

# DESGASTE-CORROSIÓN ENTRE ACOPLER DE VARILLAS DE POZO Y TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

Darío Yesid Peña Ballesteros<sup>1</sup>, Alexander Martínez Ramírez<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se diseñó y fabricó un dispositivo de laboratorio que simulará las condiciones de rozamiento entre el acople y el tubing, permitiendo el manejo de fluidos corrosivos y no corrosivos a condiciones de presión y temperatura del pozo. A través de las pruebas en el simulador se evaluó el desgaste ocasionado en un material tubing API J55; y en cupones maquinados de acoples convencionales, con spray metal, y materiales poliméricos usados en centralizadores. Además se evaluó el efecto de tener un ambiente no corrosivo, corrosivo con CO<sub>2</sub>, la efectividad de aplicar inhibidor de corrosión y el efecto del %BSW.

Los resultados mostraron que la pérdida de material es más severo cuando se presentan ambas condiciones, rozamiento y corrosión que cuando se presentan en forma individual; el uso de acoples con materiales duros, protege al acople pero incrementa el desgaste en la tubería; el uso de centralizadores en materiales poliméricos protege la tubería, pero su vida útil es corta; a bajos porcentajes de %BSW la acción lubricante del crudo protege ambas superficies, lo contrario sucede a altos %BSW; el efecto protector del inhibidor de corrosión disminuye ostensiblemente debido a que la película de inhibición es afectada por el rozamiento entre los dos elementos.

**Palabras clave:** Acoples, centralizadores, tubing, spray metal, inhibidor, dióxido de carbono.

## ABSTRACT

A laboratory rig was designed to simulate the conditions of friction between couplings and tubing, which can allow handling corrosive and non-corrosive fluids to conditions of pressure and temperature of the oil well. The corrosion rate of materials from tubing API J55, conventional couplings, spray metal, and polymeric materials used in centralizers were evaluated. In addition, the effect of CO<sub>2</sub> on solution, the corrosion inhibitor effectiveness and the effect of %BSW also were evaluated. The results showed that the loss of material is more severe when both conditions, friction and corrosion appear that when they act individually; the use of couplings with hard materials, protects to couplings but it increases the wear in the pipe; the use of centralizer in polymeric materials protects the pipe, but its service life is short; to low percentage of %BSW the lubricant action of the oil protects both surfaces, the opposite happens to high values of %BSW; the protective effect of corrosion inhibitor is decreased because the inhibition film is affected by the friction between both elements.

**Keywords:** Couplings, Tubing, Inhibitor, Carbon dioxide, erosion

<sup>1</sup> Ph.D, Profesor Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. Grupo de Tribología y Superficies

<sup>2</sup> M.Sc, Ingeniero de Proyectos del Instituto Colombiano del Petróleo, ICP – ECOPEPETROL S.A.

## INTRODUCCIÓN

Algunas causas de desgaste entre la tubería de producción (Tubing) y los acoples de varillas en sistemas de bombeo mecánico y bombeo por cavidades progresivas se deben al rozamiento entre ellos debido a la desviación en la verticalidad del pozo y a la presencia de fluidos corrosivos en la formación tales como agua, gases ácidos como el ácido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (Hedayat, 1992, 1997), (Nuncira, 2000).

Con el fin de minimizar el efecto corrosivo se acostumbra la inyección de inhibidores de corrosión (tipo filmico) en el fondo del pozo, y el efecto de desgaste mediante el empleo de centralizadores poliméricos y rotadores de varillas (Humpreys, 1989), (McCaslin, 1987), (Scott, 2000).

De acuerdo con la literatura, se encontró información principalmente relacionada con la evaluación del comportamiento de diferentes materiales donde únicamente se evaluaba el efecto del rozamiento. Adicionalmente, las pruebas fueron realizadas en tiempos muy cortos y bajo condiciones de rozamiento muy severos, los cuales no simulaban en realidad del fenómeno de desgaste que se ha observado en acoples retirados de los pozos.

