

Problem Solving Practice Tool for Improved Learning in the Area of Electromagnetism

Claudio Marcelo Muñoz^{#1}, Carlos Belaustegui Goitia^{#2}, Martín Sigwald^{#3}, Augusto Viotti Bozzini^{#4}

^{#1,2,3} *Departamento de Electrónica (Área Telecomunicaciones), Instituto Tecnológico de Buenos Aires*

^{#4} *Ayudante alumno, Departamento de Electrónica, Instituto Tecnológico de Buenos Aires
Ave. Madero 399, Ciudad Autónoma de Bs. As., Argentina*

¹ cmmunoz@itba.edu.ar

² cbelaust@itba.edu.ar

³ msigwald@gmail.com

⁴ aviottibozzini@itba.edu.ar

Abstract— These times are manifested with questions about traditional learning processes. Especially, within the field of electromagnetism, serious difficulties are observed in the learning process. In response, a work proposal is presented that, based on the articulation between courses, seeks to overcome the difficulties raised.

Resumen— Los tiempos que corren se manifiestan con cuestionamientos hacia los procesos de aprendizaje tradicionales. En particular, dentro del campo del electromagnetismo, se observan serias dificultades en el proceso de aprendizaje. Como respuesta, se presenta una propuesta de trabajo que, en base a la articulación entre materias, busca superar las dificultades planteadas.

I. INTRODUCCIÓN

Los tiempos que corren se manifiestan con cuestionamientos hacia los procesos de aprendizaje tradicionales [1]. Diversos estudios muestran que existe una necesidad de mejora continua en la enseñanza, centrándose en el desarrollo de la cultura de retroalimentación y el uso de nuevos métodos y herramientas educativas [2] [3] [4].

Las instituciones educativas, en su intención de mejorar los resultados de formación académica, proponen a los docentes la incursión en el uso de nuevas técnicas y herramientas para superar las dificultades que se presentan.

El electromagnetismo es una de las ramas más importantes de la física en la formación de ingenieros y tecnólogos y la complejidad de los temas que se tratan dentro de su programa, como ser conceptos de campo eléctrico y magnético han implicado serias dificultades en su aprendizaje [5]. Hablar de problemas en el aprendizaje en estudiantes universitarios significa hablar de fracaso; Fracaso para los estudiantes, para los profesores y, para la misma universidad.

Muchos estudios han dado luces sobre las variables que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes, y en todos coinciden en su naturaleza multicausal, es decir que influyen en él varios factores y a diferentes niveles [6]. En particular, citamos algunos trabajos que han indagado

sobre las causales de las dificultades en el aprendizaje de electromagnetismo [7], [8], [9].

Del análisis de los trabajos aquí citados, sumados a la experiencia recogidas en todos los años de dictado de materias cuyos contenidos se basan en los fundamentos adquiridos en los cursos de electromagnetismo, se observa que, entre las distintas variables causales de la complejidad en el aprendizaje en este campo, encontramos:

- En general los cursos están programados en base al dictado de un alto contenido teórico.
- En los cursos de electromagnetismo intervienen muchos conceptos, como campo magnético y campo eléctrico, confundiendo estos conceptos con los de fuerza.
- No tiene claridad al momento de elegir cuales son los conceptos adecuados para explicar una situación [8].
- Percibe a los contenidos dictados como compartimientos estancos no logrando diferenciar la interacción entre ellos [9].
- El alumno manifiesta cierta tendencia a otorgar realidad material a entidades abstractas. Así, concibe la carga como un fluido, el campo como una sustancia y las líneas de campo como curvas o trayectorias materiales [10].
- El alumno no percibe, al momento del cursado, como esos contenidos podrán ser útiles en su carrera y como se aplican en los siguientes cursos.

En la búsqueda de la superación de los inconvenientes planteados se presenta un proyecto integrador cuyo objetivo es articular entre diversas materias que basan su proceso de aprendizaje en la aplicación de la física del electromagnetismo. Dicho proyecto se irá desarrollando por etapas y en él se prioriza el papel de la actividad experimental como estrategia para mejorar la comprensión de los fenómenos físicos [11]. Los modelos de aprendizaje basado en problemas sugieren que los estudiantes adquieran conocimientos y habilidades específicos del tema mediante la participación en actividades que simulen contextos y desafíos del "mundo real" [12].

