



REVISTA DE LA UNIVERSIDAD  
FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER  
San José de Cúcuta  
Junio 2004  
No. 9 ISSN 0122820X

Publicación científica  
que presenta la producción de  
trabajos de investigación de la  
Universidad Francisco de Paula  
Santander y la comunidad  
científica en general.

Está abierta a ensayos, artículos  
de divulgación científica y a  
informes de investigación de  
todas las ramas del saber, cuya  
calidad se determinará por el grado  
de innovación y por el cambio del  
estado del conocimiento que  
presenten los artículos publicados.

Coordinación y dirección general  
Jorge Sánchez Molina

Comité Editorial  
Carmen Leonor Barajas Forero  
Gabriel Peña Rodríguez  
Hector Jaime Dulcé Moreno  
Luis Ignacio Lizcano Bueno  
Miguel Armando Briceño Guerrero  
Pablo Pastor Mogollón Sánchez  
Víctor Manuel Ardila Soto  
Jorge Fernando Márquez Peñaranda

Editor  
Paula Andrea Plata Ochoa

Diseño - Diagramación  
Impresión  
Offset La Opinión  
5710632 Cúcuta, Colombia

Aplicación del trabajo en equipo en Colombia,  
adelantos investigativos

Pag. 3

Regulación neuroendocrina del ciclo estral  
en la hembra bovina

Pag. 10

Estrategias de comercio e integración de México

Pag. 22

Efecto de la corrosión por  $H_2SO_4$  en la difusividad térmica  
de acero API5L-X52.

Pag. 33

Introducción al diseño de perfil de levas por curvas de Bezier

Pag. 39

Los Departamentos de frontera en Colombia enfrentan actualmente una situación económica crítica y es urgente preguntarse en estas circunstancias ¿cuál debe ser el papel de la Comunidad Científica del Departamento Norte de Santander y del País para contribuir con soluciones de pertinencia regional?

Hace algunos años la Ciencia y la Tecnología no gozaban de merecida atención en los planes de desarrollo del Departamento, ni de los Municipios; hoy, gracias al trabajo de sensibilización liderado por Colciencias, El Consejo Departamental de Ciencia y Tecnología, los Comités Técnicos de Agenda Prospectiva y Ondas; existen gobernantes comprometidos en este proceso, y Colombia espera cosechar los frutos de este esfuerzo en el mediano plazo.

Aún así la inversión en Investigación y Desarrollo como el número de grupos de investigación en Norte de Santander siguen siendo bajos comparados con Departamentos como Antioquia, Cundinamarca y Valle; aunque debe reconocerse el esfuerzo hecho en los últimos años. Sin embargo esta diferencia puede deberse fundamentalmente a la incipiente cultura de investigación en estudiantes y profesionales del Departamento y a su tímido compromiso con la generación de ideas innovadoras y la gestión de recursos. Es perentorio entonces que la comunidad científica regional tome conciencia de su obligación en asumir un papel activo para plantear soluciones a los problemas de frontera.

De acuerdo con el resultado de la Agenda Prospectiva del Norte de Santander se espera lograr para la región el diagnóstico en Ciencia y Tecnología, la conformación de una masa crítica, la generación de una dinámicas de motivadoras hacia la investigación, la canalización de recursos financieros en pro del desarrollo y el establecimiento de líneas temáticas y de acciones prioritarias en el campo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. Para lo anterior las

instituciones de educación superior del departamento, y en particular la Universidad Francisco de Paula Santander, han adoptado los lineamientos definidos por Colciencias, reflejados en la conformación de Semilleros y Grupos de Investigación, la promoción de jóvenes investigadores y el apoyo para estudios de Maestría y Doctorado de sus docentes.

En años recientes se han hecho declaraciones importantes respecto a la Ciencia la Tecnología y a la Sociedad y sus procesos de innovación tales como la declaración de Santo Domingo, República Dominicana en marzo de 1999 y la declaración de Budapest (Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el siglo XX) en junio de 1999. En esta última la Comunidad Internacional adoptó un nuevo compromiso que reza: "La ciencia al servicio del conocimiento, el conocimiento al servicio del progreso, la ciencia al servicio de la paz, la ciencia al servicio del desarrollo".

Los estudios CTS (Ciencia Tecnología y Sociedad) suelen definir un ámbito de trabajo académico cuyo objeto de estudio está constituido por los aspectos sociales de la Ciencia y la Tecnología tanto en lo que concierne a los factores sociales como en lo que atañe a los consumidores sociales y ambientales. En este contexto las preguntas a la ciencia y sus respuestas deben ser pertinentes, de participación pública y con espacio para la controversia y diálogo interdisciplinario. Por otra parte para lograr la competitividad se necesitan contratos amplios que tengan relaciones del tipo Ciencia - Gobierno y Sociedad, Ciencia - Industria y Sociedad, Ciencia - Academia y Sociedad. Las aplicaciones de los estudios CTS deben estar enfocadas a los campos de la investigación, la política pública y la educación, por lo que para que esta oportunidad de ser competitivos se concrete, es necesario que la comunidad científica y académica de la región se posicione como un líder reconocido en el Departamento y el País.

# APLICACIÓN DEL TRABAJO EN EQUIPO EN COLOMBIA, ADELANTOS INVESTIGATIVOS



Víctor Manuel Ardila Soto  
Docente Universidad Francisco de Paula Santander  
Grupo de Investigación Proyección Empresarial  
vmardila@bari.ufps.edu.co

## RESUMEN

El presente artículo, es resultado de una investigación empírica desarrollada sobre el concepto de trabajo en equipo, que tienen los directivos de las empresas de producción manufacturera en las ciudades de Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga y Cúcuta, con base en una conceptualización ajustada de acuerdo a el aporte realizado por diferentes autores (Mueller, Procter, Buchanan, 2000; Knights y McCabe, 2000; Sewell, 1999; Tranfield et al. 1999; Katzenbach y Smith, 1993 y Montebello 2000), divulgándose como resultado el caso colombiano en lo concerniente a este concepto, como aporte investigativo en ciencias sociales en lo relacionado a trabajo en equipo.

Palabras claves:  
Trabajo en equipo  
Concepto  
Empresas colombianas

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo, se elabora con base en el trabajo de investigación titulado "Estudio de las empresas colombianas del sector de la producción manufacturera para determinar la aplicación del trabajo en equipo en ellas", el cual busca identificar las empresas que realmente aplican trabajo en equipo en Colombia, ubicándolas de acuerdo a la relación de interrogantes como el concepto y su relación con el cargo y la ciudad de ubicación de las empresas objeto del estudio.

El contenido sintético está relacionado con los resultados hasta ahora identificados en la investigación en lo referente al concepto que tienen los directivos de las empresas de producción manufacturera de cien

o más empleados sobre el trabajo en equipo que se realiza en Colombia y una discusión sobre el tema, con el objeto de generar inquietud sobre la organización interna de las empresas en equipos de trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

Es normal encontrar empresas que manifiesten que su forma de trabajo es en equipo, por ello surge la inquietud: ¿realmente las empresas que dicen trabajar en equipo, lo hacen? (Ardila, 2002). Para resolver este dilema se desarrolló la presente investigación, que toma como referencia las generalidades y antecedentes presentados en Ardila (2002, 2003), que son: Tranfield et al, (1999), en su artículo "Rediseñando las organizaciones para la mejora industrial"; Bacon y Blyton (2000), en su artículo "Profundidad y Superficialidad del trabajo en equipo: Percepciones de la manera de pensar de la dirección y efectos sobre los recursos humanos y la organización"; Mueller, Procter y Buchanan (2000), presentan su artículo "el trabajo en equipo en su contexto: Los antecedentes, naturaleza y dimensiones"; Delbridge, Lowe y Oliver (2000), en su artículo "Responsabilidades del trabajo en equipo en los niveles más bajos de la organización"; Knights y McCabe (2000), en su artículo "Embrujados, molestos y confundidos: el significado y experiencia de trabajar en equipo para los empleados de una empresa automotriz"; Sprigg, Jackson y Parker (2000); "Producción trabajo en equipo: La importancia de la interdependencia y la autonomía para la tensión y satisfacción del empleado"; finalmente, Geary y Dobbins (2001), a través de su artículo "trabajo en equipo: Otra manera de conseguir el control, por parte de la dirección".

## 3. PROBLEMA

En lo referente a la aplicación del trabajo en equipo se presentan dos tipos de resultados; las empresas que han tenido éxito con su aplicación (Mueller, Procter y Buchanan, 2000; Sprigg, Jackson y Parker, 2000) y

las empresas que han fracasado con su aplicación (Lawler, 1986, 1988; Saporito, 1986; Verespej, 1990; Walton, 1985; Sprigg, Jackson y Parker, 2000). Esta diferencia en los resultados generó la inquietud de analizar que pasa en Colombia en lo referente a este tema, que inicia con la necesidad de conocer el concepto que tienen los directivos de las empresas de la producción manufacturera que dicen que aplican trabajo en equipo actualmente en Colombia, y corroborarlo con un concepto definido para determinar si realmente dichas empresas aplican el trabajo en equipo o simplemente creen estar haciéndolo. De esta manera se proyecta analizar que pasa en Colombia en lo referente a trabajo en equipo desde la óptica de los directivos con relación al concepto real.

#### 4. MARCO CONCEPTUAL

Se podría defender que el concepto de trabajo en equipo en las sociedades industrializadas occidentales tiene connotaciones de colaboración, jovialidad, camaradería, y compromiso en el trabajo (Mueller, Procter, Buchanan, 2000). Sin embargo, analizando algunos artículos como los de Tranfield et al. (1999), Knights y McCabe (2000) y el mismo Mueller, Procter y Buchanan (2000), no es conveniente emitir un concepto de manera rápida y menos en países como Colombia, para lo que se requiere profundizar en el tema y, sobretodo, en la conceptualización que presentan los diferentes autores en busca de unificar criterios y facilitar la orientación de la presente investigación en lo referente a concepto y aceptación.

El trabajo en equipo está definido en el diccionario como dos o más personas que trabajan para lograr una meta común o compartida en virtud de su colaboración (Sewell, 1999); esta definición es genérica y no distingue variables claves en el desarrollo del trabajo en equipo.

Un equipo es un grupo de empleados, normalmente entre tres y quince miembros que se encuentran con un poco de regularidad para trabajar

interdependientemente en cumplir una tarea específica (Mueller, Procter y Buchanan, 2000); esta definición integra una nueva variable "la interdependencia".

Tranfield et al. (1999), reúne varios conceptos entre los cuales está el de Katzenbach y Smith (1993), asesores de McKinsey, definición enunciada también por Montebello (2000), que define un equipo como: "un número reducido de personas con habilidades complementarias, que están comprometidas con un propósito común, un método y unas metas de desempeño, por los cuales se responsabilizan mutuamente". Los elementos importantes de esta definición son las habilidades complementarias, el propósito común y la responsabilidad mutua; sin embargo a medida que se profundiza en el artículo se clarifica más este concepto donde manifiesta que el trabajo en equipo comprende una forma de colectividad que tiene las características de demostrar un propósito compartido y se desarrolla a través de una serie de roles interdependientes; es decir, unifica el concepto inicial y lo correlaciona con el de Mueller, Procter y Buchanan (2000) al integrar propósito e interdependencia. Finalmente Tranfield et al. (1999), complementa su concepto identificando el trabajo en equipo como una intervención de mejora de actuación estratégica con que las compañías relacionan la reingeniería de la organización para desarrollar una ventaja competitiva. Al analizar esta definición se encuentran aspectos interrelacionados importantes como son: grupo de personas o colectividad, habilidades, compromiso, meta, propósito común, papeles interdependientes, mejora de la actuación y finalmente ventaja competitiva.

Knights y McCabe (2000) utilizan un concepto más especializado de acuerdo con el estudio del caso en la compañía automovilística del reino Unido y dicen: "El trabajo en equipo es involucrar en el equipo, personal de producción orientado por los líderes de equipo. Dentro de cada equipo los miembros serán totalmente flexibles y responsables de todas las actividades que tienen lugar en ese departamento"

este concepto incluye otras variables como líder de equipo, flexibilidad y responsabilidad.

En definitiva el concepto de Katzenbach y Smith (1993) es el más claro y está sustentado por autores como Tranfield et al., (1999); Montebello (2000), por lo cual se tomó como el más ajustado en la aplicación de la encuesta Ardila (2004).

### 5. POBLACION Y MUESTRA

El tipo de estudio a aplicar en esta etapa del proceso es exploratorio, el cual se requiere ante la necesidad de ubicar información, de un tema o problema de investigación que realmente ha sido poco estudiado en Colombia de manera empírica o a través de trabajo de campo, es decir, que revisada la literatura, reveló que únicamente hay guías relacionadas con el problema de estudio, situación planteada por Ardila (2003); por lo cual, se toma como fuente de información, la fuente primaria que permite recoger de primera mano de las empresas de producción manufacturera de cien o más empleados ubicadas en las ciudades de Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Bucaramanga y Cúcuta, para lo cual se procedió a solicitar las bases de datos a las cámaras de comercio de las ciudades respectivas, definiéndose la población total como: Bogotá (340), Medellín (89), Cali (107), Barranquilla (43), Bucaramanga (16) y Cúcuta (6), para una población total de 601 empresas.

Igualmente se utiliza los datos cuantitativos, utilizando la encuesta como método. Este método de recopilación de información cuenta con preguntas estructuradas (estandarizadas); es decir, que se utiliza un cuestionario formal que presenta las preguntas en un orden predeterminado y se aplicó enviándolo por correo electrónico y por fax.

Tamaño de la Muestra: para el tamaño de la muestra se tuvo en cuenta una probabilidad inicial de respuesta correcta  $p = 0.956$  y una probabilidad inicial de

respuesta incorrecta  $q = 1 - p = 0.044$ , un nivel de confianza del 1.96, y un margen de error de 4%. Con esta información se aplicó las siguientes formulas:

$$n_0 = \frac{p \cdot q \cdot z^2}{e^2}$$

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + (N-1)}$$

$$n_0 = \frac{0.956 \cdot 0.044 \cdot (1.96)^2}{(0.04)^2}$$

$n_0 = 101$  Tamaño de muestra para poblaciones infinitas.

$$n = \frac{101 \cdot 591}{101 + (591-1)}$$

$n = 86$  tamaño que se extiende a 90 para redondear fracciones de encuestas

De las cuales su distribución se hizo de la manera siguiente:

Tabla 1. Distribución del Tamaño de la Muestra (n)

CIUDAD	No. de empresas N	% N	n esperada	n Real
Bogotá	330	55.84%	50	44
Medellín	89	15.06%	14	16
Cali	107	18.10%	16	14
Barranquilla	43	7.28%	7	7
Bucaramanga	16	2.71%	2	3
Cúcuta	6	1.02%	1	6
TOTAL	591	100%	90	90

Como técnica de muestreo, se tomó el muestreo de grupos, donde, la población meta se divide primero en subpoblaciones o grupos, recíprocamente selectas, llamadas grupos y después se seleccionan una muestra aleatoria de grupos con base en una técnica de muestreo probabilística. Para cada grupo

seleccionado, se incluyen todos los elementos en la muestra o se toma una muestra de elementos en forma probabilística.

El porcentaje de respuesta de la muestra fue alto, pues el 98.9% respondió la pregunta relacionada con el concepto de trabajo en equipo.

### 5.1 RESULTADOS PARCIALES DE LA INVESTIGACIÓN

Pregunta: Cargo de la persona que diligencia la encuesta

La distribución de los cargos de las personas encuestadas es:

Tabla 2. Cargo de los Entrevistados

CARGO	Total	Total
Asesor	1	1,1
Asistente	6	6,7
Director Área	28	31,1
Director RH	23	25,6
Gerente	25	27,8
N.R.	1	1,1
Presidente	3	3,3
Sub-gerente	3	3,3
Total	90	100,0

Para facilitar la interpretación, se presenta el presente gráfico:

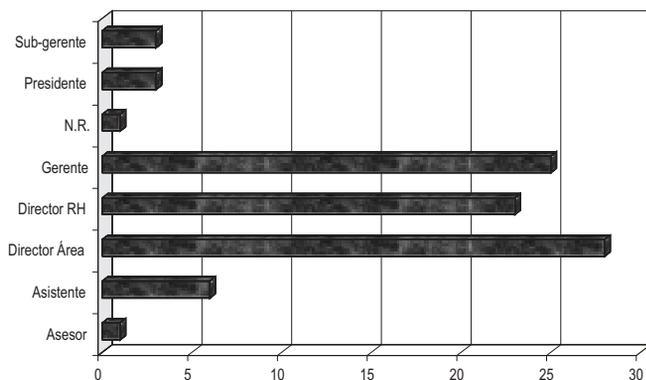


Gráfico 1. Cargo de Encuestados

Quienes más participaron en el diligenciamiento de la encuesta, fueron los gerentes de las empresas, los directores de recursos humanos y directores de otras dependencias (84.5% en total), mostrando la seriedad y responsabilidad con que acogieron la investigación, lo que garantiza la calidad de la misma.

Pregunta: Para usted trabajo en equipo es:

Se presentaron cinco posibles respuestas, de acuerdo con la conceptualización definida anteriormente. De estos conceptos, solo uno es el verdadero, el presentado por Montebello (2000). Sin embargo, los encuestados al diligenciar el formulario, seleccionaron en ocasiones algunas combinaciones, por ello es importante aclarar el significado de las variadas respuestas relacionadas en la tabulación de la pregunta. Estas son:

1, 2, 4, Err = Concepto errado

Real = Concepto verdadero o real

T/Ant = Todas las anteriores, es decir seleccionan la respuesta correcta y las erradas (1, 2, 4)

Comb = seleccionan la respuesta correcta y la combinan con conceptos errados (1, 2, 4).

Err = Seleccionan un concepto errado o combinaciones de ellos (1,2, 4)

NR = No responde.

Con base en lo anterior, el resultado obtenido es:

Tabla 3. Resultados de la Encuesta

CONCEPTO	TOTAL	%
1, 2, 4, Err.	33	36,6
Real	22	24,4
T/Ant	25	27,8
Comb	9	10,0
NR	1	1,1
Total	90	100,0

Sólo un 24.4% de los encuestados tienen un concepto real y claro de qué es trabajo en equipo; un 36.6% definen trabajo en equipo con conceptos no acertados (1, 2, 4); un 37.8% incluye la respuesta real con otro tipo de respuestas (T/Ant, Comb), es decir no están muy claros en el concepto; finalmente, un 1.1% no respondió la pregunta.

## 5.2 DISCUSIÓN

Al observar un nivel no significativo de conocimiento del concepto de trabajo en equipo, genera la necesidad de profundizar en la interpretación de esta tabla combinándola con otras variables como: primero, el cargo de las personas encuestadas; segundo, con la ciudad; de lo cual, se obtiene la tabla 4.

Los gerentes y directores de área expresaron un concepto más acertado de trabajo en equipo (7.8% c/u); contrario a esto fueron pocos los directores del área de recursos humanos que acertaron con el concepto (3.3%).

Al analizar los conceptos errados (1,2,4, Err), los directores de área y los directores de recursos humanos son quienes presentan un concepto errado en mayor

proporción (12.2% c/u), con relación a los gerentes (6.6%).

Quienes combinan el concepto real con otros conceptos (Comb, T/Ant) en mayor proporción son los gerentes (12.3%).

Relación concepto/ciudad: al combinar el concepto que tienen los directivos, con la ciudad, se obtiene la tabla 5.

