxidantes naturales se hallan presentes en la mayoría de los productos de origen vegetal: frutos del bosque, cerezas, kiwis, cítricos, ciruelas, y aceitunas (Abuja y colaboradores, 1998; Wang y colaboradores, 1999; Saleh y colaboradores, 1998; Dawes y Keene, 1999; Donovan y colaboradores, 1998; Romani y colaboradores, 1999). Asimismo, en el jugo de frutas (Chambers y colaboradores, 1996) y en el aceite de oliva (Blekas y Boskou, 1998) se han encontrado compuestos con alta actividad antioxidante. Furuta y colaboradores (1997); Gazzani y colaboradores (1998) y Hertog y colaboradores (1992) han analizado el potencial antioxidante de una amplia variedad de vegetales. Los principales componentes activos aislados en ellos son los polifenoles. Estos compuestos presentan cambios isoméricos a estructuras dicetónicas que resultan ser los responsables de llevar a cabo la captura de los radicales libres que se producen en las reacciones de oxidación y en consecuencia detienen las reacciones en cadena.

Los compuestos fenólicos presentes en las plantas incluyen a los fenoles simples, los ácidos fenólicos, las antocianinas, los derivados del ácido hidrocínámico y los flavonoides (van Ruth y colaboradores, 2001). Los vinos contienen una extensa variedad de compuestos fenólicos, siendo los más abundantes las antocianinas (Fogliano y colaboradores, 1999; Ghiselli y colaboradores, 1998; Heinomen y colaboradores, 1998). El té verde y el negro poseen alrededor de un 30 % de su peso seco como compuestos fenólicos (Lin y colaboradores, 1998). Asimismo, en varios cereales se ha detectado actividad antioxidante (Baublis y colaboradores, 2000). Onyeneho y Hettiarachchy, (1992) han informado que en el caso de los cereales, la mayor actividad antioxidante se halla en la fracción de salvado. Algunos residuos agroindustriales son atractivas fuentes de antioxidantes naturales; entre ellos encontramos: cáscaras de papas (Rodríguez de Sotillo y colaboradores, 1994 a, b), semillas de uvas (Gabrielska y colaboradores, 1997; Karakaya y Nehir, 1999), cáscaras de maníes (Della Rocca y colaboradores, 2005). Sin embargo, la actividad antioxidante de estos compuestos varía extensamente y algunos de ellos pueden exhibir un efecto prooxidante en algunas ocasiones (Decker, 1998). La concentración de compuestos fenólicos en las plantas depende de numerosos factores como las condiciones de crecimiento, el grado de maduración, el tamaño y la variedad (Herrmann, 1976).

Cabe resaltar que la acción antioxidante de extractos de especies vegetales también depende del tipo y la polaridad de los solventes de extracción y del sustrato que se protegerá con el antioxidante (Meyer y colaboradores, 1998).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad antioxidante de extractos de diferentes productos de origen vegetal (porotos de soja, salvado de avena, ajo, romero y coriandro) en un aceite comestible (aceite de maíz) durante su almacenamiento a una temperatura de 60 °C, en condiciones estáticas.

## Parte Experimental

### Determinación de ácidos grasos del aceite original

Se realizó la hidrólisis de los triglicéridos del aceite, y luego la metilación, para finalizar con la extracción y la purificación, según Norma IRAM 5652. Los ésteres metílicos así obtenidos se analizaron en un cromatógrafo de gases marca Shimadzu con detector FID.

### Determinación de antioxidantes en el aceite original empleado en los ensayos de oxidación

Se analizó si el aceite original poseía antioxidantes adicionados. Se llevó a cabo el análisis por HPLC (marca Hewlett Packard 1050) según AOCS Official Method Ce 6-86, empleando una columna LiChrosorb RP-18 y un detector de arreglo de diodos a una longitud de onda de 280 nm.

### Preparación de los extractos

Los productos de origen vegetal utilizados fueron porotos de soja, salvado de avena, ajo, romero y coriandro. Las muestras se secaron en estufa a 55 °C, hasta un rango de humedades de 20 - 25 %. Luego se molieron y tamizaron hasta alcanzar un diámetro de partícula inferior a 400 µm.

Los extractos se prepararon en una concentración inicial de 25 % m/m y luego se concentraron con una bomba de vacío hasta una concentración tres veces superior en volumen. Con todos los productos se usó etanol como solvente de extracción. En el caso de los porotos de soja y el salvado de avena también se emplearon metanol y acetato de etilo.

### Ensayos de oxidación

Al aceite de maíz se agregaron alícuotas de los extractos de los productos vegetales hasta obtener una concentración de 5 % m/m. Asimismo, se analizaron muestras control sin la adición de los extractos y muestras conteniendo butilhidroxitolueno (BHT) en una concentración de 0.01 %, con fines comparativos. Se estudiaron los efectos de la concentración solamente con el extracto de porotos de soja, que se utilizó concentrado y sin concentrar.

Las muestras fueron almacenadas en frascos color caramelo en condiciones estáticas en estufa, a una temperatura de 60 ± 0.5 °C, y a distintos intervalos de tiempo se evaluó su grado de oxidación mediante la determinación del índice de peróxido, según AOCS (1997). Los análisis se llevaron a cabo por duplicado y los resultados obtenidos corresponden al promedio de las determinaciones. Los ensayos con las especies romero y coriandro se realizaron también en presencia de un prooxidante, cloruro cuproso (CuCl) al 0,0016



% p/v en la muestra. En los ensayos con coriandro se evaluó el efecto del ácido cítrico como agente quelante de metales, los cuales inducen la oxidación.

### Determinación de compuestos fenólicos totales

Se tomó una alícuota de extracto de 20ml y se adicionó agua destilada hasta alcanzar 1 ml. Luego, 0.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu se adicionó a los tubos, que se agitaron. A continuación se agregó carbonato de sodio y los tubos fueron agitados nuevamente. Después de ser incubados a temperatura ambiente durante 35 min, los tubos fueron centrifugados y se midió la absorbancia contra un blanco a 725 nm, utilizando un espectrofotómetro marca Metrolab. Los resultados se calcularon con base al equivalente de fenol por gramo de muestra y se informaron en ppm.

### Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos al analizar la composición de los ácidos grasos en el aceite de maíz por cromatografía gaseosa se presentan en la Tabla 1. Mediante el análisis por HPLC realizado al aceite original se comprobó la ausencia de antioxidantes agregados al mismo.

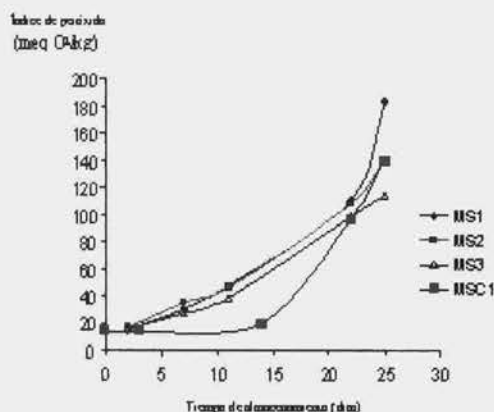


Figura 3. Índice de peróxido IP (millequivalentes de oxígeno por kg de muestra, meq O<sub>2</sub>/kg) del aceite de maíz en presencia de extracto etanólico de porotos de soja sin concentrar, muestra MS1; con extracto concentrado, muestra MSC1; en ausencia de antioxidante, muestra control, muestra MS2; con antioxidante (BHT) al 0.01 %, muestra MS3

Tabla 1. Composición en ácidos grasos del aceite de maíz

Ácido Palmítico (%)	Ácido Estearico (%)	Ácido Oleico (%)	Ácido Linoleico (%)	Ácido Linoléico (%)	Ácido Araquídico (%)
10,5	2,5	32,5	52	1,0	0,5

La oxidación del aceite de maíz durante su almacenamiento a 60 °C, en condiciones estáticas, por un período de 25 días, con el agregado de extracto etanólico de poroto de soja a dos concentraciones diferentes se puede apreciar en la Figura 3. La concentración de extracto de poroto de soja superior evaluada fue el triple de la menor. Asimismo, se estudió el comportamiento del aceite con la adición de un antioxidante sintético, butilhidroxitolueno (BHT), y sin aditivos. A partir de los resultados obtenidos se puede inferir que el extracto de porotos de soja, cuando se concentró, ejerció un efecto antioxidante mayor que el BHT a la concentración utilizada. En la curva correspondiente al extracto concentrado (muestra MSC1) se aprecia un aumento considerable del período de inducción, el que se prolongó hasta los 14 días. Los porotos de soja contienen entre los compuestos fenólicos, los glicósidos de isoflavonas como la genisteína, la daidzeína y la gliciteína, que serían los responsables de sus relevantes propiedades antioxidantes.

Para obtener los extractos de los porotos de soja y del salvado de avena se emplearon otros solventes de extracción: metanol y acetato de etilo, además de etanol. Los extractos de salvado de avena no ejercieron una acción antioxidante preponderante sobre el aceite de maíz (ensayos de medición de índice de peróxidos) si bien cuando se midió el contenido de compuestos fenólicos de los extractos se pudo apreciar un valor considerable en los casos de los extractos etanólico y metanólico. Los extractos etanólicos de los cereales presentan el más alto contenido en componentes fenólicos y los obtenidos con acetato de etilo el inferior. El extracto etanólico de ajo presenta el contenido más alto en compuestos fenólicos, casi 10 veces superior al valor obtenido con el extracto de porotos de soja. Por último, le sigue el salvado de avena. En la Tabla 2 se pueden apreciar los valores obtenidos.