Cada una de las etapas del proyecto es un proyecto en sí mismo que se inicia y concluye en la misma materia y a su vez el resultado final del proyecto integrador permite comparar cada uno de los resultados alcanzados en cada etapa y obtener, a partir de un análisis integrador y en perspectiva, nuevas conclusiones.

El proyecto involucra, transversalmente, a las materias electromagnetismo, Microondas y, Antenas y Radiopropagación, todas del ciclo profesional y cursándose de manera consecutiva en los dos últimos años de la carrera de ingeniería electrónica. En esta oportunidad el proyecto elegido para ser llevado a la práctica es el desarrollo de un sistema de radar con antenas planares. En el desarrollo del trabajo integrador las materias imparten los conocimientos, según el campo de su programa y, diseñan e implementan las partes del dispositivo que requieran para alcanzar el objetivo de su etapa como si fueran piezas de un rompecabezas. A lo largo de todo el proyecto se promueve el uso de programas de simulación para resolver y modelar los casos de la práctica real. En particular se trabaja con licencias de AWRdesignEnviromet y CST Software.

Con la finalización de cada curso, se cierra una etapa del proyecto, la cual tiene identidad en sí misma, y junto con ella la obtención de conclusiones y la aplicación de conceptos.

CURSO ELECTROMAGNETISMO

Si bien en el progreso de este curso, no se desarrolla alguna parte del proyecto, lo que se realice a posterior, tiene su base en los fundamentos que se imparten en este ciclo. El curso de electromagnetismo pone énfasis, entre otras cosas, en el estudio de líneas de transmisión. Si bien, por ser el curso donde se imparten los conocimientos básicos, tiene un alto contenido teórico, la curricular de la materia trabaja intensamente en la elaboración de prácticas de laboratorio con manejo de instrumental. Los alumnos adquieren las primeras experiencias del comportamiento de los circuitos en las altas frecuencias realizando mediciones varias sobre distintos tipos de líneas. Los conceptos y conocimientos aquí adquiridos serán la plataforma sobre la cual se construye el trabajo que nos ocupa.

CURSO DE MICROONDAS

El objetivo principal de esta etapa fue el desarrollo de un radar efecto doppler en el rango de 2,8 GHz. Para ello, el primer inconveniente que se presentó a resolver es, como determinar empíricamente el valor de la constante dieléctrica, ϵ_r del material a utilizar. La calidad de esta medición es crítica ya que de ella dependen todos los demás resultados del trabajo. En este punto, si bien se busca alcanzar el resultado con la mayor exactitud posible, el objetivo principal es, incentivar al alumno a la búsqueda de soluciones “ingeniosas” en base al instrumental disponible, que en este caso fue un analizador de redes.

El primer procedimiento que se diseñó y, al final el que mejor resultado arrojó para medir la constante dieléctrica, consistió en la comparación, para una frecuencia dada y

sobre cuatro líneas de transmisión de impedancia característica $Z_0=50 \Omega$ y de longitudes $\lambda/2$ y $\lambda/4$ cada una de ellas en cortocircuito y circuito abierto Fig. 1, del valor de fase obtenida de un proceso de simulación y las registradas en mediciones. En este caso el proceso de simulación fue llevado a cabo con AWRDesignEnviroment que es el software de simulación utilizado en este curso.



Fig. 1. Ejemplo de las líneas utilizadas para determinar el ϵ_r de la placa (Línea de $\lambda/4$ en corto circuito y $\lambda/2$ en circuito abierto).

A. Procedimiento en la determinación de ϵ_r

- Se mide a través del analizador de redes la fase del parámetro S_{11} de cada una de las placas.
- Iterando con el simulador, se observan y se toman los datos de cómo se comportarían cada una de las placas variando la constante dieléctrica.
- Los valores medidos con el analizador de redes sobre las placas, Fig. 2, se comparan con los obtenidos de la simulación con las distintas constantes dieléctricas como variables y se busca, en qué condiciones coinciden los resultados.

Los resultados arrojaron que la mejor estimación del valor de la constante dieléctrica es $\epsilon_r = 5,5$.