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del daño de desgaste por rozamiento y el efecto combinado de desgaste - corrosión y la efectividad de aplicar inhibidores filmicos de corrosión. El documento presenta el equipo que se diseñó para simular el mecanismo de daño por desgaste - corrosión, los resultados obtenidos de la severidad de estos mecanismos de daño y el comportamiento de algunos materiales que están siendo utilizados como alternativas de control ó minimización del fenómeno de corrosión-desgaste.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de las pruebas se le adaptó a una autoclave, utilizada para pruebas de corrosión a alta presión y temperatura, un dispositivo que simulara las condiciones de rozamiento. De acuerdo a la Figura 1, el dispositivo permite que dos pines (simulando los acoples) roten sobre un anillo estático (simulando el tubing) generando las condiciones de rozamiento, además, sobre los anillos se aplica un peso muerto (plomo) el cual simula la fuerza normal de contacto entre los pines (acoples) y el anillo (tubing). El autoclave permite confinar un ambiente corrosivo y simular las condiciones de presión y temperatura del fondo de pozo.

En la selección de la velocidad de rotación de los pines se tuvo en cuenta la distancia recorrida por el acople sobre el tubing a 12 strokes por minuto, con un recorrido de 140 pulgadas, lo cual es similar a la distancia recorrida por el pin sobre el anillo a 90 rpm. La velocidad de rotación del eje y la temperatura del sistema se controlaron mediante el circuito electrónico del autoclave dinámico y la presión interna del montaje mediante la configuración de entradas y salidas para gases ubicadas en la tapa de la vasija del autoclave.

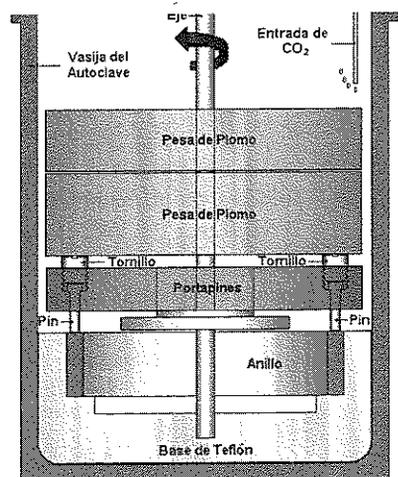


Figura 1. Diseño y montaje del dispositivo

Los pines (simulando los acoples) tenían una superficie de contacto plana de 0.02 in<sup>2</sup> ( 0.20 cm<sup>2</sup>), la dimensión del anillo (simulando el tubing) fue de OD 4,5 in (114,3 mm), altura 0,786 in (20 mm) y 5/16" (7,937 mm) de espesor, los anillos se maquinaron de una sección de tubing J55, 4.5 OD. Los experimentos de cada etapa se realizaron por 5 días cada uno a 90 rpm bajo una carga de 8,5 libras por pin. Las condiciones de cada etapa fueron las siguientes:

**Etapa I.** Encaminada a medir la pérdida de material tanto en las probetas de acople como de la tubería debido solamente al desgaste por fricción. El medio que se empleó fue 1 litro de agua destilada tipo IV, temperatura 50 °C y atmósfera de N<sub>2</sub>.

**Etapa II.** Enfocada a determinar la pérdida de material tanto en el acople como en la tubería ocasionada por el fenómeno de corrosión y desgaste en conjunto. El medio que se empleó fue 1 litro de agua destilada tipo IV, burbujeada durante 5 horas con CO<sub>2</sub>, 50°C, 1000 psi .

**Etapa III.** Determinar la pérdida de material ocasionada por el fenómeno de corrosión y desgaste bajo la acción de un inhibidor de corrosión. El medio empleado fue agua destilada tipo IV burbujeada con CO<sub>2</sub> durante 5 horas, 50°C, 1000 psi, 1 litro de solución y 53 microlitros de un inhibidor tipo filmico (Amina cuaternaria).

**Etapa IV.** Encaminada a determinar la pérdida de material atribuida al fenómeno de desgaste en un medio agua-crudo (%BSW). Se realizaron tres pruebas escogiendo como material de acople ferrítico perlítico 8630 por ser el material de normal uso en la operación. Se escogieron tres porcentajes BSW: 0, 30, una emulsión con BSW>50 de un litro cada una, a 50°C.

