



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA

INFORME FINAL DEL CURSO EL6908 INTRODUCCIÓN AL TRABAJO DE TÍTULO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL PARA EL
COMPUTADOR A BORDO DE UN PICO-SATÉLITE

CARLOS EDUARDO GONZÁLEZ CORTÉS

PROFESOR GUÍA:
MARCOS DÍAZ QUEZADA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE LÓPEZ HIDALGO

SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2012

Índice general

1. Identificación	1
1.1. Alumno	1
1.2. Profesor Guía	1
2. Definición del tema de memoria	2
2.1. Título del tema	2
2.2. Fundamentación y objetivos generales	2
2.3. Bibliografía y Estado del Arte	3
2.4. Objetivos específicos	3
2.5. Antecedentes generales	3
2.6. Antecedentes específicos	4
2.7. Plan de trabajo	4
2.7.1. Carta Gantt	4
2.8. Infraestructura disponible	6
2.8.1. Instalaciones	6
2.8.2. Hardware	6
2.8.3. Software	7
2.9. Condiciones contractuales	7

Capítulo 1

Identificación

1.1. Alumno

- **Nombre:** Carlos Eduardo González Cortés
- **Rut:** 17059374-k
- **N° de matrícula:** 27004652
- **Dirección:** San Ignacio 999, Dpto 22C, Santiago, Chile
- **Celular:** 75535716
- **Correo:** carlgonz@ug.uchile.cl

1.2. Profesor Guía

- **Nombre:** Marcos Díaz Quezada
- **Dirección:** Av. Tupper 2007, Of. 510, Santiago, Chile
- **Teléfono:** Fono: (56)-2-978-4204
- **Correo:** mdiazq@ing.uchile.cl

Capítulo 2

Definición del tema de memoria

2.1. Título del tema

Diseño e implementación del software de control para el computador a bordo de un pico-satélite.

2.2. Fundamentación y objetivos generales

Esta memoria se enmarca en el desarrollo del proyecto SUCHAI que consiste en la implementación, lanzamiento y operación de un pico-satélite Cubesat, siendo esta la primera aproximación en esta materia para la universidad y el país. Uno de los componentes fundamentales de un satélite es su computador a bordo, sistema encargado de dar inteligencia y operatividad al satélite durante todo su tiempo de vida útil en el espacio. En el caso de un pico-satélite se tiene el desafío de dotar de todas las funcionalidades estándar de un satélite en un sistema computacional de recursos extremadamente limitados, estamos hablando de sistemas embebidos que utilizan microcontroladores de baja potencia y capacidad de cómputo como microcontroladores PIC24 o PIC18.

El objetivo de este trabajo es el diseño, desarrollo e implementación del *software* que gobierna el computador a bordo del satélite. Se requiere diseñar una arquitectura de *software* que abarque desde controladores de hardware hasta la aplicación final para el control de satélite. Esta arquitectura debe cumplir con requerimientos de calidad de *software* como modularidad, expansibilidad y facilidad de mantenimiento estando adaptada en específico a sistemas embebidos que emplean microcontroladores de gama media.

La implementación se llevará a cabo en específico para el satélite SUCHAI y busca proveer la funcionalidad básica de este sistema que incluye la interacción de un computador a bordo, un sistema de control de energía y un sistema de comunicaciones. De esta manera el *software* de control se cuenta como un recurso más que será considerado y adaptado a las necesidades específicas del proyecto en la etapa de integración general de sistemas del satélite.

2.3. Bibliografía y Estado del Arte

Se debe detallar el estado de los siguiente tópicos: satélites; pico-satélites; satélites Cubesat, su estándar y aplicaciones; microcontroladores; sistemas operativos, en especial sistemas operativos para microcontroladores de gama media; arquitectura de software, en especial patrones de diseño.

2.4. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto se enumeran a continuación

- Diseñar una arquitectura de *software* para el sistema de control del satélite
- Implementar controladores de hardware para el microcontrolador
- Implementar controladores de periféricos principales (Transceiver, EPS y RTC)
- Integrar un sistema operativo de tiempo real multitarea como sistema embebido
- Implementar el flujo principal de la arquitectura del *software* de control del satélite
- Integrar sistema de comunicaciones al *software* de control
- Integrar sistema de energía al *software* de control
- Pruebas del sistema integrado

El listado de objetivos presenta un orden temporal en la ejecución de estas tareas puesto que objetivo es dependiente del cumplimiento de los objetivos anteriores. El trabajo se puede considerar terminado cuando se ha probado la implementación e integración del *software* con los módulos de comunicaciones y energía obteniendo un sistema satelital con las mínimas funcionalidades.

2.5. Antecedentes generales

El trabajo de memoria se enmarca en el proyecto SUCHAI (Satellite of University of Chile for Aerospace Investigation) cuyo objetivo es desarrollo, lanzamiento y operación de un pico-satélite tipo Cubesat con fines educacionales y de investigación. El proyecto es generado por el profesor guía quien convoca a alumnos de pregrado a desarrollar el proyecto bajo la guía del líder del proyecto el Ing. Alex Becerra.

