



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



## RESUMEN TESIS DE GRADO

AUTOR(ES)

NOMBRE: (S): WILSON APELLIDOS: BARCO MORALES  
NOMBRE: (S): NORA CECILIA APELLIDOS: PÁRAMO POLANCO

FACULTAD: DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR

NOMBRE(S): CARLOS ANDRÉS APELLIDOS: OSORIO ZÚÑIGA

TITULO DE LA TESIS: CONTROL DE UN PÉNDULO DE FURUTA EN MODO GRÚA

### RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue crear un dispositivo para controlar un sistema no lineal e inestable muy utilizado para el análisis experimental de técnicas avanzadas de control, el problema cubre una variedad de aspectos en ingeniería como electrónica, mecatrónica, física, mecánica, sistemas de control, sistemas dinámicos, sistemas en tiempo real, robótica y computadores. Los Puente grúa son sistemas ampliamente utilizados en aplicaciones industriales como por ejemplo, en los puertos de mar, las fábricas de manufactura, la construcción de sitios, etc.

### CARACTERÍSTICAS:

PAGINAS: 78 PLANOS:      ILUSTRACIONES: 37 CD-ROM: 1

**CONTROL DE UN PÉNDULO DE FURUTA EN MODO GRÚA**

**WILSON BARCO MORALES  
NORA CECILIA PÁRAMO POLANCO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**CONTROL DE UN PÉNDULO DE FURUTA EN MODO GRÚA**

**WILSON BARCO MORALES  
NORA CECILIA PÁRAMO POLANCO**

**Trabajo de grado presentado como requisito  
para optar al título de Ingeniero Electrónico**

**Director  
CARLOS ANDRES OSORIO ZÚÑIGA  
Magíster en Automatización Industrial**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**CONVENIO**  
**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**  
**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ CAMACHO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO 2-2010**

El Jurado Académico del programa de Ingeniería Electrónica, conformado para la evaluación de la sustentación del Proyecto de grado "CONTROL DE UN PÉNDULO DE FURUTA EN MODO GRUA", presentado por los estudiantes:

Cedula	Nombre	Calificación en letras	Nota
29974609	NORA CECILIA PARAMO POLANCO	<u>Cuatro Ocho</u>	<u>4,8</u>
14839262	WILSON BARCO MORALES	<u>Cuatro Ocho</u>	<u>4,8</u>

Y dirigido por el ingeniero **CARLOS ANDRÉS OSORIO ZÚÑIGA**.

Aprueban la sustentación como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Firmado en la Ciudad de Cali a los 15 días del mes de octubre de 2010.

  
ING. HORACIO ANDRÉS CORAL ENRÍQUEZ  
Jurado 1

  
ING. SERGIO ALEXANDER CASTRO CASADIEGO  
Jurado 2

  
ING. NORMA XIMENA RÍOS COTAZO  
Directora Programa Ingeniería Electrónica  
Institución Universitaria Antonio José Camacho

  
ING. JOSÉ ALEJO RANGEL ROLÓN  
Director Plan Estudio Ingeniería Electrónica  
Universidad Francisco de Paula Santander

*Este triunfo se lo dedico primeramente a Dios por darme amor, sabiduría y entendimiento, logrando fortalecerme para así superar todos los obstáculos encontrados a lo largo de mi carrera.*

*A mi familia, por siempre permanecer unida brindándome su apoyo incondicional y animándome a pesar de las circunstancias que se presentan a lo largo de la vida y enseñándome que juntos podemos lograr cualquier meta.*

*A mi novia Nora Páramo Polanco, por ser una persona maravillosa, que con su inteligencia, comprensión y apoyo logro darme esa alegría en mi corazón y así motivarme a esforzarme para seguir adelante y dar siempre más de lo que se espera.*

**WILSON BARCO MORALES**

*Quiero dedicarle este logro primeramente a Dios quien me ha acompañado en todo momento, me dio sabiduría, inteligencia, amor y mucha fortaleza para salir adelante en mi carrera.*

*A mi madre Nora Carmela Polanco Cuero, por sus consejos, su dedicación, su amor y todo el apoyo que me ha brindado toda la vida, a mi tío José Libardo Polanco por sus recomendaciones y por su interés para buscar la superación cada día más, a mi tía Luz Mila, a mi tía Laura Rosa, mi prima Laura Andrea y a todos los demás familiares por su apoyo y sus palabras llenas de amor y de confianza en Dios para superar los obstáculos que se presentan cuando se desea subir un escalón, a mi amigo José Harvey Guevara y a su esposa Elena Martínez por ser tan lindos conmigo, por confiar en mí y brindarme su ayuda económica para poder estudiar y ser una profesional, a mi exjefe Antonio Ruiz por su interés y por colaborarme con tiempo cuando lo necesite, a mi novio y compañero de estudio Wilson Barco Morales por su trabajo en el proyecto, por su amor, comprensión y dedicación, a mi suegros Nelly Morales y Don José Barco por su colaboración, y a todas las demás personas, compañeros y amigos que me apoyaron para triunfar en esta meta tan importante para mí.*

**NORA CECILIA PÁRAMO POLANCO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Carlos Andrés Osorio Zúñiga, Ingeniero Mecatrónico, Magister en Automatización industrial y director de la tesis por haber aceptado ser el director del proyecto de grado, por todo el tiempo y conocimiento que compartió con nosotros, brindándonos una muy buena orientación, la cual fue fundamental para el buen desempeño en nuestra carrera.

Horacio Coral, Ingeniero en Automática, profesor, por guiarnos en el área de control lo cual nos sirvió mucho para el desarrollo del proyecto.

Fabián Gonzáles, Ingeniero Mecatrónico, Profesor, por facilitarnos todos los equipos del laboratorio y así poder realizar todo el diseño de control.

La empresa IMATIC INGENIERIA por darnos la facilidad de estudiar y brindarnos su confianza para desenvolvemos como profesionales.

Todas aquellas personas, colegas y amigos que nos brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de nuestros objetivos.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	15
1. PÉNDULO DE FURUTA	24
1.1 MODELO MATEMATICO	24
1.1.1 Cinemática	24
1.1.2 Expresiones de energía	25
1.1.3 Ecuaciones de movimiento	26
1.1.4 Representación en espacio de estado	29
1.2 PUNTOS DE EQUILIBRIO	29
1.3 LINEALIZACION	30
2. OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS	32
3. ANALISIS DEL MODELAMIENTO MATEMÁTICO	33
4. DISEÑO DE LOS CONTROLADORES EN ESPACIO DE ESTADO	37
4.1 SIMULACIÓN Y DISEÑO DEL CONTROLADOR POR REALIMENTACIÓN DEL ESTADO	37
4.1.1 Ubicación de polos	37
5. DISCRETIZACION DE LA PLANTA	43
6. CONTROLADOR DIGITAL POR REALIMENTACIÓN DE ESTADOS	46



7. CONTROLADOR PI VECTORIAL	52
7.1 SIMULACIÓN Y DISEÑO DEL CONTROLADOR PI VECTORIAL DIGITAL	52
7.2 FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR EN TIEMPO REAL	59
8. DISEÑO DE CONTROLADORES PARA EL PÉNDULO EN MODO INVERTIDO	60
8.1 CONTROLADOR DIGITAL POR REALIMENTACIÓN DE ESTADOS	63
8.2 CONTROLADOR DIGITAL PI VECTORIAL	66
8.3 LABORATORIO CONTROL MODERNO	69
8.3.1 Modelamiento y control por espacio de estado	69
9. CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFIA	74
ANEXOS	75