**Materiales:** Acero AISI SAE 8630 microestructura de ferrita-perlita.(F-P), Acero AISI SAE 8630 martensítico (M), pin con capa de spray metal (SM). Se realizó un análisis de

composición química puntual sobre la capa por el microscopio de barrido (SEM), observándose que está conformada principalmente por níquel, y en menor proporción cromo, silicio y carbono. Los pines se fabricaron a partir de un centralizador comercial. La Tabla 1 presenta la composición química del material del tubing.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 presenta los resultados de pérdida de material obtenido en la evaluación de los cuatro materiales de los pines bajo las condiciones establecidas para las etapas I, II y III. En el eje vertical se presenta el desgaste del pin tomando como referencia la disminución de la longitud inicial con relación al área expuesta.

La Figura 3 presenta los resultados obtenidos de pérdida de material en el tubing (anillo), ocasionado por los cuatro materiales de los pines en las etapas I, II y III.. El eje vertical representa la profundidad de la entalla inducida en el anillo por cada uno de los pines. Todas las pruebas se repitieron con el fin de verificar la repetibilidad de los resultados.

**Tabla 1.** Composición química acero AISI SAE 8630 y del tubing.

	Acople 8630	Tubing J55
C	0.326	0.475
Mn	0.885	0.799
P	0.000	0.01
S	0.030	0.007
Si	0.239	0.189
Ni	0.526	0.084
Cr	0.463	0.799
Mo	0.194	0.052
V	0.002	--
Al	0.035	--
Cu	--	0.181
Ti	0.002	--
Sn	0.008	--
Fe	97.1	98.04

**Etapa I Desgaste por rozamiento:** En la Figura 2, y tomando como referencia el desgaste observado en el acople Ferrita perlita, se observa que el acople de martensita presentó un desgaste 2.5 veces mayor con respecto a los otros, el pin de SM un desgaste bajo y el pin de polímero seis veces mayor. Haciendo un análisis similar con la Figura 3, el desgaste ocasionado en la tubería J55 por el pin de martensita fue 3.8 veces mayor, la capa de SM generó un daño diez veces mayor y el material polimérico no generó daño sobre el tubing.

Comparando el daño generado con la dureza de los pines evaluados, se identifica que el pin de spray metal no sufrió deterioro alguno debido a su alta dureza, sin embargo el tubing presentó la mayor pérdida de material, la morfología del daño del tubing se puede observar en la Figura 4. El pin polimérico presentó una muy baja dureza comparado con el tubing, lo cual hace que no produzca pérdida al material del tubing. Sin embargo, la durabilidad de los pines poliméricos fue bastante baja.

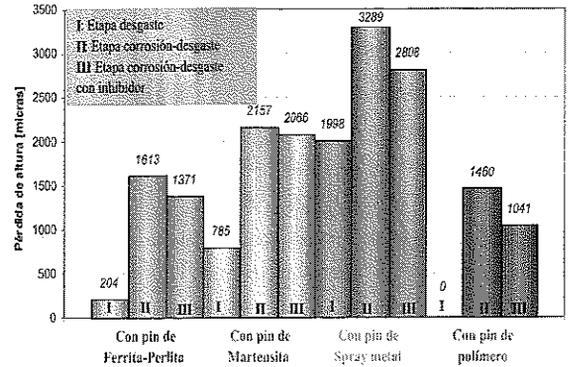


Figura 3 . Pérdida de altura en los anillos (Tubing).

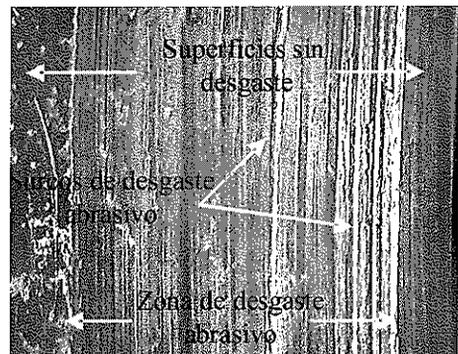


Figura 4. Daño en el anillo debido al contacto con el pin de Spray Metal. Etapa de desgaste. Microscopio estereográfico 10X.

