Instituto Nacional de Tecnología Industrial

INTI

μEA 2011

Ministerio de Industria
Secretaría de industria y Comercio

Desarrollo con FPGAs en GNU/Linux

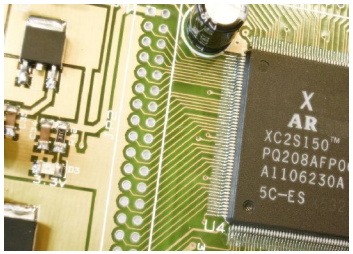
Autores:
Ing. Salvador E. Tropea
Ing. Rodrigo A. Melo
Ing. Diego J. Brengi
Electrónica e Informática
Unidad Técnica Instrumentación y Control
Desarrollo Electrónico con Software Libre (DESoL)

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

INTI

μEA 2011

Ministerio de Industria
Secretaría de industria y Comercio



Desarrollo con FPGAs en GNU/Linux

Desarrollo con dispositivos FPGA utilizando un entorno GNU/Linux y herramientas de software libre.

Agenda General

1. Presentación INTI y Laboratorio DESoL
2. Motivos para usar GNU/Linux (Software Libre)
3. El ciclo de trabajo con FPGAs
4. Herramientas de software más relevantes
5. Proyectos y trabajos
6. Demostración y consultas

Agenda

Presentación

- **Instituto Nacional de Tecnología Industrial**
- **Centro de electrónica e Informática**
- **Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre**
- **Áreas de trabajo del laboratorio**

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) es una institución nacional creada en 1957 para promover el desarrollo y la transferencia de tecnología a la industria.

Misión del INTI

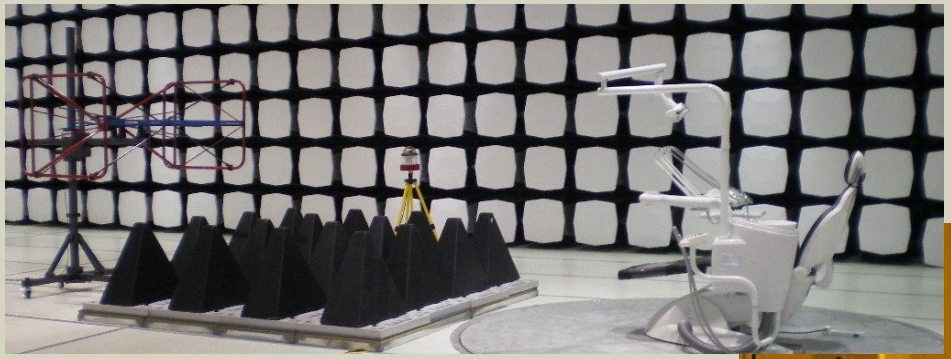
- Responsable técnico en la aplicación de las regulaciones oficiales de calidad o identidad de productos en la industria.
- Asistente público para la competitividad de empresas industriales o de servicios industriales y de los sectores que las agrupan, en todo el país.
- Responsable tecnológico público de procurar la integración al tejido productivo de toda la comunidad, en todo el país, en los aspectos industriales y vinculados.

http://www.inti.gob.ar/pdf/interno1.pdf

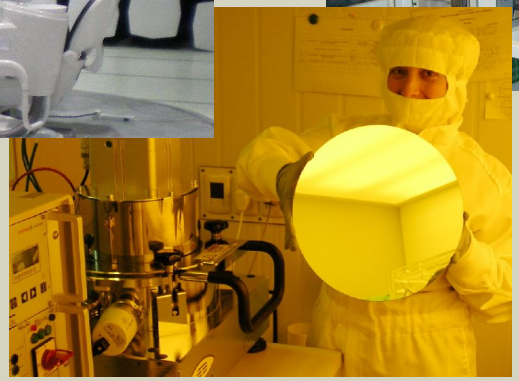
INTI - Centro de Electrónica e Informática

El centro de Electrónica e Informática tiene como principal objetivo apoyar el desarrollo tecnológico del subsector industrial relacionado, a través de desarrollos precompetitivos, asistencia técnica, ensayos, calibraciones y certificaciones, enmarcado en el Plan Estratégico del INTI.

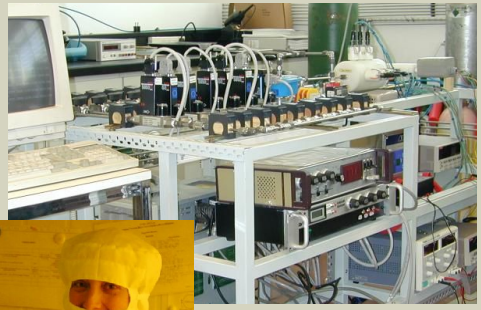
http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/



Cámara semianecoica electromagnética



Sala limpia



Banco de mezcla de gases

Medición de un trasmisor de TV digital isdb-t

Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre

Av. Gral. Paz 5445
(Constituyentes y Albarellos)
CC 157 - (CP 1650)
Edificio 42- San Martín
Provincia de Buenos Aires
República Argentina

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Centro de Electrónica e Informática

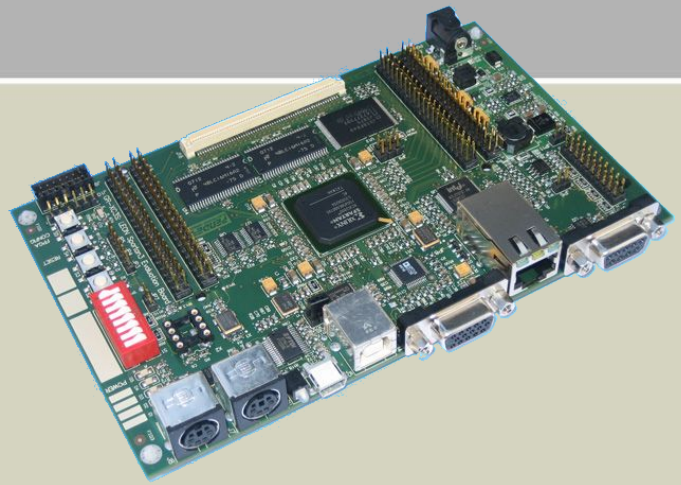
Unidad Técnica de Instrumentación y Control

Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre

Áreas de Trabajo - Parte 1/3

Aplicación de dispositivos lógicos programables FPGA
(Field Programmable Gate Array).

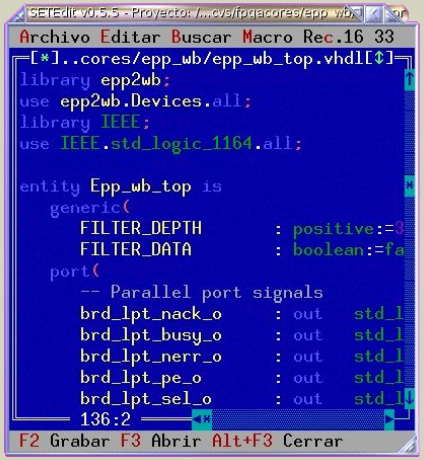
Utilización de dispositivos FPGA en aplicaciones que requieran de alta velocidad, gran flexibilidad o soluciones no convencionales.



Sistema FPGA capaz de correr GNU/Linux

Diseño y adaptación de IP cores en lenguaje VHDL portable.

- Diseño de IP cores (bloques reutilizables para FPGAs y ASICs).
- Utilizando lenguaje VHDL portable para permitir su utilización en casi cualquier dispositivo FPGA (y/o ASIC).



Editor adaptado para código VHDL

Áreas de Trabajo - Parte 2/3

Equipos dedicados utilizando GNU/Linux y software libre.

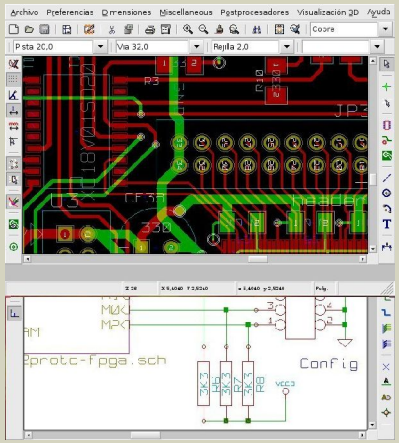
Integración de sistemas a medida utilizando estándares abiertos.

Desarrollo y modernización de sistemas dedicados y aplicaciones embebidas especiales utilizando PC para las áreas de control, ensayos, monitoreo y registro.
Aprovechando protocolos y estándares abiertos con sistema operativo GNU/Linux y aplicaciones de software libre.

Modernización con GNU/Linux de un equipo de ensayos para maderas

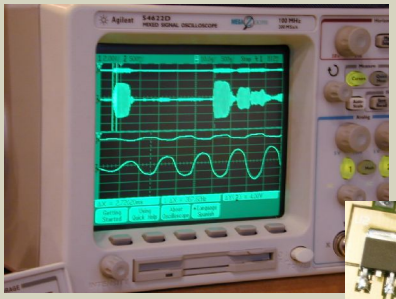
Sistema de control de calidad para lácteos.

Áreas de Trabajo - Parte 3/3



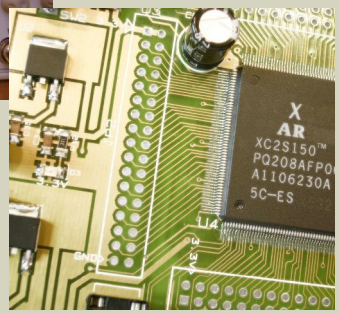
Software libre para diseño de PCB

Herramientas de software libre aplicadas al desarrollo electrónico.



Medición de sensores ultrasónicos

Instrumentación y control electrónico utilizando microcontroladores, sensores y actuadores.



Diseño de Hardware libre con FPGA

Diseño conjunto de hardware y software.

Motivos para Usar GNU/Linux en el Laboratorio

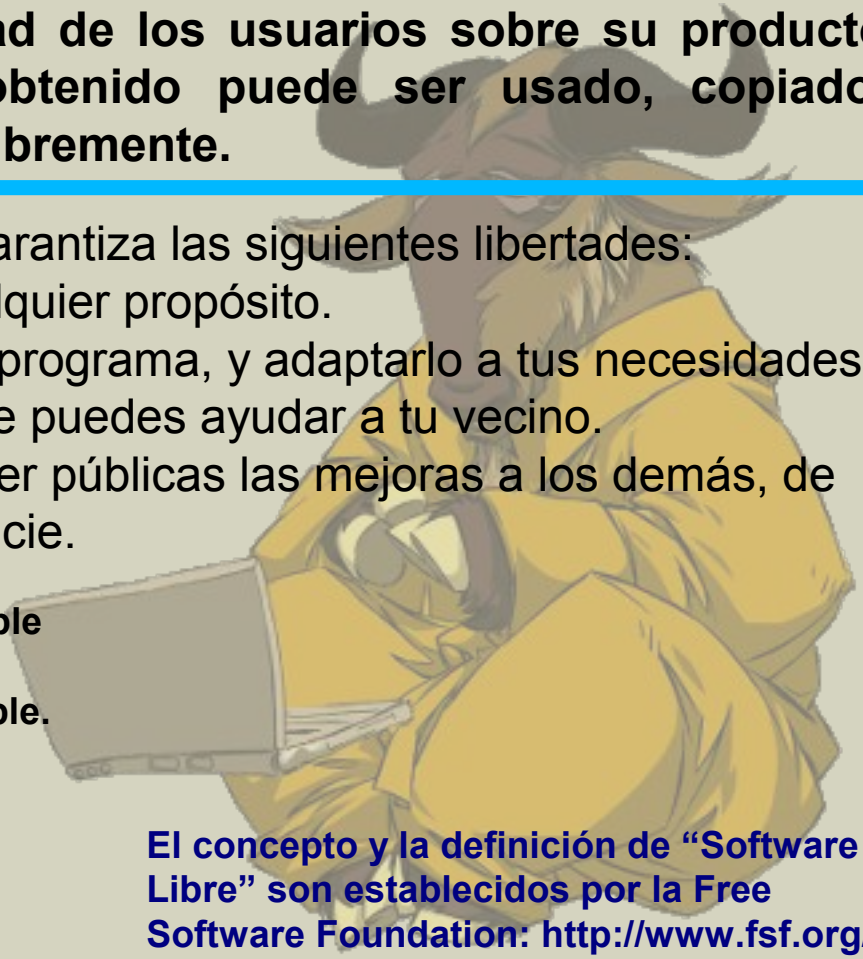
- **El Software Libre**
- **Sistemas GNU/Linux**
- **Ventajas del Software libre**

El Software Libre

Es el software que respeta la libertad de los usuarios sobre su producto adquirido y, por tanto, una vez obtenido puede ser usado, copiado, estudiado, cambiado y redistribuido libremente.