Tabla 2. Contenido de compuestos fenólicos en extractos vegetales

Extractos	Concentración en compuestos fenólicos (ppm)
Etanólico de porotos de soja	343
Metanólico de porotos de soja	321
Con acetato de etilo de porotos de soja	23,1
Etanólico de ajo	3100
Etanólico de salvado de avena	287
Metanólico de salvado de avena	278
Con acetato de etilo de salvado de avena	44,3

En la Figura 4 se aprecia cómo el extracto de ajo disminuye en forma apreciable la oxidación del aceite de maíz. Estos resultados corroboran el alto contenido en compuestos fenólicos del extracto de ajo. Asimismo, otro componente del extracto de ajo, el tiosulfonato de dialilo o alicina, podría actuar como antioxidante. El tiosulfonato componente del flavor del ajo se descompone y reestructura, dando origen a la formación de disulfuros de metilo, alilo y dialilo. Los sulfuros reaccionan con los hidroperóxidos dando sulfonas y alcoholes.

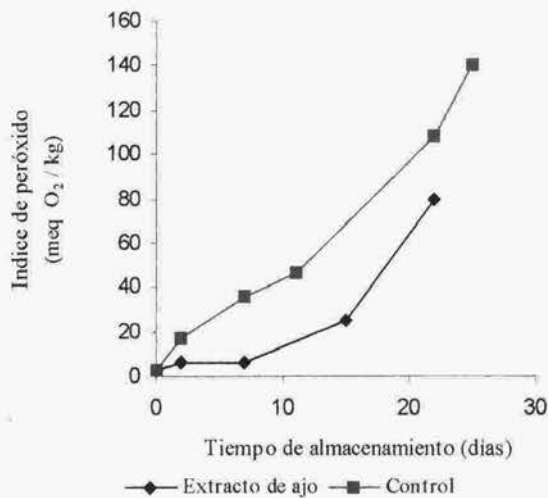


Figura 4. Índice de peróxido IP (meq O<sub>2</sub>/kg) del aceite de maíz en presencia de extracto etanólico de ajo y en ausencia de antioxidante, muestra control

A continuación analizamos el comportamiento de los extractos de especias, romero y coriandro, en presencia de prooxidante en ambos casos. En los ensayos de aceite de maíz con prooxidante, el extracto etanólico de romero demostró una capacidad antioxidante superior a la del BHT a las concentraciones analizadas. En la Figura 5 se pueden apreciar los resultados. Cabe destacar la influencia del prooxidante que actúa acelerando la velocidad de oxidación, cuando se comparan las curvas del aceite sin prooxidante (continúa)

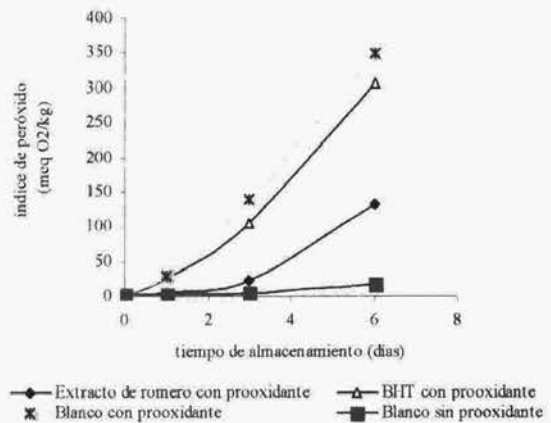


Figura 5. Índice de peróxido IP (meq O<sub>2</sub>/kg) del aceite de maíz en ausencia de antioxidante y de prooxidante (blanco sin prooxidante), en ausencia de antioxidante y en presencia de prooxidante (blanco con prooxidante), en presencia de extracto etanólico de romero y prooxidante y de un antioxidante sintético, BHT y prooxidante

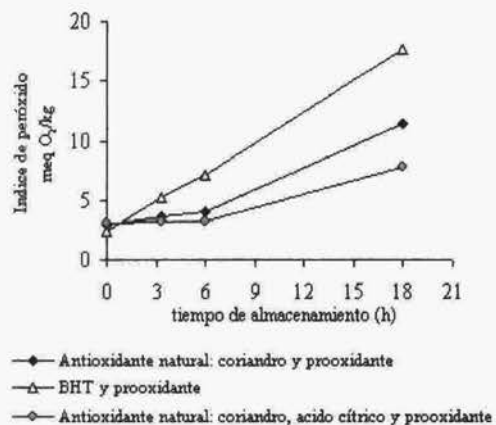


Figura 6. Índice de peróxido IP (meq O<sub>2</sub>/kg) del aceite de maíz en presencia de prooxidante. En una de las muestras se utilizó coriandro como antioxidante natural, en otra BHT y en la última coriandro y ácido cítrico



(Viene de la página anterior)

(Blanco sin prooxidante) con el aceite con prooxidante  
(Blanco con prooxidante).

En la Figura 6 se puede apreciar cómo el extracto de coriandro en aceite de maíz presenta una capacidad antioxidante superior al BHT. Este efecto se ve potenciado en presencia de ácido cítrico, que actúa como agente quelante de metales.

Si se comparan los comportamientos de los extractos etanólicos de romero y coriandro sobre el aceite de maíz, el índice de peróxido alcanzado con el extracto de coriandro al cabo de 18 h es de 12 meq O<sub>2</sub>/kg de muestra y el de extracto de romero es de 4 meq O<sub>2</sub>/kg de muestra al cabo de 24 h. Estos resultados evidencian una capacidad antioxidante superior del extracto de romero sobre la oxidación del aceite de maíz.

## Conclusiones

Los extractos etanólicos de ajo, porotos de soja y de las especias romero y coriandro poseen actividad antioxidante sobre el aceite de maíz. El extracto de ajo y los extractos de las especias (romero y coriandro) demostraron poseer una actividad antioxidante apreciable. Los extractos de la especias ejercieron un efecto antioxidante significativo aun en ensayos más exigentes en los que se adicionó un prooxidante. El extracto de romero resultó poseer una capacidad antioxidante superior al de coriandro. Los antioxidantes naturales poseen una capacidad inhibitoria aceptable sobre la oxidación de los lípidos; sin embargo, debería realizarse tanto un estudio económico detallado de su posibilidad de uso en escala industrial, como de su potencial toxicidad y la posibilidad de impartir un aroma preponderante al aceite elegido para preservar. El etanol parecería ser el solvente de extracción más adecuado, no sólo por haber extraído una mayor cantidad de compuestos fenólicos, que poseen actividad antioxidante, sino también por su menor toxicidad y mayor seguridad para su uso en alimentos. Sin embargo, para poder confirmar su selección también sería necesario llevar a cabo una evaluación económica.

## Referencias

- AOCS (1997) American Oil Chemists' Society.
- ABUJA, P.; MURKOVIC, M.; PFANNHAUSER, W. (1998) *J. Agric. and Food Chem.*
- BAUBLIS, A.; DECKER, E. A.; CLYDESDALE, F. M. (2000), *Food Chemistry*.
- BLEKAS, G.; BOSKOU, D. (1998) *Grasas y aceites*.
- BOLLAND, J.; HAVE, P. (1947) The inhibitory effect of hydroquinone on the thermal oxidation of ethyl linoleate. *Trans. Faraday Soc.*
- CHAMBERS, S. J.; LAMBERT, N.; PLUMB, G. W.; WILLIAMSON, G. (1996) *Food Chemistry*, 57, 271-274.
- CHAN, H. (1987) In *Autooxidation of Unsaturated Lipids*; Chan H. Ed., Academic Press, London, U.K., 1-16.
- DAWES, H.; KEENE, J. (1999) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- DECKER, E. A. (1998) *Food lipids. Chemistry, nutrition and biotechnology*, en Akoh y Min (Eds), New York.
- DELLA ROCCA, P.; LANGUASCO, J. M.; GUTIERREZ, M C., ESCALADA PLA, M.; BELCUORE, H., CAMPOS, C. (2005) Congreso Latinoam. de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, San Rafael, Mendoza, Argentina.
- DONOVAN, J. L.; MEYER, A. S.; WATERHOUSE, A. L. (1998) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- FOGLIANO, V.; VERDE, V., RANDAZZO, G.; RITIENE, A. (1999) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- FURUTA, S.; NISHIBA, Y.; SUDA, I. (1997), *Journal of Food Scien.*
- GABRIELSKA, J.; OSZMIANSKI, J.; LAMER-ZARAWSKA, E. (1997) *Pharmazie*.
- GAZZANI, G.; PAPETTI, A.; MASSOLINI, G.; DAGLIA, M. (1998) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- GHISELLI, A.; NARDINI, M.; BALDI, A; SCACCINI, C. (1998), *Journal of Agric. and Food Chem.*
- HEINOMEN, M.; LEHTONEN, P. J.; HOPIA, A. L. (1998), *Journal of Agric. and Food Chem.*
- HERRMANN, K.; (1976) *Journal Food Technology*.
- HERTOG, M. G. L.; HOLLMAN, P. C. H.; KATAN, M. B (1992) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- KARAYAKA, S.; NEHIR, S. (1999), *Food Chemistry*.
- LIN, J. K.; LIN, C. H.; LIANG, Y. C.; LIN-SHIAU, S. Y.; JUAN, I. M (1998) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- MADSEN, H. L.; BERTELSEN, G.; SKIBSTED, L. H. (1997) *American Chemical Society*.
- MEYER, A. S.; HEINOMEN, M.; FRANKEL, E. N. (1998) *Food Chemistry*.
- NAWAR, W. (1996) *Lipids, Food Chemistry*, Editado por Fennema, O y Dekker, M., Nueva York, EE.UU, 139-239.
- ONYENEHO, S. N.; HETTIARACHCHY, N. S. (1992) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- RODRIGUEZ de SOTILLO, D.; HADLEY, M.; HOLM, E. T. (1994a) *Journal of Food Scien.*
- RODRIGUEZ de SOTILLO, D.; HADLEY, M.; HOLM, E. T. (1994b) *Journal of Food Scien.*
- ROMANI, A.; MULINACCI, N.; PINELLI, P.; VINCIERI, F. F; CIMATO, A. (1999) *Journal of Agric. and Food Chem.*
- SALEH, M.; HASHEM, F.; GLOMBITZA, K. (1998) *Food Chemistry*.
- VAN RUTH, S.; SHAKER, E.; MORRISSEY, P. (2001) *Food Chemistry*.
- WANG, H.; NAIR, M.; STRASBURG, G.; BOOREN, A.; GRAY, J. (1999) *J. Nat. Produc.*

## Combustibles alternativos: biodiesel\*

C. Baglioni, N. Galante, H. Trigubó \*\*

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, República Argentina.  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires  
E-mail: htrigubo@cedi.frba.utn.edu.ar

Recibido el 9 de septiembre de 2005; aceptado en versión revisada el 23 de agosto de 2006

### Resumen

El objetivo de este proyecto es la evaluación del motor de combustión interna al funcionar con los combustibles alternativos biodiesel (BD), gas natural comprimido (GNC) y gas licuado de petróleo (GLP).

