



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

**FACTORIZACIÓN DE HADAMARD
PARA POLINOMIOS HURWITZ**

Tesis que presenta
M. en C. Carlos Arturo Loredo Villalobos
para obtener el grado de
Doctor en Ciencias (Matemáticas)

Asesor: Dr. Baltazar Aguirre Hernández

Sinodales:

Luis Verde Star

Dr. Luis Verde Star
Dr. José de Jesús Álvarez Ramírez
Dr. Jorge Antonio Torres Muñoz
Dr. Moisés Bonilla Estrada

UAM – Iztapalapa
UAM – Iztapalapa
IPN – CINVESTAV
IPN – CINVESTAV

J. Torres

[Signature]

[Signature]

[Signature]

México, D. F. Noviembre de 2012



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA**

**DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS
POSGRADO EN CIENCIAS MATEMÁTICAS**

**FACTORIZACIÓN DE HADAMARD PARA
POLINOMIOS HURWITZ**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO

DOCTOR EN CIENCIAS MATEMÁTICAS

P R E S E N T A

M. en C. CARLOS ARTURO LOREDO VILLALOBOS

DIRECTOR DE TESIS
DR. BALTAZAR AGUIRRE HERNÁNDEZ

México, D.F. 6 de noviembre de 2012.

Índice general

Resumen	I
Introducción	III
1. Polinomios Hurwitz y criterios de estabilidad	1
1.1. Polinomios Hurwitz	1
1.2. Criterio de Routh-Hurwitz	3
1.3. Teorema de Hermite-Biehler	4
1.4. <i>Test</i> de estabilidad	6
1.5. Criterio de Routh	8
2. Producto de Hadamard	13
2.1. Definición del producto de Hadamard	13
2.2. Notas históricas	14
2.3. Algunas propiedades	15
3. Estabilidad del producto de Hadamard	17
3.1. Antecedentes del problema	17
3.2. Estabilidad y producto de Hadamard	18
4. Factorización estable de Hadamard	25
4.1. Análisis de polinomios de grado pequeño	25
4.2. Condiciones necesarias	29

4.3. Condiciones necesarias y suficientes	40
5. Relación con sistemas	43
5.1. La grúa	43
5.2. El motor Dedra de Fiat	47
Conclusiones y perspectivas	51
Bibliografía	55

Agradecimientos

El presente trabajo es la conclusión de un proyecto iniciado hace algunos años por invitación del Dr. Baltazar Aguirre. Durante este tiempo he tenido la fortuna de poder colaborar con él en otras publicaciones y diversos proyectos. Es por ello que quiero agradecer al profesor Aguirre el apoyo brindado y la confianza que ha depositado en mi durante todo este tiempo.

Quiero agradecer también al Dr. Javier Sánchez Pozos por sus enseñanzas, en el aula o fuera de ella. Sin duda, lo que he aprendido de su persona son parte ahora de mi formación matemática y trato de seguir su ejemplo para conducirme en mi actividad profesional.

Agradezco a CONACyT por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de doctorado mediante su programa de becas a posgrados de calidad.

Finalmente quiero agradecer a cada uno de los sinodales por sus comentarios y observaciones que enriquecieron el presente trabajo.