

Infraestructura d'injecció de fallades per a Ethernet amb funcions específiques per a FTT

Andreu Adrover

Supervisors

Alberto Ballesteros y Julián Proenza



Universitat de les Illes Balears

Introducció

**¿Es pot utilitzar Ethernet
en entorns industrials?**

Introducció

Ethernet en entorns industrials

- **Avantatges**

- Elevada amplada de banda
- Components barats
- Compatibilitat amb altres estàndards

Introducció

Ethernet en entorns industrials

• **Problemes**

- Requisits de temps real
- Flexibilitat en entorns dinàmics
- Garantia de funcionament

Introducció

Ethernet en entorns industrials

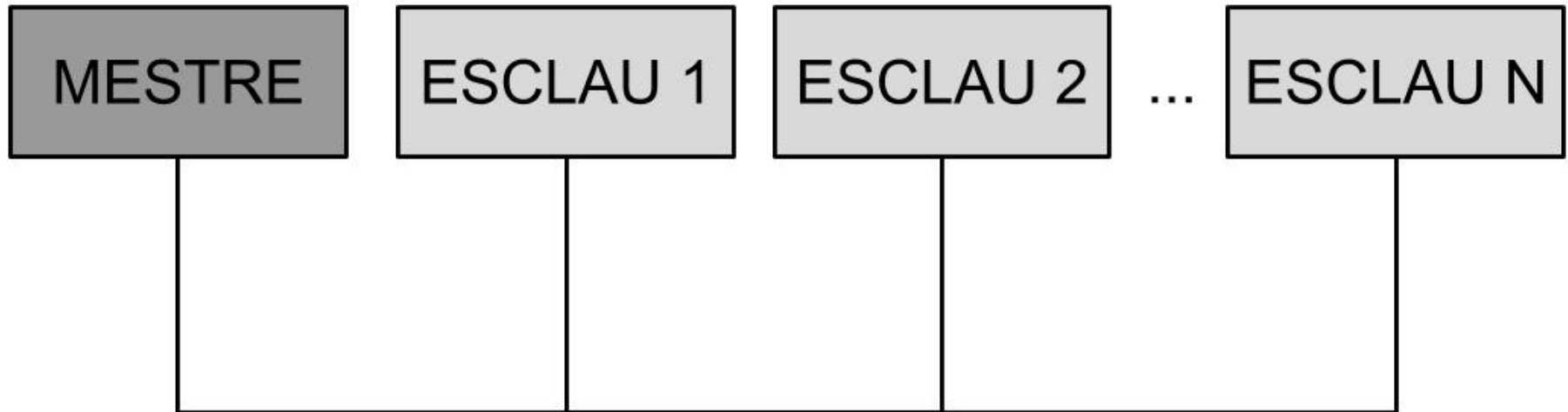
- **Flexible Time-Triggered (FTT)**

- Garantia de resposta en temps real
- Flexibilitat

Introducció

FTT

- **Arquitectura mestre-esclau**

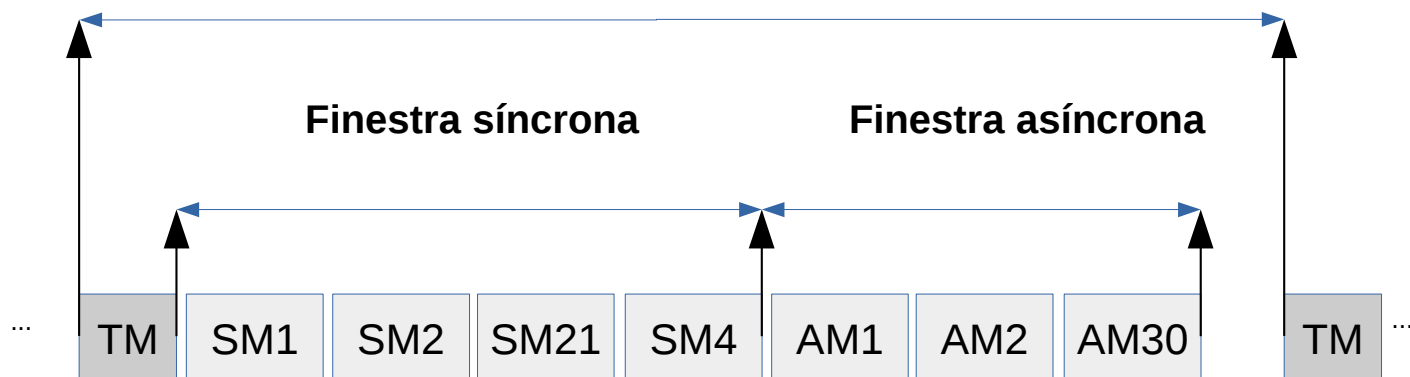


Introducció

FTT

•Elementary Cycle (EC)

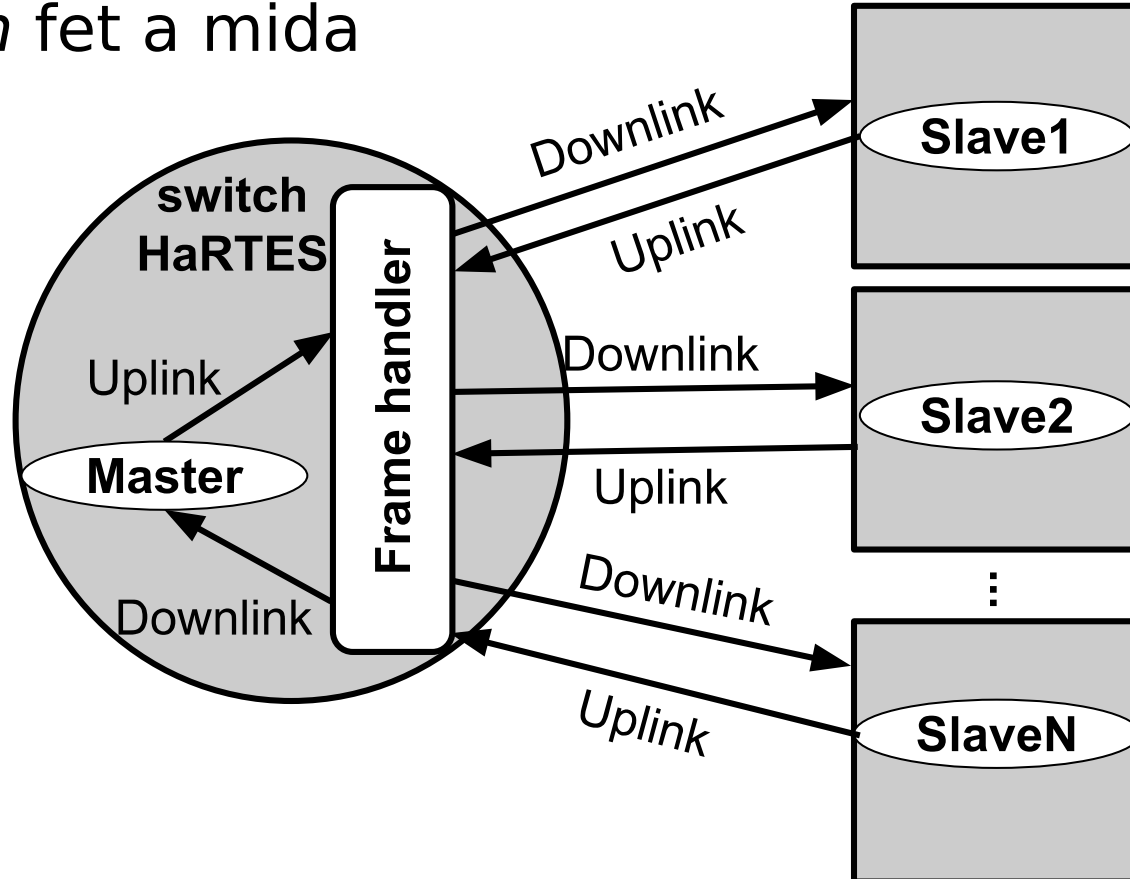
- Trigger Message (TM)
- Finestra Síncrona
- Finestra Asíncrona



