



Universidad de Chile
Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Diseño e implementación del software de vuelo para un nano-satélite tipo cubesat

Carlos González Cortés

Miembros de la comisión

Dr. Marcos Díaz Quezada

Dr. Claudio Estévez Montero

Ing. Alex Díaz Becerra

Universidad de Chile

Tabla de contenidos

1 Introducción

2 Marco teórico

- Sistemas embebidos
- Sistemas operativos
- Patrones de diseño

3 Diseño

- Requerimientos operacionales
- Arquitectura de software
- Arquitectura aplicación

4 Implementación

- Clientes
- Comandos
- Procesador de comandos
- Ejecutor de comandos

5 Resultados

- Control central
- Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Tabla de contenidos

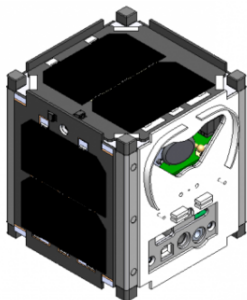
- 1 Introducción
- 2 Marco teórico
 - Sistemas embebidos
 - Sistemas operativos
 - Patrones de diseño
- 3 Diseño
 - Requerimientos operacionales
 - Arquitectura de software
 - Arquitectura aplicación
- 4 Implementación
 - Clientes
 - Comandos
 - Procesador de comandos
 - Ejecutor de comandos
- 5 Resultados
 - Control central
 - Energía

Introducción

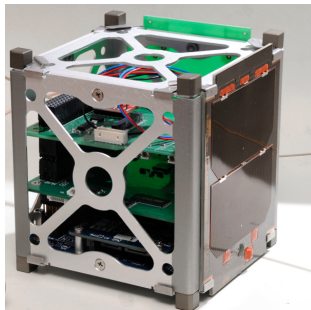
Proyecto SUCHAI

Diseño, construcción, lanzamiento y operación de un nano-satélite, con fines educativos y científicos.

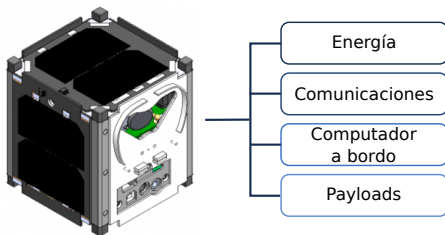
Es el primer proyecto satelital desarrollado por estudiantes en el país.



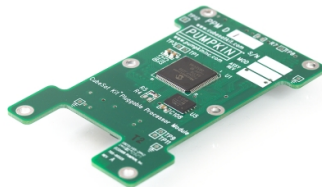
(a) Estandar Cubesat



(b) Cubesat SUCHAI



(c) Subsistemas



(d) OBC

Computador a bordo

Controla todas las operaciones del satélite e integra los diferentes subsistemas. Principales características:

- Microcontrolador PIC24F
- CPU @ 32 MHz
- Memoria RAM de 16 kB
- Memoria FLASH de 256 kB

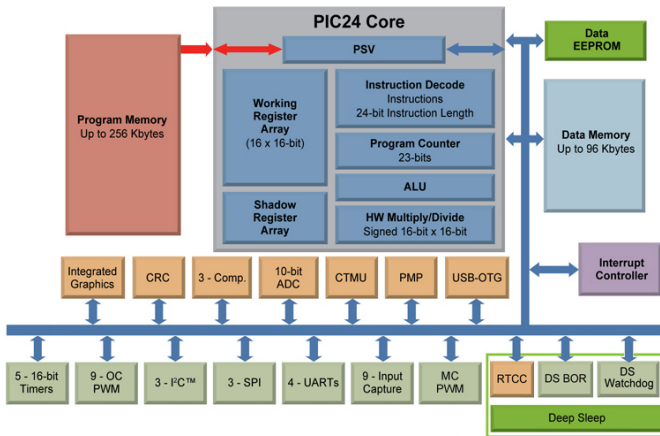
Objetivos generales

Diseñar e implementar el software que controla las operaciones del satélite una vez en órbita