Formalmente se lo define como el que garantiza las siguientes libertades:

- **Libertad 0:** usar el programa, con cualquier propósito.
- **Libertad 1:** estudiar cómo funciona el programa, y adaptarlo a tus necesidades.
- **Libertad 2:** distribuir copias, con lo que puedes ayudar a tu vecino.
- **Libertad 3:** mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie.



Las libertades 1 y 3 requieren que esté disponible el código fuente porque estudiar y modificar software sin su código fuente es muy poco viable.

Es importante aclarar la diferencia entre software gratuito y el libre ya que mucha gente confunde estos conceptos.

El concepto y la definición de "Software Libre" son establecidos por la Free Software Foundation: http://www.fsf.org/

Es la combinación de dos componentes principales:

- El núcleo (kernel) llamado Linux.
- Herramientas del proyecto GNU (de la Free Software Foundation).

Estas dos componentes forman un sistema operativo completo que cumple con las libertades mencionadas del Software Libre.

Además, un Sistema GNU/Linux incorpora en la actualidad una gran cantidad de software libre adicional (herramientas de oficina, aplicaciones científicas, de administración y muchas más).

Las diferentes variantes de estos sistemas se llaman distribuciones.
Las distribuciones pueden incorporar paquetes de software no-libre.

Motivos para Usar GNU/Linux

Ventajas técnicas

- **Amplia disponibilidad de recursos**
  - Lenguajes de programación y herramientas.
  - Bibliotecas, rutinas, etc.
  - Comunidad de usuarios predispuestos.
- **Menor esfuerzo de mantenimiento y administración**
  - Administración más simple y centralizada.
  - Manejo coherente de paquetes.
  - Sistemas seguros y muy estables. No se degradan con el uso.
  - Muy apto para sistemas remotos.
- **Mayor control**
  - Código fuente disponible (adaptable y/o corregible)
  - Componentes altamente configurables.
  - Acceso a todos los protocolos de comunicación y formatos de archivos.
  - Conocimiento del hardware/firmware involucrado (Hardware libre o abierto).
- **Muchas de las herramientas superan a sus equivalentes comerciales** (otras necesitan de adaptación y desarrollo adicional).

Ventajas estratégicas

- **Autonomía nacional**
  - **Reduce la dependencia de corporaciones extranjeras**
  - **Fomenta el desarrollo local de software y hardware.**
- **El conocimiento más profundo de las herramientas de software para electrónica (propias y de terceros) brinda normalmente mayor experticia en la temática ya que hoy en día el desarrollo de hardware está muy ligado al software.**

Ventajas económicas

- **Sin costos de licencias de software**
  - **Para el desarrollador.**
  - **Para el cliente.**
    - **OS y herramientas incluidas en el equipo**
    - **Bibliotecas**
    - **Herramientas para reproducir el desarrollo (ej: KICAD)**
- **El dinero puede utilizarse o aprovecharse en hardware.**
- **Fácil aplicación en sistemas de pocos recursos de hardware.**

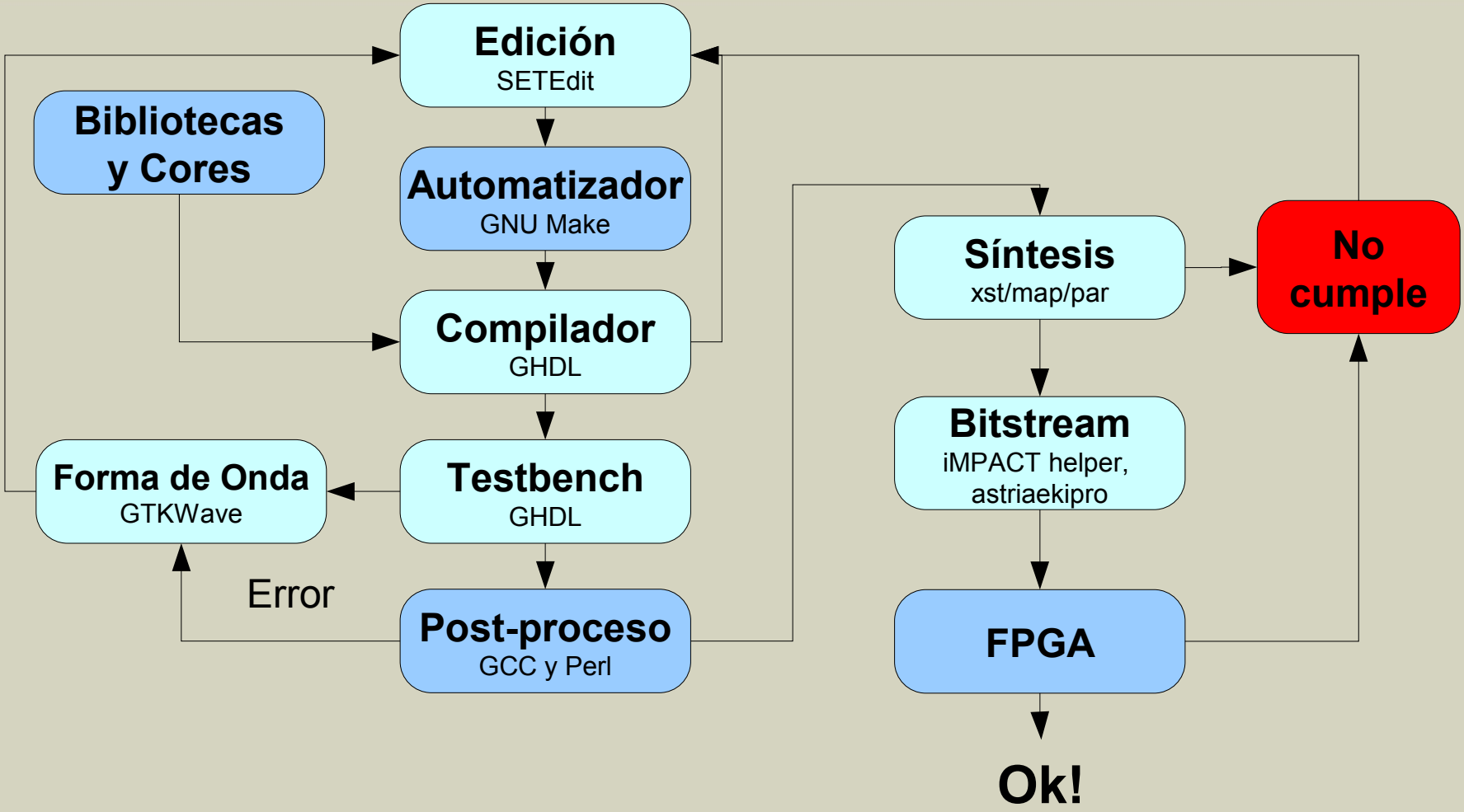
Agenda

El Ciclo de Trabajo con FPGAs

- **Diagrama en bloques simplificado**

El ciclo de Trabajo con FPGAs

Ciclo básico de desarrollo



Herramientas de Software más Relevantes

- Sistema Operativo
- Herramientas de propósitos generales
- Edición: Setedit
- Automatización: Gnu Make
- Simulación y testbench: GHDL
- Análisis: GTKWave
- ISE Webpack
- Transferencia del bitstream
- Ayudas: Xil Proyect
- Hardware: Placa de desarrollo con FPGA
- Circuitos Impresos: Kicad
- Reportes y Documentación

Sistema operativo Debian GNU/Linux

- Sistema operativo: Debian GNU/Linux Estable
- Gran cantidad de paquetes de software listos para usar. Squeeze: 29.000 paquetes aprox. (52 CDs u 8 DVDs!).
- Más de 3000 voluntarios contribuyen a su mejora y desarrollo.
- No posee dependencia directa de compañías o empresas.
- Es uno de los proyectos Open Source (y de software en general) más grandes del mundo.
- Una de las distribuciones GNU/Linux más antiguas que sigue activa.
- Ubuntu es una distribución basada en Debian.

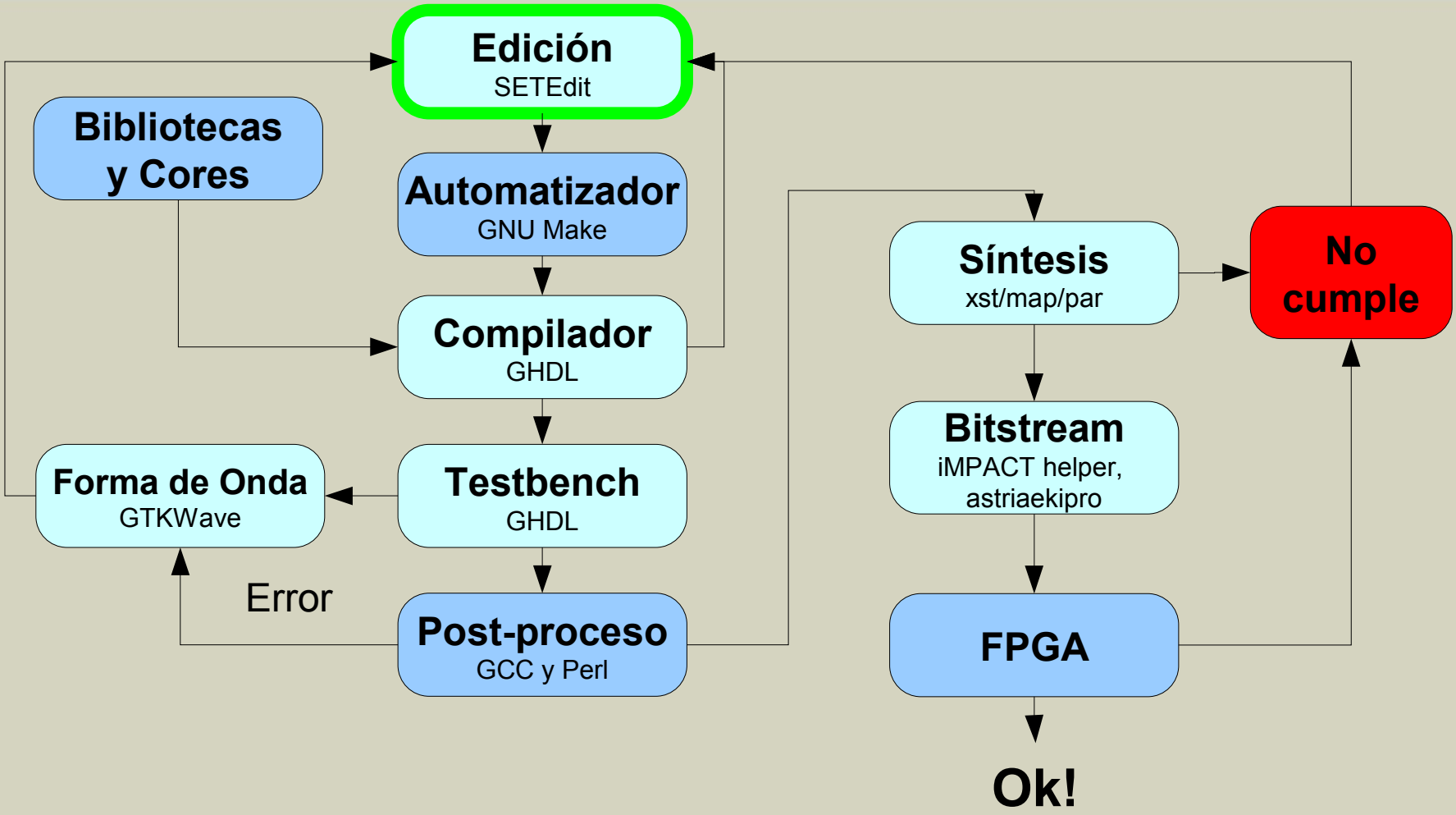
Herramientas de Software más Relevantes

Herramientas de propósitos generales

- Sistema Operativo: Debian GNU/Linux versión estable
- Suite de oficina: OpenOffice Writer – Calc – Impress – Draw
- Navegador Web: IceWeasel (Firefox)
- Cliente de Correo: IceDove (ThunderBird)
- Consola: Eterm
- Entornos de escritorio:
  - Gnome (máquinas modernas)
  - Enlightenment
- Navegación de sistema de archivos:
  - GNU Midnight Commander (consola)
  - Nautilus (gráfico)
- Visor de imágenes: gqview
- Edición de imágenes: Gimp
- Visor de archivos pdf: xpdf
- Acceso remoto entre terminales: OpenSSH
- Cálculos y gráficos: octave y gnuplot

Herramientas de Software más Relevantes

Edición: SETEdit

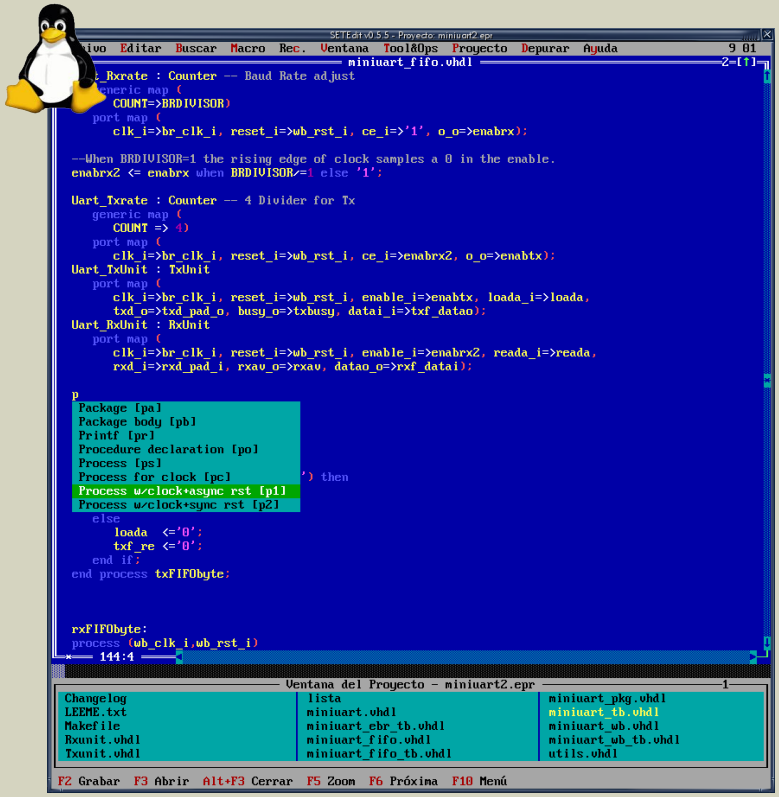


Edición: SETEdit

Editor de software libre que posee facilidades avanzadas para la edición de código VHDL. Ha sido desarrollado para programadores y posee soporte para gran cantidad de lenguajes de programación.