Entre los directivos que respondieron acertadamente (Verd), con relación a la ciudad, se observa que en Bucaramanga y Bogotá (33.3% y 29.5% respectivamente) fueron las ciudades de mejor concepto. Por el contrario, las ciudades donde se respondió menos con el concepto real son; Cúcuta y Barranquilla (14.3% y 16.7%, respectivamente).

Las ciudades, que presentan un concepto errado en mayor escala son Cúcuta y Cali (50% c/u).

La ciudad que más seleccionó combinaciones de respuestas, que incluye trabajo en equipo, es Barranquilla (71.4%), esto los caracteriza como los indecisos.

Tabla 4. Relación concepto cargo

CONCEPTO	CARGO								Total
	Asesor	Asistente	Director Área	Director RH	Gerente	N.R.	Presidente	Sub-Gerente	
1			2,2		1,1				3,3
2			1,1	4,4	1,1				6,7
Real		1,1	7,8	3,3	7,8		3,3	1,1	24,4
4	1,1	1,1	7,8	6,7	4,4	1,1		2,2	24,4
T/Ant		3,3	10,0	7,8	6,7				27,8
Comb		1,1	1,1	2,2	5,6				10,0
Err			1,1	1,1					2,2
NR					1,1				1,1
Total	1,1	6,7	31,1	25,6	27,8	1,1	3,3	3,3	100,0

Tabla 5. Relación concepto ciudad

CONCEPTO	CIUDAD						
	Bucaramanga	Barranquilla	Bogotá	Cali	Cúcuta	Medellín	Total
1			4,5			6,3	3,3
2		14,3	2,3	14,3		12,5	6,7
Verd	33,3	14,3	29,5	21,4	16,7	18,8	24,4
4	33,3		27,3	28,6	50,0	12,5	24,4
T/Ant	33,3	57,1	22,7	21,4	33,3	31,3	27,8
Comb		14,3	11,4	7,1		12,5	10,0
Err				7,1		6,3	2,2
NR			2,3				1,1
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

## 6. CONCLUSIONES

La encuesta la diligenciaron en su totalidad directivos de la empresa, tales como: gerentes, directores de áreas diferentes a recursos humanos, recursos humanos, presidentes de empresas, subgerentes y asesores de empresas, situación que se identifica con la muestra determinada.

Entre los grupos de directivos que se tuvieron en cuenta, se observó que: quienes más se ajustan al concepto de Katzenbach y Smith (1993) son los directores de área y los gerentes, sin embargo, es importante tener en cuenta que los pocos presidentes de empresas que diligenciaron la encuesta seleccionaron esta respuesta como única opción. Los directores de recursos humanos son quienes tienen en menor proporción un concepto acertado de trabajo en equipo, igualmente son las personas que tienen otros conceptos de trabajo en equipo. Para lo cual, si se desea aplicar trabajo en equipo desde la óptica del concepto presentado en la conceptualización, deben ser preparados y capacitados en mayor proporción con relación a los directores de otras áreas o a los gerentes.

Los directivos en Colombia en un alto porcentaje piensan que están aplicando innovación administrativa

en lo referente a trabajo en equipo y posiblemente no lo estén haciendo. Es decir, no existe un concepto claro de trabajo en equipo, pues solo un 24.4% ha demostrado a través de la respuesta a una pregunta de selección múltiple conocer el concepto de Katzenbach y Smith (1993) seleccionado como el real. Lo que genera inquietud y preocupación, al pensar en la posibilidad de que estos conceptos, enfoques y teorías actuales se tomen a la ligera con base en un conocimiento limitado resultado de alguna lectura del tema, lo cual puede ocasionar más complicaciones que beneficios ante la necesidad de improvisación.

Finalmente, es importante resaltar que está en revisión el resultado relacionado con otras variables como ciudad, y los conceptos de número de equipos emitidos por autores como Jackson y Parker; (2000), Mueller, Procter y Buchanan (2000); Delbridge, Lowe y Oliver (2000). Así mismo, es conveniente darle continuidad a la presente investigación a través de un tercer estudio que tiene como objetivo general evaluar la eficacia en las empresas del sector de la producción manufacturero de cien o más empleados que aplican trabajo en equipo y que se identifican con el concepto real, expuesto por Katzenbach y Smith (1993) y las empresas que se identifican con otros conceptos. De esta manera se podrá brindar una información más

completa a los gerentes en Colombia y a los investigadores nacionales e internacionales interesados en el caso colombiano en lo referente a este concepto "trabajo en equipo".

## BIBLIOGRAFÍA

ARDILA, Víctor M., Teamworking, conceptualización, aplicación y aceptación por parte de los directivos y empleados en las empresas de producción; artículo publicado en el libro: Cambio Organizacional en el contexto de la cultura latinoamericana, ASCOLFA, 2002.

ARDILA, Víctor M., Trabajo en Equipo, conceptualización y aceptación por parte de directivos y empleados en las empresas de producción manufacturera, investigación suficiencia investigadora, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España, 2003.

BACON, Nicolas & BLYTON, Paul. High road and low road Teamworking: Perceptions of management rationales and organizational and human resource outcomes.; Human Relations, Nov 2000 v53 i11. 1425 p.

DELBRIDGE, Rick; LOWE, James & OLIVER, Nick; Shopfloor responsibilities under lean Teamworking; Human Relations, 2000. 1459 p.

GEARY, John F.; DOBBINS Anthony. Teamworking: A new dynamic in the pursuit of management control; Human Resource Management Journal, London; 2001; Vol. 11, iss. 1. p. 3, 21.

KATZENBACH J. R. y SMITH D.K., The Wisdom of Teams, Boston, H.B.S. Press, 1993.

KNIGHS, David & MCCABE, Darren. Bewitched, bothered and bewildered: The meaning and experience

of Teamworking for employees in an automobile company. Human Relations, Nov 2000 v53 i11. 1481 p.

LAWLER, E.E. High involvement management: Participative strategies for improving organizational performance. San Francisco, CA: Jossey Bass, 1986.

MONTEBELLO, Antony R., Equipos de trabajo extraordinarios: habilidades para dirigir una organización. Editorial Pax México, 2000.

MUELLER, F., PROCTER Stephen & BUCHANAN David. Teamworking in its context(s): Antecedents, nature and dimensions. Human Relations, Nov 2000. 1358 p.

SAPORITO, B. The revolt against 'working smarter'. Fortune, 1986, 114. p. 58 - 65.

SEWELL, G. The discipline of teams: The control of team-based industrial work through electronic and peer surveillance. Administrative Science Quarterly, 1999, 43(2). p. 397 - 428.

SPRIGG, Christine A; JACKSON, Paul R y PARKER, Parker. Production Teamworking: The importance of interdependence and autonomy employee strain and satisfaction. Human relations, Nov 2000, v53 i11. 1519 p.

TRANFIELD, David et al. Teamworking: Redesigning the organization for manufacturing improvements; Technology Analysis y Strategic Management, Abingdon, jun 1999; vol. 11, iss. 2. 50 p.

VERESPEJ, J.A. When you put a team in charge. Industry Week, 1990. p. 239, 30 - 2.

WALTON, R.E. From control to commitment in the workplace. Harvard Business Review, 1985. p. 63, 77 - 84.

# REGULACIÓN NEUROENDOCRINA DEL CICLO ESTRAL EN LA HEMBRA BOVINA

Melquisedec Ascanio Pérez. Médico Veterinario.  
Profesor Fisiología de la Reproducción Animal  
Universidad Francisco de Paula Santander

## RESÚMEN

El conocimiento actual sobre la fisiología reproductiva ha modificado sustancialmente los conceptos que existían sobre la regulación del ciclo estral, situación que se ha producido básicamente a causa del desarrollo de la biotecnología de la reproducción, principalmente la transferencia de embriones y la fecundación *in vitro*, las que han exigido de un conocimiento cabal de los procesos de tipo estructural y funcional de los órganos que constituyen el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, además se ha profundizado también en los roles protagónicos del útero y el embrión, en todo este complejo proceso.

El objetivo de esta revisión es exponer de modo accesible una visión general de la regulación neuroendocrina del ciclo estral, precisando los aspectos que constituyen los núcleos conceptuales de este proceso, de modo tal que pueda comprenderse, con relativa facilidad, las variaciones que frecuentemente se observan en el comportamiento del ciclo de las hembras bovinas.

Palabras claves:

Ciclo estral vaca, foliculogénesis, dinámica folicular, ovocitación.

## FOLICULOGÉNESIS

La cantidad de folículos primordiales en los bovinos puede ser desde 130000 hasta 175000 según diferentes autores, en la porcina se reduce a 80000, mientras que en la humana la cifra es de 400000.

La comparación entre especies de mamíferos sugiere que no existe relación aparente entre la magnitud de la población de folículos primordiales y el subsecuente tamaño de la camada o la duración de la vida reproductiva del adulto (Monniaux, et al, 1997).

Los folículos primordiales inician su crecimiento y

diferenciación en un proceso aparentemente continuo pero irreversible que es conocido como foliculogénesis. Cuando un folículo entra en el grupo de crecimiento, éste será conducido a uno de los dos hechos siguientes: la degeneración por atresia, proceso que afecta a la casi totalidad de los folículos o finalmente concluir en el proceso de ovulación (ovocitación), de modo que algunos investigadores han sugerido que en el caso particular de la vaca, por cada ovulación se eliminan más de 12 folículos a través de procesos de atresia (Blanco y Campo, 1997).

La foliculogénesis es el proceso por el cual una cantidad de folículos, constante en cada especie, y los ovocitos que estos contienen, maduran en cada ciclo estral; frecuentemente un solo folículo madura y concluye en la ovulación en la vaca durante cada ciclo estral, no obstante, ovulaciones dobles o múltiples pueden ocurrir de manera natural (Murphy y Pescador, 1997).

El proceso de desarrollo de los folículos es de forma ininterrumpida y su duración se ha calculado en unos 180 días. La maduración folicular se adelanta a la maduración del ovocito (ovogénesis) de modo tal que cuando el folículo concluye su desarrollo –folículo De Graaf- aún el ovocito se encuentra en un estadio de inmadurez (Monget and Monniaux, 1995).

El folículo primordial constituye la reserva ovárica y puede permanecer de modo indefinido en los ovarios, transformándose en folículo primario cuando es activado para su desarrollo, hasta este momento el folículo no es gonadotropo-dependiente, por tal razón todavía no se ha precisado la naturaleza del estímulo que produce la activación del folículo para su desarrollo ulterior (Blanco y Campo, 1997; Fortune, 1994).

Cuando la capa de células de la granulosa se transforma de aplanada a cuboidal y la teca interna comienza su diferenciación, al folículo en desarrollo se le denomina folículo primario. Su crecimiento hacia el siguiente estadio, que es el de folículo secundario,

se completa por la proliferación de las células de la granulosa; los folículos en estos dos estadios se describen colectivamente como preantrales (Murphy y Pescador, 1997).

La ocurrencia del desarrollo durante la vida de los mamíferos y la relativa ausencia de atresia durante los estadios preantrales de la foliculogénesis sugiere que el control paracrino del desarrollo puede ser un proceso constitutivo en la granulosa, teca y células del estroma ovárico (Monget and Monniaux, 1995). El siguiente estadio de desarrollo se caracteriza por la formación de una cavidad en el folículo y la producción de líquido, estos son conocidos con el nombre genérico de folículos antrales. La tasa de crecimiento folicular es muy lenta en los folículos antrales pequeños o tempranos, necesitando más de dos semanas para alcanzar el diámetro de 0.3 mm (Lussier, et al, 1987). Sin embargo, el crecimiento de los folículos antrales grandes es rápido, su tasa más elevada parece ocurrir entre 1 y 2 mm de diámetro. Generalmente se acepta que la formación del antro folicular en los mamíferos es un evento influenciado por las gonadotropinas y que la FSH (hormona folículo estimulante) es la principal hormona responsable (Roche, 1996).

Durante toda esta etapa de transformación los folículos se encuentran bajo la influencia de las gonadotropinas FSH y LH (hormona luteinizante), señalándose de modo reiterado la importancia de la FSH en la formación del antro folicular, lo cual se ha podido reproducir por medios experimentales. En el folículo antral se han comenzado a diferenciar estructuras que cumplen una función importante en la liberación de los esteroides sexuales (estrógenos y andrógenos); estas estructuras conocidas clásicamente como membrana granulosa y teca interna tienen un comportamiento diferente a la acción gonadotrópica, es decir, la producción estrogénica ( $E_2$ ) es asumida solamente por las células de la granulosa bajo la influencia de la FSH sobre sus receptores desarrollados en la fase de folículo antral; sin embargo la teca interna, que es una estructura muy vascularizada, no tiene capacidad para producir

$E_2$  toda vez que en ella no se desarrollan receptores bioactivos para la FSH, mientras que sí tiene receptores para la LH, por tal razón, su producción esteroidea es la androgénica, la que es transformada en  $E_2$  a nivel de la granulosa folicular (Blanco y Campo, 1997).

Desde el punto de vista evolutivo, en el ovocito se han producido también cambios estructurales, pues en este se ha diferenciado una capa protectora de varias decenas de micras de grosor y constituida por una mucoproteína que envuelve al ovocito conocida como zona pelúcida. Existe, además, una protección de tipo histológico estructurada por células foliculares, provenientes, posiblemente, de la granulosa, conocida comúnmente como corona radiada.

Los folículos antrales tardíos, es decir, preovulatorios tienen otras producciones de carácter endocrino como las inhibinas y las activinas, las primeras son hormonas de la familia peptídica que pueden controlar la liberación de la FSH inhibiendo la respuesta a la GnRH. (Hormona liberadora de gonadotropinas)

## DINÁMICA FOLICULAR

El uso de la ecografía ha confirmado el modelo teórico planteado por Rajakoski, quien propuso que los patrones de crecimiento y regresión folicular, tanto a nivel individual como en el total de la población, se desarrollarían durante todo el ciclo, pero no de forma continua sino muy relacionados en el momento o día de éste (Rajakoski, 1960).

El seguimiento ecográfico de los folículos durante todo el ciclo permite la descripción de los niveles de crecimiento y desarrollo foliculares. Así, el desarrollo folicular en la vaca se puede enmarcar en las etapas de reclutamiento, selección y dominancia (Savio, et al, 1987; Savio, et al, 1988; Sirois and Fortune, 1988). El reclutamiento folicular es el proceso por el que, bajo la responsabilidad de la FSH, los folículos antrales pequeños (2-3mm de diámetro) comienzan a crecer, iniciando así una onda de desarrollo; grupos, más

que folículos aislados, son reclutados y este proceso se relaciona temporalmente con cambios medibles de la FSH circulante (Adams, et al, 1992). La ampliación antral es el medio preponderante del crecimiento del folículo durante este período. También hay evidencia de mitosis concomitante en las células de la granulosa complementarias, al menos en roedores (Oktay, et al, 1995).

Se han invocado factores intraováricos estimulados por la FSH, los que están involucrados en el proceso de reclutamiento folicular, los factores de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) y las proteínas a las que éstos se ligan han sido implicados en la amplificación de la acción de la FSH. La IGF-1 potencializa el desarrollo del folículo, como un mitógeno, en los folículos pequeños (El IGF-1 estimula el crecimiento de las células de la granulosa) y por su acción en conjunto con las gonadotropinas para inducir la esteroidogénesis en los folículos antrales (Monget and Monniaux, 1995; Oktay, et al, 1995; Monget, et al, 2002). Los folículos desarrollan la fase de desviación (comienzo de la diferenciación del crecimiento entre dos folículos grandes) y llegan a la dominancia en 4 días de la fase de selección partiendo de una cohorte de +3 mm de diámetro, creciendo de un modo muy rápido (Ginther, et al, 1998).

Se ha podido observar que durante este período se produce un abrupto cambio en la concentración de FSH y en la pulsatilidad de la LH; este cambio hormonal puede actuar como el estímulo para el inicio de la diferenciación de los futuros folículos dominantes y los subordinados; estos cambios hormonales apoyan la hipótesis que expresa la necesidad de una cantidad suficiente de LH y concentraciones mínimas de FSH para que se facilite la desviación folicular (Ginther, et al, 1998b).

El proceso de selección se caracteriza por el bloqueo ejercido por el folículo más desarrollado sobre los restantes folículos de la misma cohorte de desarrollo, este efecto se produce a través de sustancias

hormonales como las inhibinas y el estradiol, las que actúan disminuyendo la liberación de FSH, de modo que los niveles insuficientes de gonadotropinas afectan, esencialmente, el desarrollo de los folículos más pequeños; en esta fase existe un grupo reducido de folículos que escapan al proceso de atresia. Otro mecanismo que se invoca es el de los factores paracrinos como el de la producción del factor de crecimiento epidérmico (FCE) que reduce la capacidad de los folículos pequeños para utilizar andrógenos (Blanco y Campo, 1997).

La dominancia se refiere al desarrollo de un folículo mientras los restantes sufren un proceso de atresia fisiológica. El folículo dominante es más sensible a la acción de las gonadotropinas que los restantes, por lo que a pesar de influir negativamente en la liberación de gonadotropinas FSH, no sufre atresia, esto lo favorece también el IGF-1 (Blanco y Campo, 1997). Se ha señalado que el primer folículo dominante pertenece a una cohorte de folículos de 4-6mm aparecidos el primer día del ciclo (definiéndose el día del celo como día 0 del ciclo) para alcanzar su máximo tamaño (13-16 mm) entre los días 7-8, pudiendo permanecer estable hasta el día 11, momento en que inicia su regresión la que concluye el día 16. El segundo folículo dominante puede ser ovulatorio o no, en dependencia de ciclos de 2 ó 3 ondas de maduración; si el ciclo es de solamente 2 ondas, el segundo folículo dominante aparece el día 11, mientras que si el ciclo se caracteriza por 3 ondas, entonces aparecerá el día 8 para hacerse evidente un tercer folículo dominante, en este caso ovulatorio, el día 16 del ciclo, (Fortune, et al, 1988; Knopf, et al, 1989; Roche and Boland, 1993) cuya tasa de crecimiento es mayor que la de los folículos de las primeras ondas (Kojima, et al, 2003).

Sin embargo, en un trabajo detallado y publicado por Sabio, et al, 1993, se observó la misma cantidad de vacas con 2 ó 3 ondas de desarrollo folicular. En las vacas con dos ondas, el folículo dominante fue identificado el día 2.6 +0.7 adquiriendo su máximo desarrollo durante el día 8.7 con un tamaño de 16.7

+0.7 mm. La segunda onda fue detectada el día 15.3 + 1.8 y su diámetro máximo de 18.7 + 0.9 mm el día 22 + 1.1. Cuando los animales presentaron 3 ondas entonces la primera se identificó a los 2.2 + 0.5, la segunda a los 11.0 + 0.8 y la tercera a los 17.0 + 0.4 días alcanzándose los diámetros máximos a los 7.4 + 0.4; 15.0 + 0.9 y 22.2 + 0.2 días respectivamente. La duración de los intervalos interestruales no evidenciaron diferencias apreciables, contrariamente a lo que se ha encontrado en otros estudios.