Definir
Requerimientos

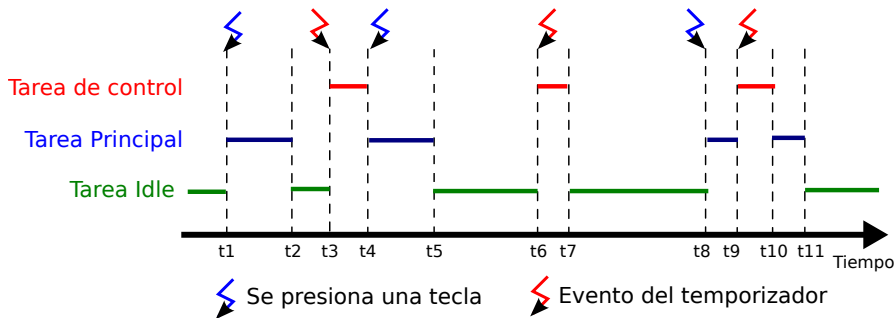


Sistemas computacionales diseñados para cumplir funciones específicas, en aplicaciones de tiempo real. Integran en un mismo chip un microcontrolador y una serie de periféricos.



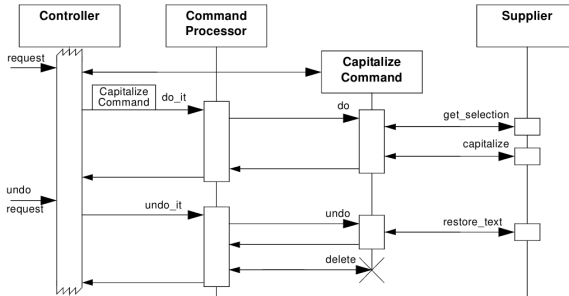
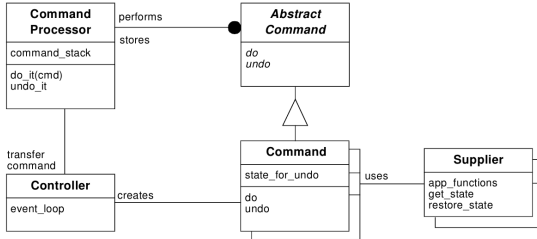
Los sistemas operativos de tiempo real (RTOS) se caracterizan por:

- Ser una capa de abstracción entre la aplicación y el *hardware*
- Funcionar bajo requerimientos de *timing* estrictos.
- Ser deterministas en la ejecución de tareas.
- Funcionamiento basado en eventos y prioridades.



Marco teórico

Patrones de diseño



Área de control central

- Inicialización.
- Estado del sistema.
- Plan de vuelo.
- Tolerancia a fallos.

Área de comunicaciones

- Configuración del TRX.
- Despliegue de antenas.
- Generar y enviar *beacon*.
- Telecomandos y telemetría.

Area de energía

- Estimar nivel de carga de baterías
- Operar según un presupuesto de energía.