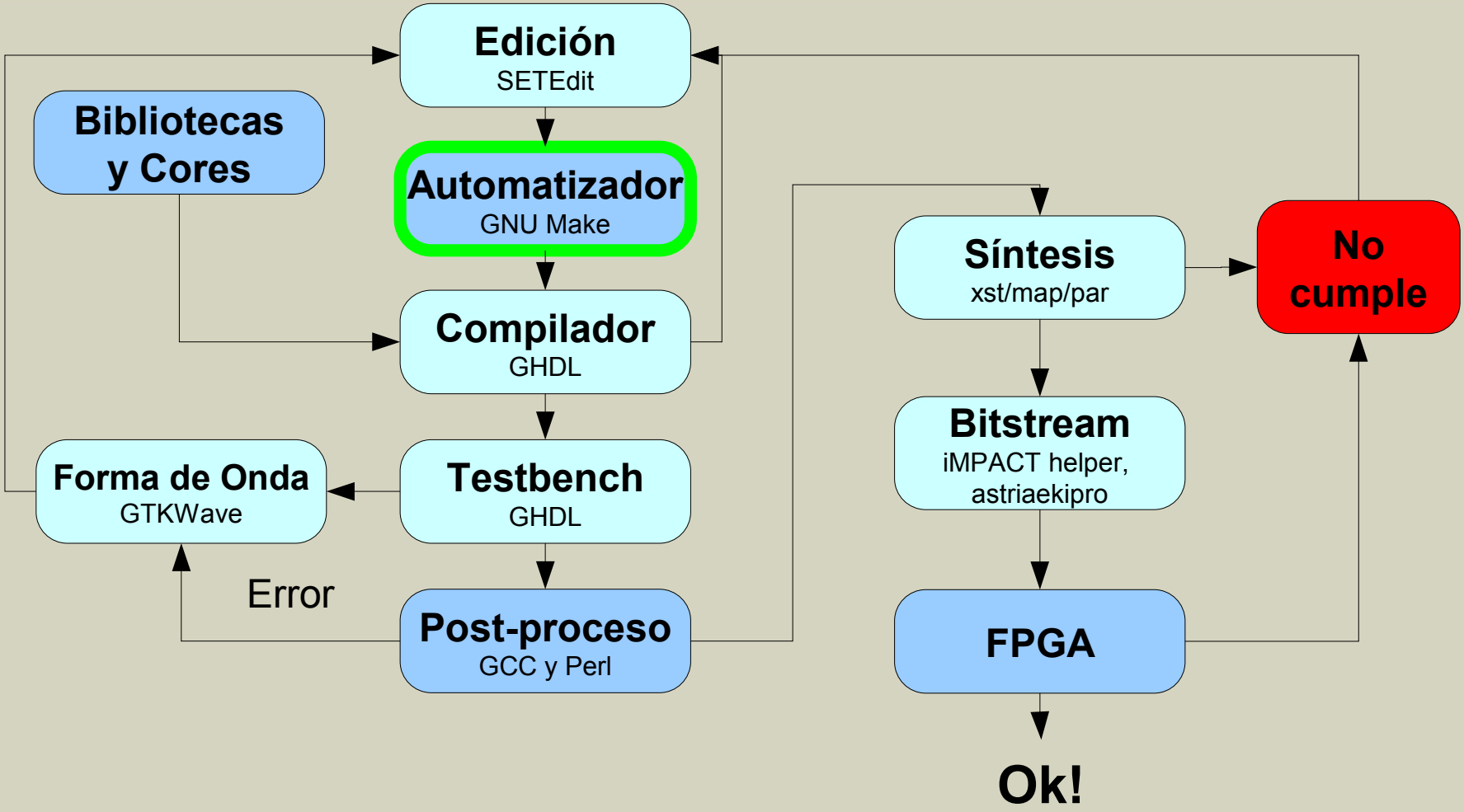
Estas son algunas de las características que lo hacen una buena elección para el trabajo con VHDL:

- Resaltado de sintaxis para VHDL.
- Macros específicas con construcciones típicas de VHDL (PMacros).
- Utilización de Exuberant C Tags con soporte específico para VHDL.
- Indentado coherente con los guidelines del proyecto.
- Configurable y con soporte para los lenguajes más populares.
- tpl2file: templates de Xilinx como archivos



http://setedit.sourceforge.net

Automatización: GNU Make



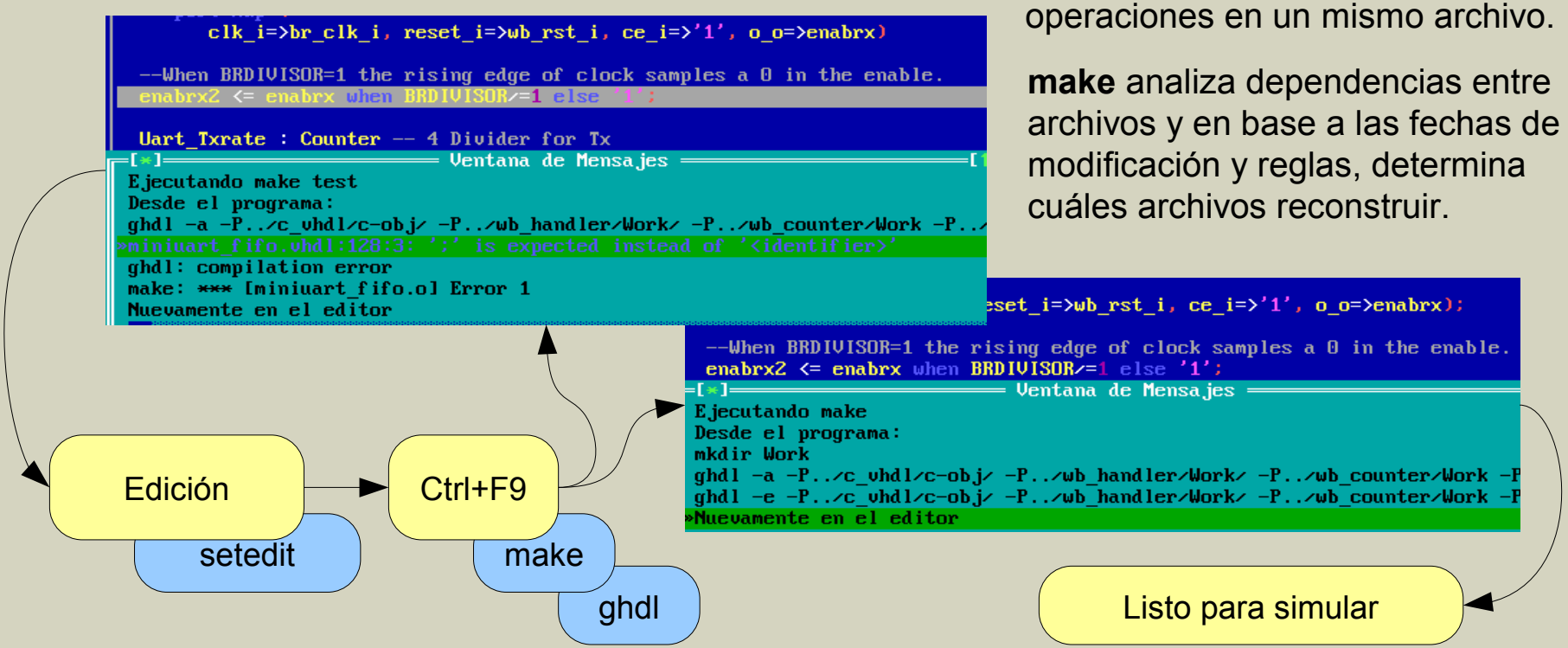
Automatización: GNU Make

- Automatización de tareas repetitivas.
- Reducción del tiempo necesario para regenerar *targets* (objetivos).
- Integra con SETEdit para la recolección de errores.

¿Por qué no un *Shell script*?

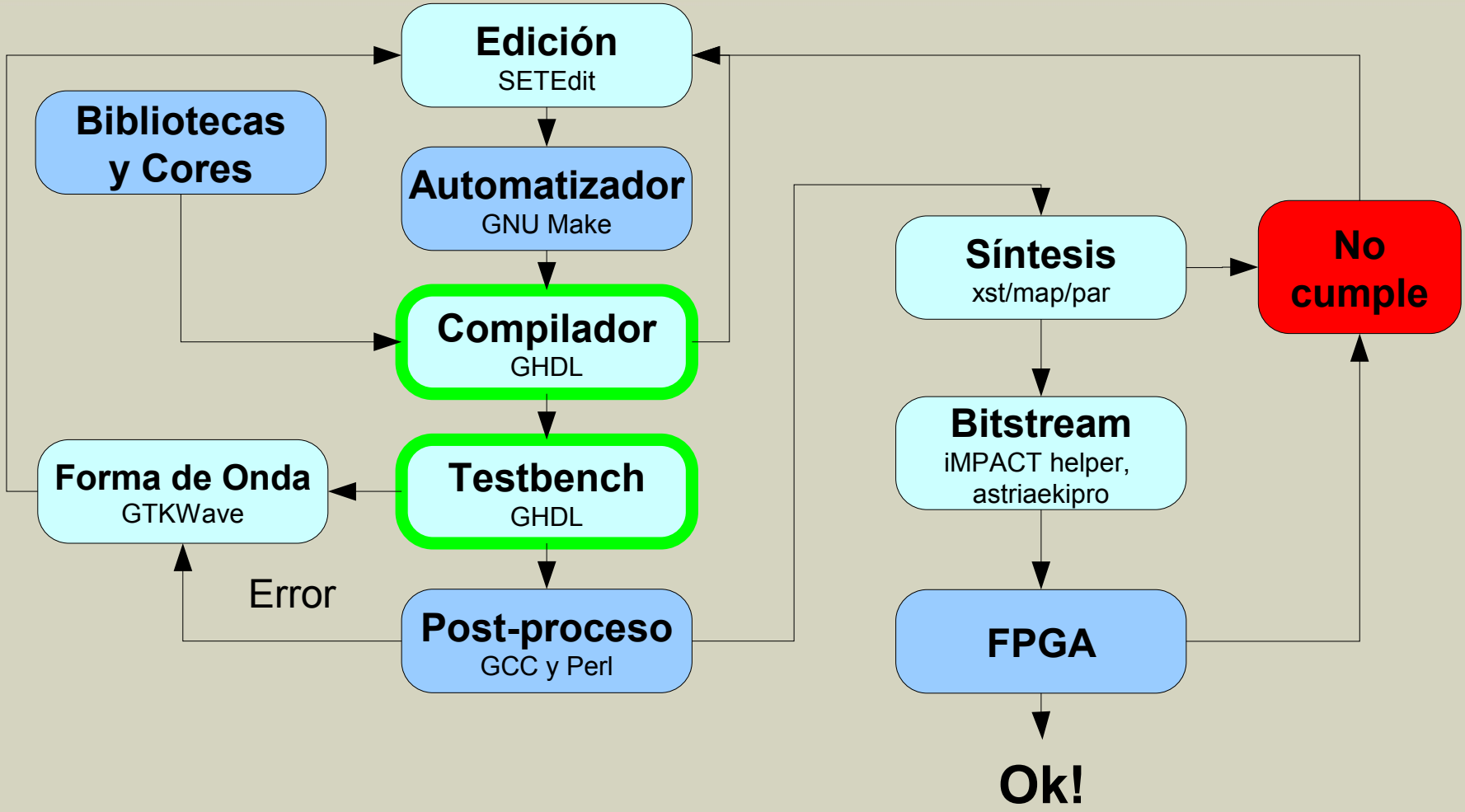
- Usualmente sólo necesitamos regenerar ciertos *targets.*
- Permite centralizar varias operaciones en un mismo archivo.

make analiza dependencias entre archivos y en base a las fechas de modificación y reglas, determina cuáles archivos reconstruir.