El éxito del proyecto depende del correcto desarrollo e integración de tres áreas fundamentales de cualquier vehículo satelital: la inteligencia programada en el computador a bordo; el suministro y gestión de la energía eléctrica mediante paneles solares y baterías; y la capacidad de contar con un enlace de radio que permita obtener información de telemetría del satélite así como enviar telecomandos que definan su operación.

Contar con un vehículo espacial de estas características permite a los académicos de diferentes áreas el desarrollo de experimentos y estudios que requieren condiciones especiales de gravedad; atmosféricas; o una determinada altitud. En este caso se pretende poner en órbita como payloads: un dispositivo *lagmuir probe* que estudia variaciones del plasma en la ionosfera; un experimento del departamento de física sobre electrónica en gravedad cero; así como una cámara fotográfica para captar la tierra y el satélite mismo.

2.6. Antecedentes específicos

El proyecto se encuentra en considerable estado de avance, pero este trabajo de memoria pretende formalizar; formar metodología; y documentar técnicas de desarrollo de software para sistemas electrónicos de muy bajo nivel para misiones críticas como lo significa una misión aeroespacial.

No obstante el proyecto comienza desde cero, debido a que el conocimiento sobre desarrollo de proyectos aeroespaciales en la universidad y en el país se encontraba completamente detenido.

2.7. Plan de trabajo

El plan de trabajo para este proyecto detallado en la tabla 2.1 se ha dividido en etapas que contemplan ciertas tareas específicas a realizar para avanzar en el proyecto.

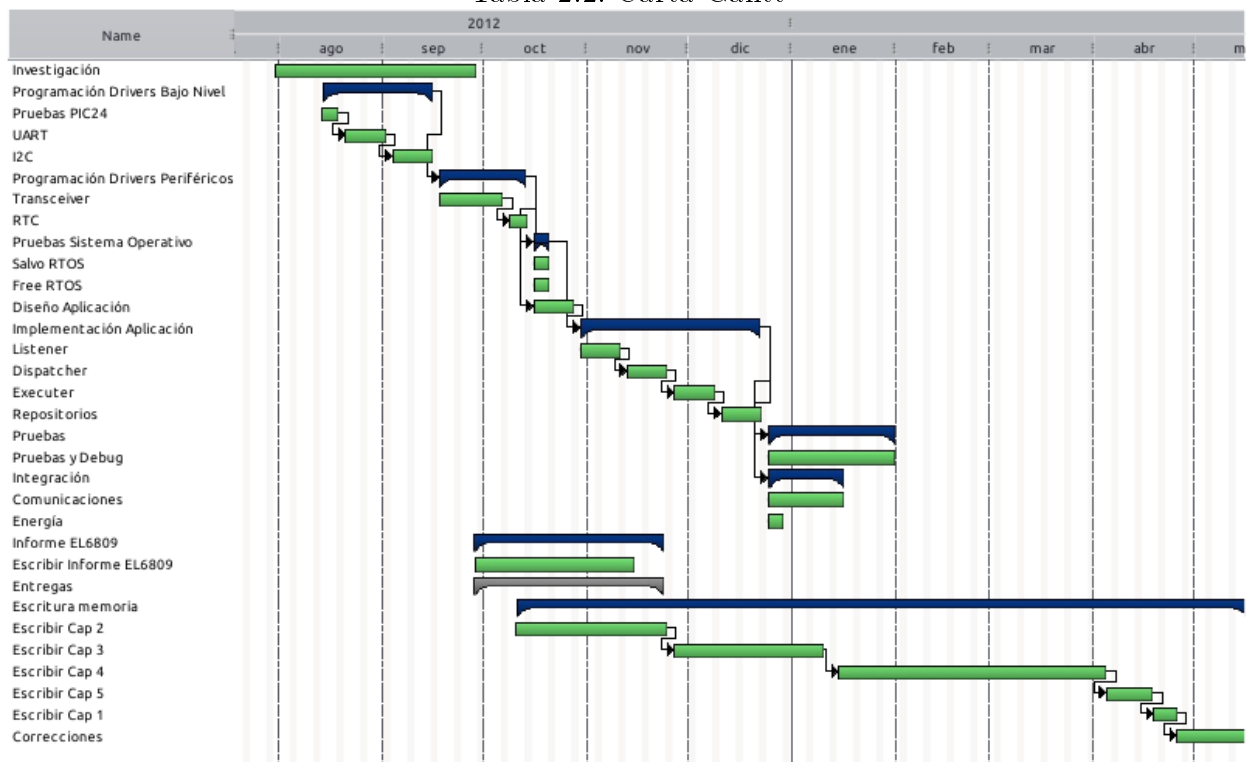
2.7.1. Carta Gantt

El plan de trabajo en detalle se controla a través de la carta Gantt disponible en la tabla 2.2 que considera las principales actividades e hitos que cumplir. Se consideran los tiempos de diseño e implementación del trabajo de memoria con sus dependencias de manera explícita así como también los tiempos asociados al desarrollo del informe del curso EL6908 y la redacción de la memoria en sí.