Area de *payloads*

- Integrar diferentes *payloads*
- Ejecutar acciones de *payloads*



Aplicación

Sistema Operativo

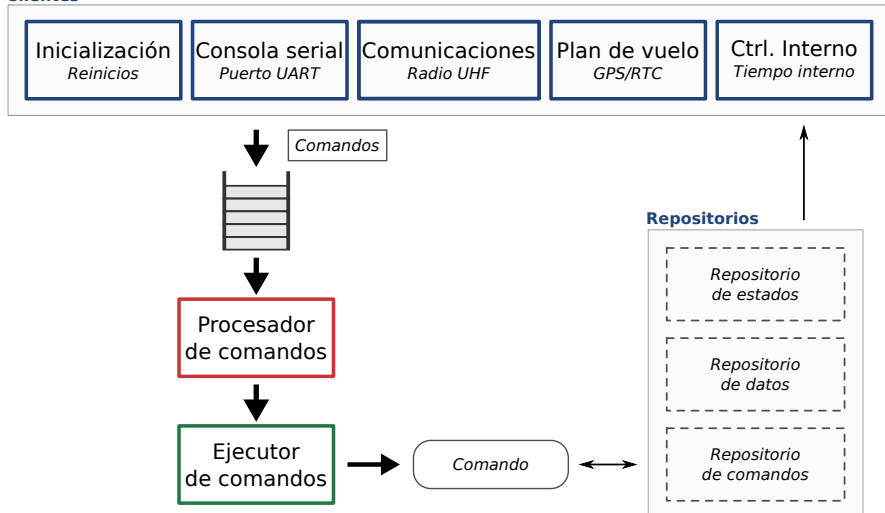
Controladores

MCU

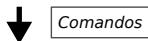
Periféricos

Payloads

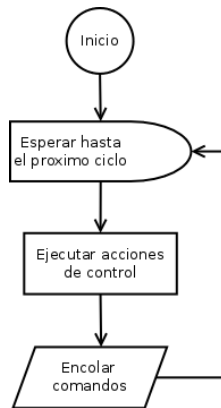
Clientes



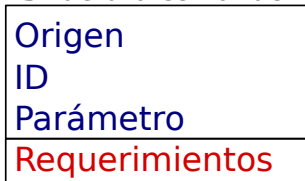
Cientes



- Implementan la inteligencia del sistema
- Tareas de FreeRTOS, concurrentes y de igual prioridad.
- Ejecución periódica, *hard-realtime* o *soft-realtime*



Estructura comando



Procesador
de comandos



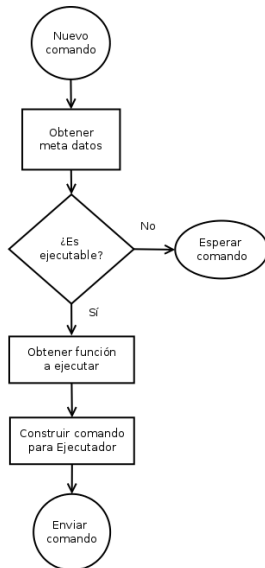
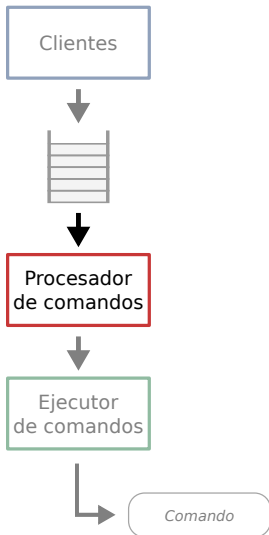
Estructura comando



```
int funcion_comando(void *param)
{
    printf("Ejecutar comando");
    return EXIT_OK;
}
```

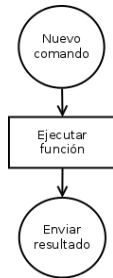
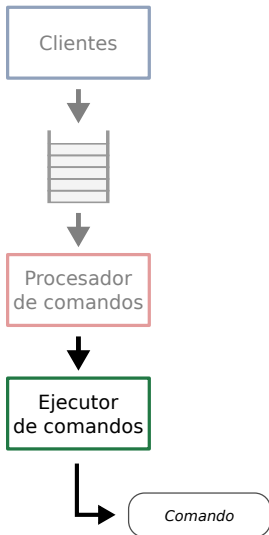
Implementación