Herramientas de Software más Relevantes

Simulación y testbench: GHDL



Simulación y testbench: GHDL

Simulador de VHDL, que implementa los estándares IEEE 1076-1987 (VHDL87), IEEE 1076-1993 (VHDL93) y algunas características delIEEE 1076-2000 (VHDL00}. Es Software Libre.

Compila sin problemas proyectos tales como el procesador LEON y el DLX.

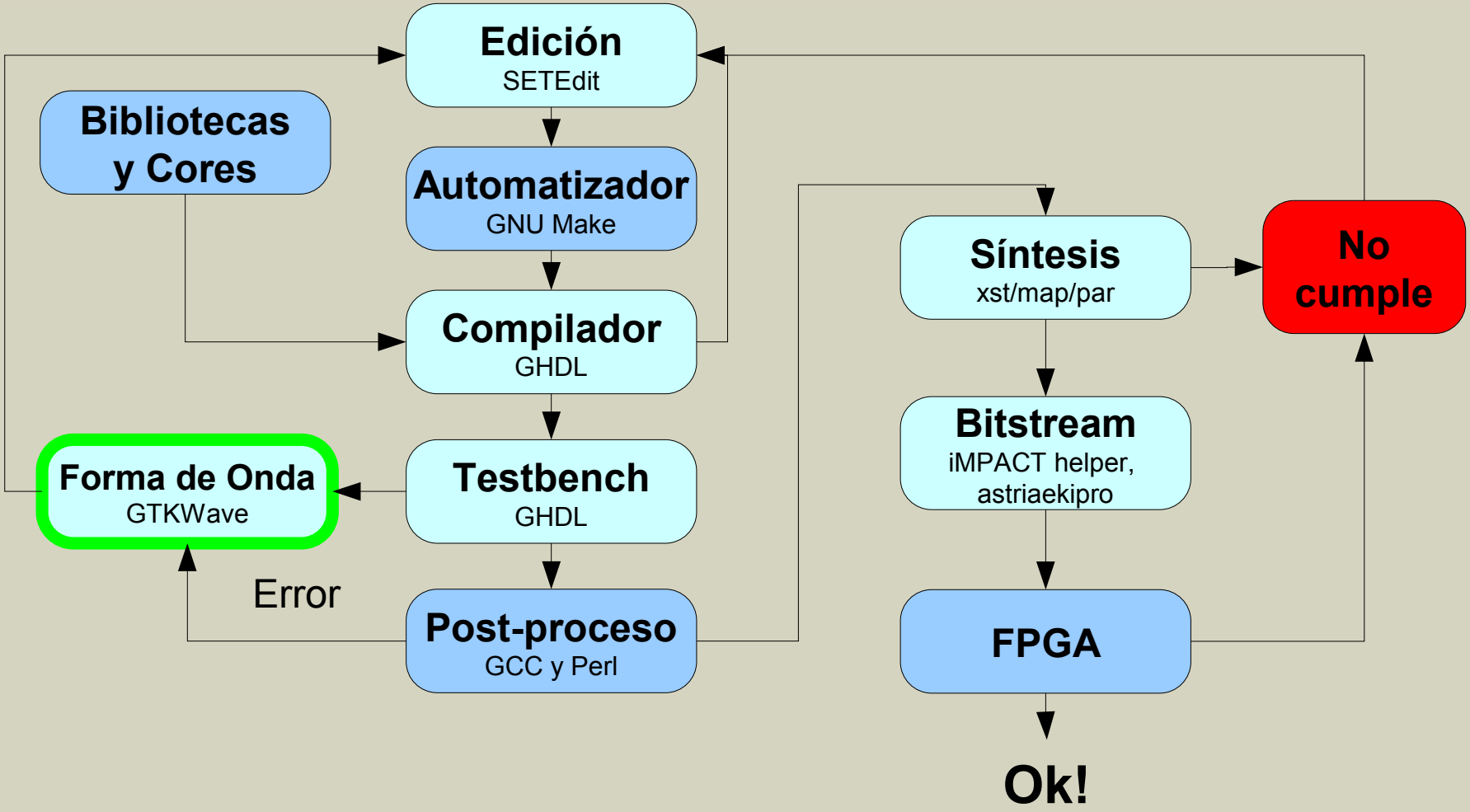
Utilizamos el GHDL como herramienta principal de simulación para VHDL.

http://ghdl.free.fr/

GHDL utiliza la tecnología del GCC, el compilador de software libre más utilizado en todo el mundo.

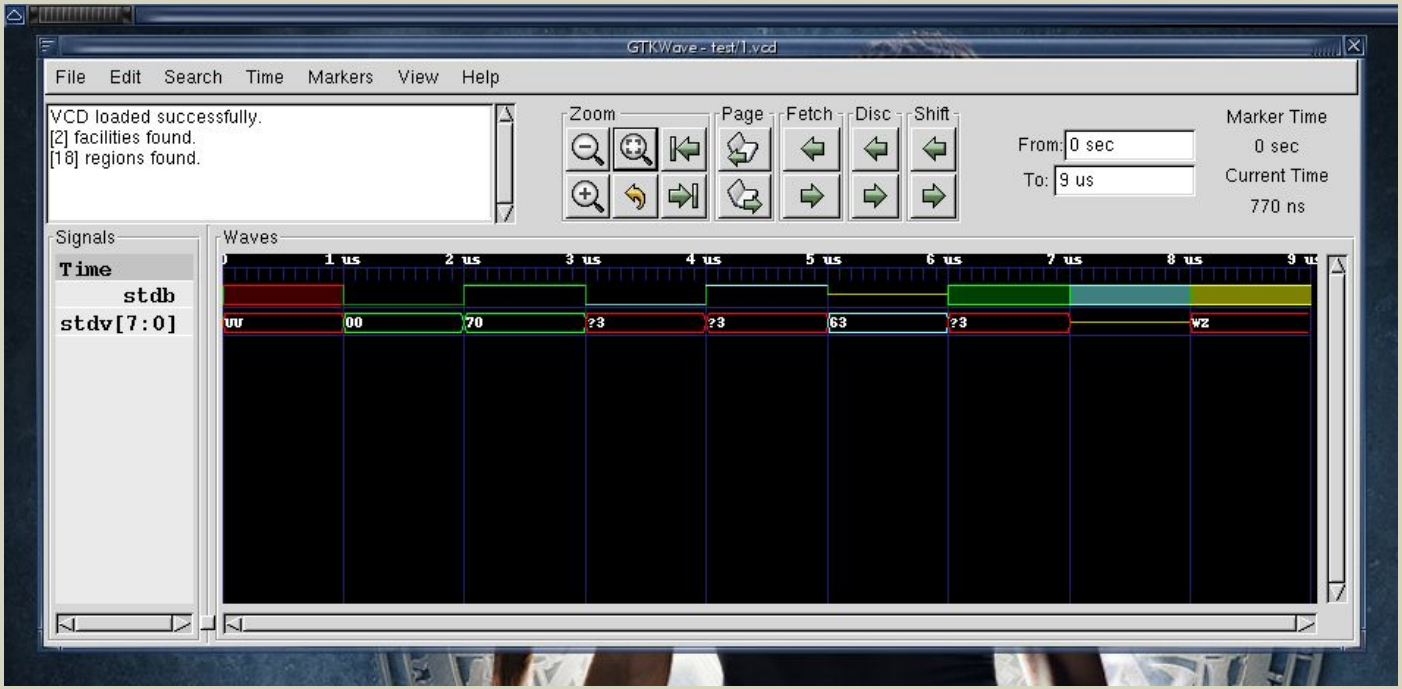
Herramientas de Software más Relevantes

Análisis: GtkWave



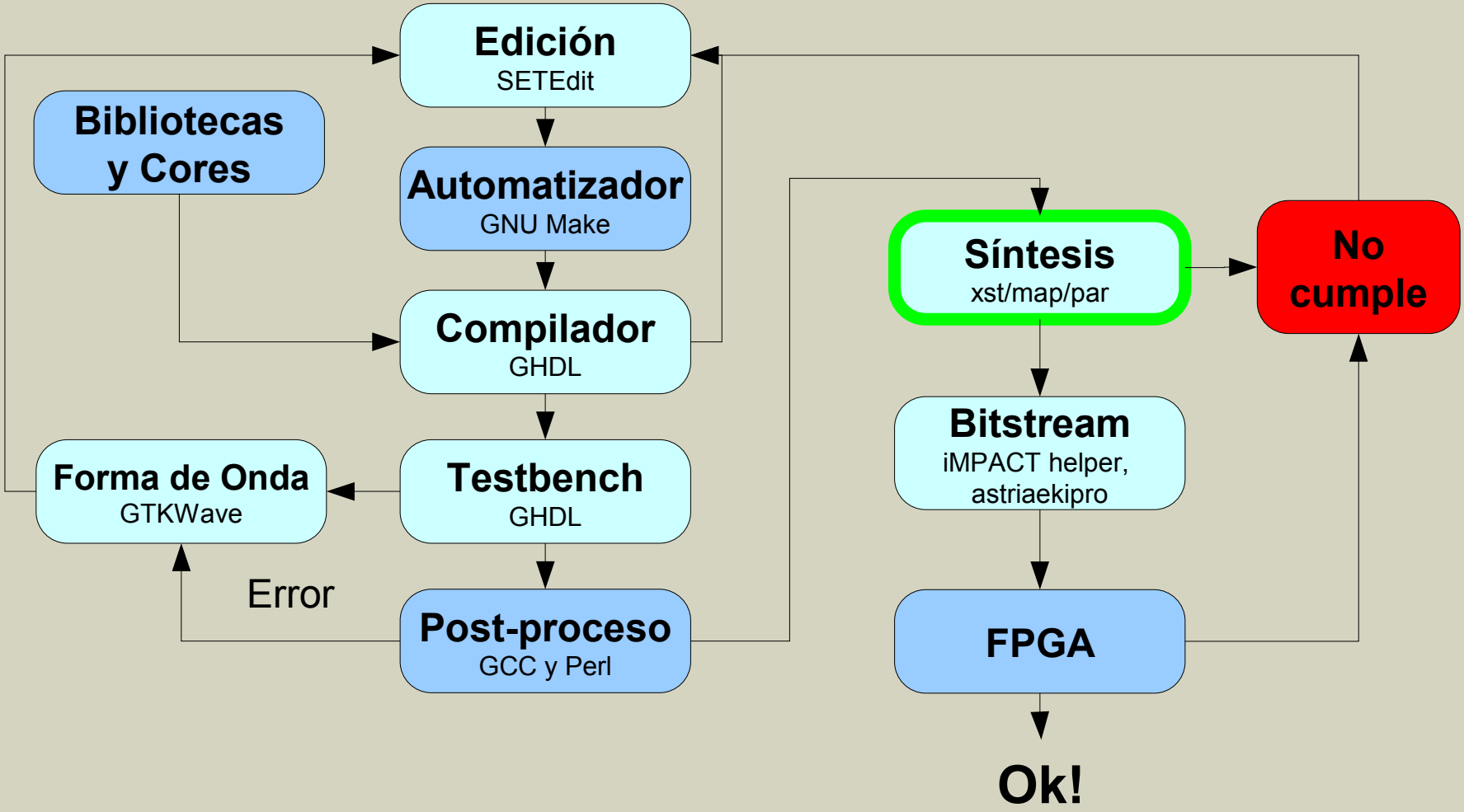
Análisis: GtkWave

• Cuando estamos haciendo el *debugging* de un diseño es útil poder observar las formas de onda digitales. **GtkWave** es un visor de forma de ondas Software Libre.
• Interfaz de usuario simple escrita en GTK. Muy liviano.
• Soporte especial para VHDL (originalmente sólo Verilog).