En la primera etapa, se desarrolló la investigación con el combustible renovable biodiesel. Para ello, se efectuaron diferentes ensayos en el dinamómetro de motores, relevándose: las curvas de potencia, par y consumo específico de combustible, como así también las emisiones de gases contaminantes que se obtenían para los combustibles gasoil, biodiesel y diferentes mezclas entre ambos.

Asimismo, se evaluó el funcionamiento de una camioneta Renault de la FRBA, que utilizaba combustible biodiesel B-20 (Biodiesel 20% - Gasoil 80%) y cuyo motor superó los 130.000 km de funcionamiento sin ninguna anomalía.

Los resultados obtenidos demostraron el enorme potencial de este biocombustible, que por su rendimiento energético y evidente disminución de las emisiones contaminantes, puede ser utilizado para reemplazar al gasoil.

**PALABRAS CLAVE:** COMBUSTIBLES- BIO COMBUSTIBLES- BODIESEL- COMBUSTIBLES RENOVABLES

### Abstract

The main goal of this project is the evaluation of the performance of the internal combustion engine when working with biodiesel, compressed natural gas (CNG) and liquefied petroleum gas (LPG) as alternative fuels.

In the first stage, the performance of renewable biodiesel fuel was analyzed. Different tests were made in the engine dynamometer. Power, torque and fuel specific consumption plots were obtained. In addition, the emissions of polluting gases obtained from gasoil and biodiesel fuels, as well as different mixtures between them, were analyzed.

Likewise, the performance of a Renault van owned by the Facultad Regional Buenos Aires was evaluated, when biodiesel B-20 (Biodiesel 20% - Gasoil 80%) was used; its engine overcame the 130,000 km of operation without any anomaly.

The obtained results showed the enormous biofuel potential to replace gasoil due to its yielded energy and evident decrease of the polluting emissions.

**KEYWORDS:** FUELS- BIO-FUELS- BODIESEL- RENEWABLE FUELS

\* Trabajo realizado sobre la base de un proyecto de investigación conjunto entre las Facultades Regionales Buenos Aires (FRBA) y Delta (FR Delta), de la Universidad Tecnológica Nacional. Director: C. García Ebbens

\*\* Coordinador del grupo de investigación en la FRBA

## Introducción

Es de actual conocimiento público y creciente profundización la preocupación por algunas de las consecuencias que ocasionan en nuestro planeta, la creciente motorización vehicular.

- Dependencia del petróleo en cuanto al abastecimiento, precio y la finitud de su existencia.
- La necesidad mundial de disminuir, debido a los crecientes daños a la salud y a los bienes de la población:
  - La emisión de gases contaminantes;
  - El calentamiento global (efecto invernadero), causado en especial por el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), originado principalmente por la combustión de combustibles fósiles.

Esta situación dio origen a una secuencia de normas internacionales donde se establece la obligación de reducir progresivamente la emisión de los gases contaminantes (EURO 1, 2, 3, 4, 5; Japón; EE.UU.) (Ver Tabla 1).

Las causas mencionadas impulsaron a los diferentes países a estudiar la utilización de combustibles alternativos en reemplazo de los tradicionales (Ver Tabla 2).

## Combustibles alternativos renovables: biocombustibles

Se obtienen a partir de materias primas agrícolas, las cuales durante su crecimiento por fotosíntesis, absorben CO<sub>2</sub>, compensando el generado por el motor durante su combustión.

Tabla 1. Normas para motores Diesel y Otto utilizados en vehículos para carga superior a 2000 kg \*

Norma	NOx g/km	CO g/km	Hidrocarburos g/km	Material Particulado g/km
Euro 1 (1992)	8,0	4,5	1,10 (THC)	0,35
Euro 2 (1996)	7,0	4,0	1,10 (THC)	0,15
Euro 3 (2000)	5,0	2,1	0,66 (THC)	0,10
Euro 4 (2005)	3,5	1,5	0,46 (THC)	0,02
Euro 5 (2008)	2,0	1,5	0,46 (THC)	0,02
THC = Hidrocarburos Totales				

\* European Natural Gas Vehicle Association

Tabla 2. Combustibles tradicionales y alternativos para distintos motores

Motor	Combustibles		
	Tradicionales	Alternativos	
		No Renovables	Renovables
Ciclo Otto	Nafta	GNC/GLP	Alcohol *
Ciclo Diesel	Gasoil	-	Biodiesel *
* Biocombustibles que se obtienen de productos agrícolas.			Hidrógeno

Se denomina biodiesel a los ésteres de aceites de diversas oleaginosas (soja, girasol, maní, colza, algodón, palma, aceites de procesos de cocción, etc.)\*. En su fabricación interviene el alcohol metanol o etanol. Este último también es obtenido de productos agrícolas (caña de azúcar, maíz, remolacha, etc.).

Por sus características físico-químicas, solamente se puede utilizar en motores de ciclo Diesel.

## Los fundamentos ambientales y funcionales que impulsan su utilización.

### Ambientales:

1. La legislación internacional con etapas sucesivas de mayor exigencia para reducir la emisión de contaminantes en los gases de escape (EURO 3; EURO 4) origina, además de los cambios en el diseño del motor y de los sistemas de alimentación de combustible, la necesidad de utilizar:

a- Sistemas integrados para el control de las emisiones de los gases de escape (catalizador, sensor de oxígeno lambda, etc.).

b- Mejoras en la calidad de los combustibles.

Ambas condiciones están íntimamente relacionadas, como veremos a continuación.

2. El azufre (S) que se encuentra originalmente en el petróleo y que no es eliminado durante el proceso de refinación, formará parte del combustible, siendo sus consecuencias:

- Contribuir a los procesos de corrosión en el motor.

- Afectar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de los gases de escape (catalizador, sensores de oxígeno), lo que provoca disminución de la vida por "envenenamiento" del catalizador.

Para evitar dicho deterioro, las investigaciones efectuadas indican que es fundamental que el contenido de azufre en el gasoil sea menor a 30 ppm (como S), para lograr, al reducir el "envenenamiento" del catalizador, una alta eficiencia en el tratamiento de las emisiones contaminantes.

En consecuencia, existen fuertes presiones ambientalistas tendientes a reducir el nivel de azufre en el gasoil.

Así, encontramos que en el año 1990 el valor que presentaba era de 5.000 ppm (5.000 mg/kg). A partir de ese año, las regulaciones ambientales limitaron el máximo a alrededor de 500 ppm. De acuerdo a las normas EURO 4 (año 2005), los combustibles deben contener menos de 50 ppm de azufre. (Ver Tabla 3 y Figura 1)

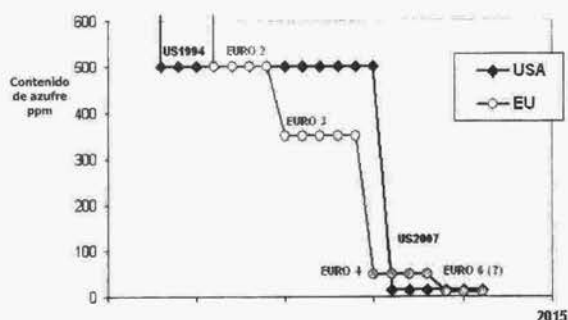


Figura 1. Límites de azufre del gasoil de acuerdo con las normas de emisiones.

Tabla 3. Reducción del contenido de azufre en el gasoil

Clasificación de gasoil	Contenido de azufre	Emisiones a controlar	Normas de emisión
Normal	≥ 0.5% (5000 ppm)	—	En EE.UU. anterior a 1993 En la UE anterior a 1996
Menor contenido de azufre	500-300 ppm	Materia Particulada (PM) SO <sub>2</sub>	■ US 1994: 0,1 g/0hp-h; PM ■ EURO 2/3: 0,25/ 0,1 g/tWh PM
Estricto bajo en contenido de azufre	50-10 ppm	Materia Particulada (PM) NO <sub>x</sub>	■ US 1997: 0,2 g/0hp-h; NO <sub>x</sub> ; 0,01 g/0hp-h; PM ■ EURO 4/5: 0,02 g/tWh PM
Sin contenido de azufre	≤ 10 ppm *		■ Post-EURO 5

\* También se pueden obtener a partir de grasas de animales.



## Funcionales

Entre las ventajas funcionales, destacamos la lubricidad, que se refiere a la propiedad del líquido en cuestión para constituir una película resistente.