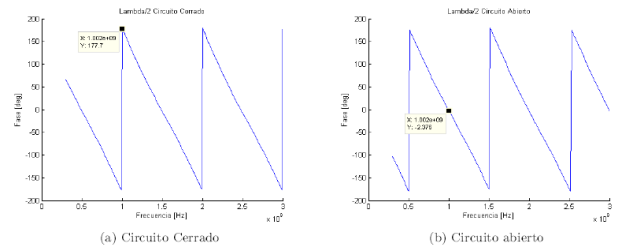


Fig. 2. Mediciones en CC y CA sobre la línea de $\lambda/2$

B. Desarrollo de circuito Híbrido 3 dB

Resuelto el problema de la determinación de la constante dieléctrica se procedió al desarrollo del circuito híbrido 3dB, 90° para lo cual se aplicó el método del modo par impar [13].

La frecuencia central elegida fue $f_0= 1 \text{ GHz}$. La determinación largo y ancho de las pistas, de cada uno de los tramos, fueron calculados mediante dos métodos.

1) *Código en Matlab*, aplicando las fórmulas de Hammerstad

2) *TXLine*, el cual es una facilidad del programa de simulación AWR, el cual a partir de los valores de γ y f_0 calcula el ancho de pista y la longitud para una impedancia deseada.

En la Fig. 3 se observar el circuito obtenido, el cual se utilizó en la práctica para las mediciones de parámetros S.

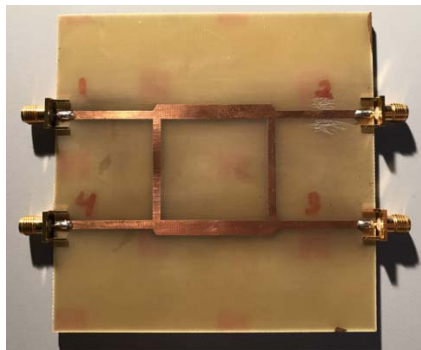


Fig. 3. Circuito híbrido 3 dB.

Como ejemplo en Fig. 4 se observa la medición de S_{44} con el puerto 2 en circuito abierto y S_{11} con puerto 3 en C.A.

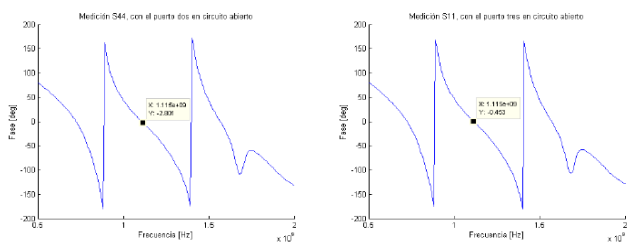


Fig. 4. Medición de S_{44} , puerto 2 en C.A. y S_{11} , puerto 3 en C.A.

Finalmente se procede al desarrollo de las antenas tipo patch para poder integrar todo el proyecto. En la Fig. 5 se observa el diagrama en bloques del circuito utilizado para el radar, el cual se elige, luego de una amplia lectura y selección, el presentado en el paper "System-level microwave design projects" [14].

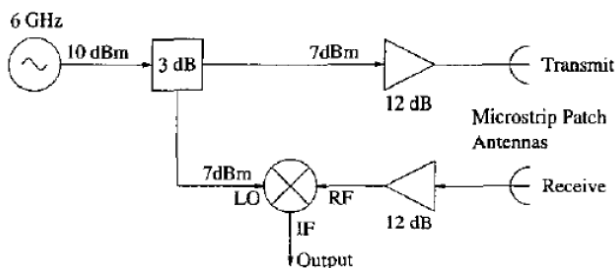


Fig. 5. Diagrama en bloque de proyecto utilizado.

Para el diseño de las antenas se adopta la teoría expuesta en [15], según la cual, corresponde para una antena que opera en 2.8 Ghz, los parámetros dimensionales dados en la Tabla 1.

Al momento de desarrollar las antenas, las placas de PCB que se usaron originalmente se habían agotado y remplazadas por nuevas por lo que debió procederse a medir la constante dieléctrica de las mismas volviendo a utilizar el procedimiento anteriormente descrito.