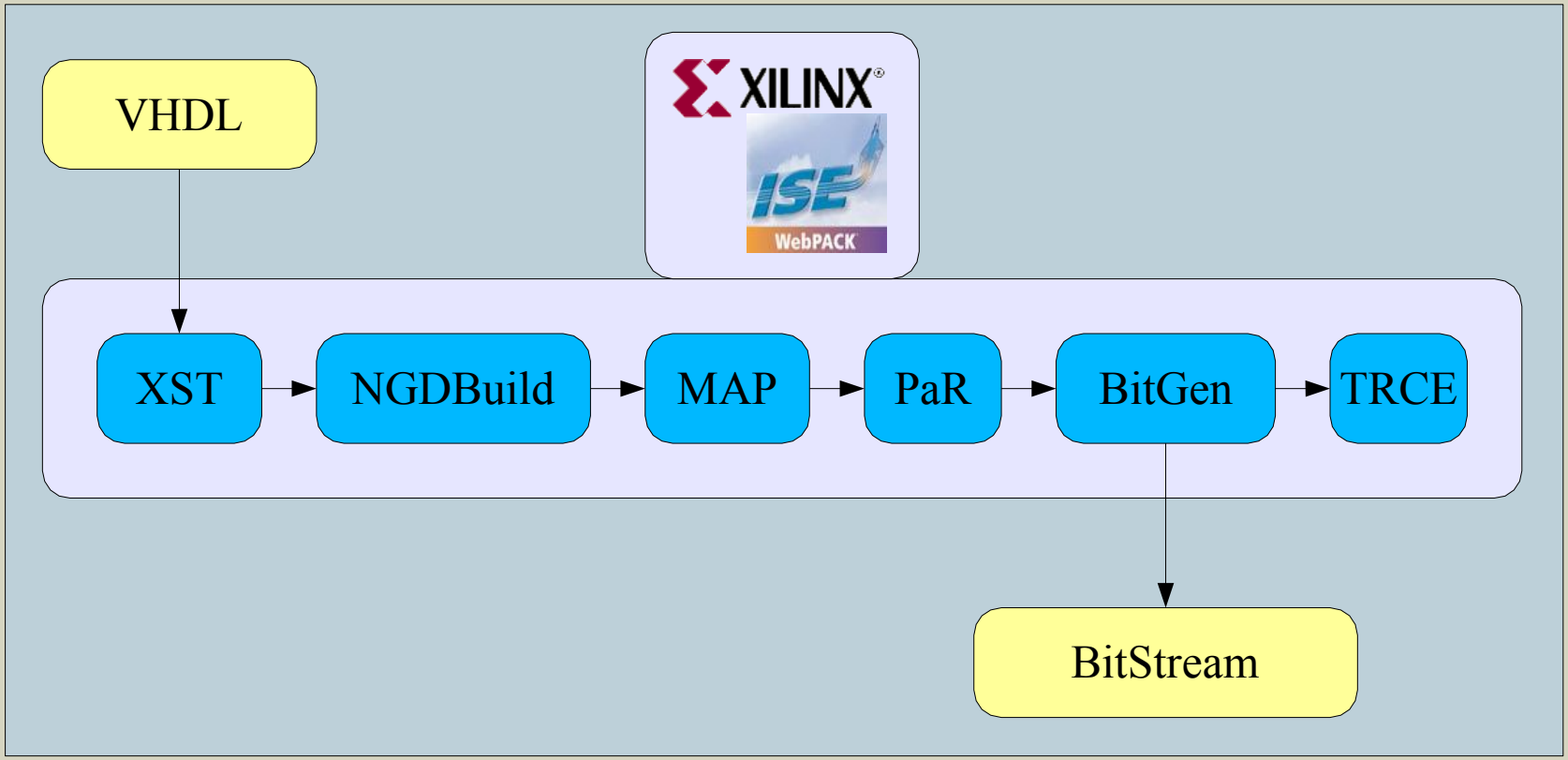


Herramientas de Software más Relevantes

ISE WebPack



ISE WebPack



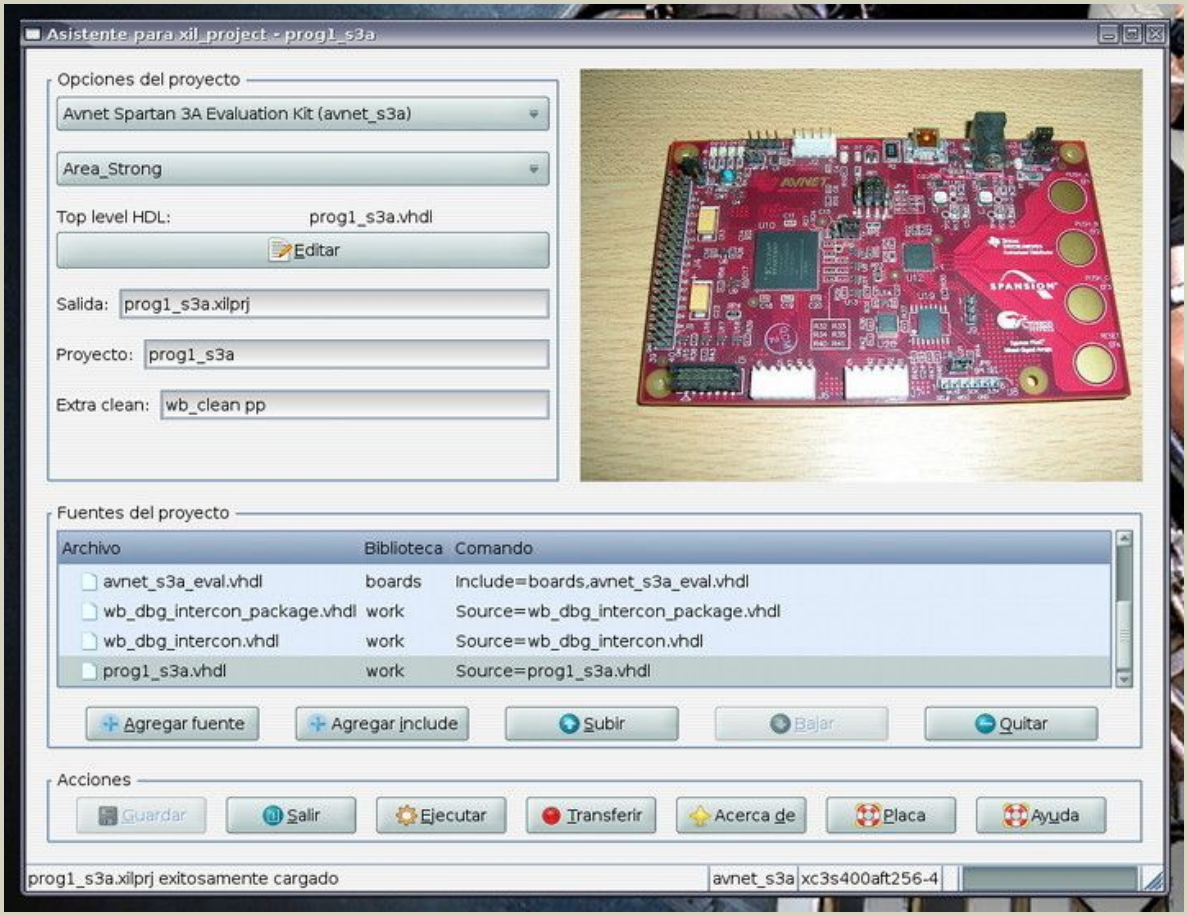
Ayuda: Xil Project/Wizard

xil_project

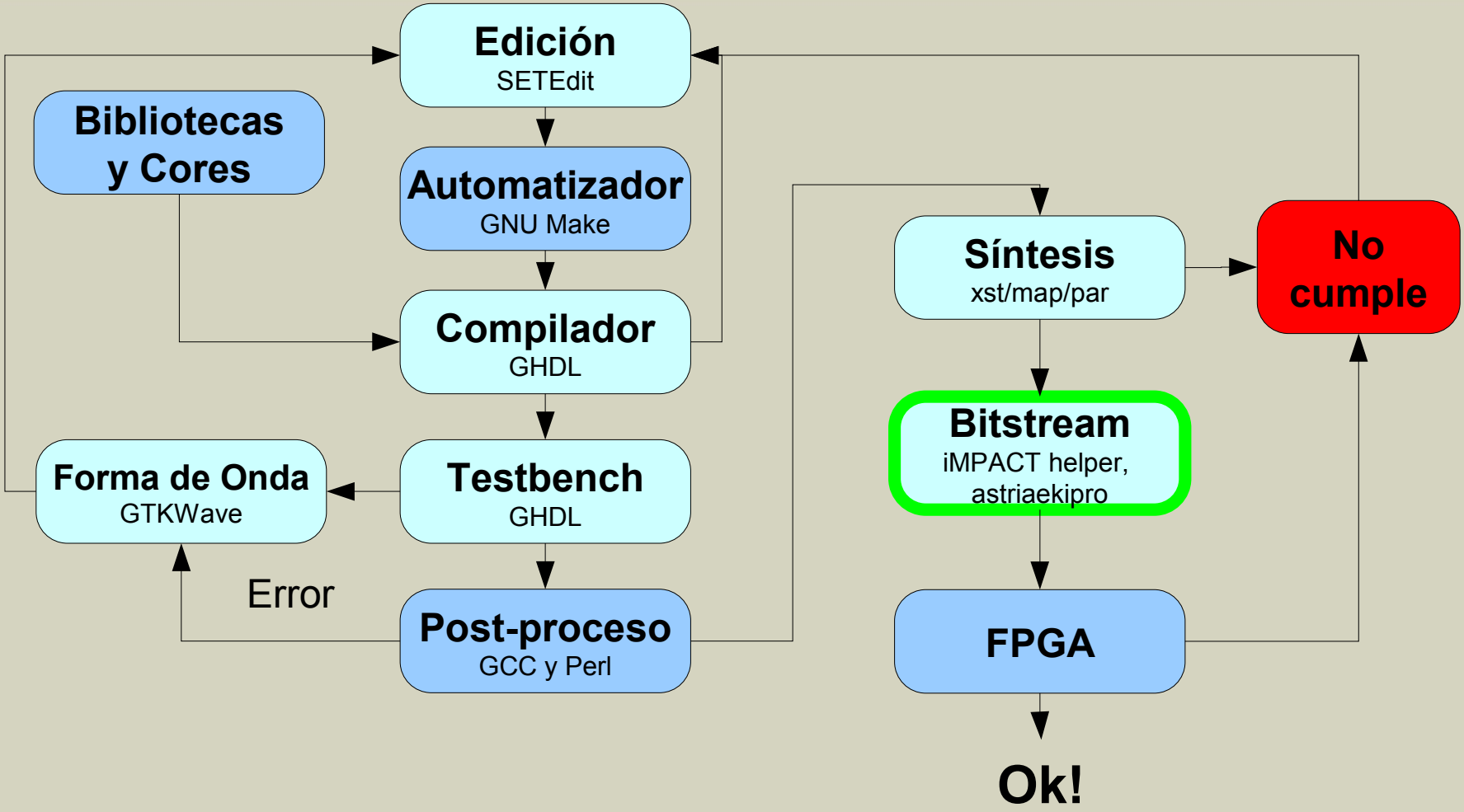
- Herramienta para facilitar la síntesis utilizando herramientas de Xilinx.
- Orientada al uso de línea de comandos y asume que se siguen los lineamientos de FPGALibre.
- Objetivo: generar archivos necesarios para la síntesis a partir de un archivo de proyecto y la descripción de la placa a utilizar.

xil_project_wz

- Interfaz de usuario gráfica que ayuda con la generación del archivo de proyecto.
- Permite introducirnos fácilmente al uso de **xil_project**.



Transferencia del bitstream



Transferencia del bitstream

Comunicación más común:

- JTAG estándar IEEE 1149.1 del JTAG (Joint Test Action Group).
- Originalmente pensado para testeo.
- Independiente del fabricante.

IMPACT Helper

- Herramientas do_impact y make_impact
- Línea de comandos (automatizable)
- Más simple.
- No necesita drivers en el kernel
- En algunos casos hay que desarrollar herramientas.

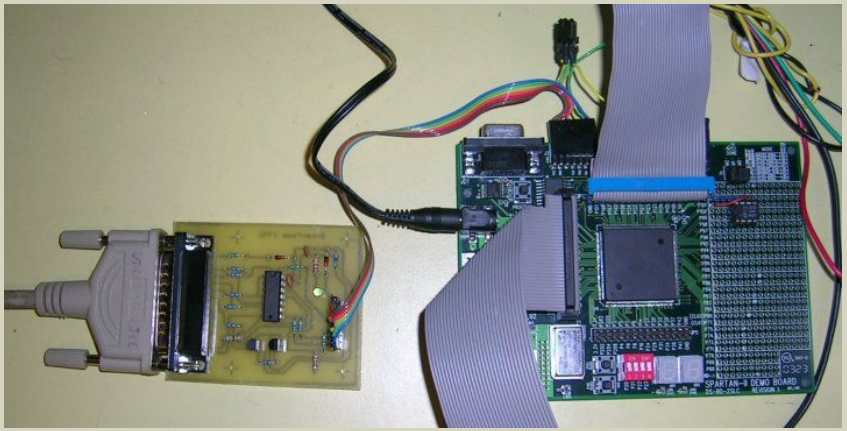
Programador JTAG:

Conectan a la PC con la placa que contiene la FPGA.