Introducció

FTT

- **Hard Real-Time Ethernet Switching (HaRTES):** Topologia d'estrella amb *switch* fet a mida



Introducció

HaRTES

• **HaRTES en entorns industrials**

- Requisits de temps real 
- Flexibilitat en entorns dinàmics 
- Garantia de funcionament 

Introducció

HaRTES

Fault Tolerance for Flexible Time-Triggered Ethernet (**FT4FTT**) pretén aconseguir una infraestructura de comunicació altament fiable i flexible utilitzant HaRTES

Desenvolupament de diversos **mecanismes** per a **la tolerància a fallades**

Introducció

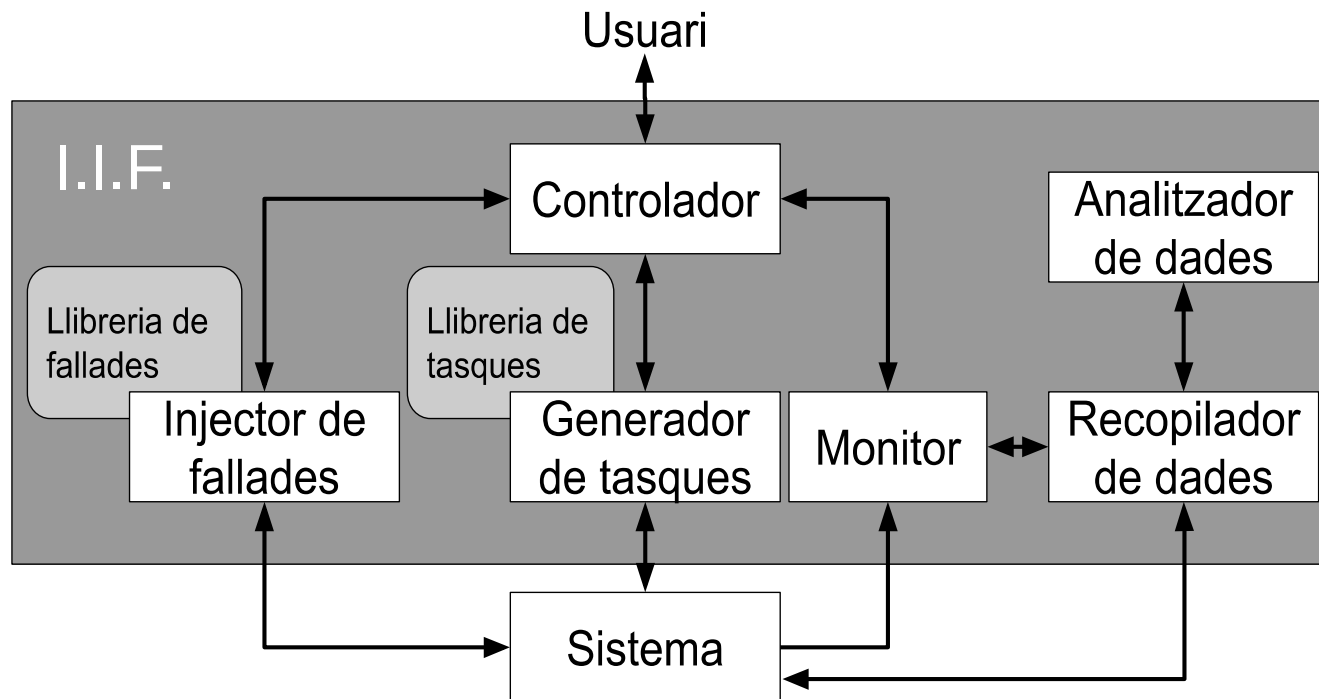
Necessari en FT4FTT

**Validació dels mecanismes amb
la tècnica d'injecció de fallades**

Introducció

Necessari en FT4FTT

Validació dels mecanismes amb la tècnica d'injecció de fallades



Introducció sfCAN

•Hub

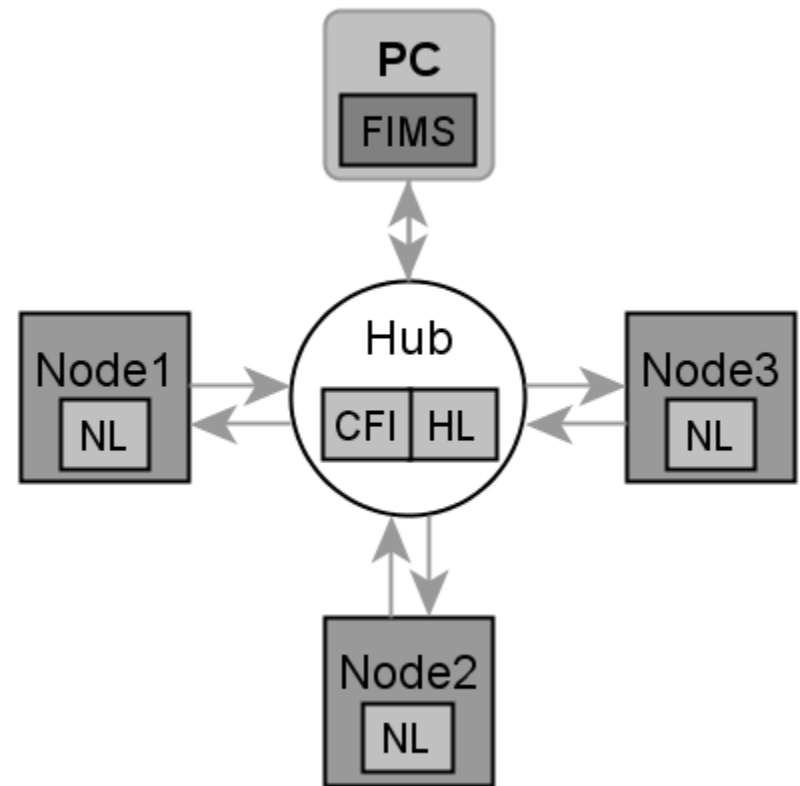
- Coupling
- Fault injection
- Logging

•Node

- Execute software
- Logging

•PC

- Management



Introducció

Objectiu d'aquest projecte

- **Infraestructura d'injecció de fallades per Ethernet amb funcions específiques per FTT**