TABLA I
PARÁMETROS DIMENSIONALES DE ANTENAS PATCH

Name	Valor	Descripción	Unidad
W	36,51	Ancho de antena	mm
L	27,51	Largo de antena	mm
Fi	7,4	Penetración de feed	mm
Lf	39,99	Largo del feed	mm
Wf	3,7	Ancho feed	mm
Gpf	3,7	Ancho calado feed	mm
Lg	100	Largo placa (ground)	mm
Wg	100	Ancho de placa (ground)	mm
Hs	0,0035	Espesor sustrato de placa	mm
Ht	1,70	Espesor de placa	mm

En esta oportunidad el nuevo valor obtenido fue $\epsilon_r = 3,65$. En la Fig. 6 se observa una de las antenas, las cual fueron desarrolladas para operar en 2.8 Ghz.

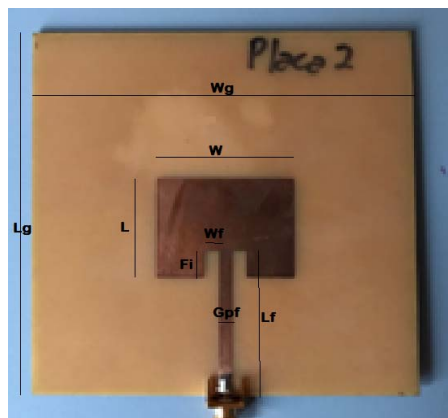


Fig. 6. Diagrama en bloque de proyecto utilizado.

Dadas las antenas se procedió a la medición de los parámetros S_{11} y ROE de cada una de ellas, como así también la verificación de la transmisión entre ambas antenas alimentando a una de ellas con una señal de 20 dBm a la frecuencia de trabajo seleccionada.

En Fig.7. Se puede observar la medición de la señal de transmisión entre ambas antenas.

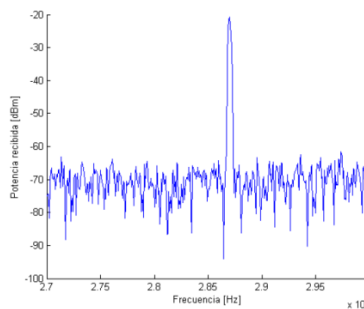


Fig. 7. Señal de transmisión entre ambas antenas patch.

CURSO ANTENAS Y RADIOPROPAGACIÓN

El objetivo de este curso, como su nombre lo indica, es impartir los conocimientos de los fenómenos de propagación en radiofrecuencias y los conceptos teóricos de

la antena, siempre enfocando el tema desde un punto de vista ingenieril y no tanto físico.

En particular, durante este curso se estudian y analizan las características de operación y conceptos de antenas patch. Sobre la base de lo ya realizado en las etapas anteriores se propone la medición del lóbulo de radiación de las antenas patch generadas en el curso de microondas. Al igual que en las prácticas desarrolladas en las materias anteriores del proyecto, aquí también se incentiva al alumno a que agudice su ingenio en la búsqueda de soluciones y alternativas para lograr el objetivo propuesto.

Se parte de indicar cuales son las características que debería tener un entorno para poder medir el lóbulo de radiación de una antena, Open Area o contar con cámara anecoica o semi-anecoica y definido que no se está en condiciones de alcanzar dicho entorno, se estimula al alumno a que determine en qué manera el contexto afectará los resultados esperados.

En Fig 8. Se observa el diagrama de radiación medido de una de las antenas patch.

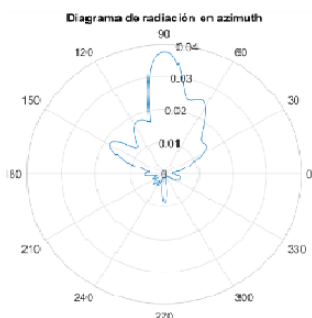


Fig. 8. Diagrama en radiación en azimuth de antena patch.

Simultáneamente se propone, trabajando con el CST software, la simulación de la antena según los parámetros de diseño utilizados al momento de su desarrollo y, comparar el resultado de dicha simulación con el obtenido en la medición y con los resultados obtenidos en la simulación realizada en el curso anterior, bajo condiciones ideales de trabajo y en base a las ecuaciones teóricas.