Tabla 2.1: Plan de trabajo

Etapa	Actividades	Detalles
Investigación	Programación de micro-controladores Estudio en detalle datasheet del PIC24F Sistemas Operativos Arquitectura de Software	Lenguaje C, Compiladores Para sistemas embebidos Patrones de diseño
Drivers de bajo nivel	Pruebas al microcontrolador Programar drivers para periféricos del PIC24F	Comunicaciones seriales, ADC, etc.
Drivers de nivel medio	Programar drivers para control del transceiver satelital Programar drivers para reloj de respaldo	Beacon, telemetría, telecomandos
Sistema operativo	Pruebas a diferentes sistemas operativos Definir sistema operativo a utilizar	Salvo RTOS, FreeRTOS
Diseño del software	Definir requerimientos del software de control Proponer arquitectura de software Diseño final de la arquitectura de software	Asesoría con docentes del DCC
Implementación del software	Implementar el flujo principal de la arquitectura de software Implementar los principales requerimientos del sistema	Solo estructuralmente Agregar funcionalidades
Pruebas básicas	Pruebas de funcionamiento básico Pruebas de cumplimiento de requerimientos	
Integración básica	Integrar un repositorio de datos Integrar el sistema de comunicaciones Integrar el sistema de energía	Acceso a variables del sistema Rutina de control de comunicaciones Rutina de control de la energía
Pruebas integración	Pruebas de funcionamiento con sistema de comunicaciones Pruebas de funcionamiento con sistema de energía Pruebas de cumplimiento de requerimientos 2	Beacon, telemetría, telecomandos Pruebas generales
Verificación de resultados	Análisis de resultados	

Tabla 2.2: Carta Gantt



2.8. Infraestructura disponible

2.8.1. Instalaciones

El proyecto se desarrolla en las dependencias de la facultad, específicamente el laboratorio SPEL (*Spacial and Planetary Exploration Laboratory*), tercer piso del edificio de Electrotecnologías. Este laboratorio alberga proyectos relacionados el desarrollo de radiosondas para monitoreo de condiciones climáticas, radares y proyectos aeroespaciales como el SUCHAI.

2.8.2. Hardware

Cubesat Kit Parte fundamental del hardware disponible corresponde a un Cubesat Kit adquirido a la compañía Pumpkins. El kit incluye la estructura de un Cubesat de una unidad con un microcontrolador PIC24F256GA110; una placa de desarrollo para el mismo sistema; y herramientas de programación y *debug* para el microcontrolador.



Figura 2.1: Cubesat Kit

Transceiver Se cuenta con un sistema de comunicaciones que consta de un *transceiver* satelital FSK para la banda de 430MHz de la empresa ALLSPACE adaptado al estándar Cubesat. Es el sistema encargado de recibir los telecomandos desde tierra y transmitir hacia la estación terrena la telemetría generada por el satélite.

Se cuenta además con una estación terrena dotada con un sistema de radio en la banda de 430MHz, incluyendo antena y control de posición de la misma; un TNC para digitalizar la señal de radio; y un servidor para controlar los equipos de forma remota.

EPS Se adquiere un sistema de control de energía para el satélite que incluye baterías de litio, paneles solares y un sistema de control para medir variables importantes de energía y ajustar su funcionamiento.

Equipos de medición El laboratorio cuenta con un osciloscopios; analizadores de espectro; generadores de señales; cajas limpias, para pruebas que requieren entornos descontaminados; entre otros.

2.8.3. Software

La mayor parte del software utilizado por el proyecto es de código libre o gratuito. Se desataca la amplia utilización de sistemas Linux para el desarrollo de este trabajo.

Entorno de desarrollo

Para el desarrollo de la aplicación para el microcontrolador PIC24F se utiliza el entorno de desarrollo MPLABX de Microchip, que es gratuita; se utiliza el compilador MPLAB C30, en versión lite, gratuito; se tiene un sistema de control de versiones mediante SVN.

Sistema operativo

Para dotar de funcionalidades avanzadas de multitarea al microcontrolador se ha utilizado el sistema operativo de tiempo real FreeRTOS de código libre y gratuito; adaptado especialmente a microcontroladores de gama media como el utilizado en el proyecto.

2.9. Condiciones contractuales

El desarrollo de este trabajo se enmarca dentro del proyecto SUCHAI el cual es patrocinado y financiado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Parte del trabajo realizado para esta memoria ha sido considerado en el desarrollo de los cursos Seminario de Diseño e Innovación Tecnológica I, II y III (ME4030, EL5030, EL6030).