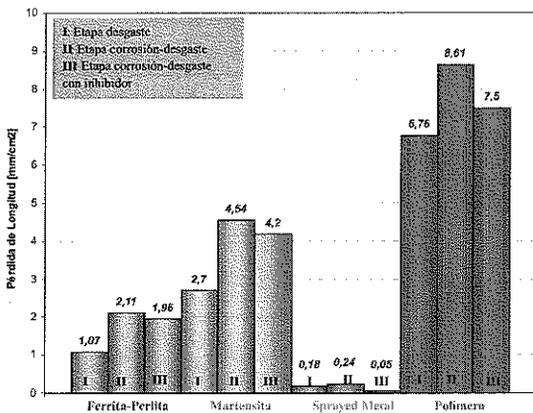


Figura 2. Pérdida de longitud en los pines (acoples y centralizador)

Al comparar el comportamiento entre los pines de acople de ferrita-perlita y los pines de martensita revenida se observó que esta última microestructura presentó mayor desgaste, éste comportamiento se debe a que la microestructura de martensita revenida posee una menor resistencia al desgaste, lo que permite que, durante el proceso de rozamiento, se desprenda una gran cantidad de material de pin de martensita y del anillo, ocasionando nuevamente la aparición del desgaste abrasivo (sistema de tres cuerpos), permitiendo la formación de una superficie de picos y valles que van a influir directamente en la morfología

del desgaste tanto del pin como del anillo. La microestructura de ferrita-perlita ocasionó un desgaste abrasivo menos severo en el anillo ya que la ferrita posee mejor ductilidad y la perlita aporta un efecto lubricante al sistema tribológico, ver Figura 5.

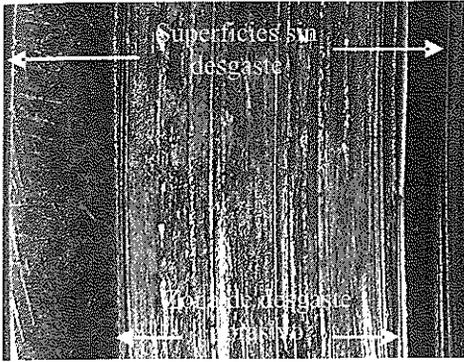


Figura 5. Morfología de la superficie de desgaste del anillo ocasionada por el pin de martensita revenida en la etapa de desgaste. 10X

**Etapa II Corrosión-Desgaste:** Tomando como referencia el comportamiento al desgaste por rozamiento (Fase I) de los materiales evaluados se tiene:

- El desgaste presentado en el pin de ferrita perlita se incrementó en dos veces, y lo mismo sucedió con el pin de martensita.
- El pin de Spray Metal presentó una gran resistencia al fenómeno de corrosión-desgaste, ésta se le atribuye a la presencia del cromo y níquel.
- El pin de polímero presentó un incremento en daño del 27% comparado con el desgaste atribuido solo al rozamiento. Comparado con el pin de ferrita perlita, este pin se desgastó cuatro veces más.
- Es importante resaltar que los pines de martensita, en la periferia, presentaron un daño mayor por corrosión que los pines de ferrita perlita. Ver Figura 6.

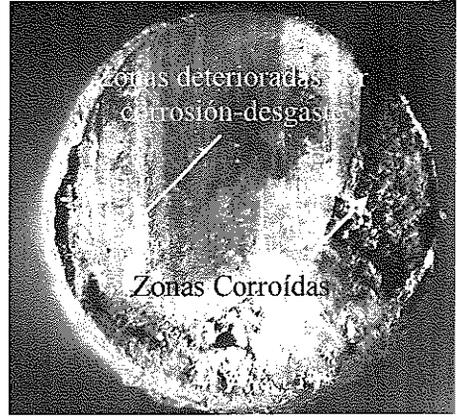


Figura 6. Superficie transversal del pin de martensita revenida, 10X.

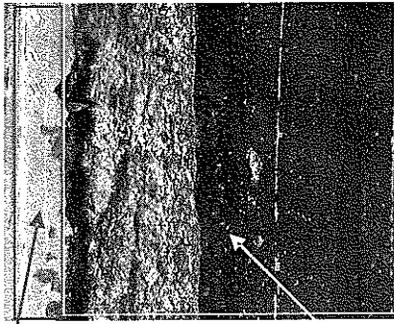
El desgaste observado en los anillos presentó un incremento bien representativo comparado con la etapa I. En el caso de los pines de acero el desgaste se incrementó más de siete veces. Comportamiento similar se observó con los pines de spray metal y polímero. Se observó que el rozamiento elimina los depósitos de corrosión, dejando la superficie desgastada del anillo nuevamente expuesta al ambiente corrosivo por  $CO_2$ .