- Adaptar el disseny de la infraestructura de fallades **sfCAN a HaRTES**
- Implementar en el prototipus HaRTES de FT4FTT
- Verificar que la implementació respon al disseny
- Validar la infraestructura utilitzant-la per realitzar campanyes d'injecció de fallades en el prototipus del projecte FT4FTT

Contingut

- **Requisits**
- **Disseny**
- **Implementació**
- **Test de la infraestructura**
- **Conclusions**

Contingut

- **Requisits**

- **Disseny**

- **Implementació**

- **Test de la infraestructura**

- **Conclusions**

Requisits

(I)

- L'IIF ha de ser capaç d'**eliminar, modificar o retardar** una trama.
- L'IIF ha de ser capaç de reproduir escenaris que incloguin diversos **errors simultanis**.
- L'IIF ha de ser capaç d'injectar fallades **permanents i temporals**

Requisits

(II)

- L'IIF ha de ser capaç d'injectar fallades en els **dos sentits de la comunicació**
- L'IIF ha de poder **diferenciar** entre diferents **tipus de tràfic**. *Ethernet* i FTT
- L'IIF s'ha de poder configurar utilitzant un **llenguatge simple**.

Requisits (III)

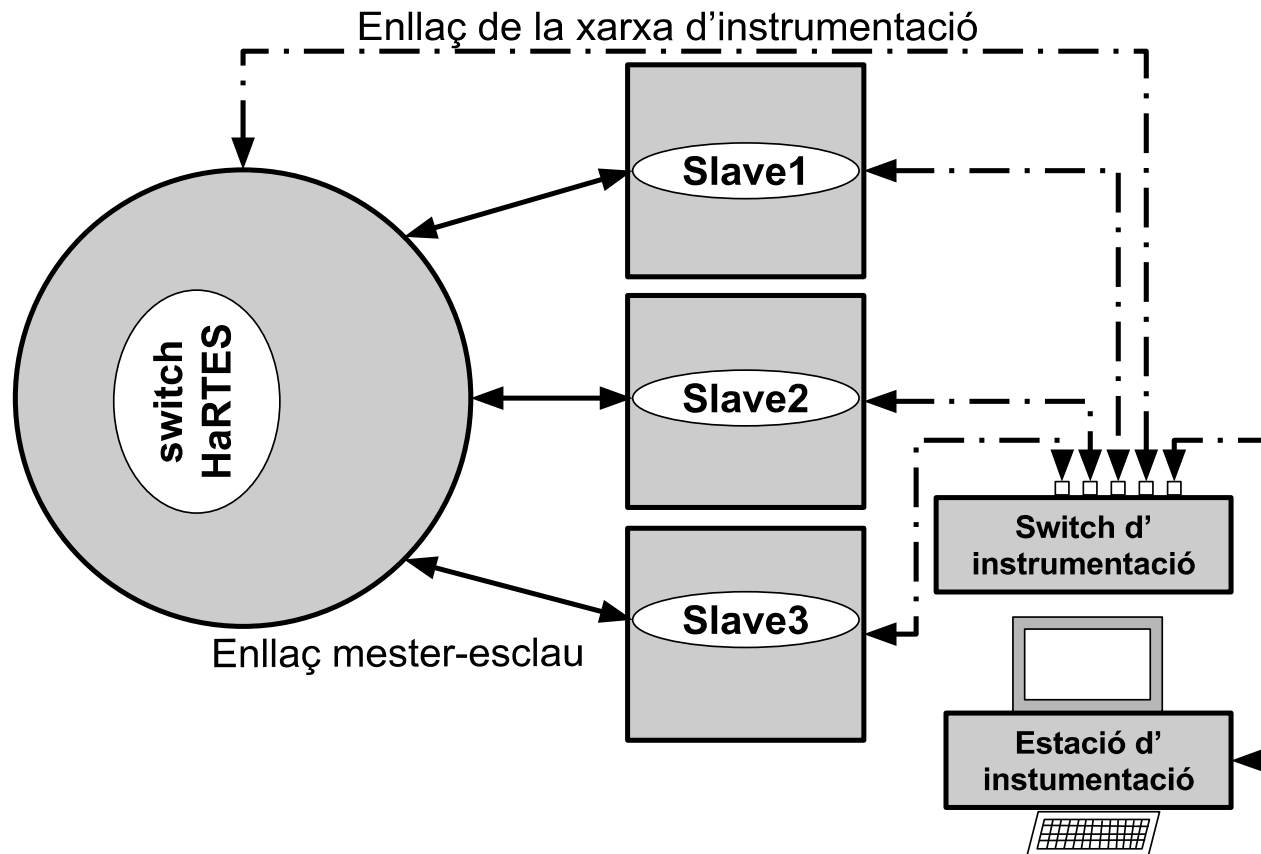
- L'IIF ha de ser **transparent** des del punt de vista de la xarxa
- L'IIF ha de ser capaç d'**adaptar**-se a diferent nombre d'elements de la xarxa
- L'IIF ha d'estar formada per **mòduls independents** i l'usuari s'ha de poder comunicar amb tots ells de manera **centralitzada**

Contingut

- **Requisits**
- **Disseny**
- **Implementació**
- **Test de la infraestructura**
- **Conclusions**