Por otra parte, Denis y Gil, 1997, utilizaron un ecógrafo de tiempo Real Aloka SSD-500 para el estudio de las ondas foliculares en un grupo de 22 vacas, observaron que el 75% de los animales presentaron solamente dos ondas de desarrollo, en ellos la segunda onda se inició los días 15 y 16 del ciclo. Estos mismos investigadores aplicaron las técnicas de radioinmunoanálisis (RIA) para determinar los niveles de progesterona en suero, constatando que las mayores concentraciones fueron los días 10, 12, 14 y 16 del ciclo con valores de 8.8; 10.15; 17.00 y 9.35 nmol/l respectivamente; concentraciones similares se reportaron en vacas lecheras y búfalos de río (Campo, et al, 1984; Campo, et al, 1985).

El control endocrino del crecimiento y desarrollo de nuevos folículos es atribuido a la gonadotropina FSH, toda vez que en el vacuno se ha descrito un incremento en los niveles de esta hormona cuando se cauterizan los folículos dominantes, asimismo, la administración de líquido folicular estimula la aparición de una cohorte de folículos con diámetros de 4-5 mm, lo que ocurre de 24 a 48 horas posteriores a la administración. La competencia entre los folículos por la FSH circulante es la responsable de la dominancia; cuando se elimina el folículo dominante, el subordinado más cercano al dominante ocupa su lugar (Kastelic, et al, 1990; Ko, et al, 1991; Adams, et al, 1993; Sunderland, et al, 1994).

La FSH es indispensable para la secreción de estrógenos foliculares ya que estimula el crecimiento, la mitosis y la completa diferenciación de las células

de la granulosa de los folículos preovulatorios grandes, para que adquieran receptores para la LH y desarrollen su máxima actividad aromatizante. Cerca del 90% del estradiol secretado por los ovarios se deriva de estos folículos estimulados por la FSH (Rivera, 1993).

La transformación de los folículos ováricos durante el ciclo estral en el ganado está regulada por las concentraciones de  $P_4$  (progesterona) en plasma actuando vía feedback negativo, lo que tiene un efecto en la secreción de LH. La baja frecuencia de los pulsos de LH en la fase luteal que la caracteriza no es suficiente para mantener el continuo crecimiento de los folículos dominantes, por esta situación se ha formulado la hipótesis de que la inadecuada secreción de andrógenos por la teca interna limita la subsecuente función de las células de la granulosa, necesaria para terminar el desarrollo y la función de los folículos dominantes, los cuales no pueden suprimir prolongadamente el crecimiento de otros folículos y por ello se inicia otra nueva onda de desarrollo folicular (Savio, et al, 1993).

El papel de la FSH en la selección y dominancia ha sido demostrado por la administración de FSH exógena durante dos días dentro del período en que se prevé la selección de un folículo, esta aplicación retrasa la esperada selección, alterando significativamente los perfiles de crecimiento del dominante y aumentando el crecimiento y retrasando la regresión del primero y segundo folículo subordinado (Adams, et al, 1993). En los últimos años se ha reportado que en los folículos dominantes y los subordinados de la primera onda de maduración están presentes proteínas que se combinan con la IGF (insulin-like growth factor), estas proteínas han sido designadas por números de modo tal que su presencia se identifica por los símbolos siguientes: IGF BP-2, 3, 4 y 5. Estos hallazgos apoyan la hipótesis que plantea que los folículos dominantes pueden emplear, de manera más eficiente, los niveles existentes de FSH debido al aumento de la disponibilidad de los IGF y que la atresia en los folículos subordinados es el resultado de una reducción inducida por el IGF BP

sobre los IGF (De la Sota, et al, 1996; Monniaux, et al, 1997).

Las concentraciones de IGF-1 varían de acuerdo a la condición corporal y no afectan sustancialmente el tamaño folicular (Spicer, et al, 2002).

Actualmente se sabe que la atresia folicular es un proceso que causa la muerte y desaparición de más del 99% de los folículos que entran a la población de crecimiento. La mayoría de la degeneración folicular ocurre en el estadio antral temprano, antes del reclutamiento (Murphy y Pescador, 1997).

La atresia puede engendrar pérdida de la vascularidad de la teca, degeneración del ovocito y picnosis de la granulosa, en un proceso de todo o nada. El medio más común de la degeneración celular fisiológica es por apoptosis o muerte celular programada (Peluso, et al, 1995).

La apoptosis fue identificada como mecanismo de muerte celular programada en los folículos atrésicos. Como se indicó anteriormente, las gonadotropinas y los factores de crecimiento son elementos esenciales para el mantenimiento de la población folicular, entre sus efectos pleiotrópicos está la prevención de la apoptosis. El efecto de las gonadotropinas puede ser directo, toda vez que la apoptosis puede suprimirse in vitro por tratamiento con agentes que minimizan las acciones de las gonadotropinas (Tilly, et al, 1991; Jolly, et al, 1994; Flows, et al, 1995).

De modo resumido se puede plantear que la primera onda de maduración se aprecia durante la primera semana posterior al celo, donde existe un folículo dominante que produce un pico de estrógeno los días 5 y 6 del ciclo, estos picos son de una magnitud discreta y se han relacionado con la vitalidad de los embriones en esa época y con la migración e implantación del mismo.

La segunda oleada de maduración ocurre durante la segunda semana del ciclo (10-15 días) relacionándose

también con una descarga de estrógenos la cual está asociada a la estimulación en la síntesis en el útero, de receptores bioactivos para la oxitocina, lo que en su momento desempeña un papel fundamental en la producción y liberación de PGF<sub>2a</sub>. Desde el punto de vista clínico la coincidencia de un folículo dominante con un cuerpo lúteo activo permite establecer el pronóstico aproximado del próximo celo, y por ende, reconocer si existe ciclo ovárico o si por el contrario estamos frente a un caso de anestro (aciclia).

La tercera onda de maduración sólo se presenta en una proporción de animales y la misma ocurre desde el día 17 hasta el momento de la ovulación. Los folículos dominantes preovulatorios pueden localizarse en la segunda y tercera onda de maduración en dependencia del ritmo circadiano de cada hembra.

## OVOCITACIÓN

A pesar de lo controvertido de los diferentes enfoques y tendencias se han observado determinados pasos o eventos fisiológicos que pueden explicar lo esencial de este complejo proceso, lo que es posible resumir del modo siguiente:

- Aumento de la vascularización de toda la pared folicular, excepto en el ápice del mismo, donde se produce una zona avascular, la que representa el lugar por donde se romperá el folículo.
- Disociación de las células de la granulosa, lo que causa un adelgazamiento notable del grosor de la pared folicular.
- Disociación también de las células que conforman el cumulus ophorus liberándose el ovocito del maciso celular ovígero.
- La vascularización folicular preovulatoria condiciona los cambios edemáticos en la teca externa folicular y con ello se afecta la cohesión celular de la misma. Participando además una fuerte acción enzimática (colagenasa, fundamentalmente) que destruye la elasticidad del folículo representada, principalmente, por la teca externa.

- En el ápice del folículo, aparecen en las células epiteliales los lisosomas que con sus hidrolasas destruyen las células de la túnica albuginea y las de la teca folicular.
- La pared folicular se prolapsa cónicamente produciéndose determinados abombamientos, conocidos comúnmente como estigma de ovulación, lugar por donde se romperá la pared folicular.

Momentos antes de la ruptura folicular se aprecia una elevación en la concentración de las prostaglandinas  $F_{2a}$  y  $E_2$ , participando en la contracción ovárica y folicular, a causa de la cual se produce la expulsión del ovocito. En este momento participan también las enzimas que destruyen la cohesión de las fibras colágenas (Holy, 1987).

Se ha postulado que la descarga de GnRH es necesaria para que se produzca la ovulación en todos los mamíferos (Karsch, et al, 1997).

La inhibina y la folistatina son dos proteínas no relacionadas estructuralmente, que inhiben la secreción de FSH. Las activinas, las inhibinas y la folistatina no se producen únicamente en la gónada sino también en la hipófisis y tienen un efecto modulador en la producción de FSH (Knight, P. G., and C. Glister. 2001).

La inhibina es un miembro de la familia de los factores de transformación y de crecimiento tipo b. Su estructura es heterodinámica con sub-unidades alfa y beta, las cuales existen en dos magnitudes de peso molecular en el líquido folicular bovino y ovino. (O'shea, et al, 1994). Las concentraciones de inhibina en el líquido folicular están reguladas por las gonadotropinas. (Findlay, 1993). La activina es el hemodímetro más importante de las subunidades beta inhibina, la que incrementa más que inhibe la secreción de FSH.<sup>(36)</sup> La folistatina es una proteína de enlace de alta capacidad con baja afinidad por la activina, siendo el único mecanismo conocido por el cual ésta interfiere con la secreción de FSH (Sugino, et al, 1993).

En un modelo experimental bien concebido se comprobó que los niveles de  $P_4$  altos durante el período estral bloquean la liberación de LH con lo cual la duración del estro se prolonga, deprimiéndose las manifestaciones de éste; asimismo se comprobó que la ovulación demoraba más que lo esperado, lo que influyó significativamente en la fertilidad, de modo que hembras (novillas) que presentaron los niveles de  $P_4$  suprabasales durante el estro, solamente se fecundaron en el orden del 46%, mientras que las que presentaron niveles bajos de  $P_4$  (0.4 – 0.5 nmol/l) durante el celo mostraron una fertilidad elevada, es decir, se gestó el 90%. (Duchens, 1969).

## CUERPO LUTEO

Esta estructura funcional se desarrolla a partir de la cavidad folicular después de la ovulación, su desarrollo es sumamente rápido, su producción de progesterona es máxima desde el día 10 hasta el 16 del ciclo estral, aunque su nivel es importante ya desde el cuarto. día del ciclo. Produce  $P_4$  como su producto primario, aunque secreta además prostaglandinas y una variedad de hormonas peptídicas y proteicas como la relaxina, oxitocina, vasopresina y estradiol en algunas especies (Niswender, et al, 1994).

El CL está constituido por las células de la teca interna (pequeñas y activas en la primera etapa de su desarrollo) y células de la granulosa (grandes y activas en la segunda mitad de su desarrollo). Según Rivera, 1993, las características principales de cada tipo celular puede resumirse de la forma siguiente:

Las células pequeñas son más sensibles a la acción de la LH pues poseen una cantidad mayor de receptores biológicamente activos para esta hormona y la respuesta es mediada por el sistema AMPc – adenilato ciclasa.

Las células luteales grandes tienen menos receptores para la LH (la mayor cantidad es para la  $PGF_{2a}$  y la  $PGE_2$ ) son las encargadas de la producción de oxitocina luteal. Contrariamente a las pequeñas, la

producción de  $P_4$  está controlada, al menos parcialmente, por el sistema  $Ca^{++}$ -Fosfatil inositol-Quinasa c.

Ambos tipos de células secretan  $P_4$ , pero las células pequeñas han mostrado poseer mayor cantidad de receptores para la LH y su respuesta secretora ante esta gonadotropina in vitro ha sido 6 veces mayor que en las células grandes. Las células pequeñas representan aproximadamente el 20% del total de la población de células luteales (Niswender, et al, 1994). Las células grandes presentan casi la totalidad de los receptores para las prostaglandinas  $E_2$  y  $F_2$  alfa. La alta concentración y afinidad por los receptores específicos para la  $PGF_{2a}$  en el bovino es similar los días 2, 4, 6 y 10 del ciclo estral lo que hace difícil explicar la falta de efectos de la  $PGF_{2a}$  antes de los días 5 y 6 del ciclo estral (Wiltbank, et al, 1991).

La regulación de la función de esta estructura es un mecanismo complejo; en ella intervienen factores tróficos y líticos que están presentes en forma concurrente durante todo el ciclo estral y por tanto la estimulación o la inhibición de la síntesis y secreción de  $P_4$  depende del balance entre estos factores (Rivera, 1993). Un conjunto importante de investigaciones in vivo e in vitro han demostrado que la LH es el factor luteotrópico más importante en la vaca.

La lisis del CL se puede producir como consecuencia de la interacción hormonal sobre sus receptores, donde intervienen principalmente la  $PGF_{2a}$ , la oxitocina y los estrógenos. Se reconoce la intervención directa de la  $PGF_{2a}$  en la lisis luteal, no obstante su síntesis y liberación está motivada por las concentraciones de otras hormonas como la oxitocina hipofisaria y luteal, estrógenos, incluso la  $P_4$  parece desempeñar un papel fundamental en este mecanismo (Blanco y Campo, 1997). En trabajos publicados por Silvia et al (Silvia and Taylor, 1989; Silvia, et al, 1991), se resume un modelo teórico coherente que ilustra esta compleja interacción hormonal.

En estos trabajos aparecen varios puntos en los que la  $P_4$  y  $E_2$  pudieran interactuar para promover la máxima secreción de  $PGF_{2a}$  durante la luteólisis. Primero las concentraciones de  $E_2$  durante la fase luteal (que como se sabe es baja) pudieran ser útiles para inducir un patrón apropiado de secreción de oxitocina neurohipofisaria. Después de una exposición prolongada a la  $P_4$  el útero se vuelve sensible a la oxitocina y entonces la PG es secretada en respuesta a la oxitocina hipofisaria; en estas condiciones la retroalimentación positiva está iniciada y el primer pulso de  $PGF_{2a}$  es liberado, comenzando así la luteólisis. Como los niveles de  $P_4$  bajan, la fase final de maduración folicular empieza y las concentraciones de estradiol circulante aumentan, en este momento la capacidad uterina para sintetizar y secretar PG alcanza sus niveles máximos a causa de la retirada de la  $P_4$  que desciende y/o incrementa el estradiol. Se describen dos fases diferentes de secreción de PG uterina a partir de la magnitud de sus pulsos, lo que se ha comprobado en la vaca y oveja. La secreción de PG se produce de un modo gradual en la magnitud de los pulsos durante la luteólisis; la posible dependencia al  $E_2$  en esta última fase de secreción pudiera, en parte, explicar lo esencial de los folículos para que se desarrolle el proceso de luteólisis. El  $E_2$  pudiera contribuir a la regulación de la síntesis y secreción de la oxitocina hipofisaria (neurohipofisaria). En la oveja se ha comprobado que la administración de dosis bajas de  $E_2$  produce un patrón pulsátil de oxitocina neurohipofisaria que es similar al observado en animales durante la fase folicular del ciclo estral. Un patrón similar se produce cuando se retira la  $P_4$  después de 10 días de influencia. Desde hace muchos años se conoce que la inyección de  $E_2$  en animales sanos ovariectomizados inducen descargas de PG en 6-8 horas.

Es importante señalar que la  $P_4$  estimula la acumulación de fosfolípidos triglicéridos en los tejidos endometriales, de modo tal que su acción es esencial para que se pueda sintetizar la  $PGF_{2a}$  a partir del ácido araquidónico. Se ha comprobado además que la  $P_4$  inhibe la síntesis de receptores para el  $E_2$  y como

es conocido la síntesis de los receptores de la oxitocina es un proceso estradiol-dependiente, lo que significa que si la  $P_4$  impide o limita la formación de receptores para el  $E_2$  se produce entonces una incapacidad para la síntesis de los receptores para la oxitocina, limitándose así la síntesis y liberación de PG.

Actualmente se supone que el mecanismo disparador para la producción de PG es el estrógeno, que permite la acción de la oxitocina hipofisiaria en el útero, posteriormente la oxitocina luteal establece una retroalimentación positiva con la  $PGF_{2a}$  acelerándose la luteolisis en la fase final del CL. Sin embargo, este ciclo de retroalimentación se auto-limita debido a que los receptores para la oxitocina son destruidos después de ser utilizados, por lo que el útero deja de responder con liberación de  $PGF_{2a}$ .

Se ha confirmado que durante el ciclo estral normal, la duración de la fase lútea depende, esencialmente, del momento en que la frecuencia de la liberación de  $PGF_{2a}$  llegue a un pulso rítmico de 5 a 6 horas (Zarco, 1995).

Se desarrolló un trabajo con vacas de carne mestizas con el objetivo de determinar la concentración de los receptores para la progesterona y la oxitocina en hembras que presentaban una fase luteal normal o corta, con la finalidad de encontrar una explicación científicamente fundamentada de la liberación precoz de la  $PGF_{2a}$ . Se concluyó que la concentración de receptores en el endometrio para la  $P_4$  el día 5 del ciclo fue mayor en las vacas con ciclo estral normal, mientras que aquellas que tuvieron un ciclo estral muy corto presentaron una concentración de receptores para la oxitocina mayor. Esto explica que en las hembras con ciclo corto el endometrio pierde la dominancia progesterónica, lo que posibilita la presencia abundante de receptores para la oxitocina y por ello una producción anticipada de  $PGF_{2a}$  y consecuentemente una destrucción precoz del CL y un ciclo estral muy corto (Zollers, et al, 1995).

El embrión es el responsable de indicar al útero su presencia para que éste responda suprimiendo el establecimiento del patrón de secreción pulsátil de  $PGF_{2a}$ ; el embrión utiliza para ello un mensaje químico para lograr el reconocimiento materno de la gestación (Hunter,1991). En el caso de los rumiantes la sustancia producida por el embrión para llevar este mensaje al endometrio es una proteína trofoblástica denominada Proteína Trofoblástica Bovina 1 (bTP-1) la cual se produce con mayor abundancia, después de los 15 días de fecundación, esta proteína se combina con los receptores existentes en el endometrio bloqueando la liberación pulsátil de  $PGF_{2a}$ . Es evidente que existe muy poco tiempo entre el momento en que el embrión puede señalar su presencia y el momento en que el útero materno está programado para destruir el cuerpo lúteo; esto explica que una causa importante de infertilidad en rumiantes es la regresión del CL antes que el embrión informe de su presencia, desarrollándose la asincronía materno embrionaria lo que se produce a causa de un retraso en el desarrollo embrionario o un adelanto en la liberación de  $PGF_{2a}$  por parte del útero materno.

En la práctica reproductiva actual, se ha utilizado la administración del interferón recombinante Bovino  $\alpha 1$ , para suplir esta demora en la producción de bTP-1, pues su similitud estructural así lo permite (Newton, et al, 1990; Roberts and Smith, 1992).

Se expone a continuación la representación esquemática de la regulación neuroendocrina del ciclo estral, destacándose aquellos aspectos más generales y básicos del mismo, requeridos para lograr una estructura conceptual coherente y sencilla en relación a este complejo y dinámico problema.

En la figura 1 se expone la representación esquemática de la regulación neuroendocrina del ciclo estral, destacándose aquellos aspectos más generales y básicos del mismo, que permite lograr una estructura conceptual coherente y sencilla en relación a este complejo y dinámico problema.