**Etapa III Corrosión-desgaste más inhibitor:**

Comparando el comportamiento de estas pruebas con lo observado en la pruebas de la Etapa I, el desgaste presentado en los pines de acero 8630 y el material polimérico fue muy alto, pero un poco menor que lo observado en la Etapa II. El desgaste del pin de spray metal también fue muy bajo. Se observó que el efecto protector del inhibidor filmico fue muy bajo, esto se debe al rozamiento entre los pines y el tubing que remueven la capa del inhibidor filmico, ocasionando lo que se denomina corrosión asistida por desgaste.

La buena eficiencia protectora del inhibidor filmico se verificó en la superficie del anillo que no tuvo contacto con los pines donde no se presentó desgaste por corrosión (Ver Figura 7),

lo mismo sucedió con el cuerpo de los pines de acero expuestos al fluido corrosivo.



Superficie protegida por el inhibidor      Zona deteriorada por corrosión-desgaste

**Figura 7.** Efecto del inhibidor sobre la superficie del anillo. Micrografía 10X.

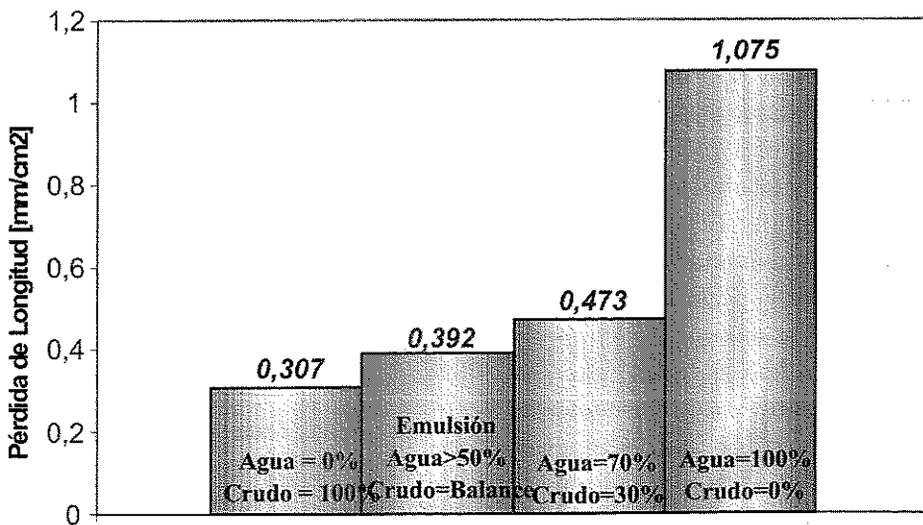
Sobre la superficie del anillo en contacto con el pin polimérico (Figura 7) se observan dos zonas claramente definidas. La zona que estuvo en contacto con el pin, presenta un desgaste por corrosión, debido a que el pin del polímero tiene la capacidad de remover el inhibidor y los residuos de corrosión exponiendo el anillo al ambiente corrosivo. La zona que no estaba en contacto con el pin, se observa en buenas condiciones. Esto demuestra que el pin de

polímero a pesar de no causar daño en la tubería por fricción debido a su baja dureza, si remueve la película de inhibidor junto con los productos de corrosión, afectando directamente su resistencia a la corrosión.

**Efecto del BSW en el desgaste por rozamiento:**

La figura 8 muestra la relación de pérdida de altura en los pines de ferrita-perlita en la etapa IV (Relación agua-crudo). Tomando como referencia el desgaste del pin en un ambiente de 100% agua (etapa I) se observa que a medida que disminuye el BWS se disminuye el desgaste en el pin. Lo mismo se observó con el desgaste de los anillos de tubing.