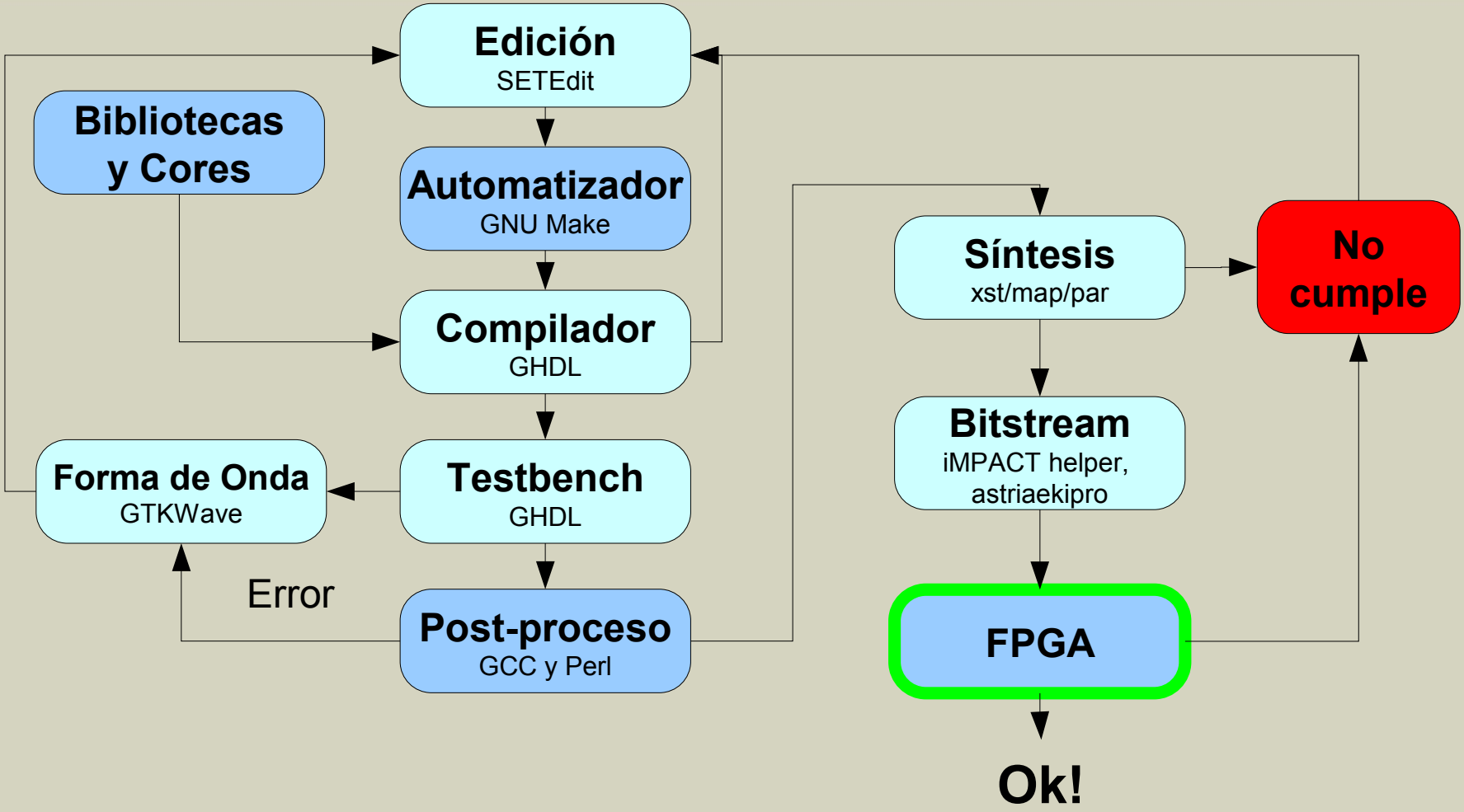
Usamos el Parallel III de Xilinx, también conocido como DLC5.

Este es un circuito simple y barato que se puede conectar al puerto paralelo de una PC.

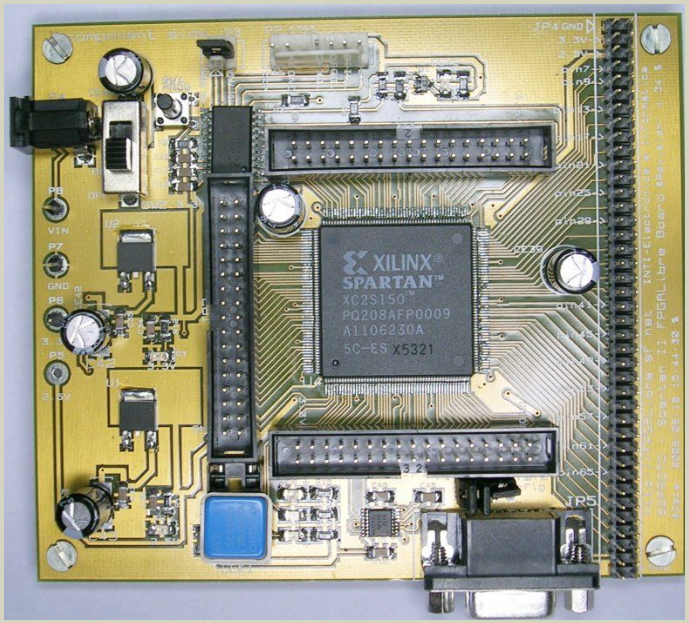
Todos los archivos de diseño se encuentran disponibles en formato Kicad.



Hardware : Placa de desarrollo con FPGA

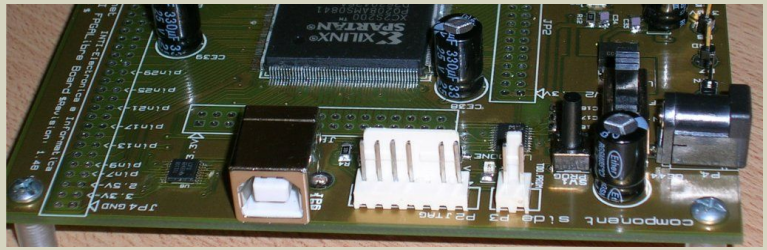


Hardware : Placa de desarrollo con FPGA



- Para desarrollar una aplicación, además del *chip* **FPGA**, es necesaria una electrónica de soporte: circuitos impresos, circuitos de alimentación, memorias, conectores, etc.
- La forma más fácil de abordar este tema es comprando algún kit de desarrollo. También se puede encarar el desarrollo.

S2Proto



- Parte del proyecto FPGA Libre. Diseño e implementación de un circuito impreso con FPGA, pensado para ámbitos de desarrollo e instituciones educativas. Bajo licencia GPL para permitir su libre utilización, implementación, modificación y comercialización.
- Desarrollado y probado con SL: Kicad y GNU jtag.
- Soporte para dispositivos Xilinx Spartan II PQ208.

FPGA Libre

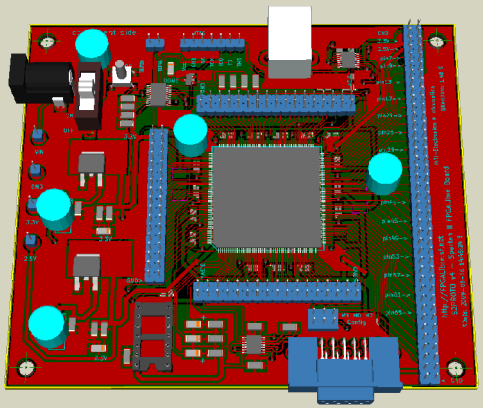
KICAD GPL PCB SUITE

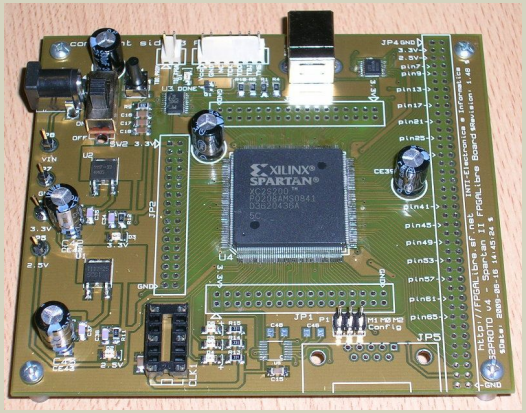
Diseño de circuitos impresos

KICAD

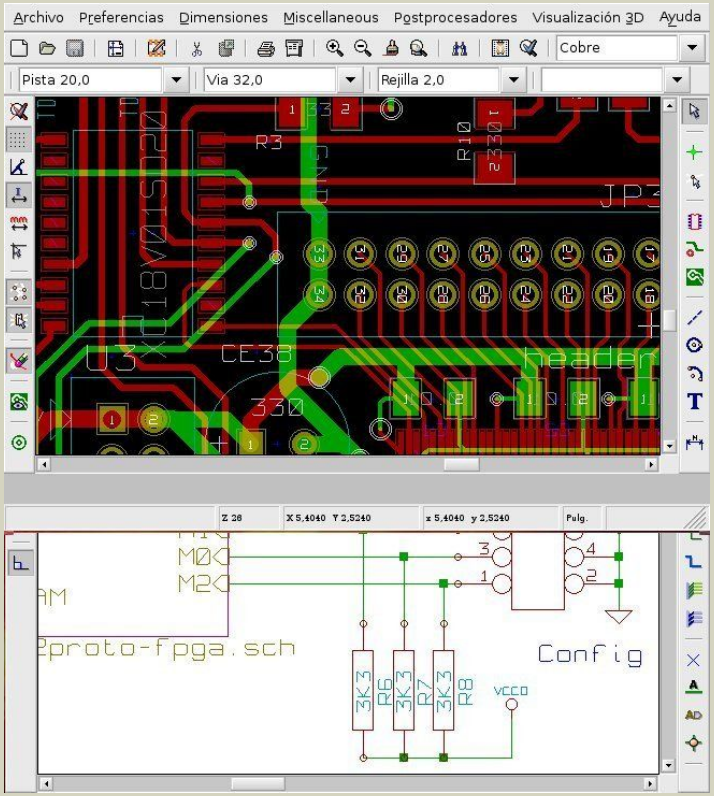
GPL PCB SUITE

- KICAD
- Cubre las tres tareas principales:
  - Ingreso de circuito esquemático.
  - Ruteo de PCB (Printed circuit Board)
  - Visor de formato Gerber.

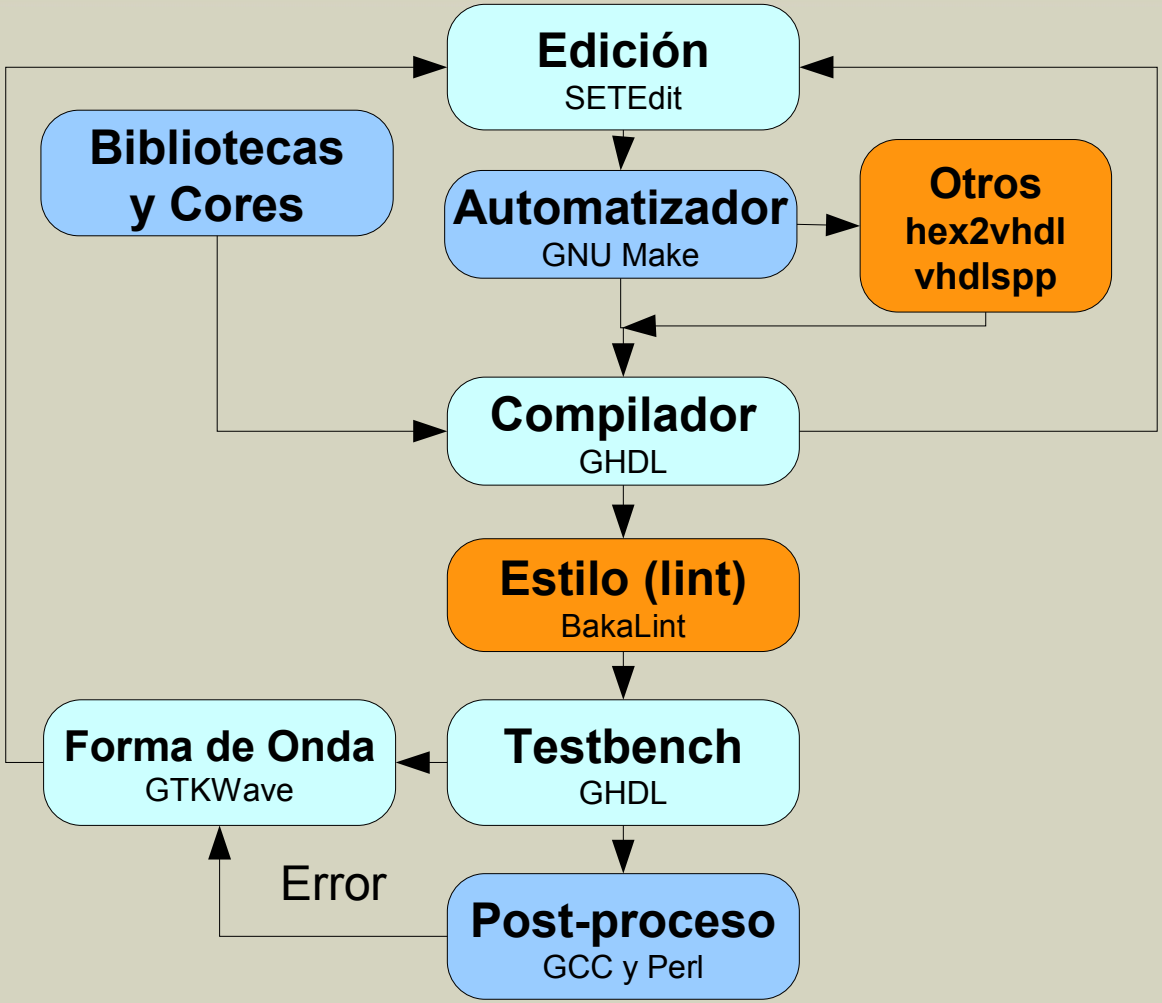




Placa S2Proto en KICAD y físicamente



Herramientas para FPGA - Adicionales



hex2vhdl:
• Conversor de .hex a array **VHDL** (ROM).