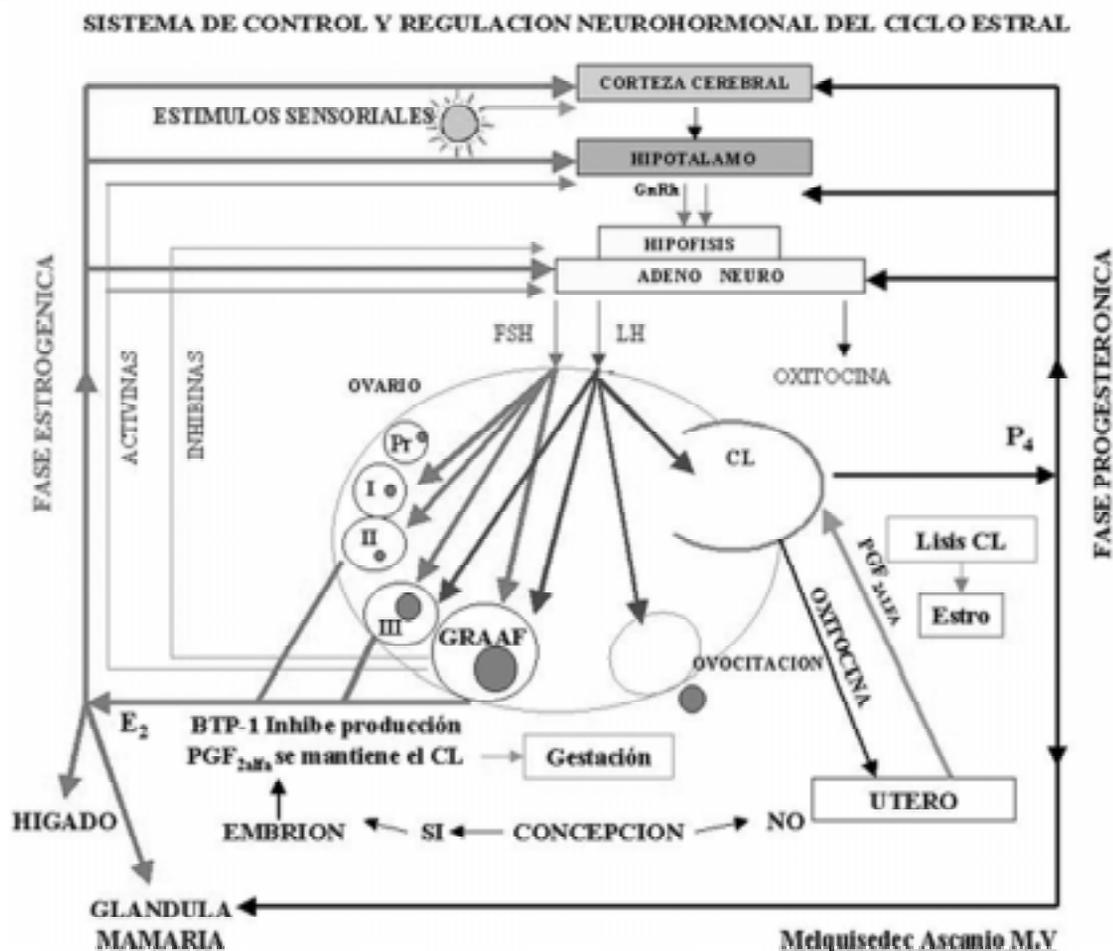


Figura 1

## BIBLIOGRAFÍA

Adams, G.P.; Kot, K.; Smith, C.A. and Ginther, O.J. Selection of a dominant follicle and suppression of follicular growth in heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 30: 259-271. 1993.

Adams, G.P.; Matteri, R.L.; Kastelic, J.P.; Ko, J.C.H. and Ginther, O.J. Association between surges of follicle-stimulating hormone and the emergence of follicular waves in heifers. *J. Reprod. Fert.* 94: 177-188. 1992.

Blanco, A.G.S. y Campo, P.E. Mecanismos neurohormonales del ciclo estral en la vaca. Monografía. La Habana. 1997.

Campo, E.; Alonso, J.C. y García Libertad. Influencia de la época del año en el comportamiento reproductivo de búfalos. *Rev. Salud Animal.* 6: 27-29. 1984.

Campo, E.; Rizo, J.M. y García Libertad. Evaluación clínica del puerperio en vacas lecheras. *Rev. Salud Animal.* 7: 477-484. 1985.

De la Sota, R.L.; Simmen, F.A.; Diaz, T. and Thatcher, W.W. Insulin-like growth factor system in bovine first-wave dominant and subordinate follicle. *Biol. Reprod.* 55: 803-812. 1996.

Denis, G. y Gil, A. Aplicaciones prácticas de la ultrasonografía en los programas de transferencia de

embriones. Centro de Investigación para la Mejora Animal. La Habana. Cuba. 1997.

Duchens, M. Influence of suprabasal progesterone on preovulatory follicle development in heifers. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Swedish. 1969.

Findlay, J.K. An update on the roles of inhibin, activin and follistatin as local regulators of folliculogenesis. Biol. Reprod. 48: 15-23. 1993.

Flows, J.A.; Desanti, A.; Tilly, K.I.; Javid, R.O.; Kugu, K. and Johanson, A.L. Vasoactive intestinal peptide-mediated suppression of apoptosis in the ovary: potential mechanisms of action and evidence of a conserved anti-atretogenic role through evolution. Endocrinology. 136: 4351-4359. 1995.

Fortune, J.E.; Sirois, J. and Quirk, S.M. The growth and differentiation of ovarian follicles during the bovine estrous cycle. Theriogenology. 29: 95-109. 1988.

Fortune, J. E.. Ovarian follicular growth and development in mammals. Biol. Reprod. 50:225. 1994.

Ginther, O.J.; Bergfelt, D.R.; Kulick, L.J. and Kot, K. Pulsatility of systemic FSH and LH concentration during follicular-wave development in cattle. Theriogenology. 50: 507-519. 1998.

Ginther, O.J.; Wiltbank, M.C.; Fricke, P.M.; Gibbons, J.R. and Kot, K. Selection of the dominant follicle in cattle. Biol. Reprod. 55: 1187-1194. 1996.

Holy, L. Biología de la reproducción bovina. Editorial científico técnica. La Habana. Cuba. Pp: 117-123. 1987.

Hunter, M. Characteristics and cause of the inadequate corpus luteum. J. Reprod. Fert. 43: 91-99. 1991.

Jolly, P.D.; Tisdall, D.J.; Heath, D.A.; Lun, S. and McNatty, K.P. Apoptosis of bovine granulosa cells in relation to steroid synthesis, cyclic adenosine 3', 5'-monophosphate response to follicle stimulating

hormone and luteinizing hormone and follicular atresia. Biol. Reprod. 51: 934-944. 1994.

Karsch, F.J.; Bowen, J.M.; Caraty, A.; Evans, N.P. and Moenter, S.M. Gonadotropin-releasing hormone requirements for ovulation. Biol. Reprod. 56: 303-309. 1997.

Kastelic, J.P.; Ko, J.C.H. and Ginther, O.J. Suppression of dominant and subordinate ovarian follicles by a proteinaceous fraction of follicular fluid in heifers. Theriogenology. 34: 499-509. 1990.

Knight, P. G., and C. Glister.. Potential local regulatory functions of inhibins, activins and follistatin in the ovary. Reproduction 121:503. 2001.

Knopf, L.; Kastelic, J.P.; Schallembert, E. and Ginther, O.J. Ovarian follicular dynamics in heifers. Test of two wave hypothesis by ultrasonically monitoring individual follicles. Domest. Anim. Endocrin. 6: 111-119. 1989.

Ko, J.C.H.; Kastelic, J.P.; del Campo, M. R. and Ginther, O.J. Effects of a dominant follicle on ovarian follicular dynamics during the oestrous cycle in heifers. J. Reprod. Fert. 91: 511-519. 1991.

Kojima, F. N., and D. J. Patterson. 2003. Guide to Estrus Synchronization of Beef Cattle. University of Missouri, Columbia, MO.

Lussier, J.G.; Matton, P. and Dufour, J.J. Growth rates of follicles in the bovine ovary. J. Reprod. Fert. 81: 301-307. 1987.

Monget, P. and Monniaux, D. Growth factors and the control of folliculogenesis. J. Reprod. Fert. Suppl. 49: 321-333. 1995.

Monget P, Fabre S, Mulsant P, Lecerf F, Elsen JM, Mazerbourg S, Pisselet C, Monniaux D. Regulation of ovarian folliculogenesis by IGF and BMP system in domestic animals. Domest Anim Endocrinol.;23:139. 2002.

Monniaux, D.; Monget, P.; Besnard, N.; Huet, C. and Pisselet, C. Growth factor and antral follicular

development in domestic ruminants. *Theriogenology*. 47: 3-12. 1997.

Monniaux, F.; Huet, C.; Besnard, N.; Clément, F.; Bosc, H.; Pisselet, C.; Monget, P. and Mariana, J.C. Follicular growth and ovarian dynamics in mammals. *J. Reprod. Fert.* 112: 25-31. 1997.

Murphy, B.D. y Pescador, N. Control de la foliculogénesis bovina por factores endocrinos y paracrinós. VII Curso Internacional de Reproducción Bovina. Centro Médico Nacional. Siglo XXI. D.F. México. 1997.

Newton, G.R.; Martinod, S.; Hansen, P.J.; Thatcher, W.W.; Siegenthaler, B.; Gerber, C. and Voirol, M.J. Effect of bovine interferon on acute changes in body temperature and serum progesterone concentration in heifers. *J. Dairy Sci.* 73: 3439-3448. 1990.

Niswender, G.D.; Juengel, J.L. and McGuire, W.J. The estrous cycle and early pregnancy. *Biol. Reprod.* 50: 239-245. 1994.

O'shea, T.; Hillard, M.A.; Anderson, S.T.; Bindon, B.M.; Findlay, J.K.; Tsonis, C.G. and Wilkens, J.F. Inhibin immunization for increasing ovulatory rate and superovulation. *Theriogenology*. 41: 3-17. 1994.

Oktay, K.; Schencken, R.S. and Nelson, J.F. Proliferating cell nuclear antigen marks the initiation of follicular growth in the rat. *Biol. Reprod.* 53: 295-301. 1995.

Peluso, J.J.; Pappalardo, A. and Trolice, M.P. N-cadherin-mediated cell contact inhibits granulosa cell apoptosis in a progesterone dependent manner. *Endocrinology*. 137: 1196-1203. 1995.

Rajakoski, E. The ovarian follicular system in sexually mature heifers with special reference to seasonal, cyclical and left-right variations. *Acta. Endocrinol.* 34: 1-6. 1960.

Rivera, C. Regulación neuroendocrina de la función ovárica. En: Transferencia de embriones y biotecnología de la reproducción. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. 1993.

Roberts, R. and Smith, M. Luteal function after intrauterine infusion of recombinant bovine interferon. *J. Reprod. Fert.* 94: 319-325. 1992.

Roche, J.F. and Boland, M.P. Turnover of dominant follicles in cattle of different reproductive states. *Theriogenology*. 35: 81-90. 1991.

Roche, J.F. Control and regulation of folliculogenesis. A symposium in perspective. *Rev. Reprod.* 1: 19-27. 1996.

Savio, J.D.; Keenan, L.; Boland, M.P. and Roche, J.F. Ovarian follicular development during the oestrous cycle in heifers. *J. Reprod. Fert.* 77: 124-130. 1987.

Savio, J.D.; Keenan, L.; Boland, M.P. and Roche, J.F. Patterns of growth of dominant follicles during the oestrous cycle of heifers. *J. Reprod. Fert.* 83: 663-671. 1988.

Savio, J.D.; Thatcher, W.W.; Badinga, L.; de la Sota, R.L. and Wolfenson, D. Regulation of dominant follicle turnover during the oestrous cycle in cows. *J. Reprod. Fertility*. 97: 197-203. 1993.

Silvia, W. and Taylor, M. Relationship between uterine secretion of prostaglandin F<sub>2</sub> alpha induced by oxytocin and endogenous concentrations of E<sub>2</sub> y P<sub>4</sub> and three stage of the bovine estrous cycle. *J. Anim. Sci.* 67: 2347-2353. 1989.

Silvia, W.; Lewis, G. and Wilson, J. Hormonal regulation of uterine secretion of prostaglandin F<sub>2</sub> alpha. *Biol. Reprod.* 45: 655-663. 1991.

Sirois, J. and Fortune, J.E. Ovarian follicular dynamics during the estrous cycle in heifers monitored by realtime ultrasonography. *Biol. Reprod.* 39: 308-317. 1988.

L.J Spicer, CC Chase Jr, L M Rutter. Relationship between serum insulin-like growth factor-I and genotype during the postpartum interval in beef cows. *Journal of Animal Science*. 80:716. 2002.

Suginó, K.; Norosawa, N.; Nakamura, T.; Takio, K.; Shimasaki, S.; Ling, N.; Titani, K. and Suginó, H.

Molecular heterogeneity of follistatin an activin-binding protein. *J. Biol. Chem.* 286: 15579-15587. 1993.

Sunderland, S.J.; Growe, M.A.; Boland, M.P.; Roche, J.F. and Ireland, J.J. Selection, dominance and atresia of follicles during the oestrous cycle of heifers. *J. Reprod. Fert.* 101: 547-555. 1994.

Tilly, J.L.; Kowalski, K.I.; Johnson, A.L. and Hsueh, A.J.W. Involvement of apoptosis in ovarian follicular atresia and postovulatory regression. *Endocrinology.* 129: 2799-2801. 1991.

Wiltbank, M.C.; Shiao, T.F. and Bergfelt, D.R. Prostaglandin  $F_{2\mu}$  receptors in the early bovine corpus luteum. *Biol. Reprod.* 52: 74-80. 1995.

Zarco, L. Infertilidad debida a asincronia materno-embriónica en rumiantes. VI Curso Internacional de Reproducción Bovina. Centro Médico Nacional. Siglo XXI. D.F. México. 1995.

Zollers, W.G.; Garverick, H.A.; Smith, M.F.; Moffatt, R.J.; Salfen, B.E. and Youngquist, R.S. Concentration of progesterone and oxytocin receptors in endometrium of postpartum cows expected to have a short or normal oestrous cycle. *J. Reprod. Fertility.* 97: 329-337. 1993.

Carlos Gómez Chiñas\*  
Grupo de Investigación Proyección Empresarial

## INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis detallado de las estrategias de comercio e integración seguidas por las sucesivas administraciones del gobierno mexicano a partir de 1983. Se trata de determinar no sólo si se alcanzaron los principales objetivos de la estrategia de apertura iniciada a mediados de la década de los ochenta sino, además, si esta consecución fue la más eficiente posible.

El trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera, en la primera sección se revisan los rasgos esenciales de la política comercial puesta en marcha a partir de mediados de la década de los ochenta. En la segunda, se analiza uno de esos rasgos, la política de negociaciones comerciales internacionales, poniendo énfasis en lo que, sin duda constituye el elemento fundamental de la política comercial de las últimas décadas, el TLCAN. La tercera sección está dedicada a los resultados de la estrategia seguida y finalmente, se esbozan unas conclusiones preliminares.

Uno de los elementos claves de esta estrategia ha sido, sin duda, la negociación de acuerdos de libre comercio con diversos países. Esta estrategia forma parte de un conjunto más amplio de medidas, que constituyen la política comercial.

Uno de los principales objetivos iniciales de la política comercial era el cambio estructural en la industria y en el comercio exterior. Sin lugar a dudas que se han obtenido algunos logros. Así, uno de los rasgos

sobresalientes del desempeño de la economía mexicana desde finales de la década de los ochenta ha sido su creciente participación en el comercio internacional que la ha llevado de ser una de las economías más cerradas a una de las más abiertas y la han convertido en la primera exportadora de América Latina, a finales de la década de los noventa, de tal forma que las exportaciones mexicanas "representan más del 40% del total de las ventas externas latinoamericanas y caribeñas; además, a lo largo de la década de los 90, su desempeño fue más dinámico que el promedio del resto de la región. Por ejemplo, entre 1992 y 1998 las exportaciones mexicanas crecieron a una tasa promedio de 13%, mientras que las exportaciones latinoamericanas, sin incluir a México, tuvieron un aumento de poco más de 7%".<sup>1</sup> En el año 2001, México ocupó el lugar número 12 entre las principales economías exportadoras, el séptimo si se excluye el comercio intracomunitario de la Unión Europea, y fue la undécima economía en lo que al valor de las importaciones se refiere, nuevamente séptima si se excluye el comercio intracomunitario.

En los años recientes, el crecimiento de las exportaciones ha contribuido con la mitad del crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB). Es cierto que desde 1994, el número de exportadores se ha incrementado en casi 70 por ciento y que actualmente más de 35 mil empresas mexicanas están vendiendo sus productos en el exterior pero el mayor peso de las exportaciones recae en sólo unas cuantas docenas de grandes empresas.<sup>2</sup> Más específicamente, un pequeño grupo de empresas exportadoras nacionales y extranjeras, entre 264 y 312 empresas durante 1993-1998, concentró en promedio el 51.86 % de las exportaciones mexicanas<sup>3</sup>

\* Profesor Titular del Departamento de Economía, UAM-Azcapotzalco.

<sup>1</sup> CEPAL, "El desafío de las nuevas negociaciones comerciales multilaterales para América Latina y el Caribe", Serie Temas de Coyuntura, número 7, CEPAL, Santiago de Chile, 1999.

<sup>2</sup> Cfr. Presidencia de la república, Libre Comercio. Factor clave en el crecimiento económico, México, 2000.

<sup>3</sup> Enrique Dussel Peters, El Tratado de Libre Comercio de Norteamérica y el Desempeño de la Economía de México, Documentos de la CEPAL, México, 2000. Pág.47.

Estas exportaciones han contribuido a la creación de empleos, pero, ¿lo han hecho en el grado pertinente y han coadyuvado al desarrollo y fortalecimiento del mercado interno?. De acuerdo con Dussel, no, ya que una de las características más reveladoras de las principales empresas exportadoras, extranjeras y nacionales es su discreta participación en el empleo. En promedio, han participado con 3.41 % del empleo nacional durante 1993-1998. Las actividades y empresas que concentran 93.35% de las exportaciones- alrededor de 3400 empresas incluyendo maquiladoras- en promedio sólo participan con 5.65% del empleo nacional.

La tasa de crecimiento de la economía mexicana fue modesta en el periodo, 1985-1993, posterior a la reforma, y previo a la crisis de 1995. Así, la tasa de crecimiento promedio anual del PIB, medido a precios de 1980, en el periodo 1985-1994 fue de 1.9 por ciento.

Como resultado de la devaluación de la moneda iniciada en diciembre de 1994, durante 1995-1997 hubo superávit en la balanza comercial y en 1998 hubo déficit, mismo que experimentó una disminución en 1999. En el año 2000, este déficit experimentó un incremento de 43 por ciento. En 2001 aunque siguió aumentando, sólo lo hizo en 22 por ciento, lo que representó un déficit de 9,733 millones de dólares. En 2002, el déficit comercial disminuyó a 7,997 millones de dólares con lo que se revierte la tendencia al aumento que se venía observando desde 1999 .

## **1. RASGOS ESENCIALES DE LA POLITICA COMERCIAL**

Después de dos intentos fallidos de liberalización comercial, México puso en práctica, a partir de 1985, una estrategia de liberalización de las importaciones y de gradual desmantelamiento de los controles comerciales que habían aislado prácticamente a los

productores domésticos de la competencia externa. Cabe mencionar que el proceso de liberalización fue precedido y seguido por fuertes aumentos en el tipo de cambio real que dieron al sector industrial cierto margen de maniobra para realizar el ajuste.

Antes del comienzo de la liberalización comercial, México hacía uso de una gran variedad de instrumentos para controlar las importaciones, estimular la producción industrial y orientar al sector manufacturero hacia los mercados externos. Existía una estructura arancelaria con alta dispersión y una tasa máxima del 100 % donde la mayor parte de las fracciones arancelarias estaban sujetas al permiso previo de importación. Adicionalmente a estos instrumentos, también se utilizaba profusamente el precio oficial, el cual se dejó de utilizar en 1988, como parte de los compromisos contraídos al adherirse al GATT, casi una quinta parte de las importaciones estaba afectada por el precio oficial. Para contrarrestar el sesgo antiexportador generado por tales medidas, los exportadores de productos no tradicionales disfrutaban de estímulos fiscales.<sup>4</sup>

La liberalización comercial comenzó con la eliminación de los controles cuantitativos de un gran número de fracciones arancelarias y con un alza en los aranceles para compensar parcialmente la desprotección que significó la eliminación de tales permisos previos. En 1987 se profundizó la reforma comercial, se simplificó el arancel que fue reducido a cinco tasas con un rango de cero a 20 % y una media arancelaria de 10.4 % y se hizo extensiva a las exportaciones, eliminándose el requisito de permisos para muchas de ellas.