En esta etapa se observó claramente el efecto lubricante que ejerce el crudo sobre las superficies en contacto dinámico. A bajos BWS el crudo moja las superficies, lo cual actúa como un lubricante y adicionalmente se evita el contacto de las superficies con el agua corrosiva del pozo. Registros de fallas de pozos han demostrado que en pozos con altos cortes de agua ó afectados por inyección de agua, se incrementan considerablemente las fallas por rozamiento corrosión, caso que no ocurre en pozos del mismo yacimiento con bajos cortes de agua.



**Figura 8.** Relación de pérdida de altura en pines de ferrita-perlita en etapa agua/crudo.

## CONCLUSIONES

- El acople de spray metal presentó una buena resistencia al fenómeno de corrosión-desgaste, aunque ocasiona un daño severo en la tubería debido a su alta dureza.
- El centralizador de polímero no causó ningún tipo de daño mecánico a la tubería, aunque debido a su baja resistencia al desgaste, no tiene una vida útil prolongada. Se debe tener cuidado con su utilización ya que permite la remoción de la película de inhibidor dejando la superficie del anillo expuesta a un nuevo ataque por corrosión.
- Los pines de microestructura ferrítico-perlítica presentaron el menor desgaste sobre la tubería, y mostraron una mejor resistencia al fenómeno de corrosión-desgaste comparado con los pines de martensita.
- El acople de microestructura martensítica presentó un alto desgaste y una muy baja resistencia a la corrosión, por lo que tiene una baja posibilidad de utilización en pozos con condiciones ambientales corrosivas y de contacto metal-metal.
- En cuanto al fenómeno de corrosión, se comprobó experimentalmente que la microestructura ferrítico-perlítica comparada con la microestructura de martensita revenida (Acero AISI SAE 8630) tiene una mayor resistencia a la corrosión por CO<sub>2</sub>.
- La eficiencia de protección del inhibidor filmico es seriamente reducida debido a que la capa de inhibidor es removida por las superficies en contacto. En pozos donde el inhibidor se aplica por baches semanales o quincenales su efecto protector sería nulo.
- A media que aumenta el BSW, se incrementa el desgaste por rozamiento. El aceite cumple una función lubricante y además aísla los agentes corrosivos presentes en el agua de las superficies metálicas.

## REFERENCIAS

- DONALD G., BELLOW, D., OWENS, C., I. Smuga-Otto., Wear of standard and hard-metal-coated coupling with oilfield tubing. Canada: Department of Mechanical Engineering, (1989).
- ELSHAWESH, F., Test pinpoint sucker-rod failures. Petroleum Research Center. Lybia, p.59.
- HEDAYAT, A. YANNACOPOULOS, S. and POSTLETWAITE, J., Wear and CO<sub>2</sub> corrosion of steel couplings and tubing in heavy oil screw-pump wells. Wear. Vol.209. (1997).
- HEDAYAT, A. YANNACOPOULOS, S. and POSTLETWAITE, J., Conjoint action of CO<sub>2</sub> corrosion and reciprocating sliding wear on plain carbon steel. Part II –Electrochemical studies. National Association of Corrosion Engineers. Corrosion, vol. 48, No. 12. (1992).
- HUMPREYS, K., and MATTHEWS, C., Reciprocating-sliding wear of sucker rods and production tubing in deviated oil wells. Conferencia Internacional sobre desgaste de materiales, Denver. Centre for Frontier Engineering Research. (1989). p.20.
- MCCASLIN K. P., A study of the methods of preventing rod wear tubing leaks in sucker rod pumping well. Society of Petroleum Engineers. (1987).
- NUNCIRA, H. y PÉREZ, J., Efecto de la microestructura sobre la corrosión de aceros en soluciones acuosas conteniendo CO<sub>2</sub>. Trabajo de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. (2000).
- PEÑA, DARÍO Y., Comportamiento electroquímico de un acero AISI 1020 en emulsiones blancas inversas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, (1994).

PETER, A., TRIBOLOGY SERIES, Impact Wear of Materials. New York, (1978).

SCOTT, W. AND JAMES, V., Measured rod coupling on tubing wear. Southwestern petroleum short course. (2000).

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a Ecopetrol S.A. Superintendencia de Operaciones de Mares, campo La Cira por hacer posible la financiación de este trabajo de investigación, y su permiso para publicar los resultados obtenidos.

---

Recibido: 30 de octubre de 2006  
Aceptado: 14 de diciembre de 2006