En el caso del gasoil, su característica lubricante depende fundamentalmente del contenido de azufre que contenga. Recordemos que la lubricación de la bomba inyectora y de los inyectores depende de las propiedades lubricantes del gasoil.

Una inadecuada lubricación ocasionaría un desgaste excesivo de los componentes de la bomba, con el consecuente aumento de consumo de combustible y de las emisiones en el escape.

Las normas EURO establecen objetivos a cumplir con relación a los rendimientos energéticos y de emisión de contaminantes. En consecuencia, los fabricantes de los sistemas de inyección deben generar mayores presiones, para lo cual sus tolerancias y ajustes de fabricación deben ser más exigentes. Esto obliga a que el combustible deba poseer una mayor lubricidad, a pesar de que el contenido de azufre del gasoil se debe ir reduciendo según la norma EURO vigente. Por lo tanto, el gasoil tendrá que incrementar sus aditivos para mejorar la lubricidad.

Respecto del biodiesel, ya mencionamos que naturalmente su tenor de azufre es ínfimo. Sin embargo, su lubricidad es de tal magnitud que ensayos efectuados en Francia destacan que adicionar un 2% de biodiesel (con 10 ppm de azufre) al gasoil, logra que la mezcla posea la lubricidad especificada en la norma europea EN-490 (460  $\mu\text{m}$ ).

Este hecho es uno de los motivos por los cuales, Francia, Austria, Alemania, EE.UU. y Canadá utilizan el B-5 (biodiesel 5% y gasoil 95%).

Asimismo cabe destacar que existe un acuerdo internacional de los fabricantes de los sistemas de inyección (Fuel Injection Equipment Manufacturers),

por el cual ya otorgan garantía a sus equipos cuando son utilizados con B-5.

## Importancia de la fabricación del biodiesel en nuestro país

Ya mencionamos que el biodiesel se obtiene de la transformación de aceites agrícolas (soja, girasol, algodón, maní, palma, colza, etc.) en ésteres de metilo o etilo, según se utilice metanol o etanol en ese proceso, denominado transesterificación.

Nuestro país presenta significativas ventajas comparativas para fabricarlo, dada la magnitud de su actual agroindustria, la que además recibiría un impulso para su crecimiento. Recordemos que la República Argentina es:

- Primer exportador mundial de aceite de oleaginosas (soja y girasol).
- Segundo exportador mundial de maíz.

Con respecto a la soja, para la cosecha 1999-2000 hubo una producción de 20 millones de toneladas y una superficie sembrada de 8,6 millones de hectáreas, siendo el tercer productor mundial (12% del total mundial), por debajo de EE.UU. y Brasil.

De acuerdo con la Secretaría de Energía de la Nación, el consumo de gasoil en nuestro país fue de 13 millones de  $\text{m}^3$  para ese año, de los cuales se importaron alrededor de 2 millones de  $\text{m}^3$ . En consecuencia, para la utilización de B-20, serían necesarios 2,6 millones de  $\text{m}^3$  anuales. Ver Tabla 4.

Respecto del costo de fabricación, y no obstante que éste disminuye con los subproductos que se obtienen (glicerina, ácidos grasos y harinas), el mismo depende totalmente de la materia prima (aceite de soja, girasol, colza, etc.), por lo cual se nos pueden presentar las siguientes situaciones:

Tabla 4. Total de la demanda de gasoil

1	Transporte de cargas	41,0 %	5.000.000 $\text{m}^3$
2	Sector agropecuario	37,0 %	4.500.000 $\text{m}^3$
3	Automotores Diesel	14,0 %	1.700.000 $\text{m}^3$
4	Transporte urbano de pasajeros	6,5 %	830.000 $\text{m}^3$
5	Transporte interurbano de pasajeros	1,5 %	210.000 $\text{m}^3$
TOTAL			12.240.000 $\text{m}^3$

a En caso de precios deprimidos del aceite, habría gran competencia de valores de los fabricantes del biodiesel.

b Imposibilidad de vender biodiesel si los precios del aceite tienen los niveles actuales.\*

c Prever una política de desgravación impositiva o de subsidio a los sectores de la demanda para compensar el mayor costo del combustible biodiesel.

Asimismo, hay que considerar como beneficios:

- La sustitución de importaciones de gasoil.
- La generación de empleos.
- La potencial exportación de biocombustibles a países del primer mundo, que impulsen reducir emisiones producidas por los combustibles fósiles, favoreciendo el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.
- La exportación como aditivo para mejorar la lubricidad del gasoil.
- Por su excelente biodegradabilidad, la potencial aplicación como combustible náutico en ríos, lagos y represas donde existan captaciones para el agua potable, en los parques nacionales, etc.
- El establecimiento de un precio sostén para las oleaginosas en los momentos de cotizaciones no rentables en los mercados internacionales.
- Dada la imposibilidad actual de abastecer con B-20 a todo el mercado consumidor de gasoil, podría considerarse sólo para el transporte urbano de pasajeros, debido a su influencia en la contaminación ambiental en las ciudades.

Recordemos que el consumo de gasoil de este transporte es de 830.000 m<sup>3</sup>. En consecuencia, para el biodiesel B-20 corresponderían 166.000 m<sup>3</sup>, lo que equivale a alrededor de 2.000.000 tn de soja. En

consecuencia habría que considerar también otro tipo de oleaginosas: colza, girasol, algodón, maní, palma, etc.

## Perspectivas

- Al ser un producto biorrenovable, el biodiesel puede ser tomado como base de un nuevo combustible que sustituya al gasoil en el futuro.
- Se están desarrollando para el biodiesel nuevas aplicaciones como solvente y lubricante.
- La principal limitación a la producción del biodiesel es el factor económico, ya que en la actualidad resulta más caro que el gasoil. Por esta razón, debe contar con políticas de ayuda de los gobiernos, generando el marco de desgravación impositiva o de subsidio a los consumidores.
- En nuestro país, IRAM (Instituto Argentino de Normalización) definió la norma para el biodiesel puro (B-100), para asegurar la calidad del producto que deberá llegar al usuario. En el grupo de estudio participaron compañías petroleras, de automotores, Secretarías de Energía y Agricultura, fabricantes de biodiesel, el INTI y las Facultades Regionales Buenos Aires y Delta (UTN).
- A partir de abril de 2006, está en vigencia la Ley de Biocombustibles, que establece el corte obligatorio al 5% de la nafta y gasoil con alcohol (de maíz, caña de azúcar, etc.) y biodiesel.\*\*

## Parte experimental

### Ensayos en laboratorio

Para conocer las características de los combustibles biodiesel utilizados, se efectuó un conjunto de determinaciones, tanto en la FRBA como en otros laboratorios externos.

---

\* En el año 2002, el costo del aceite fue de US\$ 340/tn, que es un 40% superior al valor de referencia del gasoil (Import Parity US\$ 200/tn).

\*\* En nuestro país, se abre una extraordinaria oportunidad para los productores agrícolas, de abastecer al mundo, no sólo de alimentos, sino también de energía; por lo cual, es prioridad que la Ley de Biocombustibles sea reglamentada por el Poder Ejecutivo.

Los ensayos fueron:

1) Determinación del Poder Calorífico Inferior (PCI) de los biodiesel puros (B-100) de girasol y soja argentinos.\* ( Ver Tablas 5 y 6).

2) Mediciones de viscosidad.\*\*

Las determinaciones, efectuadas con un viscosímetro

Saybolt a 40°C por duplicado, se realizaron sobre muestras de los mismos productos utilizados como combustibles no convencionales para los ensayos en dinamómetro, a saber:

- Aceite comestible de girasol (Argentino)
- Aceite cocido (Aceite utilizado en cocción de alimentos)
- Aceite de girasol 20% + gasoil 80% (AG-20)
- Aceite cocido 20% + gasoil 80% (AC-20)

Tabla 5. Poder calorifico inferior (PCI) de biodiesel puro

Combustible	PCI (kcal/kg)
B-100 (Girasol Argentino)	8474,5
B-100 (Soja Argentino)	8447,33

Tabla 6. Protocolo de laboratorio de determinación de poder calorífico (Reproducido del original \*)

DETERMINACION DE PODER CALORIFICO			
combustible ensayado	=	biodiesel de girasol	
Fecha del ensayo	=	04/2001	
<b>Mediciones previas al ensayo</b>			
peso de cápsula(Gcap)	=	100	mg
Peso de alambre de ignición (Gal)	=	12	mg
Peso muestra de combustible (G)	=	508	mg
Longitud de alambre(L)	=	18	cm
Masa de agua(M)	=	1908,43	gr
Peso tubo "U"(GU1)	=	203,615	gr
<b>Constantes del ensayo</b>			
Equivalente en agua(K)	=	642,5	gr
calor de combustión del alambre(Qal)	=	1,5	cal/cm
Calor de combustión de la cápsula(Qcal)	=	5280	cal/gr
<b>Medición de temperatura durante el ensayo</b>			
<b>Lecturas de termómetro</b>			
		c/minuto	c/0.5 minuto
		1,26	1,32
		1,28	1,61
		1,30	1,89
		1,30	2,21
			2,55
			2,91
			3,09
			3,22
			3,28
			3,30
<b>Mediciones posteriores al ensayo</b>			
Peso tubo "U"(GU2)	=	203,95	gr
della t (grafico)	=	1,984	oC
<b>Resultados</b>			
$Pcs = ((m+K) \cdot \Delta t - (Qal \cdot L + Qcap \cdot Gcap)) / G$	=	8870,17	Kcal/Kg
$Pci = Pcs - (GU2 - GU1) \cdot 600 / G$	=	8474,50	Kcal/Kg

\* Esta determinación fue realizada en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la FRBA, utilizando un calorímetro tipo Parr

\*\* Efectuadas en el Laboratorio Tecnológico del Departamento de Ingeniería Química de la FRBA

3) La empresa REPSOL-YPF analizó muestras de biodiesel, que correspondían a los combustibles ensayados por los autores.