Fueron suprimidos los instrumentos tradicionales de subsidio a las exportaciones, en parte como consecuencia de la adhesión de México al GATT y en parte como consecuencia de las negociaciones bilaterales con los Estados Unidos. Igualmente, se

<sup>4</sup> 4. Véase CEPAL, América Latina y el Caribe. Políticas para Mejorar la Inserción en la Economía Mundial, CEPAL- FCE, Santiago de Chile, 1998. Pág. 161.

redujo significativamente el uso de políticas de promoción industrial. “En particular, asociado a la liberalización comercial y al TLCAN, se desactivó el uso de incentivos comerciales, ya fueran arancelarios o administrativos”<sup>5</sup>.

El ingreso de México al Acuerdo General sobre aranceles aduaneros y comercio (GATT) en 1986, constituyó, sin duda, la primera señal sobre la irreversibilidad del proceso de apertura unilateral iniciado en 1985 y la consolidación del proceso de cambio estructural iniciado en 1983.

Como parte de su adhesión al GATT en 1986, México consolidó sus tasas arancelarias en un máximo ad valorem del 50 por ciento. En la Ronda Uruguay, México acordó en reducir las tasas consolidadas del 50 al 35 por ciento para los productos no agropecuarios, con ciertas excepciones, las cuales afectan a un conjunto relativamente amplio de productos manufacturados, cuyas tasas consolidadas se mantienen por lo general en el 50 por ciento.

Entre 1993 y 1997, México eliminó de manera unilateral aranceles de nación más favorecida a más de 1200 productos; los productos libres de arancel pasaron de 414 en 1993 a 1658 en 1997. Los principales bienes sobre los cuales México adoptó esta eliminación arancelaria fueron insumos y maquinaria utilizados en los sectores agrícola, químico, eléctrico, electrónico, textil y editorial. A pesar de que el arancel promedio simple se mantuvo en alrededor del 13 por ciento después de 1993, el arancel promedio ponderado se redujo de manera significativa pasando del 7.8 por ciento en 1993 al 2.9 en 1996 y al 2.7 por ciento en 1997.<sup>6</sup>

El cambio más importante en el uso de los aranceles ha sido la aplicación de nuevas preferencias

regionales, que han reducido el promedio de los aranceles ponderados en función del comercio pero, al mismo tiempo, han ampliado la diferencia entre el promedio simple de las tasas de Nación más Favorecida (NMF), 16.5 por ciento en 2001 y las tasas preferenciales, por ejemplo, las importaciones procedentes de los Estados Unidos están sometidas a un arancel promedio del 4.2 por ciento. Asimismo, es pertinente mencionar que la base de valoración en aduana depende del origen de las importaciones: FOB para las procedentes de los socios del TLCAN y CIF para otras importaciones, lo que suscita la posibilidad de una distorsión neta del comercio.

En el caso de ciertos productos sensibles como la carne de bovino, el vestido y el calzado, se han aumentado las tasas NMF haciendo uso del margen de flexibilidad que conceden las consolidaciones de tasas máximas.<sup>7</sup> En términos generales se tiene que la protección arancelaria concedida a los productos agropecuarios es sustancialmente más elevada que la de los productos no agropecuarios, la tasa correspondiente a los primeros fue, en 2001, de 24.9 por ciento mientras que la correspondiente a los no agropecuarios fue de 15.6 por ciento.

México, utiliza permisos de importación para proteger ramas de producción nacionales, particularmente en la industria del automóvil. Como la mayoría de los países miembros de la OECD, México también recurre a las medidas antidumping. De hecho, la Unidad de Prácticas Comerciales Internacionales de la Secretaría de Economía, la instancia encargada de realizar las investigaciones antidumping, aplica uno de los sistemas de defensa comercial más activos del mundo. Entre 1987 y 2001 se llevaron a cabo 237 investigaciones (219 por dumping y 18 por subvenciones), de las cuales 178 dieron lugar a la imposición de derechos provisionales y 119 a derechos definitivos. En el

<sup>5</sup> CEPAL, op. cit. pág. 162.

<sup>6</sup> OMC, “Exámenes de las políticas comerciales: Primer comunicado de prensa, resumen del informe de la secretaría y del informe del gobierno”. Pág. 13. [http://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/tp063\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/tratop_s/tp063_s.htm). 1997

<sup>7</sup> OMC(1997), Op. Cit. Pág.2.

periodo 1987-2001, los países más afectados por las investigaciones antidumping de México fueron, los Estados Unidos, China y Brasil. Así, la proporción de investigaciones que dieron lugar a la imposición de derechos es considerablemente mayor en el caso de China que en cualquier otro país, por lo que China ocupa el primer lugar en cuanto al número de derechos impuestos.<sup>8</sup>

“La política comercial de México sigue estando estrechamente asociada con la promoción de las inversiones extranjeras, cuyas normas han formado parte a la vez de sus iniciativas multilateral y preferencial”.<sup>9</sup> Esto no puede ser de otra manera si se considera que las exportaciones de la industria automotriz<sup>10</sup> representaron en 1993, 22.4 por ciento de las exportaciones del sector no maquilador y en 2002 ya representaban 30.8 por ciento de tales exportaciones. Si, además, se considera al sector maquilador, donde la participación de la Inversión Extranjera Directa (IED) es abrumadora, la importancia de la inversión extranjera en la estrategia de comercio exterior de México queda más clara. Así, en 1993, las exportaciones de maquiladoras representaron el 42.1 por ciento de las exportaciones totales en tanto que sus importaciones sólo participaron con el 25.2 por ciento de las importaciones totales, mientras que en 2002, la participación de las exportaciones de las maquiladoras en las totales ya fue de 48.6 por ciento en tanto que sus importaciones representaron ya el 35.2 por ciento de las totales.

Adicionalmente al uso de los aranceles, se siguen utilizando permisos de importación para productos sensibles por razones de seguridad nacional, salud pública y protección de la industrias nacionales. En 2001, las importaciones procedentes de fuentes NMF sujetas a permisos previos incluían los productos

petroquímicos, los vehículos y los neumáticos, máquinas, vestidos y máquinas de oficina usados. En el caso de los vehículos y las máquinas, sólo se conceden permisos cuando ningún producto de producción nacional puede sustituir al producto extranjero. Desde 1998, México ha utilizado un sistema de concesión de licencias de importación para reunir estadísticas sobre el precio de ciertos bienes procedentes de determinados países antes de que se lleve a cabo su importación.

## 2. LAS NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES

Los tratados de libre comercio han sido un elemento fundamental de la política comercial de México en la últimos diez años. Estos tratados comenzaron a negociarse antes de la conclusión de las negociaciones de la Ronda Uruguay con el objetivo de aumentar la competitividad de la economía mexicana y de abrir nuevos mercados de exportación.<sup>11</sup>

Además del TLCAN, México tiene en vigor 9 acuerdos de libre comercio: con Chile (1999), con Bolivia (1995), con Colombia y Venezuela en el marco del Grupo de los tres (1995), con Costa Rica (1995), con Nicaragua (1998), con la UE (2000), con Israel (2000), con la Asociación Europea de Libre Comercio (2001), con el Triángulo del Norte (Guatemala, Honduras y el Salvador 2001) y un Acuerdo de Complementación Económica con Uruguay (2001). Dentro de estos, sin lugar a dudas que el más relevante, es el TLCAN, ya que “con la entrada en vigor del TLCAN, las condiciones generales de la economía se modificaron de manera importante. Por un lado, con el tratado se registraba un avance trascendental en la política de cambio estructural del gobierno. El tratado significaba no sólo profundizar en la apertura a los flujos

<sup>8</sup> OMC(2002), “Exámenes de las políticas comerciales. México 2002. Informe de la secretaría, Ginebra, pág. 62.

<sup>9</sup> OMC(2002), Op. Cit. pág. xi.

<sup>10</sup> En las exportaciones de la industria automotriz se incluyen partes sueltas y motores.

<sup>11</sup> OMC(1997), Op. Cit. pág. 18.

comerciales y de inversión sino que también proporcionaba un visado de permanencia a la misma, difícil de obtener por otros medios<sup>12</sup>. Una gran variedad de intereses específicos afectados adversamente por las políticas de apertura comercial, privatización y desregulación, hubieran encontrado en el rechazo del TLCAN un gran escaparate para presionar a fin de que se revirtieran esas políticas.

La mayor parte del comercio de bienes entre los miembros del TLCAN fue liberalizada entre 1994 y 1998. Al mes de mayo de 2001, la tasa arancelaria media para las importaciones procedentes de los Estados Unidos era del 1.1 por ciento y para las importaciones procedentes del Canadá del 1.6 por ciento. Este proceso quedó completado para la mayoría de los productos restantes el primero de enero de 2003 y el primero de enero de 2004 en lo que respecta a los automóviles nuevos. La plena liberalización de un número reducido de productos, entre los que cabe mencionar los frijoles, el maíz y la leche, está prevista para el año 2008. El TLCAN prevé la liberalización paulatina de las importaciones de vehículos usados, aunque estas comenzarán a liberalizarse a partir de 2009, este proceso concluirá el primero de enero de 2019.<sup>13</sup>

“La estrategia comercial de México se ha alejado progresivamente de las reformas unilaterales, consolidadas dentro del sistema multilateral, para optar por una liberalización negociada a escala regional. La reducción de los obstáculos no arancelarios al comercio y la liberalización de las inversiones producto de acuerdos preferenciales con otros países han beneficiado muchas veces a terceros, por ejemplo en la esfera de los servicios. Al modelar sus nuevos acuerdos de libre comercio según el modelo del

TLCAN, México ha procurado que estos acuerdos tengan un alto grado de uniformidad aunque la diferencia de regímenes en materia de excepciones, plazos de aplicación y normas de origen den lugar a diversas complejidades<sup>14</sup>. Sin embargo, las ventajas que se derivan de tales acuerdos son de carácter temporal, por lo que no deberían sustituir los esfuerzos por mejorar la competitividad global de la economía interna. Además, el número cada vez mayor de acuerdos comerciales concertados por el país suscita preocupación en cuanto a su costo administrativo, en la medida en que las diferencias entre los acuerdos, por ejemplo en lo tocante a las normas de origen, hacen que los agentes económicos dedicados a las actividades de comercio exterior tengan que dominar diferentes normas y procedimientos.<sup>15</sup>

### 3. LOS SALDOS DE LA ESTRATEGIA SEGUIDA

El éxito de la política comercial seguida por México en los últimos años se refleja claramente en los indicadores macroeconómicos. A esta política comercial se atribuye que la crisis de 1995 no haya sido más profunda, que no se hayan perdido más empleos y que el país haya logrado recuperar, en relativamente poco tiempo, el crecimiento económico.<sup>16</sup>

A partir de la crisis cambiaria las actividades exportadoras en México se volvieron altamente rentables. Sin duda, la fuerte y rápida expansión de las empresas exportadoras estuvo relacionada con las medidas de apertura instrumentadas a partir de mediados de los ochenta y la profundización de las mismas vinculadas al tratado. Como resultado de esta profundización, la economía mexicana adoptó una estructura productiva más especializada, en la que ciertos rubros de producción fueron sustituidos por

<sup>12</sup> Ignacio Trigueros, “El Tratado de Libre Comercio de América del Norte y la Situación Macroeconómica de México”, en Beatriz Leycegui y Rafael Fernández de Castro (comps.), *¿Socios Naturales? Cinco Años del Tratado de Libre Comercio de América del Norte*, Miguel Ángel Porrúa, México, 2000, pág. 106.

<sup>13</sup> Cfr. OMC(2002), *Examen de las Políticas Comerciales*. México. Informe de la Secretaría. Ginebra, 2002. p. 26.

<sup>14</sup> OMC(1997), op. cit. pág. 6.

<sup>15</sup> OMC(2002), op. cit. 26

<sup>16</sup> Ivonne Stinson Ortiz, “La política comercial mexicana”, *Perspectivas Americanas*, Publicación electrónica del Instituto de las Américas, junio 2000. [www.iamericas.org](http://www.iamericas.org). P. 3.

importaciones mientras que una mayor proporción de recursos domésticos se orientó a la producción de bienes de exportación<sup>17</sup>.

Veamos a continuación cuáles han sido algunos de los resultados de la estrategia seguida sobre la estructura del comercio internacional de México. En 1985, año en que se inició el proceso de apertura comercial, cuando no se incluían a las maquiladoras dentro de la balanza comercial, las exportaciones alcanzaron un monto de 21,663.8 millones de dólares, mientras que en 2002 ya fueron de 82,641.2 millones de dólares, sin incluir a las maquiladoras, mientras que si se incluyen, el monto sube a 160,682 millones de dólares. Como resultado de la recesión por la que atravesó la economía estadounidense, en 2001 las exportaciones disminuyeron, aunque en 2002 se recuperaron ligeramente, su monto fue inferior al logrado en 2000, año en que representaron 166,454.8 millones de dólares. Aún sin considerar a las maquiladoras, el crecimiento es impresionante. Así, de 1985 a 2002, las exportaciones totales crecieron 500.5%, lo que significó una tasa de crecimiento medio anual (tcma) de 11.1, las exportaciones de manufacturas sin considerar a las maquiladoras lo hicieron en 894.8%, o sea que tuvieron una tcma de 14.5%, mientras que las importaciones aumentaron entre 1985 y 2002 en 818.8%, lo que representó una tcma de 13.9%. Por su parte, el PIB, medido en dólares, creció entre 1985 y 2002 en 317.2 por ciento, lo que significó una tcma de 8.8 por ciento, por debajo del crecimiento del comercio exterior (Cuadro 1).

Del cuadro 1, se puede inferir que las exportaciones no maquiladoras crecieron en el periodo 1995-2002 en 70.6%, mientras que las exportaciones de maquiladoras lo hicieron en 150.9%. De lo anterior, se puede afirmar que el componente más dinámico de las exportaciones mexicanas son las realizadas por

las maquiladoras, las cuales hacen uso intensivo de mano de obra poco calificada y tienen una marcada orientación hacia el mercado de los Estados Unidos. La economía mexicana hoy es mucho más abierta que en 1983. En ese año las exportaciones e importaciones de mercancías representaron el 31.78 % del PIB, mientras que en 2000 esa proporción fue del 59.34%. Veamos con mayor detalle esta relación. En la última parte de la década de los ochenta la proporción entre exportaciones e importaciones con relación al producto interno bruto alcanzó un máximo del 34%. En 1993, cae hasta el 29%, esto a pesar de que para este año ya se consideraba a la industria maquiladora dentro de la balanza comercial. En 1995, el grado de apertura comercial fue del 53.11%. La causa fundamental de este impresionante aumento, pasó de 33.33% a 53.11% en sólo un año, es la caída del PIB medido en dólares que fue de 32%, aunque las exportaciones también crecieron de manera considerable, 30.5 %, mientras que las importaciones caían en 8.7%, como resultado de la devaluación. Esta proporción se ha mantenido por encima del 50% a pesar de la recuperación del PIB. Así, en 1999 fue de 58.1%, mientras que en 2002 disminuyó a 51.7%.

No se puede afirmar tajantemente, para el período 1995-2001, que “la devaluación del peso, sin lugar a dudas, ha sido una de las principales causas de esta dinámica”<sup>18</sup>, ya que el TLCAN también ha tenido una influencia notable en este desempeño. Así, en la gráfica 1 se puede apreciar que durante el período 1998-2001 no hay una relación clara entre las variaciones del índice del tipo de cambio real y el crecimiento de las exportaciones, por ejemplo, se observa, entre 1998-2000, que las exportaciones siguen creciendo mientras que el índice del tipo de cambio real basado en el costo unitario de la mano de obra en la industria manufacturera no maquiladora disminuye.<sup>19</sup> Entre

<sup>17</sup> Véase Ignacio Trigueros, op. cit. págs. 120-121.

<sup>18</sup> Enrique Dussel Peters, El Tratado de Libre Comercio de Norteamérica y el Desempeño de la Economía en México, Documentos de la CEPAL, México, 2000. Pág. 18.

<sup>19</sup> Un aumento en el índice significa una depreciación del peso y una disminución representa una apreciación.

2000 y 2001 ocurre lo contrario ya que mientras el peso se deprecia, las exportaciones disminuyen.

Otra relación donde se puede apreciar claramente la transformación ocurrida en el comercio exterior de México es en la participación de las exportaciones de manufacturas en las exportaciones totales. Como se puede observar en el cuadro 2, en 1983 las exportaciones de manufacturas representaban el 21% de las exportaciones totales, en 1988, esta participación casi se había duplicado al representar 40%, después de caer ligeramente en 1990, en 1993 ya las exportaciones de manufacturas representaron el 82.1 por ciento de las exportaciones totales, un aumento del cien por ciento en su participación en las exportaciones totales en sólo cinco años. Sin embargo, este último dato hay que tomarlo con muchísima reserva ya que a partir de 1991 se incluyen las exportaciones de las maquiladoras en la balanza comercial y no en la de servicios como se hacía tradicionalmente. Después de un virtual estancamiento en 1993-94, inició un repunte que alcanzó su máximo en 1998 cuando representaron el 90.3% de las exportaciones totales. En 2002, esta participación fue del 88.4%. Sin lugar a dudas que ha sido notable el desempeño de las exportaciones de manufacturas.

En contrapartida las exportaciones petroleras han venido perdiendo importancia dentro de las exportaciones totales. Así, mientras que en 1983 representaron el 72% de las exportaciones totales, en 1993, ya sólo representaban el 14.3%, esta participación ha continuado a la baja de tal forma que en 2002, las exportaciones petroleras sólo representaron el 9 por ciento de las exportaciones totales<sup>20</sup>, lo cual indica un cambio notable en la estructura de las exportaciones mexicanas y una mayor diversificación de las mismas.

En el sector agropecuario muchas actividades se han

modernizado y beneficiado de un acceso creciente a los mercados externos, especialmente el mercado estadounidense, pero otras siguen desenvolviéndose en una escala reducida y esencialmente orientada al consumo de subsistencia. En general la productividad de la mano de obra del sector es muy inferior a la media nacional.

En lo que se refiere al comportamiento de la balanza comercial, en el cuadro 1 se observa que después de experimentar déficit crecientes, se volvió positiva entre 1995 y 1997. En 1998, el déficit fue de 7913 y disminuyó en 1999 a 5583.7 millones de dólares pero volvió a aumentar en el año 2000 cuando alcanzó la cifra de 8003 millones de dólares. En 2001, el déficit aumentó nuevamente para alcanzar los 9733 millones de dólares, aunque en 2002 disminuyó ligeramente a 7997 millones de dólares. Si hacemos a un lado a las maquiladoras el déficit es sustancialmente mayor y sostenidamente creciente entre 1997 y 2000, aunque durante 2001 y 2002 disminuyó, todavía es más de tres veces el déficit comercial total, lo cual podría ser un síntoma de problemas respecto de la competitividad de la industria no maquiladora mexicana y una evidencia de la ausencia de una política industrial adecuada. Hay que hacer notar que el problema no es tanto por una falta de crecimiento de las exportaciones sino por el mayor dinamismo de las importaciones. Así, en el periodo 1995-2002 las exportaciones totales no maquiladoras crecieron a una tasa media anual de 7.9 por ciento mientras que las importaciones correspondientes lo hicieron a una tasa de 17.8 por ciento, más del doble.