Procesador de comandos



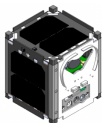
Implementación

Ejecutor de comandos



■ *Hardware in the loop simulation*

Sistema embebido



Respuesta del sistema



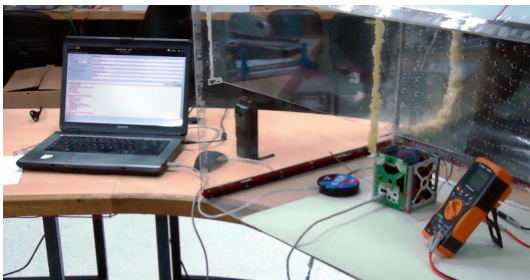
Estímulos simulados



Simulación



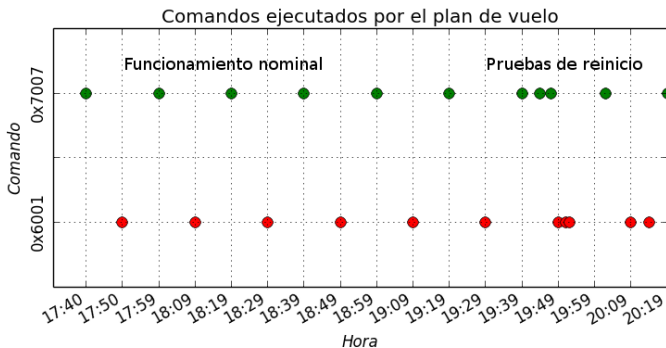
■ Montaje de la prueba



Resultados I

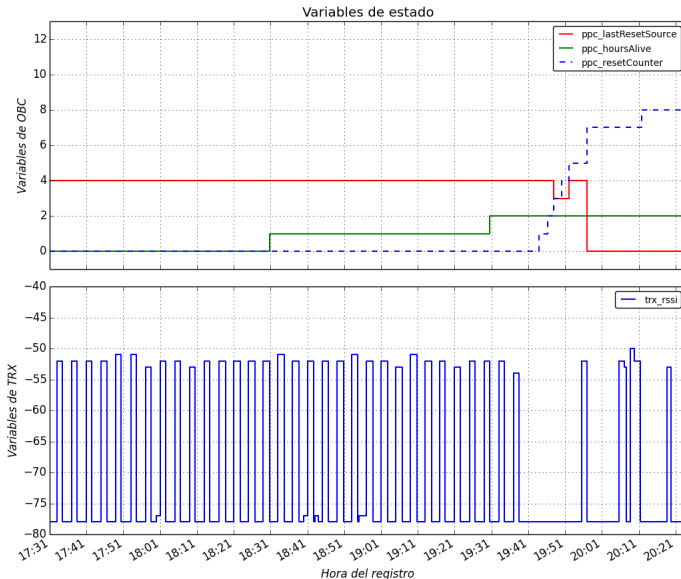
Control central

- Inicio del sistema
- Plan de vuelo
- Variables de estado
- Tolerancia a fallos

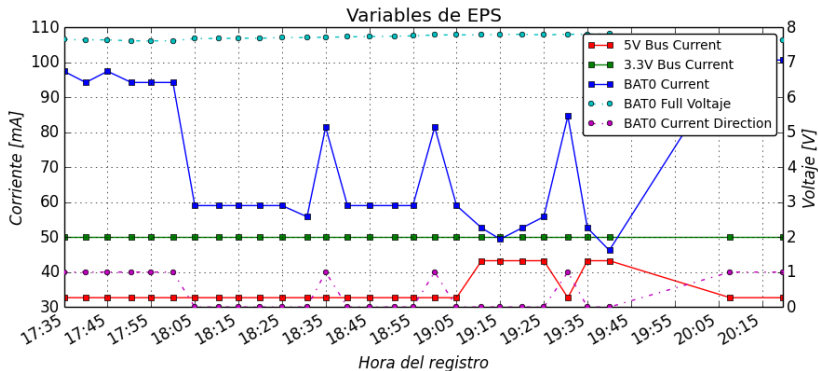


Resultados II

Control central



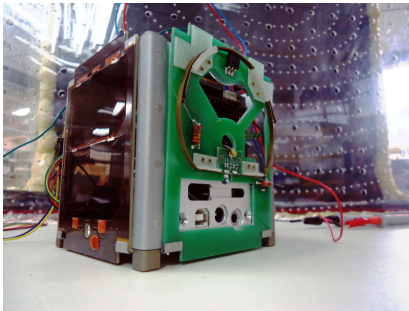
- Estado de carga de baterías
- Presupuesto de energía