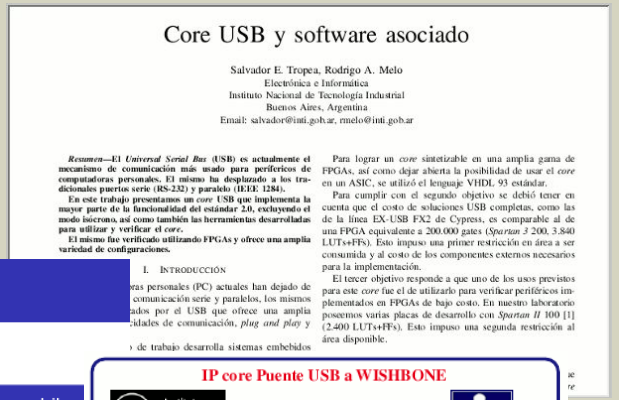
vhdlspp (VHDL Simple PreProcessor):
• Permite reemplazar *tags* (marcadores) del tipo **@nombre_archivo@** por el contenido del archivo indicado.

bakalint:
• Permite verificar si el código **VHDL** que escribimos cumple los *guidelines* del proyecto.

Herramientas de Software más Relevantes

Reportes y documentación formal

- LaTeX:
  - Publicaciones (IEEEtran)
  - Presentaciones (Beamer)
  - Pósters
  - Notas/informes/presupuestos
- DocBook (SGML):
  - Documentación de IP cores y Software
- makeinfo
  - Documentación de Software


Core USB y software asociado

Salvador E. Tropea, Rodrigo A. Melo
Electrónica e Informática
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Buenos Aires, Argentina
Email: salvador@inti.gob.ar, rmelo@inti.gob.ar

Resumen—El *Universal Serial Bus* (USB) es actualmente el mecanismo de comunicación más usado para periféricos de computadoras personales. El mismo ha desplazado a los tradicionales puertos serie (RS-232) y paralelo (IEEE 1284).
En este trabajo presentamos un *core* USB que implementa la mayor parte de la funcionalidad del estándar 2.0, excluyendo el modo isócrono, así como también las herramientas desarrolladas para utilizar y verificar el *core*.
El mismo fue verificado utilizando FPGAs y ofrece una amplia variedad de configuraciones.

I. Introducción

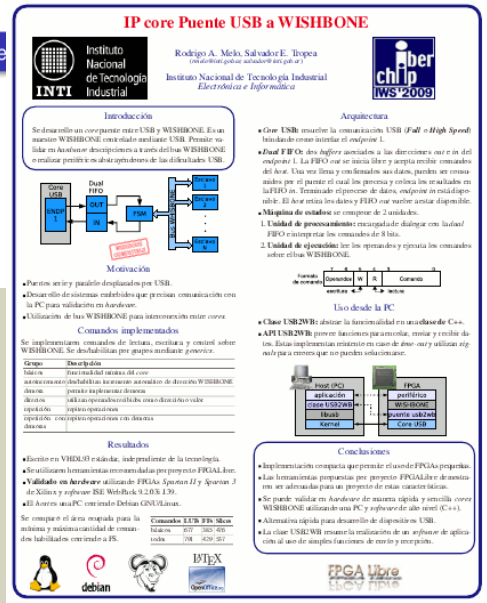
Para lograr un *core* sintetizable en una amplia gama de FPGAs, así como dejar abierta la posibilidad de usar el *core* en un ASIC, se utilizó el lenguaje VHDL 93 estándar.
Para cumplir con el segundo objetivo se debió tener en cuenta que el costo de soluciones USB completas, como las de la línea EX-USB FX2 de Cypress, es comparable al de una FPGA equivalente a 200.000 gates (*Spartan 3* 200, 3.840 LUTs+FFs). Esto impuso una primer restricción en área a ser consumida y al costo de los componentes externos necesarios para la implementación.
El tercer objetivo responde a que uno de los usos previstos para este *core* fue el de utilizarlo para verificar periféricos implementados en FPGAs de bajo costo. En nuestro laboratorio poseemos varias placas de desarrollo con *Spartan II* 100 [1] (2.400 LUTs+FFs). Esto impuso una segunda restricción al área disponible.


Simulación de VHDL con Software Libre

Ing. Rodrigo A. Melo, Ing. Salvador E. Tropea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Centro de Electrónica e Informática
Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre

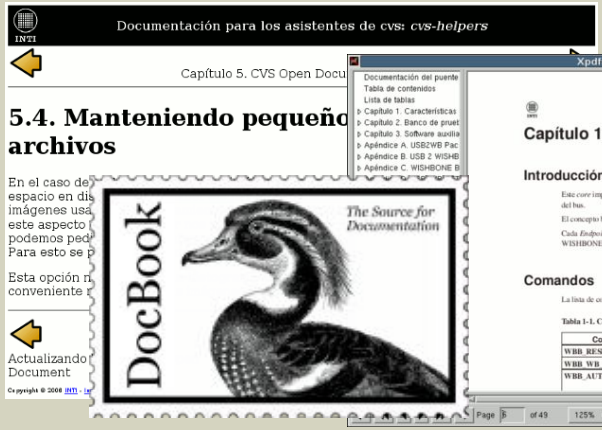
5 de julio de 2010


IP core Puente USB a WISHBONE

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

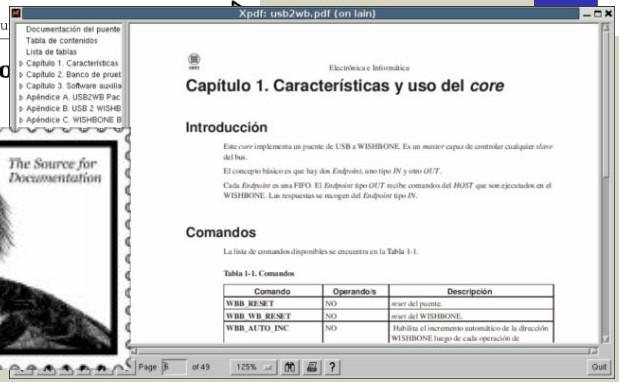
Rodrigo A. Melo, Salvador E. Tropea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Electrónica e Informática


Documentación para los asistentes de cvs: *cvs-helpers*

Capítulo 5. CVS Open Docu

5.4. Manteniendo pequeño archivos

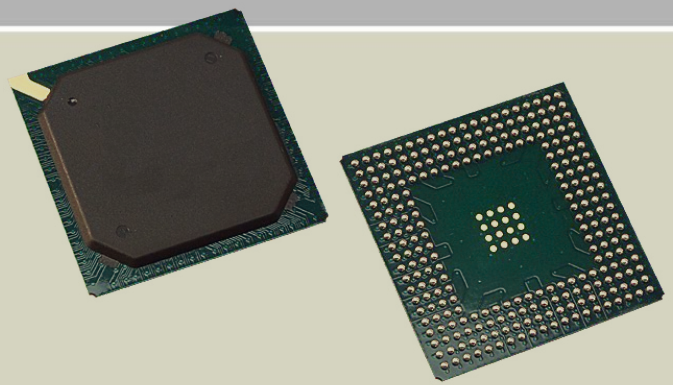

Xpdf: usb2wb.pdf (on lain)

Capítulo 1. Características y uso del *core*

Introducción

Comandos

Información adicional y contacto: Proyecto FPGALibre



- Facilitar el intercambio de conocimientos y cores.
- Impulsar el uso de herramientas de S.L.
- Hosteado por SourceForge
- http://fpgalibre.sourceforge.net
- Abierto (OSs y tecnologías)
- Actualmente basado en Debian GNU/Linux
- Objetivos:
  - Impulsar el desarrollo con dispositivos FPGA utilizando herramientas de S.L. u Open Source.
  - Fomentar el intercambio y desarrollo de cores IP con licencias que posean el mismo espíritu que las del S.L.

FPGA Libre

sourceforge

Proyectos y Trabajos

- **IP Cores desarrollados bajo GNU/Linux**
- **Tecnoplac III-USB**
- **S3PROTO - GNU/Linux embebido en procesadores LEON**
- **S3PROTO-MINI**

Bloques de propiedad intelectual desarrollados y/o adaptados

- Microprocesadores
  - PIC16C84
  - AVR (ATtiny22, ATmega103, ATmega8, ATmega32, etc.) **OC**
- Comunicaciones
  - Intrasistemas: I²C **OC**, SPI
  - Externa: PS2, USB, MAC Ethernet **OC**
- Control
  - Servomotores y motores paso a paso
  - Encoder
- Varios
  - Display alfanumérico
  - Controlador de interrupciones
- A pedido de la industria aeroespacial
  - Logaritmo decimal (43 bits)
  - Adquisición a 250 KHz 16 bits y cálculo de la varianza.
  - Contador de pulsos con ventana adaptativa.

TECNOPLAC3-USB - Sistema de control de calidad para leche de bebés

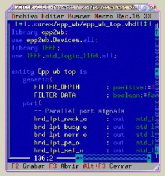
- Equipo desarrollado a pedido de la empresa Mastellone Hnos. para reemplazar un equipo importado de muy alto costo.
- Los equipos desarrollados realizan actualmente el control de calidad del 100% de la producción de leche para bebés envasada en cartones de 250 cm^3.
- La PC de control utiliza sistema operativo Debian GNU/Linux y Gnome.
- La aplicación de interfaz de usuario hecha a medida utiliza Allegro, Turbo Vision y libusb entre otras.
- Las placas de la electrónica de control se realizaron en KICAD.
- Una de las placas de la electrónica de control posee una FPGA que implementa el sistema USB y la lectura de un encoder.
- Para el desarrollo en la FPGA se utilizó el ciclo de trabajo del proyecto FPGALibre.

Equipo para control de calidad de leche para bebés en envase de 250 cm^3

C++

FPGA Libre

Allegro



S3PROTO - GNU/Linux embebido en procesadores LEON

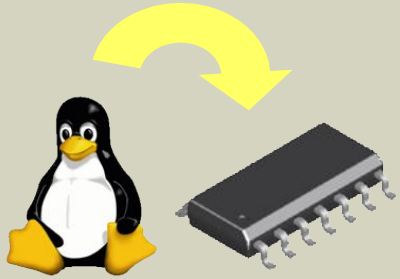
- El procesador LEON es un procesador SPARC apto para FPGAs, desarrollado originalmente por la Agencia Espacial Europea. Es muy utilizado en la industria aeroespacial pero sirve para otras aplicaciones.
- La descripción de hardware del procesador y sus periféricos principales están en lenguaje VHDL bajo licencia GPL.
- Se investiga en el laboratorio esta tecnología y sus aplicaciones, tratando de cubrir las partes de software y hardware faltantes para lograr un ciclo de trabajo libre y abierto.

FPGA Libre

GNU/Linux y BusyBox corriendo sobre LEON3/Grlib, usando una placa FPGA comercial.

HARDWARE:
Se está desarrollando un circuito impreso (S3Proto), que se publicará bajo licencia de hardware libre y abierto, con capacidad para correr un sistema GNU/Linux en una FPGA con LEON.