Se puede afirmar que la industria no maquiladora es la determinante de este déficit, aunque el sector agropecuario también contribuye a esta tendencia comercial negativa. El TLC con Estados Unidos y Canadá no ha favorecido un mejoramiento de esta tendencia en este sector<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Estos cálculos se realizaron con base en datos del Banco de México, Informe Anual, 1984 y 2002.

<sup>21</sup> Véase Carlos A. Roza Bernal, "El modelo exportador mexicano. ¿Éxito o fracaso? En Diana R. Villarreal González (comp.), La Política Económica y Social de México en la Globalización, UAM- Miguel Ángel Porrúa, México, 2000. p. 86.

Veamos ahora el saldo regional de la balanza comercial. Hasta 1994, México había tenido un saldo negativo en su comercio con Los Estados Unidos. Desde 1995 este saldo ha sido persistentemente positivo lo que ha compensado parcialmente los crecientes saldos negativos con el resto del mundo. En el cuadro 3 se puede observar que el comercio con Canadá ha tenido saldos negativos en el período 1998-2002. Se puede decir que el comercio con Canadá ha sido muy dinámico, sólo que este dinamismo no ha sido parejo ya que mientras las exportaciones mexicanas a Canadá crecieron a una tasa media anual de 8.2 por ciento en el periodo de vigencia del tratado, 1994-2002, las exportaciones totales lo hicieron a una tasa de 12.9 por ciento, en tanto que las importaciones procedentes de Canadá crecieron a una tasa media anual del 13.6 por ciento, en el periodo referido, que está por encima del 9.9 por ciento anual al que crecieron las importaciones totales en ese período.

Como resultado de lo anterior, las importaciones procedentes de Canadá han ganado importancia dentro de las totales. Así, las importaciones procedentes de Canadá representaban el 1.8 por ciento de las totales en 1993, un año antes de la puesta en marcha del TLCAN, mientras que esta participación alcanzó el 2.7 por ciento en el 2002. Por su parte, en 1993, las exportaciones a Canadá representaban el 3 por ciento de las exportaciones mexicanas, en tanto que en 2002 dicha participación disminuyó a 1.8 por ciento. En lo que se refiere al comercio México-Canadá, se puede decir que el TLCAN ha servido más para impulsar las exportaciones canadienses a México que las mexicanas a Canadá.

El saldo de la balanza comercial con la zona del TLC ha sido persistentemente positivo desde 1995. El comercio con el resto de América también ha tenido saldos persistentemente positivos desde 1993. Esto podría explicar el afán del gobierno de suscribir

Acuerdos de Libre Comercio al por mayor, aunque si uno se detiene en el caso de Canadá, este afán ya no tendría tanto sustento.

De acuerdo con Dussel<sup>22</sup>, se puede afirmar que las actividades exportadoras manufactureras, motor del crecimiento de la economía mexicana, se encuentran altamente concentradas en un relativamente pequeño grupo de empresas maquiladoras y de otra índole, con limitaciones para generar o profundizar sus encadenamientos con otras empresas establecidas en México, así como con una reducida participación en el empleo total.

Sin embargo, desde la perspectiva oficial, el panorama es sustancialmente diferente, así las exportaciones son el sector más dinámico de la economía mexicana y el primer generador de empleos. Los empleos en el sector exportador tienden a ser mejor remunerados. En 1999, las empresas que exportaron el 80% o más de sus ventas pagaron salarios 64% más altos que los del resto de la industria. En aquellas empresas que exportaron más de 60% de su producción, los salarios fueron 39% superiores a los del resto de la industria. Igualmente, el número de exportadores se ha incrementado. Actualmente, más empresas mexicanas, en su mayoría de menor tamaño, están vendiendo sus productos en el exterior, contribuyendo con ello a la creación de empleos, así como al desarrollo y fortalecimiento del mercado interno.<sup>23</sup>

No obstante esto último, se puede afirmar que se ha desaprovechado un gran potencial de desarrollo tecnológico, de generación de empleos y de procesos de aprendizaje en general, ya que la mayor parte de las empresas mexicanas no han participado en este proceso de integración y crecimiento mediante las exportaciones.

De acuerdo con Carlos Roza, se puede concluir que "la estrategia exportadora ha sido incapaz de

<sup>22</sup> Op. Cit. Pág. V.

<sup>23</sup> Secretaría de Economía, México: Negociaciones Comerciales Internacionales, México, D.F. Abril de 2001. pág. 4.

convertirse en una fuerza de arrastre para el crecimiento del mercado nacional, especialmente por la incapacidad que ha tenido para impulsar la oferta por medio de la producción nacional de bienes intermedios y de capital y la demanda por su incapacidad para mejorar el valor adquisitivo del salario.<sup>24</sup>

## CONCLUSIONES

Uno de los resultados más relevantes de la estrategia comercial seguida es el dinamismo de las exportaciones, las cuales se han convertido en el motor de la economía. Otro resultado notable es la creciente participación del comercio de manufacturas en el comercio total de bienes.

Destaca la importancia de los Estados Unidos como destino y origen de las exportaciones e importaciones mexicanas, durante 2000 Estados Unidos absorbió el 88.7% de las exportaciones mexicanas y proporcionó el 73% de sus importaciones. En 2002, esas proporciones fueron de 88.96% por ciento y 63.2 por ciento, respectivamente. A partir de estos datos se puede afirmar que México está diversificando el origen de sus importaciones pero no el destino de sus exportaciones.

La liberalización o racionalización de las importaciones es sólo uno de los ingredientes de una reforma comercial integral y como lo demuestra la experiencia mexicana, no es una condición suficiente para que el comercio exterior se constituya como un motor que lleve a la economía a un crecimiento sostenido y menos al desarrollo, se necesita de una política activa para alcanzar tal objetivo.

Con todo sus logros, es evidente que la política comercial no se ha traducido en una mejora de la distribución del ingreso, ni en la disminución de los niveles de pobreza. Además, el empleo no ha aumentado en los niveles requeridos por la población.

<sup>24</sup> Op. Cit, p. 96.

## BIBLIOGRAFÍA

BANCO DE MÉXICO, Informe Anual, varios años.

CEPAL, América Latina y el Caribe. Políticas para Mejorar la inserción en la Economía Mundial, CEPAL-FCE, Santiago de Chile, 1998.

CEPAL, "El desafío de las nuevas negociaciones comerciales multilaterales para América Latina y el Caribe", Serie Temas de Coyuntura, número 7, CEPAL, Santiago de Chile, 1999.

Dussels Peters, El Tratado de Libre Comercio de Norteamérica y el Desempeño de la Economía de México, Documentos de la CEPAL, México, 2000.

OMC, "Exámenes de las políticas comerciales: Primer comunicado de prensa, resumen del informe de la secretaría y del informe del gobierno". [http://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/tpr\\_s/tp063\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/tratop_s/tpr_s/tp063_s.htm). 1997.

OMC, "México, Informe de la Secretaría", Examen de las Políticas Comerciales, Ginebra, 2002.

Presidencia de la República, Libre Comercio. Factor Clave en el Crecimiento Económico, México, 2000.

Secretaría de Economía, México: Negociaciones Comerciales Internacionales, México, 2001.

Rozo Bernal, Carlos A. "El modelo exportador mexicano. ¿Éxito o fracaso? En Diana R. Villarreal González (comp.), La Política Económica y Social de México en la Globalización, UAM- Miguel Ángel Porrúa, México, 2000.

Stinson Ortiz, Ivonne, "La política comercial mexicana", Perspectivas Americanas, Publicación electrónica del Instituto de las Américas, junio 2000, [www.iamericas.org](http://www.iamericas.org)

Trigueros, Ignacio, "El Tratado de Libre Comercio de América del Norte y la situación Macroeconómica de México" en Beatriz Leycegui y Rafael Fernández de Castro (comps.), ¿Socios Naturales? Cinco Años del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Miguel Ángel Porrúa, México, 2000.

Cuadro 1. México: Comercio Exterior y PIB (Millones de dólares)

Año	Exportaciones totales	Importaciones totales	Exportaciones + Importaciones	Exportaciones totales sin maquiladora	Importaciones totales sin maquiladora	Exportaciones de manufactura	Export. de manufac. sinmaquilado	PIB Manufacturero a precio	PIB
1983	25953	11849	37802	22312	8550.9	5448	5448	163139	118960
1984	29100	15916	45016	24196	11254.3	6985	6985	171425	159146
1985	26757	18359	45116	21663.8	13212.2	6428	6428	181823	152740
1986	21804	16784	38588	16031	11432.4	7909	7909	172135	124148
1987	27600	18812	46412	20656.2	11222.9	10427	10427	177498	137509
1988	30692	28082	58774	20561.1	18898.2	12268	12268	178416	181826
1989	35171	34766	69937	22764.9	23409.7	13091	13091	192500	204437
1990	40711	41593	82340	26773.1	29798.5	14861	14861	205524	297538
1991	42688	49967	92655	26854.5	38184.1	32307	15679	212578	286859
1992	46196	62129	108325	27515.6	48192.6	36168	16740	221427	363662
1993	51886	65367	117253	30033	48923	42617	19832.1	219934	403243
1994	60882	79346	140228	34613	58879.7	50402	24132.8	228892	420773
1995	79542	72453	151995	48438.3	48274.3	66558	35454.6	217582	286184
1996	96000	89469	185469	59079.4	58964.1	80305	43384.3	241152	332337
1997	110431	109808	220239	65265.8	73475.7	94802	49636.6	265113	400870
1998	117460	125373	242833	64376.4	82816.3	106062	52979.2	284643	421026
1999	136391.1	141975	278365.9	72537.5	91565.5	122084.5	58231	296631	479446
2000	166454.8	174458	340912.6	86987.4	112749	145334.2	65866.8	317092	574514
2001	158542.3	168275	326817.6	81562	110797.9	141345.6	64472	305318	617822
2002	160682	168679	329361	82641.2	109382.9	141988.8	63947.9	303407	637269

A partir de 1991 se incluye la industria maquiladora en las exportaciones de manufacturas. El PIB manufacturero a precios de 1993 está en millones de pesos.

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco de México, Indicadores del Sector Externo e Informe Anual, varios números.

Cuadro 2. Tasas de crecimiento y participaciones relativas.

Año	Var.% expor. Manufacturas sin maquila	Tasa de crecimiento de la industria manufacturera	Exp. Manufac. Sin maquila/PIB manufac.	Var.% exp. Manufacturas	Export. Man/exp Totales	(X+M)/PIB
1983			3.34		21.00%	31.78%
1984	28.21	5.08	4.07	28.21	24.00%	28.29%
1985	-7.97	6.07	3.54	-7.97	24.00%	29.54%
1986	23.04	-5.33	4.59	23.04	36.30%	31.08%
1987	31.84	3.12	5.87	31.84	37.80%	33.75%
1988	17.66	0.52	6.88	17.66	40.00%	32.32%
1989	6.71	7.89	6.80	6.71	37.22%	34.21%
1990	13.52	6.77	7.23	13.52	36.50%	27.67%
1991	5.50	3.43	7.38	117.39	75.68%	32.30%
1992	6.77	4.16	7.56	11.95	78.30%	29.79%
1993	18.47	-0.67	9.02	17.83	82.10%	29.08%
1994	21.69	4.07	10.54	18.27	82.80%	33.33%
1995	46.91	-4.94	16.29	32.05	83.70%	53.11%
1996	22.37	10.83	17.99	20.65	83.70%	55.81%
1997	14.41	9.94	18.72	18.05	85.80%	54.94%
1998	6.73	7.37	18.61	11.88	90.30%	57.68%
1999	9.91	4.21	19.63	15.11	89.50%	58.06%
2000	13.11	6.90	20.77	19.04	87.30%	59.34%
2001	-2.12	-3.71	21.12	-2.74	89.20%	52.90%
2002	-0.81	-0.63	21.08	0.46	88.37%	51.68%

A partir de 1991 se incluye la industria maquiladora en las exportaciones de manufacturas.

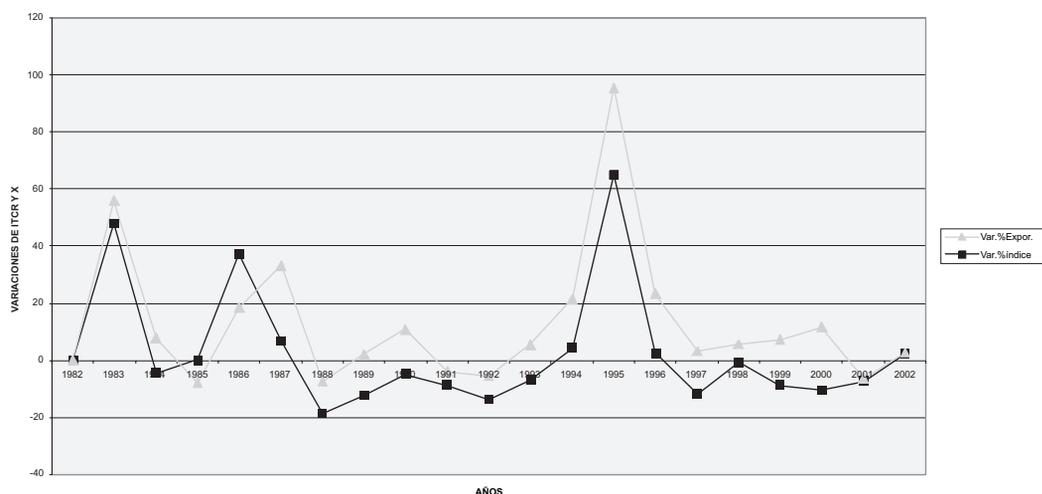
Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 1.

Cuadro 3. México: Balanza Comercial Regional

Años	Total Exportaciones	Importac.	EEUU Exportaciones	Importaciones	Canadá Exportaciones	Importaciones
1993	51886	65367	43068	46467	1541	1163
1994	60882	79346	51680	54762	1497	1621
1995	79824	72476	66618	53829	1979	1374
1996	96000	89469	80574	67536	2172	1744
1997	110431	109808	94302	82001	2157	1968
1998	117460	125373	103093	93258	1519	2290
1999	136391	141975	120393	105267	2391	2949
2000	166455	174458	147686	127534	3353	4017
2001	158433	168396	140296	113767	3070	4235
2002	160682	168679	142954	106557	2809	4480
Años	Unión Europ. Exportac.	Importac.	China Exportac.	Importaciones	Japón Exportac.	Importaciones
1993					700	3369
1994	2985	9576	42	500	1001	4780
1995	4020	7140	37	521	928	3608
1996	3507	7732	38	760	1393	4132
1997	3985	9901	46	1247	1156	4334
1998	3883	11683	106	1617	851	4537
1999	5203	12951	126	1921	776	5083
2000	5610	15033	204	2880	931	6466
2001	5334	16314	282	4027	621	8086
2002	5219	16628	456	6274	469	9349

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México, Informe Anual, varios años.

Gráfica 1 Índice del tipo de cambio real y exportaciones



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco de México, Informe Anual, varios años.

# EFFECTO DE LA CORROSIÓN POR $H_2SO_4$ EN LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE ACERO API5L-X52.



G. Peña-Rodríguez<sup>1,3,\*</sup>, Oscar Flores-Macías<sup>2</sup>,  
C. Angeles-Chávez<sup>2</sup>, A. Calderón<sup>1</sup> y  
R. A. Muñoz Hernández<sup>1</sup>

## RESUMEN

Este trabajo presenta el efecto de la corrosión por  $H_2SO_4$  a pH constante de 1.4 en la difusividad térmica de acero API5L-X52. Las muestras se expusieron por 3, 6, 9, 12 y 15 días a la solución corrosiva, en un ambiente con humedad relativa promedio del 57.16% y a una temperatura de 23.6 °C. La medida de la difusividad térmica se realizó usando la técnica fotoacústica en configuración de transmisión de calor. Nuestros resultados muestran una disminución de la difusividad térmica ( $a$ ) con el tiempo de corrosión, presentando un comportamiento que se ajusta a una curva logística del tipo decrecimiento con un límite de saturación del orden del 52% del valor inicial de  $a$ .

## ABSTRACT

In this work present a study of the effect of the  $H_2SO_4$  corrosion to constant pH of 1.4 in the thermal diffusivity of API5L-X52 pipeline steel. The samples were exposed by 3, 6, 9, 12 and 15 days to the corrosive solution, in an atmosphere with relative average humidity of 57.16% and temperature of 23.6°C. The thermal diffusivity measure was carried out using the photoacoustic technique in a heat transmission configuration. Our results show a decrease of the thermal diffusivity ( $a$ ) with the corrosion time, presenting a behavior that is adjusted to a logistical curve of type decreasing with a saturation limit of 52% of  $a$  initial value.

Key words:

Difusividad térmica, acero API5L-X52, corrosión por  $H_2SO_4$ .

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la gran mayoría de los materiales usados para el transporte de petróleo, gas y sus refinados, los metales y aleaciones metálicas cuyo compuesto principal es el hierro en sus diferentes fases en la actualidad son los más utilizados.

En México se mantiene en operación más de cincuenta mil kilómetros de ductos terrestres y alrededor de dos mil kilómetros en zonas submarinas, los cuales transportan petróleo y sus refinados[1], siendo de vital importancia la seguridad e integridad en los ductos utilizados en el sistema de transporte de sus productos. Los materiales constituyentes de estos ductos son aceros de bajo contenido de carbón (<0.3% en peso), y en su gran mayoría fabricados por American Petroleum Institute (API), en sus especificaciones 5L-X52. En la referencia [2], se presenta un estudio de la microestructura de este tipo de acero usando microscopía electrónica de barrido, microanálisis y difracción de rayos X, donde se reporta que las fases cristalinas presentes en el acero API5L-X52 son principalmente una fase ferrítica ( $\alpha$ -bcc), con pequeñas zonas de fase perlítica y algunas inclusiones sólidas esféricas compuestas principalmente de aluminio-hierro.

En México los cultivos de maíz, sorgo, trigo y soya que se realizan en zonas calcáreas son afectados por los problemas de clorosis. Una de las estrategias utilizadas para corregir este problema consiste en la acidificación del suelo con ácido sulfúrico en bajas concentraciones, lo cual permite bajar el pH del suelo y así activar la solubilidad de los nutrientes, permitiendo elevar el rendimiento de los cultivos en estos terrenos y

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694 Colonia Irrigación, 11500 México D. F.

<sup>2</sup> Instituto Mexicano del Petróleo, Eje central L. Cardenas 152, Colonia San Bartolo Atepehuacan, 07730 México D.F.

<sup>3</sup> Departamento de Física y miembro del grupo GITEC, Universidad Francisco de Paula Santander. A.A. 1055, Cúcuta, Colombia.