El estudio fue realizado según una propuesta de especificación del Comité Europeo de Normalización (CEN). Los combustibles analizados se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Combustibles bajo estudio

Muestra	Biodiesel (B-100)
Nº 1	Girasol - Argentina
Nº 2	Soja - EE.UU.
Nº 3	Soja - Argentina

Del informe (ver Tabla 8) surgen las discrepancias de dichos combustibles con respecto a la norma europea, lo cual acentúa la necesidad de que los combustibles biodiesel sean fabricados en Argentina bajo normas definidas (IRAM) y estrictas condiciones de calidad.

4) Verificación del comportamiento del material del bombín de purga de la bomba inyectora por la acción del biodiesel:

Durante la prueba de durabilidad del motor de una camioneta Renault, a los 59.000 Km de rodaje total del vehículo y con 26.200 Km de funcionamiento con biodiesel, se presentó una pérdida de rigidez en la pieza mencionada. La misma es fabricada con alguna variedad de caucho; en consecuencia, su falla pudo haber sido ocasionada por un defecto del material, o por acción del biodiesel. A fin de determinar la causa, se emprendió un estudio a partir de una parte original.

Para ello se empleó la norma Peugeot/ASTM D471, según la cual se evalúan las propiedades físicas y mecánicas del material luego de una inmersión a 20°C en isoctano durante 24 horas.

En nuestro caso en lugar del isoctano, empleamos biodiesel de girasol puro (B-100) y al 20% (B-20), que actuaron sobre muestras de material tomadas de una pieza original Renault (Ver Tabla 9).

Tabla 8. Protocolo de laboratorio de las propiedades de los biodiesel (Reproducido del original)



comercia/01020214

Tabla 1: Propiedades de los biodiesel

CARACTERÍSTICA	Límites		Muestra 1 BD Arg. Girasol	Muestra 2 BD USA Soja	Muestra 3 BD Arg. Soja
	max.	min.			
Densidad $\alpha$ 15°C ASTM D 4052, g/ml	0,900	0,860	0,8899	0,8864	0,8872
Viscosidad Cinemática $\alpha$ 40°C ASTM D 445, cSt	5,00	3,50	5,062	4,142	4,075
Carbón Residual $\alpha$ 10% final dest. (Micro Método) ASTM D 4530-00, % p/p	0,30	-	0,2	<0,1	<0,1
Contenido en Agua ASTM D 4377-93, ppm	500	-	711	920	1458
Número de cetano ASTM D 613-93	-	51	51,4	52,0	47,9
Destilación, °C (1)	Se fijarán los límites más adelante		186,2 - 339,8	326,7 - 339,5	306,7 - 339,6
Punto de Inflamación ASTM D 93-00, °C	-	110	76,0	148,0	68,0
Corrosión al cobre 3hs. @ 50°C ASTM D 130-94	Clase I	-	1b	1b	1b
Número Ácido ASTM D 974-97, mg KOH/g	0,5	-	0,21	0,19	0,19
Lubricidad HFRR ASTM D 6079-99 HSD corregido por humedad (*), mm	-	-	0,538	0,240	0,260

Nota:  
 (1) Impracticable por el método ASTM D 86.

Tabla 9. Comportamiento de un material frente a distintos biocombustibles

Muestra Nº	Inmersión en	Luego de 24 horas de inmersión a 20°C	
		Variación de Volumen	Variación de Dureza Shore A
1	B-100	+2,3%	-10%
2	B-20	+7%	-6%



En ambos casos, según las normas, la variación de volumen es aceptable. No se pudo determinar la carga de rotura a la tracción y el alargamiento, dado que de la autoparte utilizada, no se podía extraer una probeta normalizada. Por tal motivo, se evaluó otra característica mecánica, como es la dureza, encontrándose una variación razonable.

No obstante estos resultados y sobre la base a lo sucedido en el vehículo, se continuó el ensayo de inmersión por un período de 550 horas, al cabo del cual se pudo comprobar que ambas se habían ablandado notoriamente. A pesar de que esta última experiencia no es un ensayo normalizado, el resultado obtenido indica que el caucho utilizado para un contacto permanente con gasoil, no satisface las exigencias del biodiesel.

5) Influencia del biodiesel en el funcionamiento de los inyectores temporariamente inactivos:

A fin de observar la influencia de este combustible en autopartes fabricadas con gran precisión y que, por la acción del combustible, sean susceptibles a la formación de lacas u otras reacciones químicas, se dispusieron dos inyectores (uno de inyección directa y otro de inyección indirecta) conteniendo B-20.

Ambas piezas se probaron al iniciar el ensayo, comprobándose un correcto funcionamiento. Luego, para simular un motor detenido por un período determinado de tiempo, se verificó su accionar a los 30 y 90 días subsiguientes. En ambas oportunidades, no se observaron anomalías al ser controlados en el banco de prueba de inyectores.

Las experiencias detalladas en los puntos 4) y 5) fueron realizadas por los autores en laboratorios de la FRBA.

## Ensayos en dinamómetro

Cuando se programó el trabajo con biodiesel, establecimos las condiciones fundamentales que deberían cumplir los biocombustibles para su utilización en motores:

- La menor o ninguna modificación de los motores, los que, a su vez, deberán satisfacer las exigencias de durabilidad.
- La mínima variación en los motores de sus rendimientos de potencia, par y consumo de combustible.
- La disminución en la emisión de contaminantes.

- Su costo no debería superar al de los combustibles fósiles.

Para determinar el rendimiento energético y ambiental de un motor ensayado en dinamómetro, se utilizaron los siguientes combustibles:

- Biodiesel de aceite de soja (B-20 y B-100). (Argentina)
- Biodiesel de aceite de cocción de girasol (B-20 y -100). (Argentina)
- Aceite de girasol comestible (AG-20). (Argentina)
- Aceite de cocción de girasol (AC-20). (Argentina)
- Biodiesel de aceite de girasol (B-5). (Argentina)
- Biodiesel de soja (EE. UU).

## Características del ensayo

La determinación de las curvas características (potencia, torque y consumo específico), como también la medición de emisión de gases contaminantes y opacidad, se efectuaron para las condiciones normales de diseño del motor:

- Avance a la inyección: 18° APMS.
- Temperatura del agua de refrigeración del motor, controlada por su termostato.
- Sistema de escape original.

Los ensayos de motor se realizaron según las normas y procedimientos CETIA 3-1 (Centro de Estudios Técnicos de la Industria Automotriz), y la medición de gases contaminantes según CENT (Consultora Ejecutiva Nacional del Transporte).

## Instrumental utilizado:

- Dinamómetro hidráulico Clayton (EE.UU).
- Analizador de gases Tronic Test (Italia).
- Opacímetro Shady X-2000 (Italia).
- Analizador Bosch para determinación de número Bacharach (Alemania).
- Instrumental diverso para medición de temperaturas, presiones, avance a la inyección, etc.
- Computadora con interfase y sensores para medición, en tiempo real, de potencia y par motor.



- El motor utilizado es descrito en la Tabla 10.

Tabla 10. Características del motor

Marca	Mercedes Benz OM 352A
Número de Cilindros	6
Sistema de Aspiración	Sobrealimentado
Cilindrada	5.958 cm <sup>3</sup>
Relación de Compresión	17:1

## Análisis de los ensayos

Evaluación comparativa entre biodiesel de soja argentino (B-20 y B-100) y gasoil.

En la Figura 2 se pueden visualizar las curvas comparativas, en las que respecto al gasoil, se observa:

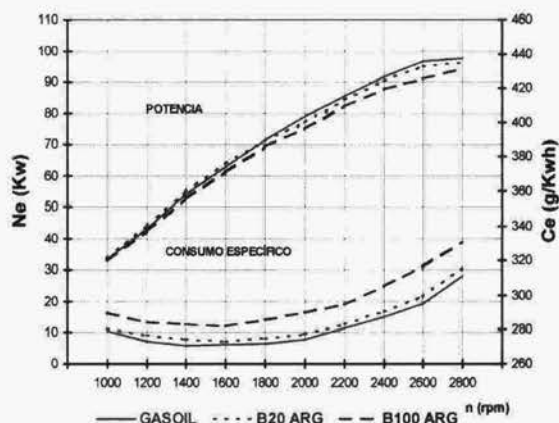


Figura 2. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B100 (Arg.), soja B 20 (Arg.) y gasoil

### Potencia:

En promedio, al utilizar B-20, los valores disminuyen alrededor de un 2%, mientras que con B-100 lo hacen alrededor de un 5%.

### Consumo específico:

Con B-20, aumenta aproximadamente un 3%, mientras que con B-100 el incremento es 6%.

Evaluación comparativa entre biodiesel (B-20 y B-100) de soja argentino y de EE.UU.