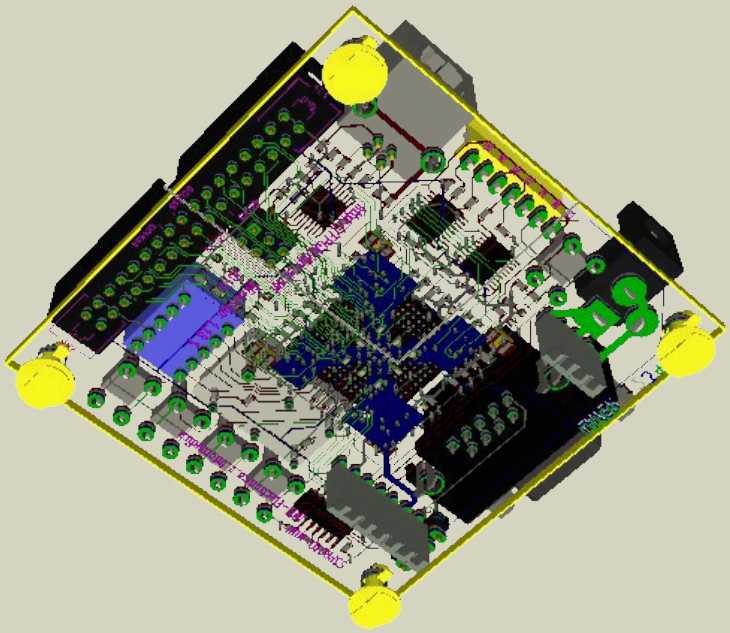
SOFTWARE:
Se desarrolló una herramienta libre: FPGALibre Leon Monitor (FLeMon) que permite interactuar con el hardware para debug y grabar una imagen Linux en la memoria Flash.



S3PROTO-MINI

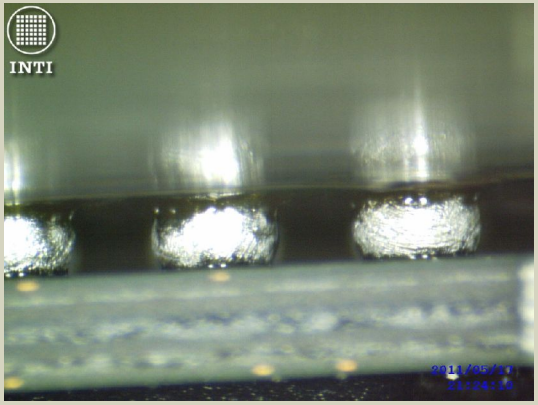
La tarjeta S3PROTO-MINI es una plataforma básica y simple para desarrollo con FPGA y forma parte del proyecto S3PROTO, planteada como una primera etapa para abordar diseños multicapa y BGA. Los criterios de la S3PROTO-MINI son:

- Dispositivo FPGA capaz de alojar diseños digitales de mediana y alta complejidad (1600K compuertas).
- Desarrollada con herramientas de software libre (Kicad).
- PCB de 4 capas fabricado por una empresa nacional.
- Chip BGA soldado en el laboratorio con equipo infrarrojo accesible.
- Información de desarrollo y archivos de diseño disponibles próximamente para libre uso, réplica y modificación.

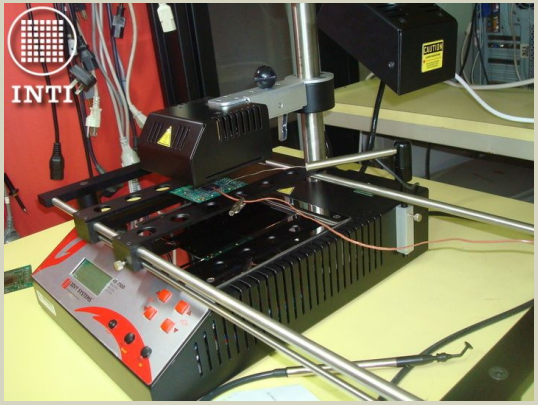


S3PROTO-MINI

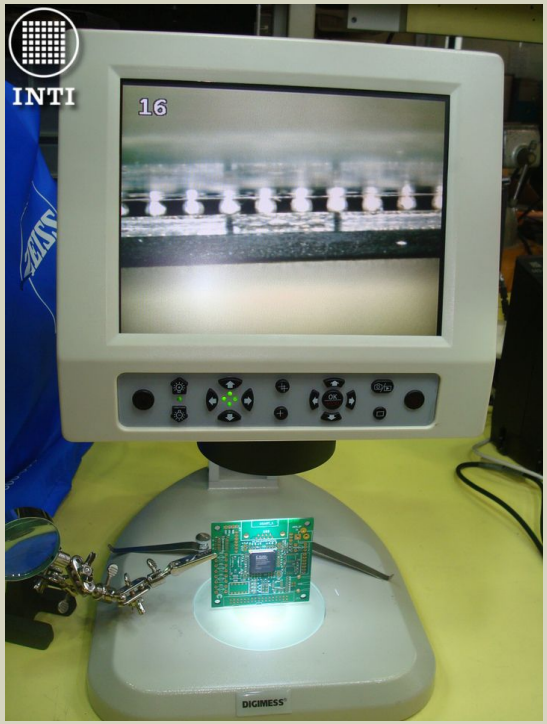
Se fabrica el PCB de 4 capas (empresa nacional), se suelda el BGA en el laboratorio, se arma y verifica el prototipo de la s3proto-mini.



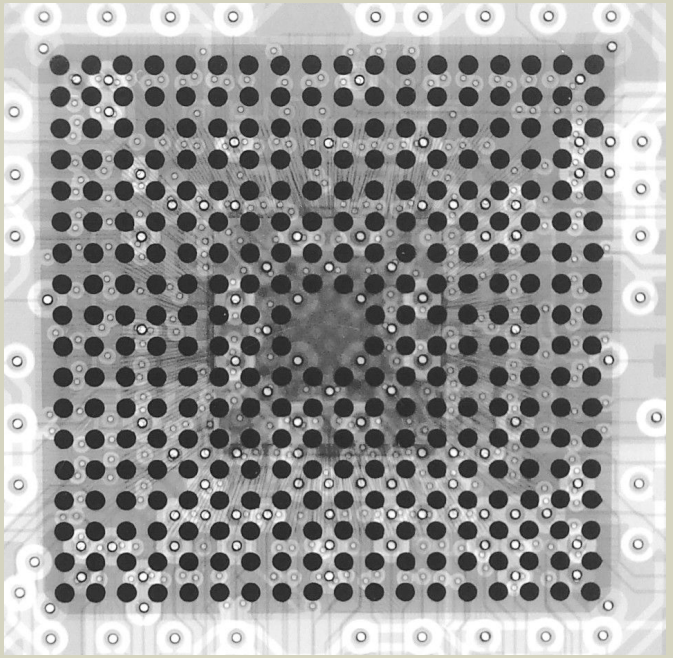
Inspección lateral.



Soldadura BGA por infrarrojos.

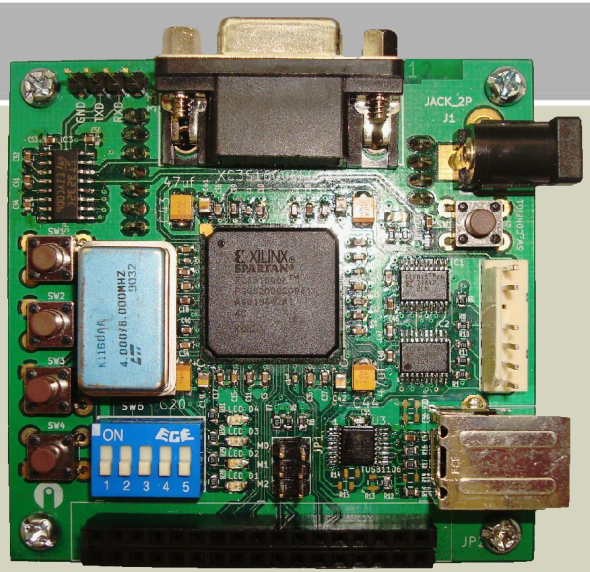


Inspección lateral.



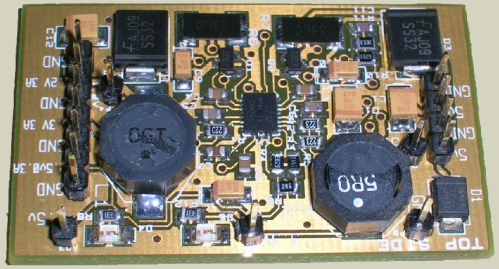
Radiografía del BGA.

S3PROTO-MINI

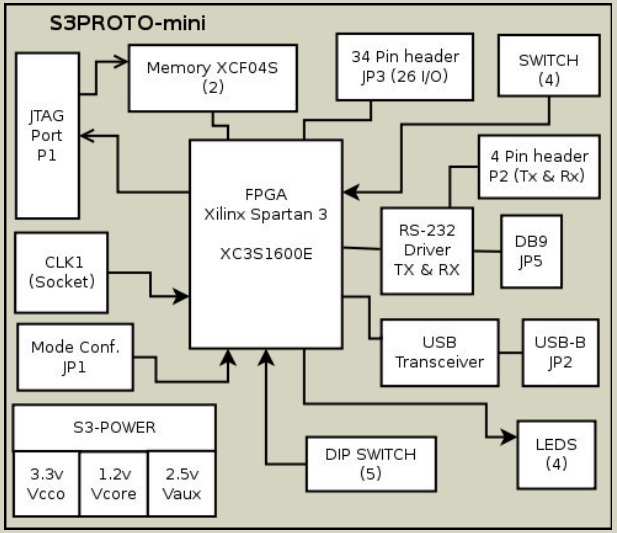


Características

- Dispositivo FPGA Xilinx Spartan 3E (XC3S1600E) de 33.192 celdas lógicas.
- 2 Memorias de configuración XCF04S (4+4 Mbit).
- USB Transceiver TUSB1106 de 12 Mb/s (Full Speed) con conector tipo B.
- 2 Puertos seriales RS232 de hasta 300Kbps (ST3232). Uno con conector DB-9.
- 4 Pulsadores.
- 5 Dip switch.
- 4 LEDs.
- 1 Puerto JTAG.
- 26 Pines de I/O.
- Oscilador con zócalo.
- Alimentación simple de 5V.
- Dimensiones de 7x7 cm.



Módulo de alimentación S3POWER.



Agenda

Demostración y Consultas

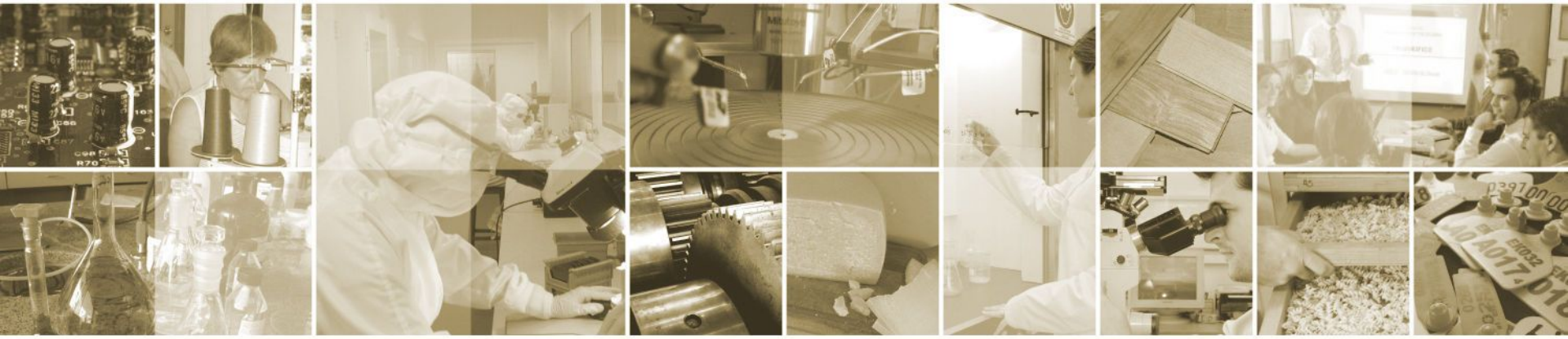
- **Demostración de las herramientas. Ejemplo de como hacer titilar un led con una FPGA!!!!**
- **Consultas**

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

INTI

μEA 2011

Ministerio de Industria
Secretaría de industria y Comercio



¡MUCHAS GRACIAS!

Desarrollo con FPGAs en GNU/Linux

Jefe de Laboratorio DESoL:
Ing. Salvador Tropea

Av. Gral. Paz 5445 (1650) San Martín
Buenos Aires, Argentina
(11) 4724-6315
{salvador,brengi,rmelo}@inti.gob.ar

http://utic.inti.gob.ar/
http://fpgalibre.sf.net/

Marzo de 2011

Licencia de la presentación