\* e-mail: ggabrielp@yahoo.com

mejorando las propiedades físicas del suelo [3]. Debido a las características altamente corrosivas del ácido sulfúrico, los sistemas de transporte de petróleo, gas y sus refinados que pasan por estos suelos han presentado problemas de corrosión, el cual es uno de los factores importantes a tener en cuenta en la evaluación del riesgo de estos sistemas de transporte. Las propiedades mecánicas, en materiales de ingeniería, son fuertemente influenciadas por fronteras, tamaños de grano y su distribución [4, 5]. En el estudio del transporte de calor en estos materiales, además del tamaño de grano y su distribución, también son importante el conocimiento de las impurezas e imperfecciones, las cuales sirven como sitios de dispersión en la propagación de la energía de los portadores como fonones o electrones en el interior del material, trayendo como consecuencia inmediata una disminución en la conductividad térmica ( $k$ ) del material [6, 7]. La disminución del tamaño de grano en aceros ferríticos de bajo contenido de carbón, permiten el incremento en la resistencia del material, así como una mejor resistencia a la fractura [8, 9]. La medida del tamaño de grano es una forma de estimar ciertas propiedades de un material tales como el esfuerzo de tensión, el esfuerzo de fluencia y pruebas de impacto [8, 10]. Es ampliamente reportado en trabajos sobre corrosión en aceros de bajo carbón, la forma que ésta influye principalmente en las fronteras de grano y por ende en las propiedades mecánicas de estos materiales [11-13].

En los últimos años, el estudio de la correlación entre propiedades mecánicas y térmicas ha sido de particular interés para las industrias de aceros y metales en general, donde existen reportes de estudios de correlación entre dureza y difusividad térmica ( $\alpha$ ) de diversos tipos de aceros [14, 15]. La importancia de la medición de la difusividad térmica es crucial en el uso de diversas aleaciones industriales, en particular en aquellos materiales que son sometidos a condiciones extremas de seguridad. En los procesos

de diseño y fabricación de ductos, las características y propiedades de los materiales elegidos impactarán, en buena medida, sobre las normas y especificaciones a tener en cuenta en la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de transporte de fluidos a través de ellos [16].

Motivados por lo anterior en este trabajo presentamos el estudio del efecto de la corrosión por  $H_2SO_4$  a pH constante de 1.4 en la difusividad térmica de los aceros API5L-X52. La medida de la difusividad térmica de las muestras con corrosión se realizó utilizando la técnica fotoacústica en configuración de transmisión de calor. Las muestras para este estudio fueron suministradas por personal encargado del proyecto "Confiability y Optimización en la Evaluación del Riesgo para la Seguridad de Ductos" número D.00049 del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

## PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS

### *Preparación de las muestras*

Para estudiar el efecto de la corrosión por  $H_2SO_4$  a pH=1.4 sobre la difusividad térmica de muestras de aceros API5L-X52 se realizaron dos series de experimentos cada una con cinco muestras (ver tablas I y II), para lo cual se utilizó una cortadora de baja velocidad marca South Bay Technology (SBT-650) con discos de diamante Buehler 11-4244 para realizar cortes de poco menos de 200 micras de espesor y 1  $cm^2$  de área, a una sección de la pared de un tubo de acero de especificación API5L-X52 de 12 pulgadas de diámetro y composición química en porcentaje en peso dada por: 0.092% C, 1.03 % Mn, 0.014 % P, 0.005% S, < 0.005% Nb, <0.001% V y < 0.002% Ti. La uniformidad en la superficie de las muestras se realizó usando maquina pulidora de baja velocidad SBT- 910 y discos de papel abrasivo Buehler 30-5118-240. Los espesores de las muestras (ver tabla I y II) fueron medidos utilizando el micrómetro digital Mitutoyo 543-252.

Tabla I. Muestras de la primera serie utilizadas en los procesos de corrosión y su difusividad térmica.

Muestras	Tiempo (días)	Espesor $l$ ( $\mu m$ )	$f_c$ (Hz)	$\alpha$ ( $cm^2/s$ ) $\times 10^{-3}$
API 3	3	160 $\pm$ 3	126.7 $\pm$ 8.1	102.0 $\pm$ 9.1
API6	6	163 $\pm$ 3	106.7 $\pm$ 4.3	89.0 $\pm$ 6.2
API7	9	177 $\pm$ 4	82.3 $\pm$ 1.2	81.0 $\pm$ 7.3
API10	12	180 $\pm$ 3	75.5 $\pm$ 1.5	76.8 $\pm$ 3.2
API1	15	168 $\pm$ 3	81.7 $\pm$ 2.4	72.4 $\pm$ 4.2

Tabla II. Muestras de la segunda serie utilizadas en los procesos de corrosión y su difusividad térmica.

Muestras	Tiempo (días)	Espesor $l$ ( $\mu m$ )	$f_c$ (Hz)	$\alpha$ ( $cm^2/s$ ) $\times 10^{-3}$
A1	3	155 $\pm$ 2	133.0 $\pm$ 8.1	100.4 $\pm$ 8.3
A2	6	161 $\pm$ 3	108.9 $\pm$ 4.2	88.7 $\pm$ 6.3
A5	9	159 $\pm$ 3	100.3 $\pm$ 3.3	79.7 $\pm$ 5.2
A3	12	164 $\pm$ 2	90.4 $\pm$ 1.2	76.4 $\pm$ 3.2
A4	15	162 $\pm$ 2	88.1 $\pm$ 2.2	72.6 $\pm$ 3.3

Una vez cortadas las muestras, se procedió a someter cada una al proceso de corrosión. En la figura 1, se presenta el arreglo experimental utilizado para el proceso de corrosión de las muestras. En ésta se aprecia que una de las caras de la muestra, sella uno de los lados de la cavidad cilíndrica de 5.8 mm de diámetro, el cual estará en contacto con la solución líquida de  $H_2SO_4$  de pH = 1.4, la cual será la superficie corroída. Una vez la muestra se puso en contacto con la solución de  $H_2SO_4$  se guardó en una campana de cristal cerrada con el objeto de controlar la humedad y temperatura dentro de ésta, las cuales fueron medidas con el Termo-Hygrometer digital AZ modelo 8708. El tiempo real de exposición de la muestra al medio corrosivo fue de 3, 6, 9, 12, y 15 días (ver tablas I y II).

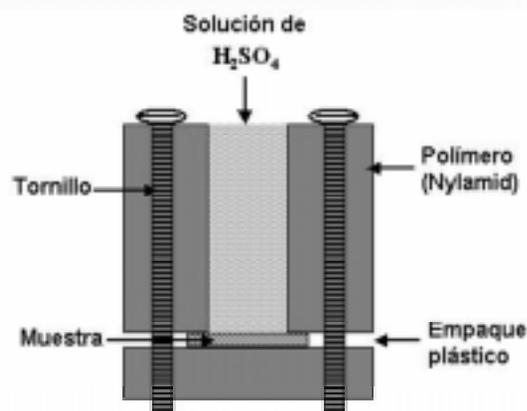


Figura 1. Arreglo experimental utilizado para el proceso de corrosión de las muestras.

### MEDICIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA

Para la determinación experimental de la difusividad térmica de las muestras, presentadas en las tablas I y II, se utilizó la técnica fotoacústica (FA) en configuración de transmisión de calor, la cual es ampliamente reportada para este propósito[17-22].

De acuerdo al modelo de difusión térmico para el efecto fotoacústico, la amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación de la radiación incidente esta dada por [17]:

$$A = \frac{C}{f \sqrt{\cosh(2\sqrt{f/f_c}) - \cos(2\sqrt{f/f_c})}} \quad (1)$$

Donde C es una constante relacionada con las propiedades térmicas del aire, la intensidad de la luz y las características geométricas de la celda.

El valor de la difusividad térmica ( $\alpha$ ) de la muestra en estudio se obtiene al hallar la frecuencia de corte ( $f_c$ ) del ajuste con la expresión (1) a los datos experimentales de la amplitud de la señal FA en función de la frecuencia de modulación  $f$  y usar el dato para el espesor de la muestra( $l$ ) a través de la expresión.

$$\alpha = \pi f_c l^2$$

El equipo de laboratorio que se utilizó para hallar  $a$  usando esta técnica consta de un láser de argón Omnichrome 543-BS-A2, un chopper SR-540, un lock-in SR-850 y una computadora personal. En la referencia [23], se presenta el diseño experimental de la técnica FA, así como la deducción matemática de la ecuación (1).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES.

En las tablas I y II, se presentan los resultados de la difusividad térmica ( $a$ ) de las dos series de muestras respectivamente. De estos resultados se puede ver que no existe diferencia significativa para el valor encontrado de  $a$  entre una u otra serie de muestras, así mismo se aprecia que a medida que el tiempo se incrementa el valor de  $a$  disminuye, es decir que la rapidez con la que el calor se propaga dentro del material disminuye a medida que se incrementa el tiempo de corrosión (ver fig 3).

En la figura 2, se presentan la Amplitud de la Señal FA en función de la frecuencia de modulación para las muestras de la tabla II. En ésta, las líneas sólidas representan el mejor ajuste a los datos experimentales usando (1). El valor de la desviación cuadrática media en dicho ajuste fue del orden de  $10^{-6}$ . El ajuste para las muestras de la tabla I es similar, razón por la cual no se presenta.

Para una concentración de  $H_2SO_4$  a pH constante de 1.4, se encontró que la humedad relativa promedio fue de 57.16 % para una temperatura promedio de 23.6 °C y que la difusividad térmica en función del tiempo de corrosión, tiene un comportamiento según la función logística de decrecimiento con límite de saturación dada por la ecuación:

$$\alpha(t) = \frac{(A_1 - A_2)}{[1 + (t/X_o)^P]} + A_2 \quad (2)$$

donde  $A_1 = 116 \text{ cm}^2/\text{s}$ , es el valor de  $a$  para la muestra sin corrosión ( $t=0$ ),  $A_2 = 60.7 \text{ cm}^2/\text{s}$ , sería el valor de

$a$  para la muestra completamente corroída ( $t \rightarrow \infty$ ),  $X_o = 539.4 \text{ S}$ , es el valor de  $t$  donde sucede el cambio de curvatura en la función y  $P = 1.46$  es la razón de decrecimiento (ver fig 3).

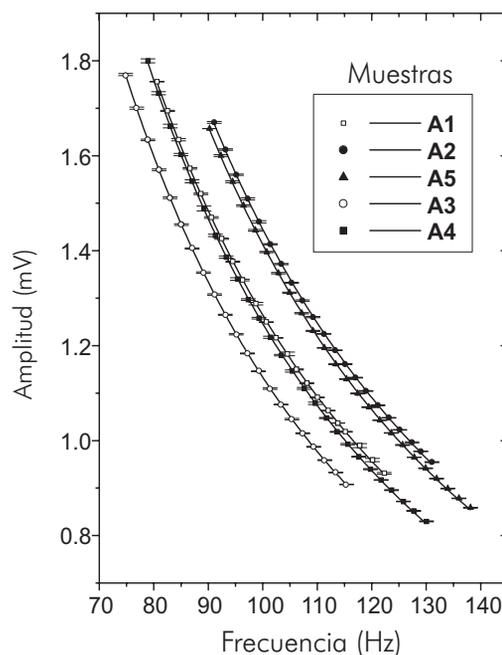


Figura 2. Amplitud de la señal FA vs frecuencia para las muestras de la tabla I. La curva indica el mejor ajuste de la ecuación (1) a los datos experimentales.

De los datos reportados en las tablas I y II para  $a$  y de la figura 3. se aprecia, que el comportamiento de  $a$  en función del tiempo de corrosión es decreciente, presentando un comportamiento que se ajusta a una curva logística del tipo decrecimiento con un límite de saturación dada por la ecuación (2) del orden del 52% del valor inicial de  $a$ . Para afirmar lo anterior, se realizó el estudio a la superficie de las muestras corroídas, usando microscopía electrónica de barrido (MEB). En la figura 4 se presentan microfotografías para las muestras A1 y A4 de la tabla II en estas, se observa como a medida que aumenta el tiempo de corrosión la degradación de la superficie de la muestra es mayor, esto permite explicar el comportamiento decreciente de  $a$  en función del tiempo de corrosión, pues a medida que el flujo de calor atraviesa el material se encuentra con fronteras de grano corroídas, superficie

irregular y la presencia de porosidad, e inclusive con pequeñas fracturas en la superficie de las muestras del orden de los micrómetros. Lo anterior es coherente pues la gran mayoría de metales en forma típica describen este tipo de comportamiento de actividad-pasividad a la corrosión y en especial las aleaciones del hierro, níquel, cromo y titanio [24-25].

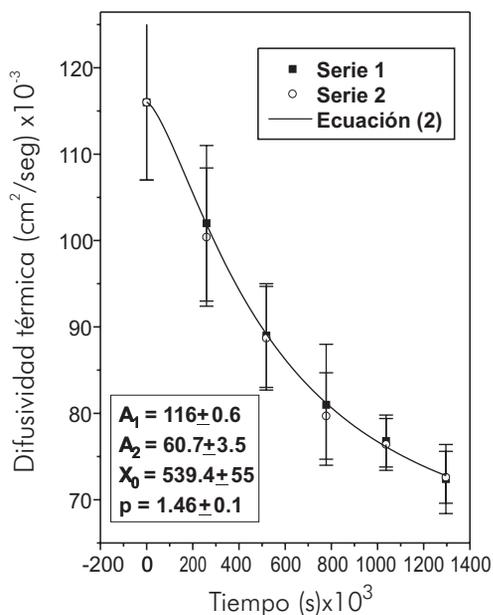
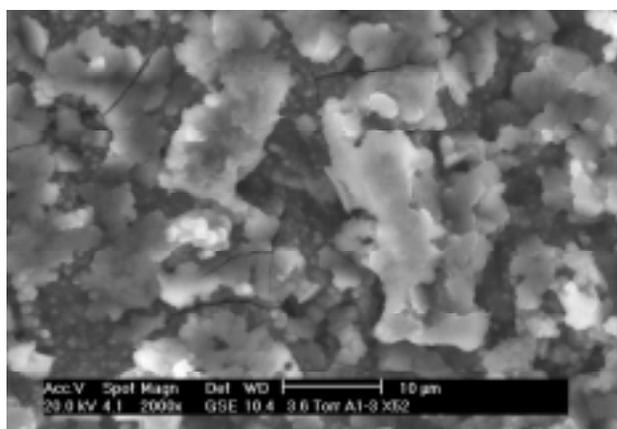
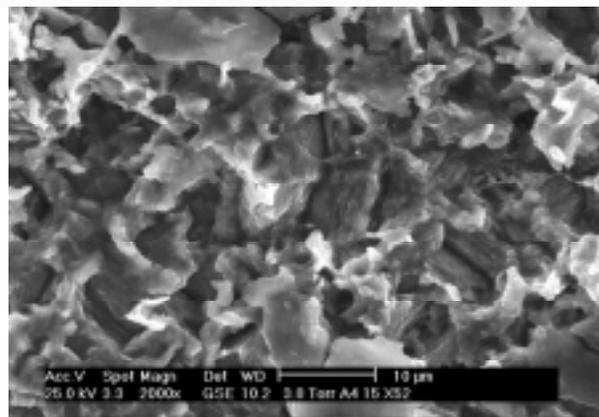


Figura 3. Difusividad térmica de las muestras de acero API5L-X52 en función del tiempo de corrosión para las dos series de muestras presentadas en las tablas I y II. La línea sólida representa el mejor ajuste a los datos experimentales dada por la ecuación (2).



(a)



(b)

Figura 4 Micrografías de las muestras corroídas: (a) muestra A1 (3 días) y (b) muestra A4 (15 días) usando MEB por 2000X.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la competencia de Operación y Seguridad a través del proyecto D.00049 del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) por el apoyo otorgado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. "La investigación en el Instituto Mexicano del Petróleo", IMP, 107, (2000).
2. G. Peña-Rodríguez, Oscar Flores-Macias, C. Angeles-Chavez, A. Calderón and R. A. Muñoz-Hernández. "Photoacoustic Thermal Characterization and microstructure of API5L-X52 steel." Por publicar en la revista International Journal on Thermophysics.
3. Vicente Lee Rodríguez et al. "Sulphuric acid application to the irrigation water corrects iron-chlorosis on calcareous soils." Terra. Vol. 16 (2). 149-161, (1998).



4. B. Roebuck. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* Vol. 13, 265-279 (1995).
5. B. Ralph, K. J. Kurzydowski et al. *Mater. Charact.* Vol. 38, 217-227 (1997).
6. Ton Thi Ngoc Lan, Heinz-Gunter Walther and Do Tran So, *High Temperature – High Pressures.* Vol. 29, 165-169, (1997).
7. Yoshihiro Terada, Kenji Ohkubo, Tetsuo Mohri and Tomoo Suzuki. *Metallurgical and Materials Transactions,* Vol 32A, 2135-2136, (2001).
8. R. Priestner and A.K. Ibraheem. *Materials Science and Technology.* Vol. 16, 1267-1272, (2000).
9. P.J. Hurley, G. L. Kely and P. D. Hodgson. *Materials Science and Technology.* Vol. 16, 1273-1276, (2000).
10. J. Muirhead, J. Cawley, A. Strang, C.A. English and J. Tichmarsh. *Materials Science and Technology.* Vol. 16, 1160-1166, (2000).
11. Juan J. González and Alexander Bentolila, *Corrosion Technology,* Vol. 83 (5), (2000)
12. M.P.H. Brongers, J.A. Beavers, C.E. Jaske and B.S. Delanty. *Corrosion,* Vol. 56 (10) 1050-1058, (2000).
13. S.Y. Li, Y.G. Kim, K.S. Jeon, Y.T. Kho and T. Kang, *Corrosion,* Vol. 57 (9), 815-28, (2001).
14. D. Fournier, JP Roger, A. Bellouati, C. Boué, H. Stam y F. Lakestani. *Analytical Science.* Vol 17. s158-s160, (2001).
15. H. G. Walther, D. Fournier, J.C. Krapez, M. LuuKKala, B. Schmitz, C. Sibilica, H. Stamm y J. Thoen. *Analytical Science.* Vol 17. s165-s168, (2001).
16. G. Peña-Rodríguez, Oscar Flores-Macías, C. Angeles-Chávez, A. Calderón y R. A. Muñoz Hernández. *Superficies y Vacío* Vol 16(2), 2003.
17. A. Calderón, R.A. Muñoz Hernández, S.A. Tomás, A. Cruz Orea y F. Sánchez Sinencio. *J. Appl. Phys.* Vol. 84, 6327-6329, (1998).
18. G. Peña Rodríguez, A. Calderón Arenas, R.A. Muñoz Hernández, S. Stolik, A: Cruz Orea y F. Sánchez Sinencio. *Analytical Science.* Vol. 17, s357-s360, (2001).
19. A. Calderón, J.J. Alvarado, Yu. G. Gurevich, A. Cruz Orea, I. Delgadillo H. Vargas y L.C.M. Miranda. *Physical Review Letters.* Vol. 79 (25) 5022-5025 (1997).
20. A. Calderón, R. A. Muñoz Hernández, J. F. Sánchez, J. L. Herrera, A. Cruz y F. Sánchez Sinencio. *High Temperature-High Pressures,* Vol. 32, 355-360, (2000)
21. A. M. Mansanares, A.C. Bento, H. Vargas, N.F. Leite y L.C. M. Miranda, *Phys. Rev. B* 42, 4477 (1990).
22. E. Marín, J.L. Pichardo, A. Cruz-Orea, P. Diaz, G. Torres-Delgado, I. Delgadillo, J.J. Alvarado-Gil, J. G. Mendoza-Alvarez y H. Vargas. *J. Phys. D* 29, 981 (1996)
23. G. Peña Rodríguez, A. Calderón y R.A. Muñoz Hernández. *Respuesta.* Año7 No. 1, 30-37 (2003)
24. Peter A. Thornton y Vito J. Colangelo. *“Ciencia de Materiales Para Ingenierias”.* Prentice-Hall Hispanoamerica, 686, (1987).
25. Kenneth G. and Michael K. Budinski, *Engineering Materials Properties and Selection”,* Prentice Hall, Sixth Edition, 413-415 (1999).

# INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE PERFIL DE LEVAS POR CURVAS DE BEZIER



Carlos Acevedo Peñalosa  
Doctorando. M.Sc. Prof. Universidad Francisco de Paula  
Santander. Colombia.  
carlos.humberto.acevedo@upc.es  
Enrique Zayas Figueras  
Doctor. Prof Universidad Oscar Lucero Moya. Cuba  
Salvador Cardona i Foix  
Doctor. Prof. Universidad Politécnica de Cataluña. España.  
salvador.cardona@upc.es

## RESUMEN

En el estudio de la ley de desplazamiento de los mecanismos leva-palpador se puede utilizar cualquier tipo de función, comúnmente se ha utilizado funciones polinómicas, sinusoidales y cíclicas. Los métodos tradicionales utilizan polinomios algebraicos con base canónica y polinomios trigonométricos con base Fourier, siendo estos los encontrados en casi todos los textos.

La novedad del presente trabajo, esta en la utilización para el diseño de la ley de desplazamientos de *Curvas Bezier no paramétricas* definidas por polinomios algebraicos con base de *Bernstein*.

Palabras claves:  
Bezier, Levas, Bernstein.

## ABSTRACT

For the study of the law of displacement, any type of function can be used. Commonly it has been used polynomial, sinusoidal and cyclic functions. The traditional methods utilize algebraic polynomials with canonical base and trigonometric polynomials with Fourier base, being these used in almost all the texts. The importance of the present work is the utilization of the non-parametric Bezier's curves defined by algebraic polynomials with Bernstein base for the law of displacement.

Key words:  
Bezier, Cams, Bernstein.

## INTRODUCCIÓN

Algunos autores entre los que se puede mencionar a Erdman y Sandor (1998), Norton, R. (2002), Shigley y Uicker (1998), Mabie y Reinholtz (2000) y Cardona y Clos (2000), exponen el proceso de diseño de los mecanismos leva palpador, pero son los dos últimos quienes describen claramente tres etapas para tal labor: -definición de la ley de movimiento del palpador, -obtención del perfil de la leva y por último - comprobación del perfil estos autores muestran además, las técnicas de diseño de curvas por Bezier

La mayor parte de la bibliografía básica consultada trata la definición de la ley de desplazamiento del palpador, con los denominados métodos tradicionales, los cuales utilizan polinomios algebraicos con base canónica y polinomios trigonométricos con base de Fourier.

Los polinomios algebraicos expresados con base canónica o monomial, han tenido amplio uso en la definición de la ley de desplazamiento debido a que son fáciles de manipular. Esta base para grado  $n$  consiste en los monomios:  $[1, \theta, \theta^2, \dots, \theta^n]$  La expresión de la ley de desplazamiento  $s(\theta)$  en esta base es: (Reyes, Zayas)

$$s(\theta) = \sum_{i=1}^n a_i \theta^i = a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2 + \dots + a_n \theta^n \quad (1.1)$$

La expresión de un polinomio trigonométrico en la base Fourier es:

$$s(\theta) = c_0 + \sum_{i=1}^m [s_i \sin(i \theta) + c_i \cos(i \theta)] \quad (1.2)$$

Donde  $a_i, c_i$ , y  $s_i$ , son los coeficientes de los polinomios anteriores.

Curva de Bezier no paramétrica.

La definición de la ley de desplazamiento del palpador por medio de la base de polinomios de Bernstein presenta ventajas en lugar de la base de monomios. Los polinomios de Bernstein de grado  $n$ ,  $B_i^n(u)$  sobre un dominio unitario son:

$$B_i^n(u) = \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i} = C_n^i u^i (1-u)^{n-i} \quad (1.3)$$

$i = 0, \dots, n$

Donde

$$\binom{n}{i} = C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!};$$

$$B_i^n(u) = 0$$

$$i \notin \{0, \dots, n\}$$

Estos polinomios presentan las siguientes propiedades:

-Satisfacen la formula recursiva.

$$i \in \{0, \dots, n\}: B_i^n(u) = (1-u)B_{i-1}^{n-1}(u) + uB_{i+1}^{n-1}(u),$$

con  $B_0^0 = 1$

-Son una partición de la unidad

$$\sum_{i=0}^n B_i^n(u) = 1$$

-Positividad:  $B_i^n(u) \geq 0, \quad u \in [0,1]$

-Simetría:  $B_i^n(u) = B_{n-i}^n(1-u)$

-Presentan un máximo para la abscisa:

$$u = \frac{i}{n}$$

-Constituye una base numérica estable.

En esta base una función polinómica  $b(u)$  de grado  $n$  se expresa de la siguiente manera:

$$b(u) = \sum_{i=0}^n b_i B_i^n(u) \quad u \in [0,1] \quad (1.4)$$

Donde los  $n + 1$  coeficientes se denominan ordenadas de Bezier. El gráfico de la función  $b(u)$  se llama *curva de Bezier no paramétrica*. Cada ordenada  $b_i$  define un punto  $b_i$  de coordenadas  $b_i = (1/n, b_i)$  denominado punto de control y dada su definición se encuentran equiespaciados en el eje de las abscisas.

En la ecuación (1.4) el polinomio  $B_i^n(u)$  se puede interpretar como la influencia  $b_i$  de en la curva  $b(u)$ . Esta influencia es máxima para  $u=1/n$  donde  $B_i^n(u)$  presenta su máximo valor, coincidiendo con la abscisa del punto  $b_i$  esto hace que la representación gráfica de la curva tienda a ser próxima a la del polígono de control de la figura. Por lo tanto, al desplazar verticalmente un punto  $b_i$  modificando el valor de su ordenada, la curva tiende a seguirlo deformándose en sus proximidades.



Fig. 1.1 Curva de Bezier. Tomado de Zayas 2001.

Se observa que:

- La curva pasa por los puntos extremos  $b_0, b_n$  y es tangente al polígono de control en estos puntos.
- La curva se encuentra encerrada dentro del dominio convexo de los puntos de control. El polígono de control permite establecer una caja contenedor dentro de la cual se puede asegurar que se encuentra la curva.

Estas cualidades le permiten al diseñador adaptar las especificaciones de la ley de desplazamiento a sus necesidades.

Para definir una función  $b(\theta)$  con la variable independiente  $\theta$  definida en el dominio no unitario  $\theta \in [\theta_i, \theta_f]$  con la utilización de las curvas de Bezier  $b(u)$  definidas en un dominio unitario  $u \in [0,1]$ , es necesario realizar en la ecuación (1.4) el cambio lineal de variable siguiente:

$$\theta \in [\theta_i, \theta_f] \rightarrow u \in [0,1]$$

$$u(\theta) = \frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i} \quad (1.5)$$

Usualmente es necesario la derivada de  $b(\theta)$  respecto a  $\theta$ , en cuyo caso esta se calcula:

$$\frac{db(u(\theta))}{d\theta} = \frac{db(u)}{du} g \frac{du(\theta)}{d\theta} = \frac{db(u)}{du} g \frac{1}{\theta_f - \theta_i} \quad (1.6)$$

La derivada  $b'(u)$  de un polinomio  $b(u)$  de grado  $n$  es un polinomio de grado  $n' = n-1$ . En la base Bernstein se puede comprobar que los coeficientes  $b'_i$  de la derivada se obtienen como:

$$b'_i = n(b_{i+1} - b_i)$$

$$i = 0, \dots, n-1 \quad (1.7)$$

Esto indica que las derivadas  $r$ -ésimas en los extremos  $u = 0, u = 1$  solo dependen de los  $r+1$  puntos de control mas próximos, es decir, en  $u = 0$  sólo depende de los coeficientes  $b_0 \dots b_r$ , y en  $u = 1$  de los coeficientes  $b_{n-r} \dots b_n$ . Por lo tanto, la imposición de condiciones de continuidad  $r$ -ésima en la unión entre dos curvas resulta más sencilla en la base de Bernstein que en la base canónica o monomial, ya que solo se ven involucrados  $r+1$  coeficientes de cada curva.

Debido a esto, las curvas de Bezier no paramétrica constituyen una buena herramienta para generar las curvas de desplazamiento, velocidad, aceleración y sobre aceleración de trabajo en levas.

En la figura 1.2 se indica a manera general el uso de los puntos de control, el manejo de la continuidad en las curvas, así como el polígono de control.

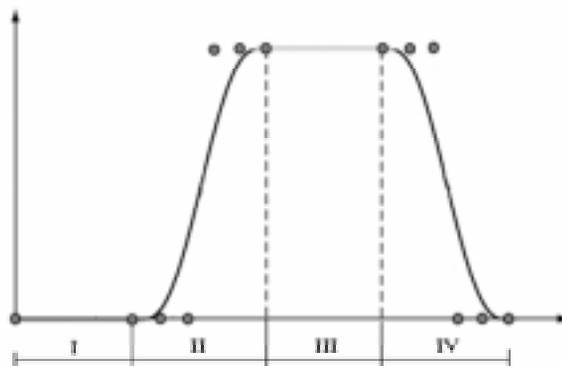


Fig. 1.2 Los puntos de control en la función desplazamiento.  
 Tomado de Zayas 2001.

### MÉTODO ANALÍTICO DE OBTENCIÓN DE PERFIL DE LEVAS.

A continuación se muestra el procedimiento analítico de obtención de perfil de levas de placa plana con seguidor de rodillo en traslación basado en el enfoque Cardona y Clos. No se muestra el procedimiento de cálculo por el método tradicional por encontrarse en casi todos los textos de teoría de máquinas y mecanismo.

Cuando los palpadores tienen movimiento de traslación, la ley general  $d(\theta)$  de desplazamiento es:

$$d(\theta) = s(\theta) + d_0 \quad (1.8)$$

donde  $s(\theta)$  es la ley de desplazamiento especificada con métodos tradicionales y  $d_0$  ver figura 1.3 es un parámetro que en el caso de palpadores planos depende del radio base  $R_b$  de la leva y del valor de la excentricidad  $\varepsilon$  del palpador. Para el palpador circular, el parámetro  $d_0$  que interviene en la función es:

$$d_0 = \sqrt{(R_b + R_r)^2 - \varepsilon^2} \quad (1.9)$$

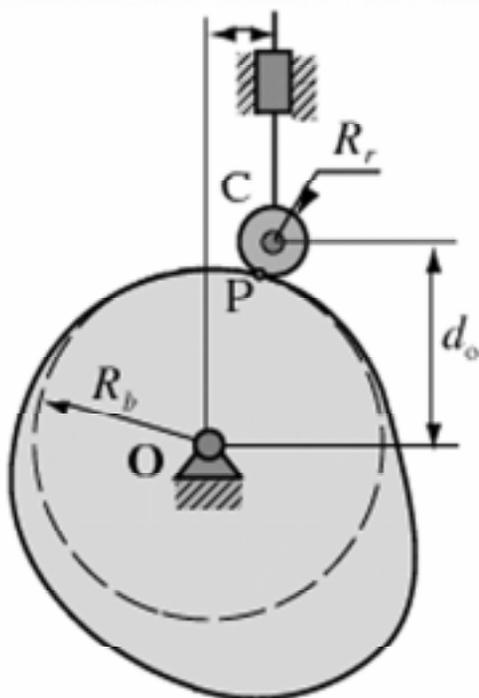


Fig. 1.3 Descripción general de la leva. Tomado de Zayas 2001.

En el caso de un palpador circular de centro  $C$  y radio  $R_r$ , el perfil de la leva es la envolvente de un haz de circunferencia. La trayectoria que describe el centro de esa circunferencia es la curva de paso y su posición se calcula:

$$\left\{ \overline{OC}(\theta) \right\}_{1,2} = \begin{Bmatrix} \varepsilon \\ d(\theta) \end{Bmatrix}_{1,2} \quad (1.10)$$

En la figura 1.4 se puede ver claramente el desarrollo de la ecuación

En la base fija  $x, y$  la ecuación paramétrica de la curva de paso es:

$$\left\{ \overline{OC}(\theta) \right\}_{x,y} = [S_\theta] \left\{ \overline{OC}(\theta) \right\}_{1,2} = \begin{Bmatrix} \varepsilon \cos \theta + d(\theta) \sin \theta \\ -\varepsilon \sin \theta + d(\theta) \cos \theta \end{Bmatrix}_{x,y} \quad (1.11)$$

El perfil de la leva  $\overline{OP}(\theta)$ , equivale al lugar geométrico de los puntos situados a una distancia  $R_r$  de la curva de paso en la dirección de su normal  $n(\theta)$  interior, y

dirigida hacia el área que encierra la curva. La ecuación paramétrica del perfil es:

$$\overline{OP}(\theta) = \overline{OC}(\theta) + R_r \cdot n(\theta) \quad (1.12)$$

Para calcular la normal unitaria interior a la curva de paso,  $n(\theta)$ , se necesita el vector tangente a la curva  $t(\theta)$  que se calcula:

$$t(\theta) = \frac{d}{d\theta} \overline{OC}(\theta) = \begin{Bmatrix} (d'(\theta) - \varepsilon) \sin \theta + d(\theta) \cos \theta \\ (d'(\theta) - \varepsilon) \cos \theta - d(\theta) \sin \theta \end{Bmatrix} \quad (1.13)$$

Entonces:

$$n(\theta) = [R_{-90^\circ}] \frac{t(\theta)}{|t(\theta)|} \quad (1.14)$$

Donde  $[R_{-90^\circ}]$  es la matriz de rotación:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Para la obtención radio de curvatura, se deriva la expresión 1.10 respecto al parámetro  $\theta$  en la base móvil 1,2:

$$\left\{ \overline{OC}(\theta) \right\}_{1,2} = \begin{Bmatrix} e \\ d(\theta) \end{Bmatrix}_{X,Y} \xrightarrow{d/d\theta} \begin{Bmatrix} d(\theta) \\ d'(\theta) - \varepsilon \end{Bmatrix}_{X,Y}$$

$$\xrightarrow{d/d\theta} \begin{Bmatrix} 2d'(\theta) - \varepsilon \\ d''(\theta) - d(\theta) \end{Bmatrix}_{X,Y}$$

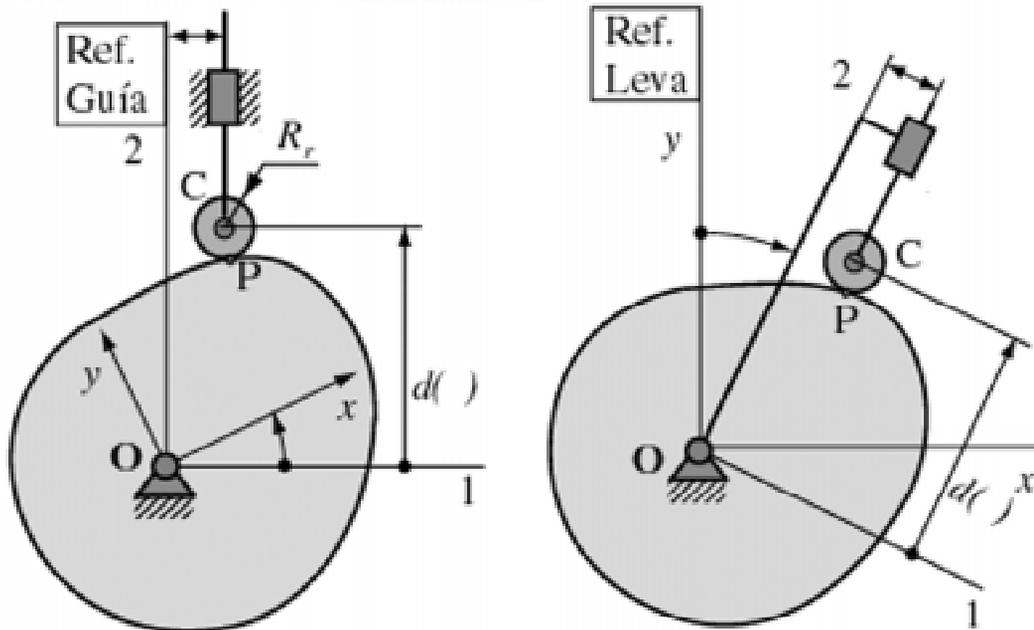


Fig. 1.4 Rotacional de la Leva

Como se ha parametrizado en sentido horario de manera que la componente normal (hacia el interior) de la derivada se expresa como:

$$\overline{OC''}_n(\theta) = \frac{\overline{OC''}(\theta) \times \overline{OC'}_{eje3}}{|\overline{OC'}(\theta)|} \quad (1.16)$$

sustituyendo la ecuación 1.15 y 1.16 en

$$r_c = \frac{|\overline{OC'}|^2}{|\overline{OP''}_n|} \quad \text{se tiene:}$$

$$r_{cp}(\theta) = \frac{\left( d^2(\theta) + (d'(\theta) - \varepsilon)^2 \right)^{3/2}}{(d'(\theta) - \varepsilon)(2d'(\theta) - \varepsilon) - d(\theta)(d''(\theta) - d(\theta))} \quad (1.17)$$

que es equivalente a la ecuación que aparece en los libros que usan métodos tradicionales:

$$\rho = \frac{\left[ (R_0 + s)^2 + \left( \frac{ds}{d\theta} \right)^2 \right]^{3/2}}{(R_0 + s)^2 + 2 \left( \frac{ds}{d\theta} \right)^2 - (R_0 + s) \left( \frac{d^2s}{d\theta^2} \right)} \quad (1.18)$$

### CONCLUSIONES

Es poco favorable utilizar polinomios con base canónica o con base Fourier, para diseñar las funciones de desplazamiento de las levas puesto que presentan las siguientes desventajas:

- Los coeficientes  $a_i$  de la ecuación (1.1) y  $c_i$  y  $s_i$  de la ecuación (1.2), no tienen significado geométrico, por lo tanto la modificación de un determinado coeficiente no produce un efecto intuitivo sobre la forma de la función  $s(\theta)$ , resultando difícil gobernar la curva para obtener unas características determinadas.
- Los coeficientes de los polinomios se obtienen al solucionar un sistema de ecuaciones que se origina



de las restricciones que debe cumplir  $s(\theta)$ . Debido a estos coeficientes es engorroso automatizar la aproximación porque cada caso requiere un tratamiento particular.

- La base canónica de polinomios algebraicos no garantiza estabilidad numérica, especialmente si el grado  $n$  del polinomio es elevado.
- La imposición de las condiciones de continuidad en la unión entre los tramos descenso, subida y bajada de  $s(\theta)$  resulta laborioso.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Erdman, A. Sandor, G. Diseño de Mecanismos, Análisis y Síntesis. 1998

Cardona, S. Clos, D. Teoría de Máquinas. 2000.

Mabie y Reinholtz. Mecanismos y Dinámica de maquinaria. 2000.

Norton, R. Cam Design and manufacturing, handbook. 2002.

Reyes, G. Técnicas de Diseño Geométrico Asistido por Ordenador para Mecanismo Leva-Palpador. 2000.

Shigley y Uicker. Teoría de Máquinas y Mecanismos. 1988.

Zayas, E. Aportación al Estudio de Levas Desmodrómicas. 2001.