En la Fig. 9 se puede observar el valor del parámetro S_{11} obtenido mediante la simulación, donde se corrobora que la condición óptima de trabajo de la antena corresponde a la frecuencia de 2,79 GHz. Por su parte en la Fig. 10 se observa el diagrama de radiación en 2D, azimuth y elevación, obtenido del proceso de simulación.

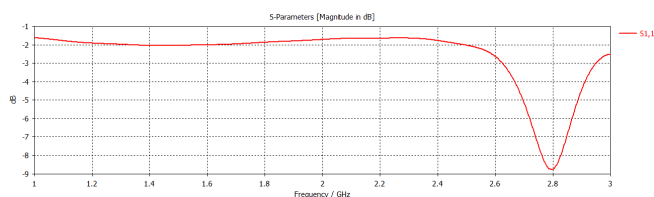


Fig. 9. Parámetro S_{11} trabajando con software CST.

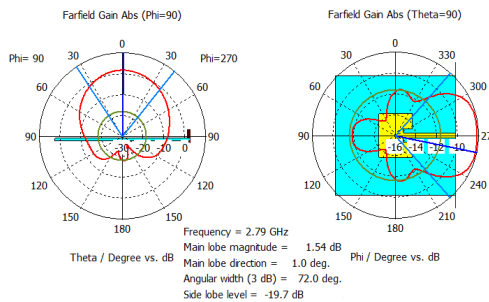


Fig. 10. Diagrama de radiación azimuth y elevación obtenidos de simulación con software CST.

En esta parte del trabajo, son importantes los resultados y conclusiones que surgen de la comparación entre el proceso de simulación y lo que el alumno espera observar a partir de lo aprendido en teoría, donde el comportamiento de la antena, al igual que su entorno, es ideal. De un mismo modo es lo es la comparación entre los resultados de la simulación y los obtenidos de la medición.

Para dar un ejemplo de lo expuesto, se pide al alumno que compare el lóbulo de radiación en 3D de la antena patch, obtenido según las formulas desarrolladas en teoría y el obtenido del proceso de simulación. Fig 11.

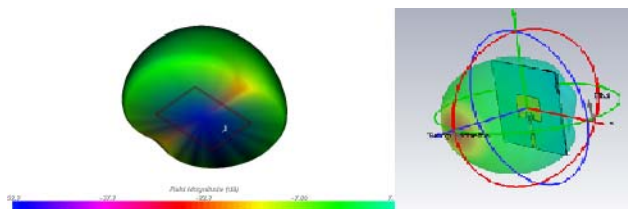


Fig. 11. Lóbulo de radiación de antena patch en condiciones ideales y el obtenido en simulación.

Del mismo modo, se le propone que compare los diagramas del lóbulo de radiación en 2D obtenido de la medición con el obtenido de la simulación Fig 8 y Fig 10.

En ambos procesos de comparación, el alumno debe justificar las diferencias observadas. Es a través de este proceso de contrastación donde el alumno toma conciencia de la importancia de todos las variables externas y el rol que ellas juegan apartando los resultados de lo que pueda obtenerse en condiciones ideales de trabajo. En este proceso se lleva al alumno a pensar y analizar un problema ya no en el ámbito académico sino desde foco del profesional.

CONCLUSIONES

Más allá de la práctica seleccionada en esta ocasión, radar de efecto Doppler, la idea de este trabajo es presentar una alternativa para mejorar el proceso de aprendizaje de conceptos referidos a campos electromagnéticos.

Lo novedoso del trabajo aquí expuesto está dado por la articulación entre las diversas materias con el objetivo de llevar adelante un trabajo práctico con un formato cercano al que se encontrará en el “mundo real”, logrando a partir de ahí, una mayor motivación del alumno por el trabajo

práctico e internalizar en él los conceptos que cada cátedra imparte.

Cada etapa del proyecto es un diseño en sí mismo donde cada uno de los cursos trabaja en forma práctica sobre sus contenidos específicos. En la búsqueda de un mayor compromiso del alumnado se sugiere que los proyectos llevados a la práctica no tengan solo el objetivo de aplicar parcialmente ciertos contenidos teóricos tratados en el curso, sino que tengan aplicación en el mundo profesional.