Se observa que con ambos se obtienen resultados

equivalentes tanto en potencia, consumo específico y emisiones. (Ver Figuras 3, 4 y 5)

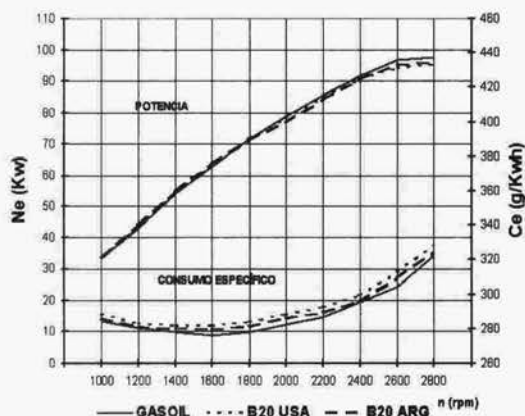


Figura 3. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B 20(USA), soja B 20 (Arg.) y gasoil

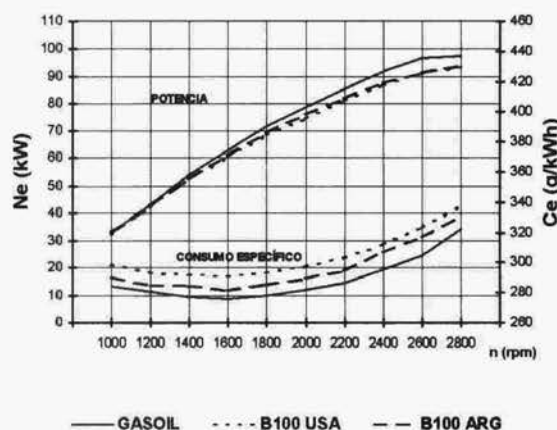


Figura 4. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B 100(USA), soja B 100 (Arg.) y gasoil

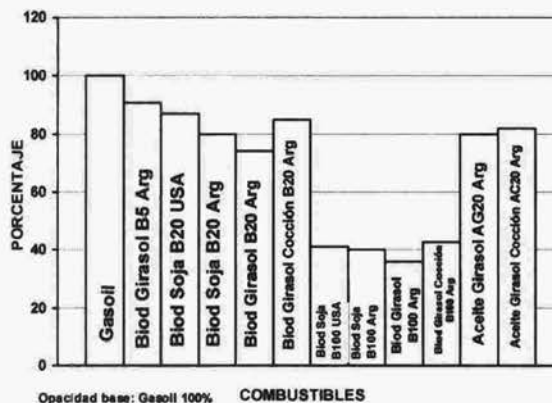


Figura 5. Opacidad: Gasoil vs. Biodiesel y aceites

## Conclusiones

Recordemos que el biodiesel nacional ensayado fue fabricado con especificaciones que aún no estaban definidas por IRAM para nuestro país.\* En consecuencia, al ser los rendimientos similares de ambos combustibles (nacional e importado), reafirman que nuestro país cuenta con todo el potencial para ser productor de biodiesel.

### Evaluación comparativa entre biodiesel argentino obtenido de aceite de cocción de girasol (B-20 y B-100) y gasoil:

Debido a los excedentes de aceites vegetales utilizados en los procesos de cocción de alimentos, se consideró conveniente transformar una muestra del mismo en éster para luego ensayarlo en dinamómetro.

Los resultados logrados son equivalentes a los obtenidos con los ésteres de aceites crudos (Ver Figura 6).

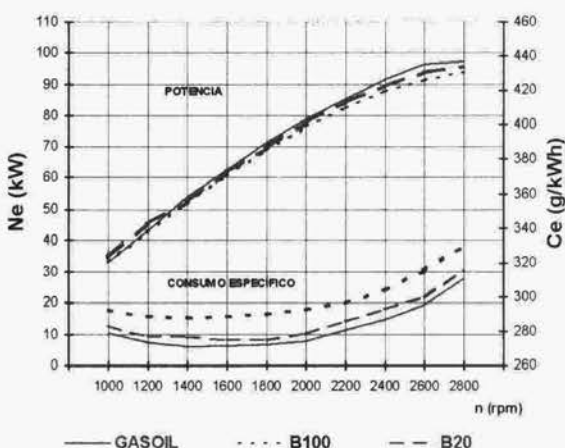


Figura 6. Comparación de potencia y consumo específico. Biodiesel, aceite de cocción (Arg.) B 20, B 100 y gasoil.

### Empleo de aceites vegetales crudos y de cocción como combustible en motores Diesel

#### Aceites Vegetales Crudos

Estos aceites fueron utilizados como combustible por Rudolph Diesel en los comienzos del siglo XX (aceite de maní; Exposición de París, año 1900), los cuales resultaban más económicos que el combustible obtenido del petróleo.

Sin embargo, el vertiginoso desarrollo de la industria petrolera, con la consecuente disminución de sus

costos, promovió el uso de sus combustibles. Por lo tanto, el desarrollo de los motores de combustión interna está vinculado a combustibles refinados que satisfagan esos cambios.

No obstante, la incertidumbre respecto del precio futuro del petróleo, cantidad disponible del mismo y la necesidad de proteger al medio ambiente, renuevan el interés en utilizar combustibles de aceites vegetales puros o mezclados con gasoil.

Para ello, necesitamos modificar estos aceites a los requerimientos de los motores existentes o adaptar éstos a las propiedades de los aceites.

Las investigaciones efectuadas en EE.UU., Japón y países de Europa menciona las características de los mismos (aceites de soja, girasol, colza, algodón, maní, etc.) (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Propiedades del gasoil y de los aceites vegetales

Característica	Gasoil	Aceite Vegetal
Densidad a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	840	910 / 930
Viscosidad a 40°C (cSt)	3 / 4,5	25 / 35
PCI (MJ/kg)	43	35 / 38
Número de cetano	48 / 51	30 / 40
P.O.F.F. (°C)	-20	10 / 20
Azúfre (% Peso) (máx.)	0,5	0,01

- Los inconvenientes que presenta la utilización del aceite vegetal puro en motores diesel convencionales son:
- La elevada viscosidad causa problemas en el sistema de inyección (formación y pulverización de gotas).
- La presencia de oxígeno molecular en el aceite vegetal modifica la relación estequiométrica aire-combustible.
- La curva de destilación indica que los aceites vegetales comienzan a condensar con temperaturas superiores al gasoil. Esto causa que la vaporización de las gotas se dificulte, con la consecuencia que el combustible, por craqueo térmico, forme residuos carbonosos en los inyectores, cámara de combustión, etc., que van deteriorando al motor y reduciendo la potencia, generando un incremento en las emisiones.

\* Actualmente ya determinadas por IRAM (Instituto Argentino de Normalización).

- El punto de obturación del filtro en frío (POFF) es elevado, no permitiendo la utilización de estos combustibles con temperaturas inferiores a 10°C.

### Resumen de las experiencias internacionales

- Mezclar aceite vegetal con gasoil hasta el 25% permite obtener rendimientos semejantes a los del combustible mineral, ya que para esa relación, se obtiene aún una buena atomización (spray) del combustible mediante el inyector.
- Con el uso, se observa una formación excesiva de carbón, que se incrementa con el aumento de la relación aceite vegetal-gasoil.
- Motores con inyección indirecta toleran mejor a estos combustibles que los de inyección directa.
- En consecuencia, existe un importante trabajo de investigación a efectuar para solucionar los problemas mencionados.
- Los autores efectuaron una serie de experiencias en dinamómetro, utilizando aceite comestible de girasol mezclado al 20% con gasoil (AG-20). (Ver Figuras 5 y 7 y Tabla 12)

### Aceite de cocción

La posibilidad de usar como combustible el aceite vegetal empleado en los procesos de cocción de alimentos, es considerado en diferentes países como una alternativa para disminuir el consumo de gasoil.

Diferentes investigaciones internacionales tendientes a comprobar sus posibilidades, mencionan entre otros aspectos:

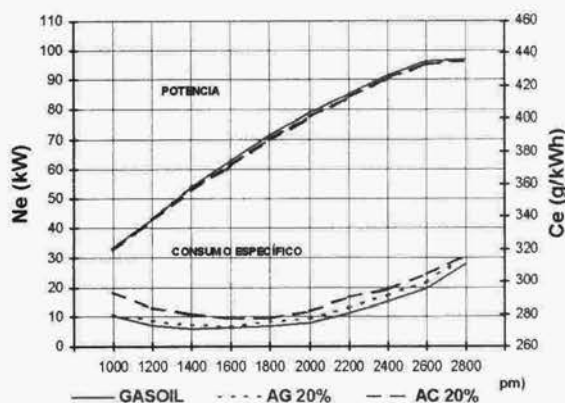


Figura 7. Comparación de potencia y consumo específico. Aceite de girasol (AG) 20%, aceite de cocción (AC) 20% y gasoil.

- La necesidad de efectuar un correcto filtrado del aceite de cocción, por la gran cantidad de partículas de alimentos que contiene, las cuales deben ser eliminadas antes que el aceite sea mezclado con el gasoil, para evitar la obstrucción de los filtros de combustible y/o inyectores.

- Asimismo, debe ser eliminada el agua que contiene el aceite.

- Para una mezcla de aceite al 20% con gasoil presenta un ligero aumento en la emisión de humos.

Un punto de obturación del filtro en frío (POFF) elevado, lo cual no permite su utilización para temperaturas inferiores a 5°C.

Por lo mencionado, los autores efectuaron ensayos en dinamómetro con aceite de cocción mezclado al 20% con gasoil (AC-20).

Tabla 12. Resumen de emisiones

COMBUSTIBLE	ppm (Por Hidro)		
	CO %	HC ppm	NOx ppm
Gasoil	0,14	52	0,62
Biodiesel Girasol Arg 85	0,15	54	0,14
Biodiesel Soya USA 8100	0,10	54	0,71
Biodiesel Soya Arg 8100	0,10	55	0,80
Biodiesel Trébol Arg 8100	0,10	50	0,80
Biodiesel Girasol (Cocido) Arg 8100	0,15	50	0,65
Biodiesel Soya USA 820	0,10	55	0,42
Biodiesel Soya Arg 820	0,12	50	0,60
Biodiesel Girasol Arg 820	0,12	50	0,60
Biodiesel Girasol (Cocido) Arg 820	0,12	55	0,60
Aceite Girasol Arg AC20	0,15	55	0,75
Aceite Girasol (Cocido) Arg AC20	0,12	51	0,45

Para ello, luego de una ardua búsqueda, se logró obtener un aceite de cocción de girasol, que respondió a las siguientes condiciones:

- Cumplimiento de especificaciones de calidad del aceite vegetal que será utilizado en la cocción de alimentos.
- Pautas definidas en tiempo de cocción y procesamiento de una única variedad de producto alimenticio.