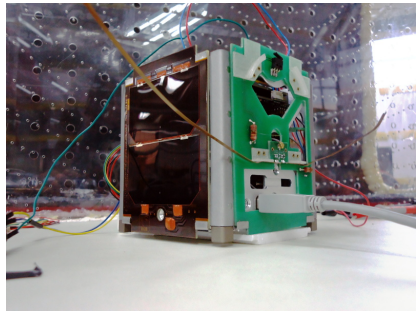
- Estado de carga de baterías
- Presupuesto de energía

Hora	Comando	SysReq	SOC	Resultado
20:18:10	0x8006	1	4	Ejecutado
20:18:19	0x5000	1	4	Ejecutado
20:18:33	0x300C	4	4	Ejecutado
20:19:10	0x8000	10	4	Rechazado
20:19:13	0x8000	10	4	Rechazado
20:19:19	0x8002	10	4	Rechazado
20:19:19	0x5000	1	4	Ejecutado
20:19:45	0x8003	10	4	Rechazado
20:20:03	0x8003	10	4	Rechazado

■ Despliegue de antenas.



(e) Previo al despliegue



(f) Antenas desplegadas

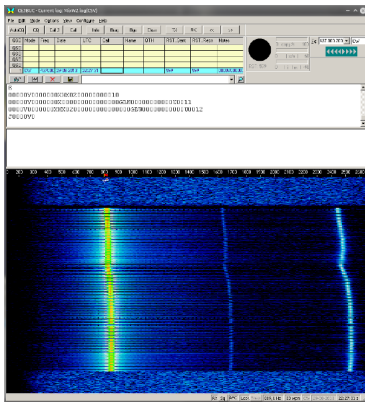
- Generación, transmisión y recepción de *beacons*.

- TX:

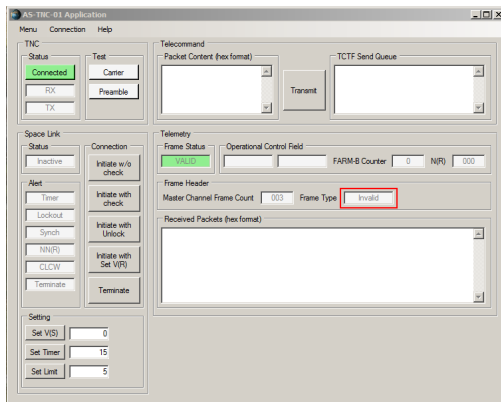
SUCHAIATINGDOTUCHILEDOTCL-11000017H30761940780001

- RX:

00V0000000HX0200000000000000GBW00000000DK000024



- Transmisión y recepción de telemetría.
- Transmisión y recepción de telecomandos.
- **Pruebas insatisfactorias**



- Uso generalizado de patrones de diseño, adaptados a lenguaje de programación procedural.
 - Arquitectura de tres capas: divide el problema convenientemente.
 - Procesador de comandos: permite cumplir con requerimientos operacionales y no operacionales.
- FreeRTOS: una solución bien probada y robusta.
- Verificación de requerimientos.
 - Se cumplen los requerimientos operacionales del área de control central, energía y *payloads*
 - No se cumplen los requerimientos del área de comunicaciones debido a fallas en el equipo.
- Desarrollo de un proyecto de ingeniería, inter-disciplinario, como parte del proceso de formación profesional.

- Mejoras en el área de tolerancia a fallos.
- Agregar múltiples ejecutores de comandos.
- Portar el *software* a diferentes plataformas.
- Integrar y probar un nuevo *transceiver*.

Muchas gracias por su atención
¿Consultas?