Con esta metodología de trabajo, se enfatiza en la aplicación práctica como un mecanismo para fijar los conceptos vistos en la teoría. El alumno deja de sentir que los conocimientos son compartimientos estancos, presentado los mismos un sentido de continuidad consiguiendo a partir de ahí una mayor empatía del alumno con los conocimientos y prácticas desarrolladas durante el curso. Finalmente se hace hincapié en el uso de programas de simulación, considerando fundamental para el futuro profesional, egresar de la universidad con un sólido conocimiento en este campo.

Agradecimientos

Se destaca la labor del alumno Augusto Viotti Bozzini quien colaboró durante el cursado de las materias para poder desarrollar este trabajo, como así también la labor desarrollada por el Ing. Carlos Belaustegui Goitia y el Ing. Martin Sidwald profesores, titular y, respectivamente jefe de Trabajos Prácticos de la materia microondas quienes tuvieron a cargo el desarrollo del radar de efecto Doppler.

REFERENCIAS

- [1] Angélica del Rey, J. Sanchez-Parga, "Crítica de la educación por competencias". Universitat, *Revista de las ciencias sociales y Humanas*, No. 15, ISSN 1390-3837, pp. 233-246, 2011.
- [2] Deslauriers, L., Schelew, E. & Wieman, C. 2011. "Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class". *Science*, 332, pp. 862-864.
- [3] Froyd, J. E., Wankat, P. C. & Smith, K. A. 2012. "Five Major Shifts in 100 Years of Engineering Education". *Proceedings of the IEEE*, 100, pp 1344-1360.
- [4] Singer, S. & Smith, K. A. 2013. "Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering". *Journal of Engineering Education*, 102, pp. 468-471.
- [5] B. E. Osorio, L. S. Mejía, J. A. Osorio, G. E. Campillo, R. Covaleta, "Análisis de la Enseñanza y el Aprendizaje del Electromagnetismo en el Nivel Tecnológico y Universitario". *Entre Ciencia e Ingeniería*, ISSN 1909-8367 Año 6. No. 12 - segundo semestre de 2012, pp 24-28.
- [6] Katherine Contreras, Carmen Caballero, Jorge Palacio y Ana María Pérez, "Factores asociados al fracaso académico en estudiantes universitarios de Barranquilla (Colombia)". *Psicología desde el Caribe*, N°22 Jul-Dic 2008;
- [7] J.Guisasola, J.M. Almudí, M.Ceberio, "Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección". *Investigación y Didáctica*, vol.21, no.2, pp. 281-293, 2003.
- [8] J.Guisasola, J.M. Almudí, J.L. Zubimendi, "Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría de campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza". *Enseñanza de las Ciencias*. vol.21, no. 1, pp. 79-94,2003.
- [9] A.Llancaqueo, M.C. Caballero, and M.A. Moreira, "El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en

- educación en ciencias", *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, vol.2, no.3, pp.227-253,2003.
- [10] Catalán, C.C. Sahelices, M.A. Moreira, "Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética", *Lat. Am. J. Phys. Educ*, vol.4,no.3,2010.
- [11] Beatriz Elena Osorio Vélez, Luz Stella Mejía Aristizabal, Jaime Alberto Osorio Velez, Gloria Eugenia Campillo, Rodrigo Covaleta Figueroa. "El papel de la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje del electromagnetismo en la educación superior", *Revista Científica*, 22, 85-96, 2015.
- [12] Rose, D. H., Meyer, A. & Hitchcock, C. 2005. "The Universally Designed Classroom: Accessible Curriculum and Digital Technologies", *Harvard Education Press*, Cambridge
- [13] Rueda, José Abel. *Teoría de Líneas de Transmisión*. Universidad Autónoma de Baja California, Inc. 1999 Cap. 8, pp 92-96
- [14] M. A. Jensen, R. H. Selfridge and K. F. Warnick, "System-level microwave design projects," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, no. 5, pp. 138-142, Oct 2001. doi: 10.1109/74.979387
- [15] Balanis C. *Antena Theory Analysis and Design (3 Edition)*. John Wiles & Sons, Inc. 2005 Cap 14. pp 811-876