Antes de su utilización en el ensayo del motor, el aceite obtenido fue sedimentado y filtrado con diferentes mallas para disminuir las partículas presentes en el mismo.

Las experiencias realizadas en dinamómetro con el AC-20, se encuentran detalladas en las Figuras 5 y 7 y la Tabla 12.

### Conclusiones de los ensayos efectuados con AG-20 y AC-20

Respecto de la potencia, consumo específico y opacidad, se observa que ambos responden de manera semejante que el biodiesel B-20.

Por lo expuesto, se destaca el gran potencial que significaría su utilización como combustible.

### Evaluación comparativa entre biodiesel argentino de aceite de girasol (B-5) y gasoil

Dada la posibilidad que en nuestro país se implemente su utilización, los autores realizaron diversos ensayos utilizando biodiesel de girasol argentino mezclado al 5% con gasoil (B-5)\*. Ver Figura 8.

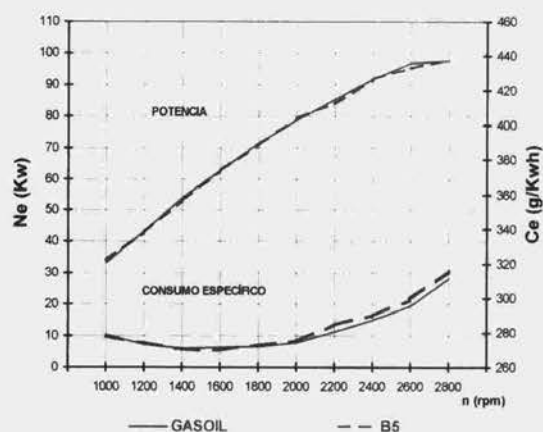


Figura 8. Comparación de potencia y consumo específico. Biodiesel girasol 5% (B-5) y gasoil.

Se observa que, con respecto al gasoil, la potencia como el consumo específico dan valores equivalentes, mientras que la opacidad disminuye un 9%.

Tabla 14. Propiedades y el avance de la inyección para el combustible B-20

GIRASOL B-20 Par Máximo (1800 rpm)				
Avance	Ne kW	NO <sub>x</sub> ppm	HC ppm	Opacidad %
15°	72	607	65	33
18°	74	890	58	39
22°	76	1260	49	42

\* B-5 es la relación definida en Ley de Biocombustibles del Honorable Congreso de la Nación.

### Emisión de contaminantes

En la Figura 5 y en la Tabla 12 se presenta un resumen de los valores observados durante las experiencias efectuadas con combustibles biodiesel y otros aceites.

En la Tabla 12 se observa para la condición de par máximo (1800 rpm) que al reemplazar el gasoil por los combustibles B-20 y B-100, se produce una disminución de los hidrocarburos (HC), en tanto que los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se incrementan.

Respecto de la opacidad, en el caso del B-100 disminuye notablemente, alrededor del 60%. Ver Figura 5.

### Influencia del avance a la inyección

Para el biodiesel de girasol, se estudió la influencia del avance a la inyección, tanto para las curvas características como para la emisión de contaminantes.

Se comprobó que existe una contraposición de los efectos que se logran al aumentar y disminuir el avance, lo que se muestra en la Tabla 13 :

Tabla 13. Efectos del avance de la inyección para el biodiesel de girasol

Efecto	Avance a la Inyección	
	Aumentar	Atrasar
Mejorar rendimiento térmico	X	---
Disminuir HC	X	---
Disminuir NO <sub>x</sub>	---	X
Disminuir Material Particulado	---	X

En la Tabla 14, para el combustible B-20 y para la condición de Par Máximo (1800 rpm), se observa el conjunto de mediciones efectuadas al modificarse el avance de la inyección:

Se observan en la Tabla 15 los efectos cuantitativos del avance de la inyección.

Por lo tanto, para el avance normal del motor (18° APMS), se logra un equilibrio entre el rendimiento térmico y la emisión de contaminantes.

## Ensayos en vehículo

Durabilidad del motor de la camioneta Renault de la FRBA funcionando con combustible biodiesel B-20.

Formando parte de los trabajos de investigar en la FRBA la utilización de combustibles alternativos, se describen los resultados logrados en la camioneta Renault Express, al utilizar combustible biodiesel (B-20) durante 130.000 km. Durante el ensayo, no surgió en el motor ningún tipo de falla ocasionada por este combustible, lográndose evidentes mejoras ambientales por la menor emisión de contaminantes.

## Descripción y resultados del ensayo

### Especificaciones del motor

- Motor Renault 4 cilindros
- Cilindrada 1870 cm<sup>3</sup>
- Potencia 55HP/ 3900 rpm
- Relación Compresión 21,5 : 1

El vehículo utilizó gasoil durante su período de garantía hasta los 32.788 km.

## Durabilidad efectuada con biodiesel B-20\*

- Fecha inicio ensayo Julio 1999
- Distancia recorrida (al 25/06/04) 116.000 km.
- Combustible B-20 consumido 6.825 litros.
- Biodiesel puro 1.365 litros.

## Evaluación de su desempeño

Mecánico: El motor no presentó anomalías atribuibles al combustible alternativo utilizado. Asimismo, los análisis de laboratorio del aceite lubricante utilizado no mostraban ninguna alteración.

Energético: El promedio general de consumo fue alrededor de 17 km/litro que concuerda en general con el gasoil para los diferentes usos del vehículo (diferentes cargas y conducida en tráfico urbano, semiurbano y ruta).

Ambiental: Durante la durabilidad los valores de emisión de contaminantes fueron menores respecto al gasoil, destacándose fundamentalmente la menor emisión de material particulado.

En la Tabla 16 se muestran las emisiones relevadas en el último ensayo efectuado en junio de 2004 y su comparación con las emisiones del gasoil.

Tabla 15. Efectos del avance de la inyección para el combustible B-20

Efecto	Avance a la Inyección	
	15° - 18° (APMS)	18° - 22° (APMS)
Aumenta potencia	+ 2,8%	+ 2,7%
Aumenta NO <sub>x</sub>	+ 46,6%	+41,5%
Disminuye HC	- 10,8%	- 15,5%
Aumenta material particulado	+18%	+ 7,7%

Tabla 16. Comparación de las emisiones relevadas para dos combustibles (junio/2004)

Combustible	CO (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	N° Bacharach **
Gasoil	0,03	12	120	3
B-20	0,02	2	95	1,5

\* Se utilizó biodiesel de soja (origen EE.UU. y Argentina) y de girasol (Argentina). El motor utilizó biodiesel sin tener que efectuarse ninguna modificación.

\*\* N° Bacharach califica la combustión desde el N°1 = prácticamente sin material particulado (PM); hasta el N° 6 = combustión incompleta.



## Comentarios sobre su funcionamiento

El vehículo fue conducido por diversas autoridades, personal y estudiantes de la FRBA a diferentes lugares de nuestro país, no recibiendo ningún comentario negativo sobre el funcionamiento del motor. Por el contrario, se ha destacado su correcto accionar.

## Conclusiones

Ante el buen funcionamiento del motor de la camioneta, con biodiesel B-20, se realza el extraordinario potencial que tiene, para nuestro país, implementar su utilización en los motores Diesel.

Conclusiones generales sobre el uso del biodiesel

Precedentemente mencionamos las condiciones fundamentales que deberían cumplir los biocombustibles para su utilización y cuáles fueron los resultados obtenidos luego de haber experimentado con el biodiesel:

1) La mínima o ninguna modificación de los motores, los que a su vez deberán satisfacer las exigencias de durabilidad.

Los motores utilizados para los ensayos, tanto en dinamómetro como en el vehículo, no fueron modificados, respondieron satisfactoriamente con las exigencias motivadas por el funcionamiento y la durabilidad. \*

2) La no variación del rendimiento térmico de los motores.

Se efectuaron ensayos de potencia y consumo específico utilizando biodiesel de origen nacional e importado, obtenido de diferentes aceites vegetales. Al comparar los resultados obtenidos con el gasoil, se verificó:

B-20 : Las diferencias observadas son mínimas.

B-100: Las diferencias son lógicas si consideramos las ventajas que presenta como combustible renovable.

3) La reducción en las emisiones contaminantes.

Para todos los combustibles biodiesel ensayados, se comprobó – tanto para el B-20 como para el B-100 – la disminución de contaminantes y de material particulado respecto del gasoil.

Además, hay que remarcar que el biodiesel:

- No contiene azufre.
- El balance del CO<sub>2</sub> producido durante la combustión se equilibra con el absorbido por fotosíntesis.

4) Su costo no deberá superar al de los combustibles fósiles.

Como consecuencia del aprovechamiento de los subproductos y de la desgravación impositiva, se podría lograr un precio de venta equivalente al del gasoil.

De lo mencionado surge que para nuestro país, los biocombustibles son una alternativa de solución de la matriz energética con la cual podrá producir los combustibles necesarios para su desarrollo.

## Agradecimientos

Diversas personas participaron para que los autores pudieran concretar el trabajo de investigación. Entre ellas destacamos a: R. Pedro quien realizó las mediciones del poder calorífico inferior de los biocombustibles en el Laboratorio de Máquinas Térmicas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la FRBA y a L. De Rosa quien determinó las viscosidades de dichos biocombustibles en el Laboratorio Tecnológico del Departamento de Ingeniería Química de la FRBA.

Asimismo, se expresa el agradecimiento a las empresas Repsol YPF, Elf Lubricantes, Naveco S.R.L, Agripac S.A y Gruta Sol S.A. por la provisión de información, servicios y materiales.

\* Las autopartes en contacto con el biocombustible deberán utilizar caucho y derivados plásticos compatibles con el biodiesel.

## Referencias

CIDAUT (Centro de Investigación y Desarrollo en Automoción ) (1997) Posibilidades de utilización de biocombustibles en motores de automoción, España.

Directorate General Science, Research and Development (1994) Application of biologically derived products as fuels or additives in combustion engines, Francia.

Engine Manufacturers Association (2000) Francia.

Gobierno Provincia de Santa Fe (1996) Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel, Argentina.

INTA (1995) Boletín Técnico Nº 105, Combustibles a partir de aceites vegetales, Argentina.

MICHELENA, M. (2002) Los biocombustibles Ediciones Multiprensa, España.

SAE (1994) Automotive Fuels Handbook, EE.UU.

SAE (1994) Bosch Diesel Fuel Injection, EE.UU.

SAE, Evaluation of vegetable oils in engines (1998) EE.UU.

U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy (1998) An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycle, EE.UU.

World Wide Fuel Charter (2000) Francia.

## Instrucciones para la presentación de artículos

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

### Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:  
Lic. Juan Miguel Languasco  
Dr. Isaac Marcos Cohen

Facultad Regional Buenos Aires  
Secretaría Académica  
Medrano 951  
(C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

### Recomendaciones generales

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, *asumir* en lugar de *suponer*, o *librería* por *biblioteca*) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención a sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

### Pautas específicas

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1 cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en itálica, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Se aconseja ordenar el trabajo de acuerdo con los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán entregar un disquete conteniendo su trabajo y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

## Tablas y figuras

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color.



**Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)**

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

**Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)**

<b>Magnitud</b>	<b>Condición A</b>	<b>Condición B</b>
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

## Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

## Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo:



(Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

**GOULD, E. S. (1958)** *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.  
**PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997)** Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.  
**SAH, R.; BROWN, P. (1997)** Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

## **Mecanismos de aceptación y normativa general**

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para *Proyecciones* supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente.

## Nuevas carreras de posgrado en la Facultad Regional Buenos Aires

A partir del año próximo comenzarán a dictarse tres carreras en la Escuela de Posgrado de la Facultad Regional Buenos Aires. Son ellas la Especialización en Preparación y Evaluación de Proyectos, la Especialización en Ergonomía y la Especialización y Maestría en Ingeniería Estructural, esta última en conjunto con Facultad Regional Avellaneda y la Facultad Regional General Pacheco.

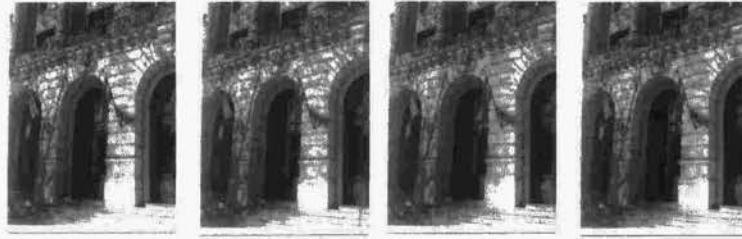
La Carrera de Especialización en Preparación y Evaluación de Proyectos tiene como objetivos generales la formación de profesionales en el nivel académico de posgrado para analizar proyectos de inversión, de manera tal que egresen con la capacidad de identificar, formular, evaluar y administrar proyectos de inversión, desde una perspectiva económica y social, y la formación de especialistas en las técnicas de preparación, ejecución y evaluación de proyectos, a efectos de lograr una optimización de los recursos que se destinan a la inversión.

Algunos de los objetivos de la Especialización en Ergonomía son: contribuir a una sistematización de los saberes, articulando campos de conocimiento que se revelen en un enfoque multidisciplinario; brindar al graduado una formación que vincule la teoría y la práctica mediante la intervención en el terreno de las problemáticas de trabajo; proponer un enfoque mediante el cual se pueda comprender la amplitud significativa de la propuesta ergonómica, su posibilidad de inserción en nuevos campos de capacidades profesionales, reservadas ante otro tipo de saberes.

La Especialización y Maestría en Ingeniería Estructural tiene como objetivo la creación de un espacio institucional destinado a la formación de docentes y profesionales con capacidad para generar aportes en este campo, en relación con el diseño, la construcción y la seguridad de sistemas estructurales y, asimismo, la formación de profesores con alta calificación en ingeniería estructural, capaces de proyectar y construir sistemas estructurales de punta en las distintas tipologías estructurales. Es también objetivo de la carrera la generación de condiciones curriculares para la articulación de actividades de investigación y desarrollo, la formación de profesores de alta calificación profesional y compromiso ético y la adopción de enfoques interdisciplinarios para el fortalecimiento del trabajo en equipo en la creación de proyectos innovadores.

La Facultad Regional Buenos Aires continúa de esta forma su política de brindar a los graduados nuevas posibilidades de expandir sus conocimientos y sus competencias profesionales.

Para mayor información acerca de todas las carreras de grado y posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires, pueden efectuarse consultas telefónicas a los números 4867-7529 y 4983-8882, respectivamente, o vía Internet en la página web [www.frba.utn.edu.ar](http://www.frba.utn.edu.ar)



## **Facultad Regional Buenos Aires**

### **Carreras de Grado**

**Ingeniería Civil**

**Ingeniería Eléctrica**

**Ingeniería Electrónica**

**Ingeniería Industrial**

**Ingeniería Mecánica**

**Ingeniería Naval**

**Ingeniería en Sistemas de la Información**

**Ingeniería Química**

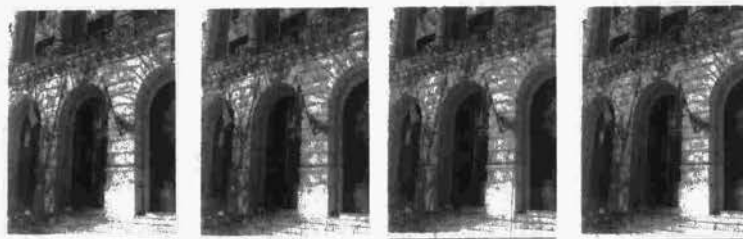
**Ingeniería Textil**

### **Ciclos de Licenciatura**

**Licenciatura en Ciencias Aplicadas**

**Licenciatura en Tecnología Educativa**

**Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica**



## **Facultad Regional Buenos Aires**

### **Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización**

**Doctorado en Ingeniería**  
**Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes**

**Maestría en Ingeniería Ambiental**

**Maestría en Ingeniería en Calidad**

**Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información**

**Maestría en Administración de Negocios**

**Maestría en Tecnología de los Alimentos**

**Maestría en Docencia Universitaria**

**Maestría en Radioquímica**

**Maestría en Reactores Nucleares**

**Maestría en Gestión de la Educación Superior**

**Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo**

**Especialización en Ingeniería Clínica**

**Especialización en Ergonomía**

**Especialización en Preparación y Evaluación de Proyectos**

### **Cursos de Posgrado**

**Dirección de Empresas**

**Automación Industrial**

**Higiene y Seguridad en el Trabajo**

**Gestión en Ingeniería Clínica**

**Generación de Empresas Innovadoras**

**PROYECCIONES se terminó de imprimir en los  
talleres gráficos Forma Color Impresores S.R.L.  
Camarones 1768 (C1416ECH), Ciudad Autónoma  
de Buenos Aires, Argentina, Octubre 2006**



## *Autoridades de la Facultad Regional Buenos Aires*

Decano	Arq. Luis A. De Marco
Vicedecano	Ing. Raúl Sack
Secretario Académico y de Planeamiento	Ing. Ricardo Bosco
Secretario Administrativo	Dr. Alejandro Baigüera
Secretario de Ciencia y Tecnología	A.U.S. Oscar Noguez
Secretario de Cultura y Extensión Universitaria	Ing. Guillermo J. Oliveto
Secretario de Asuntos Universitarios	Sr. Juan M. Tiribelli
Secretario de Gestión Académica	Ing. Marcelo H. Giura
Subsecretaria Administrativa	Sra. Marta Y. Haberman
Subsecretaria de Relaciones Públicas e Institucionales	Sra. Patricia De Marco
Subsecretaria de Asuntos Estudiantiles	Sr. Gustavo Valsecchi
Director de Departamento Ingeniería Civil	Ing. Silvio Bressán
Director de Departamento Ingeniería Eléctrica	Ing. Eduardo Spittle
Director de Departamento Ingeniería Electrónica	Ing. Alejandro J. Furfaro
Director de Departamento Ingeniería Industrial	Ing. Raúl Sack
Director de Departamento Ingeniería Mecánica	Ing. Diego Villalba
Director de Departamento Ingeniería Naval	Ing. César Legaspi
Director de Departamento Ingeniería Química	Ing. M. del Carmen Gutiérrez
Director de Departamento Ingeniería en Sistemas de Información	Ing. Rubén Fusario
Director de Departamento Ingeniería Textil	Ing. Marcelo R. Olivero
Director de Departamento Ciencias Básicas	Ing. Jorge Alborés
Director Académico de Posgrado	Dr. Fernando Nápoli
Director Administrativo de Posgrado	Ing. Urano Schifflini



Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Buenos Aires  
Medrano 951- C1179AAQ- Ciudad Autónoma de Buenos Aires- República Argentina  
Fax: (54-11) 4862-1506- Tel: (54-11) 4867-7500- [www.frba.utn.edu.ar](http://www.frba.utn.edu.ar)