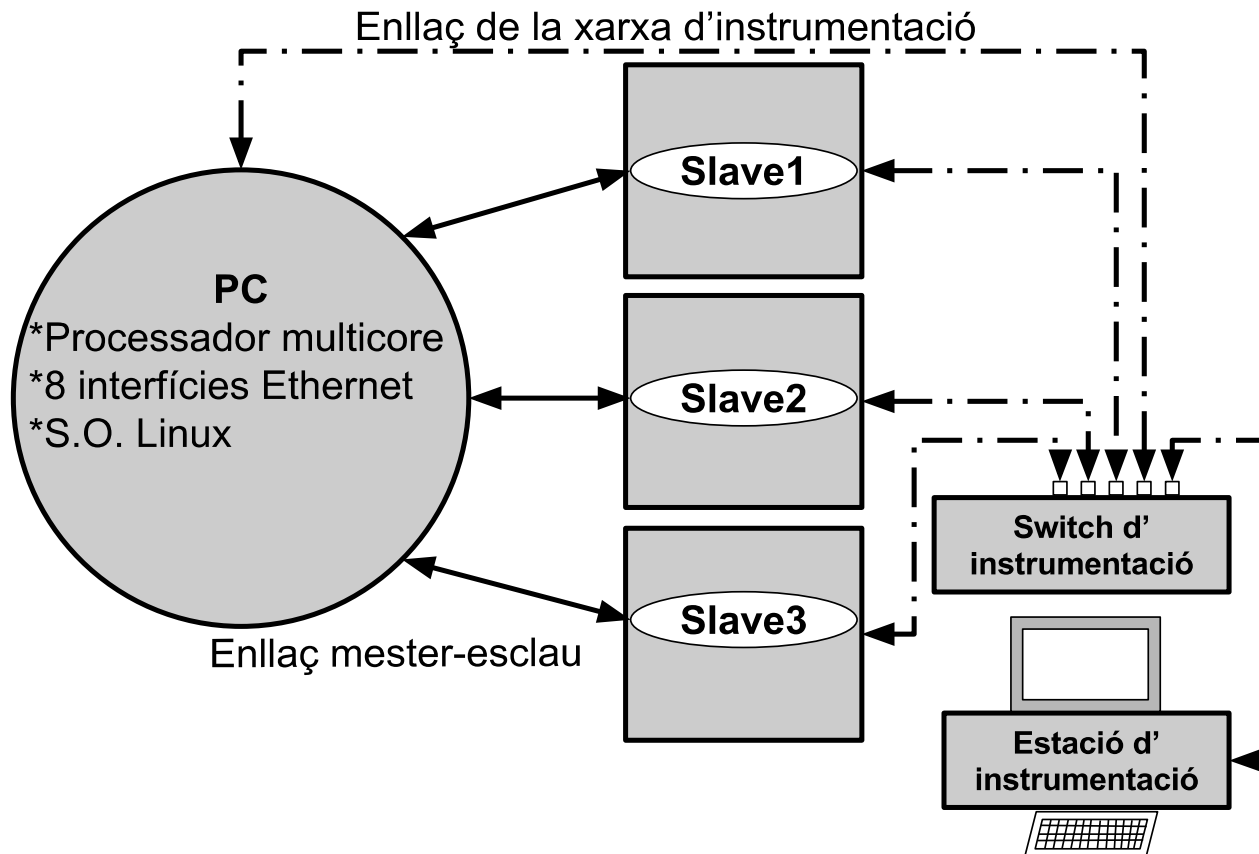
Disseny HaRTES

Prototipus HaRTES de FT4FTT



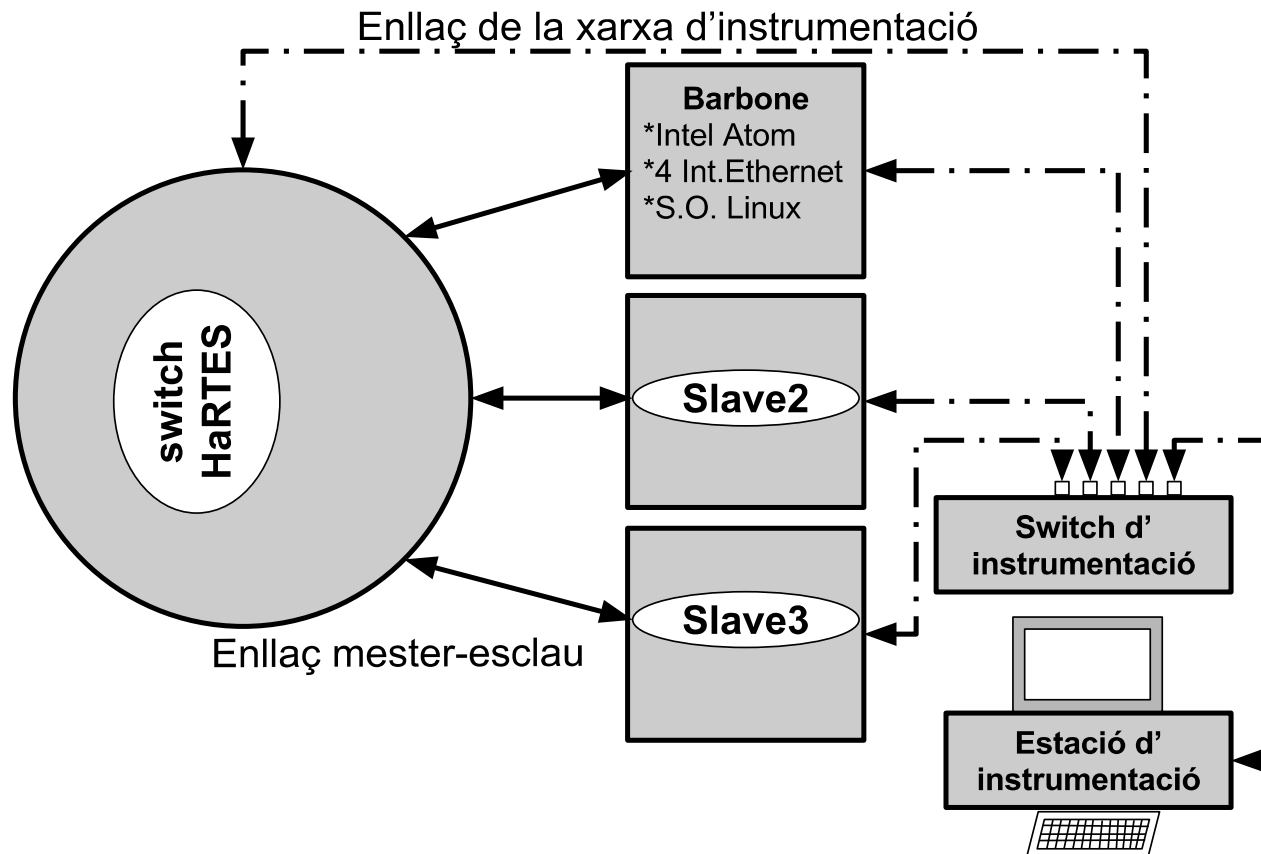
Disseny HaRTES

Prototipus HaRTES de FT4FTT



Disseny HaRTES

Prototipus HaRTES de FT4FTT



Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

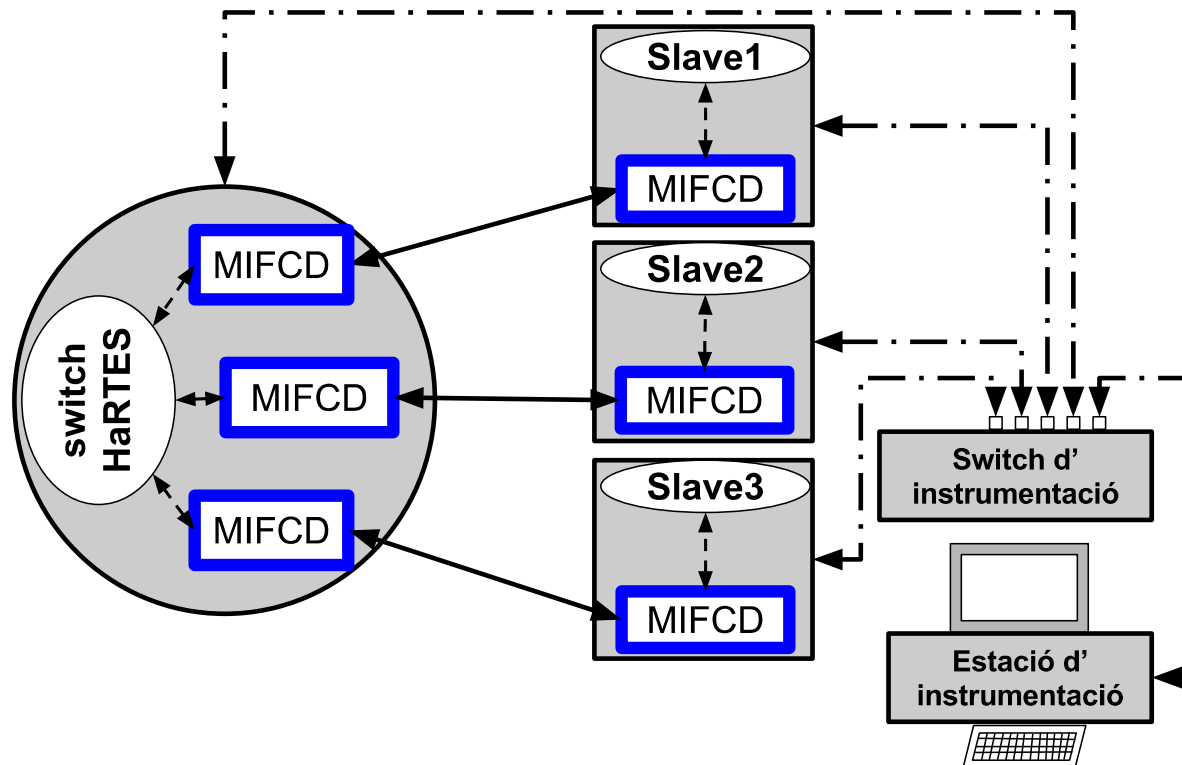
La infraestructura d'injecció de fallades està formada per un **conjunt de mòduls** independents i cada un té una **tasca específica** per realitzar la **injecció de fallades**

- Mòdul d'injecció de fallades i captura de dades (**MIFCD**)
- Mòdul de control (**MC**)
- Mòdul de processament i anàlisi de dades (**MPAD**)

Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

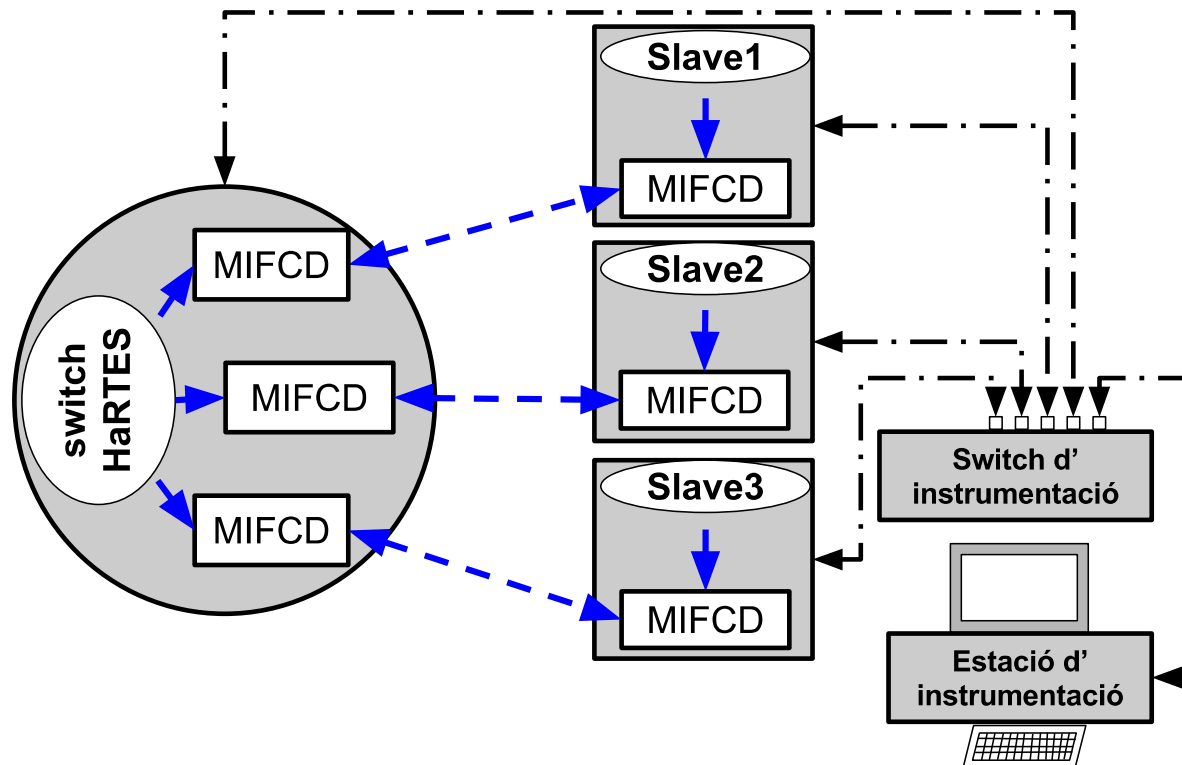
Un MIFCD per cada interfície de xarxa



Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

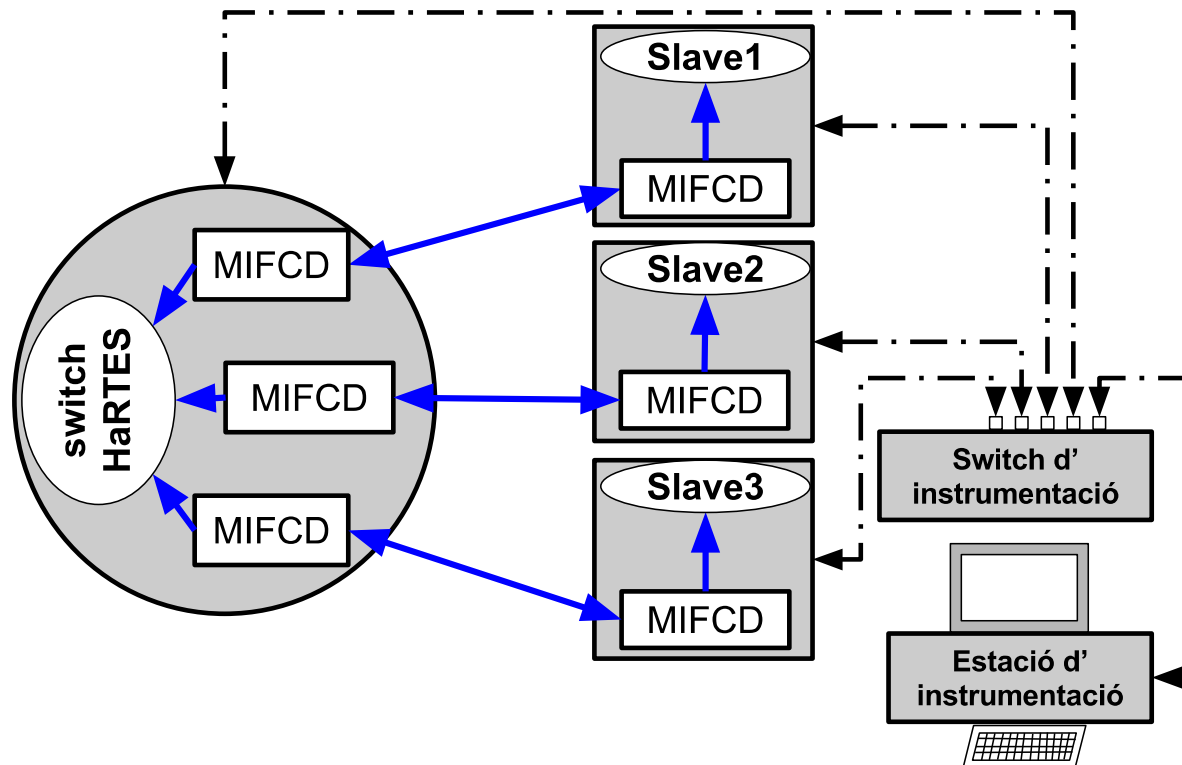
Un MIFCD per cada interfície de xarxa: Intercepció



Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

Un MIFCD per cada interfície de xarxa: Transmissió

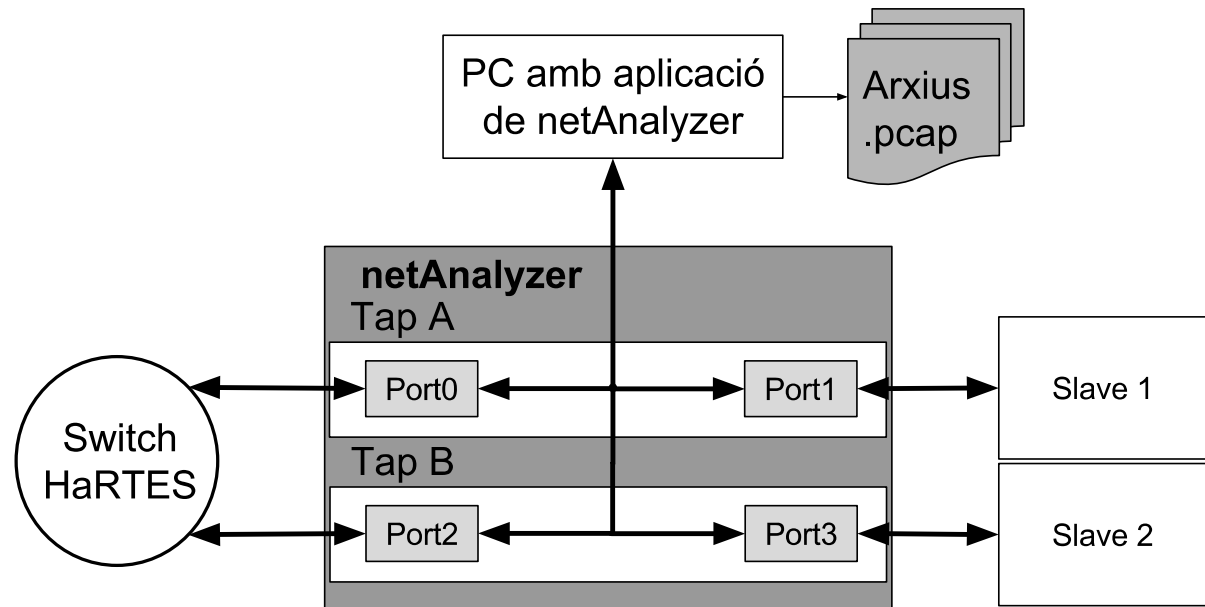


Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

•Captura de trames

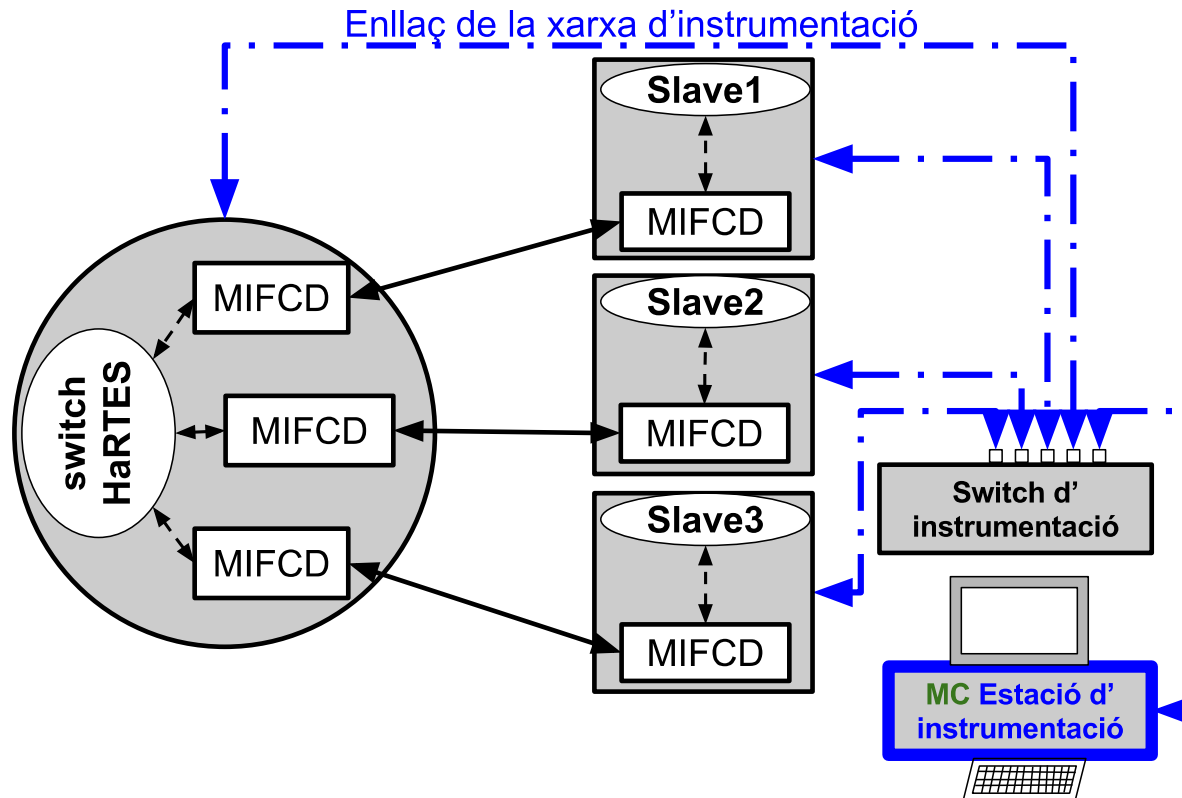
- Captura dels MIFCDs
- Analitzador comercial netAnalyzer B500G-RE



Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

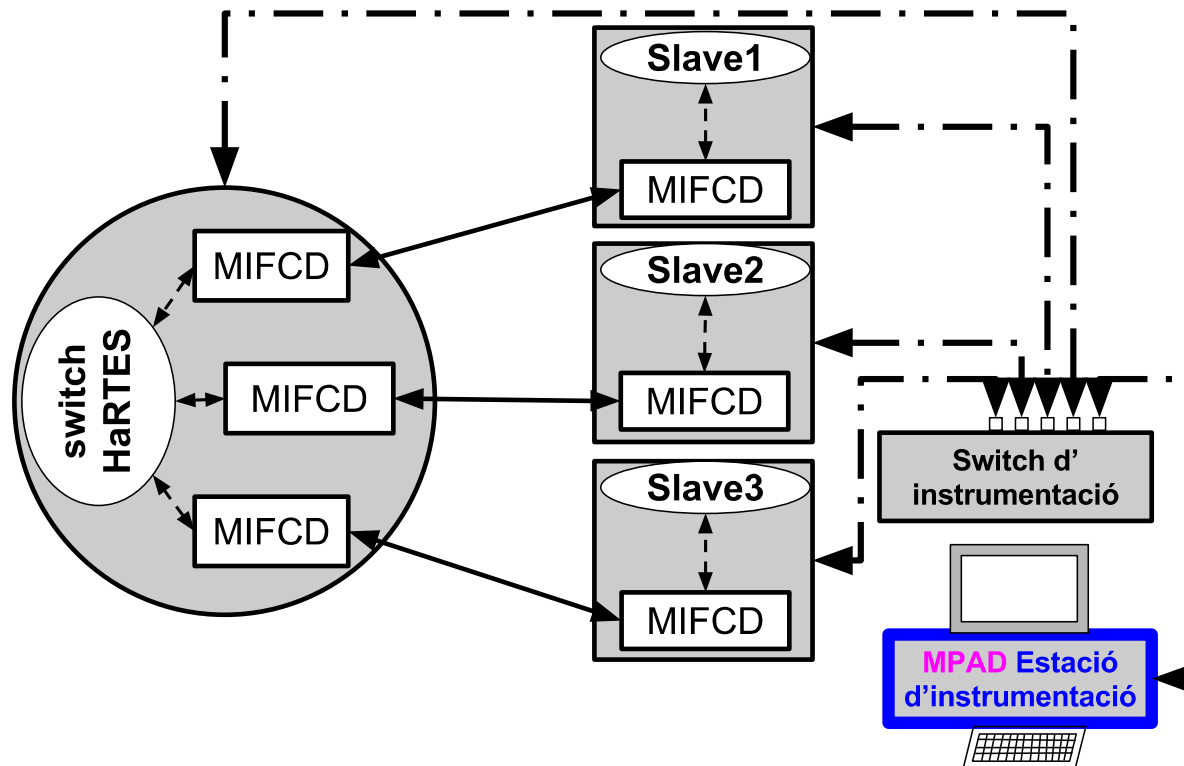
El MC controla els MIFCDS des de l'estació d'instrumentació



Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

L'MPAD processa i analitza captures realitzades



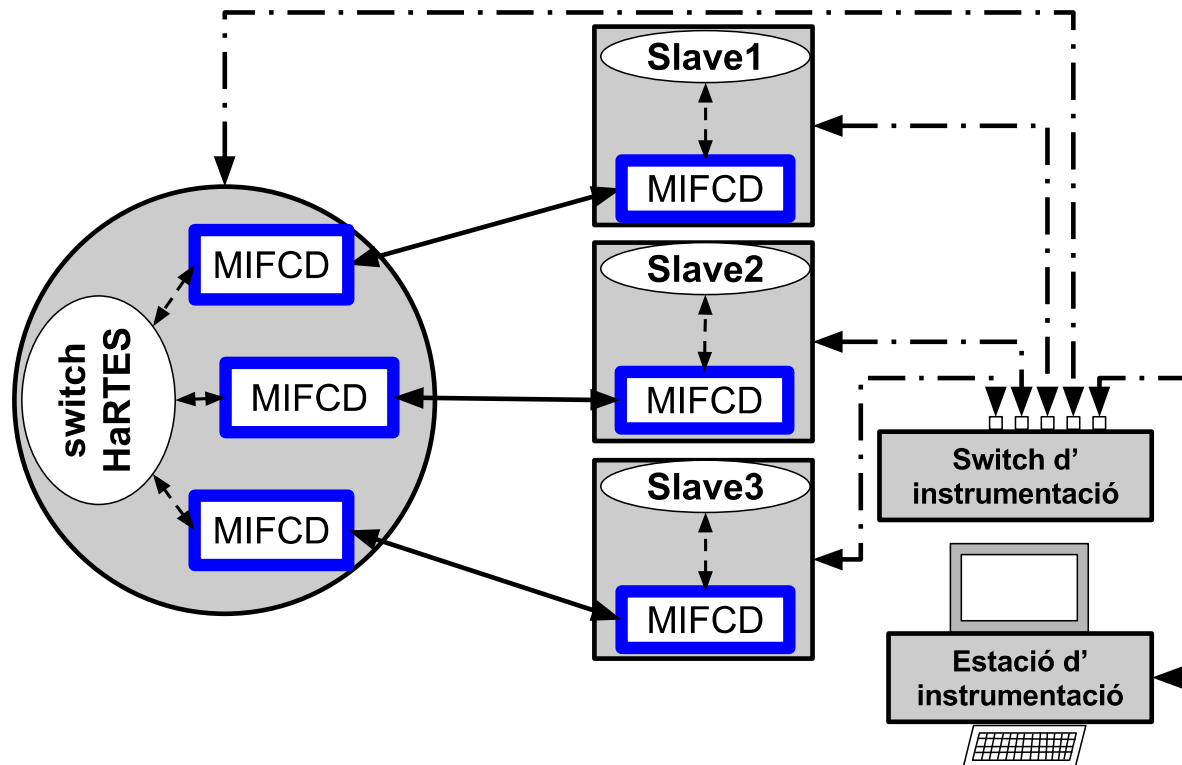
Disseny

Infraestructura d'injecció de fallades

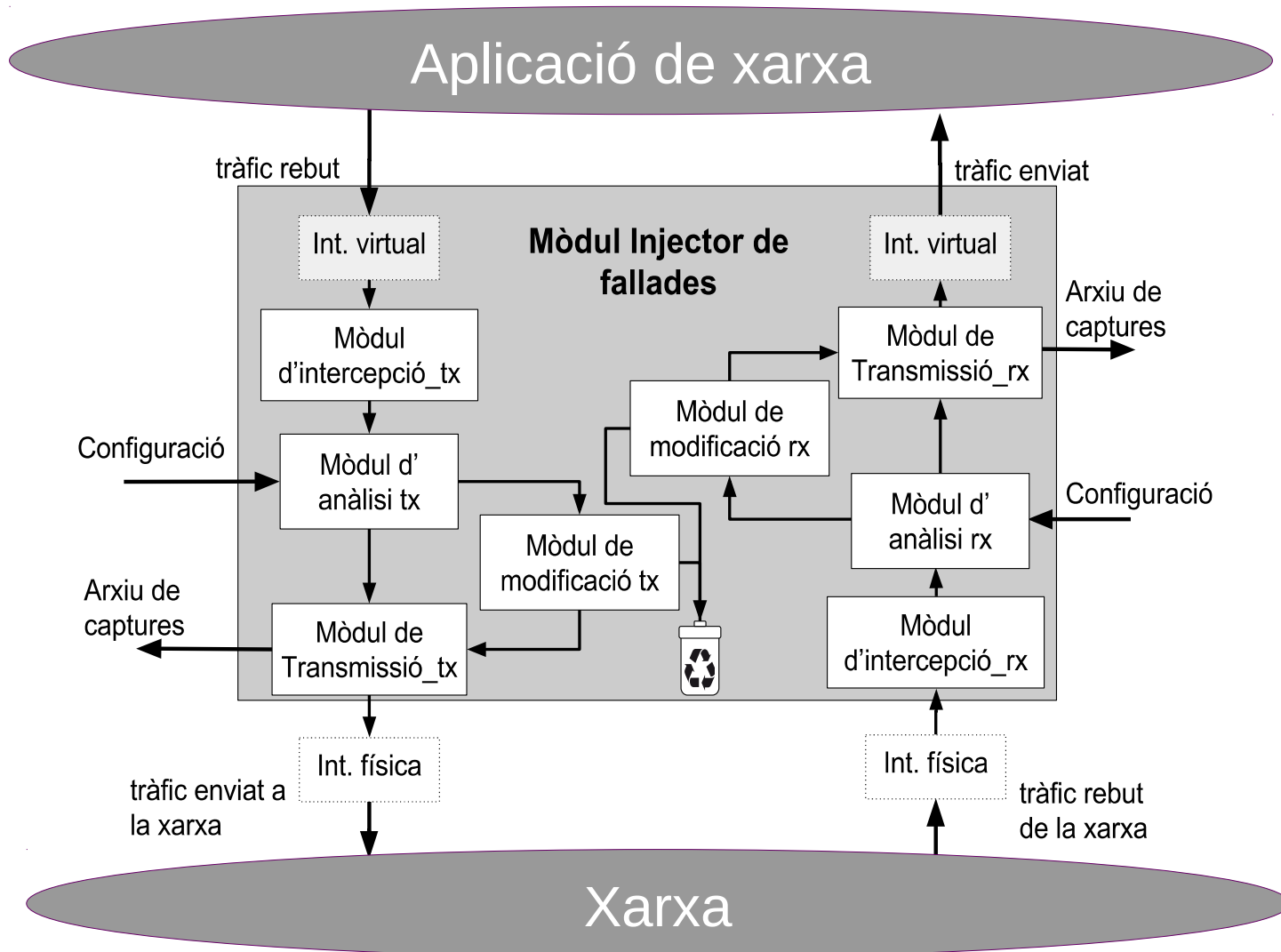
- L'**MPAD** s'utilitza per processar i analitzar la informació obtinguda durant l'experiment per generar un informe de resultats final
- S'executa a l'estació d'instrumentació una vegada finalitzat l'experiment

Disseny MIFCD

Procés d'injecció de fallades que segueix un MIFCD



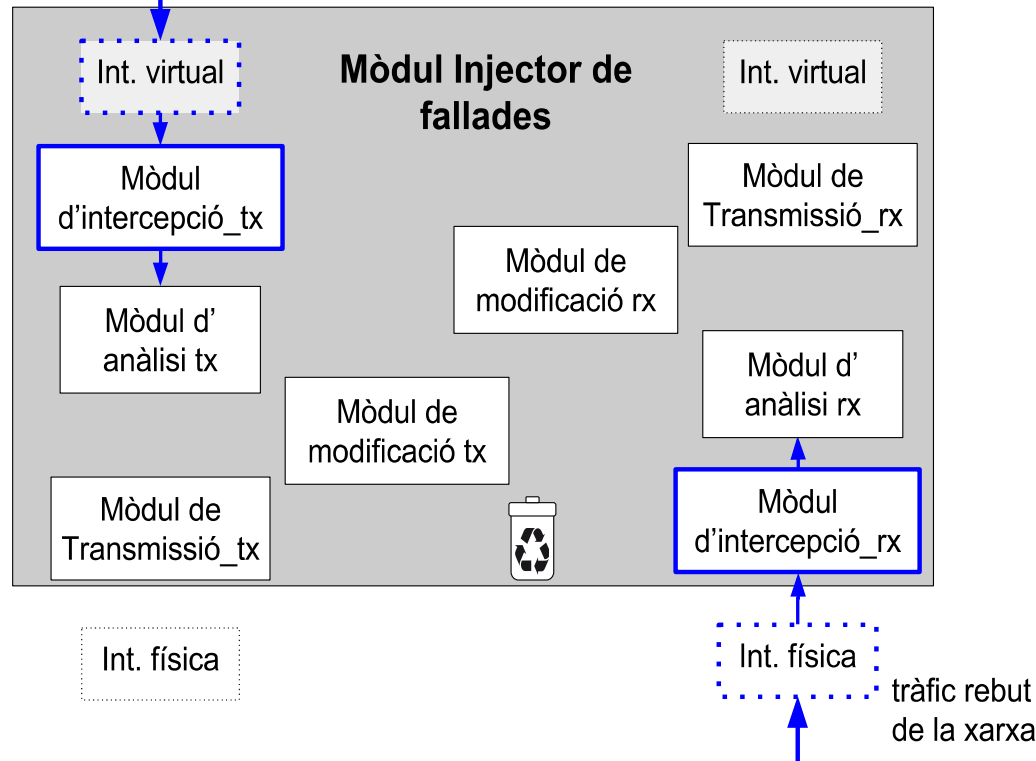
Disseny MIFCD



Disseny MIFCD

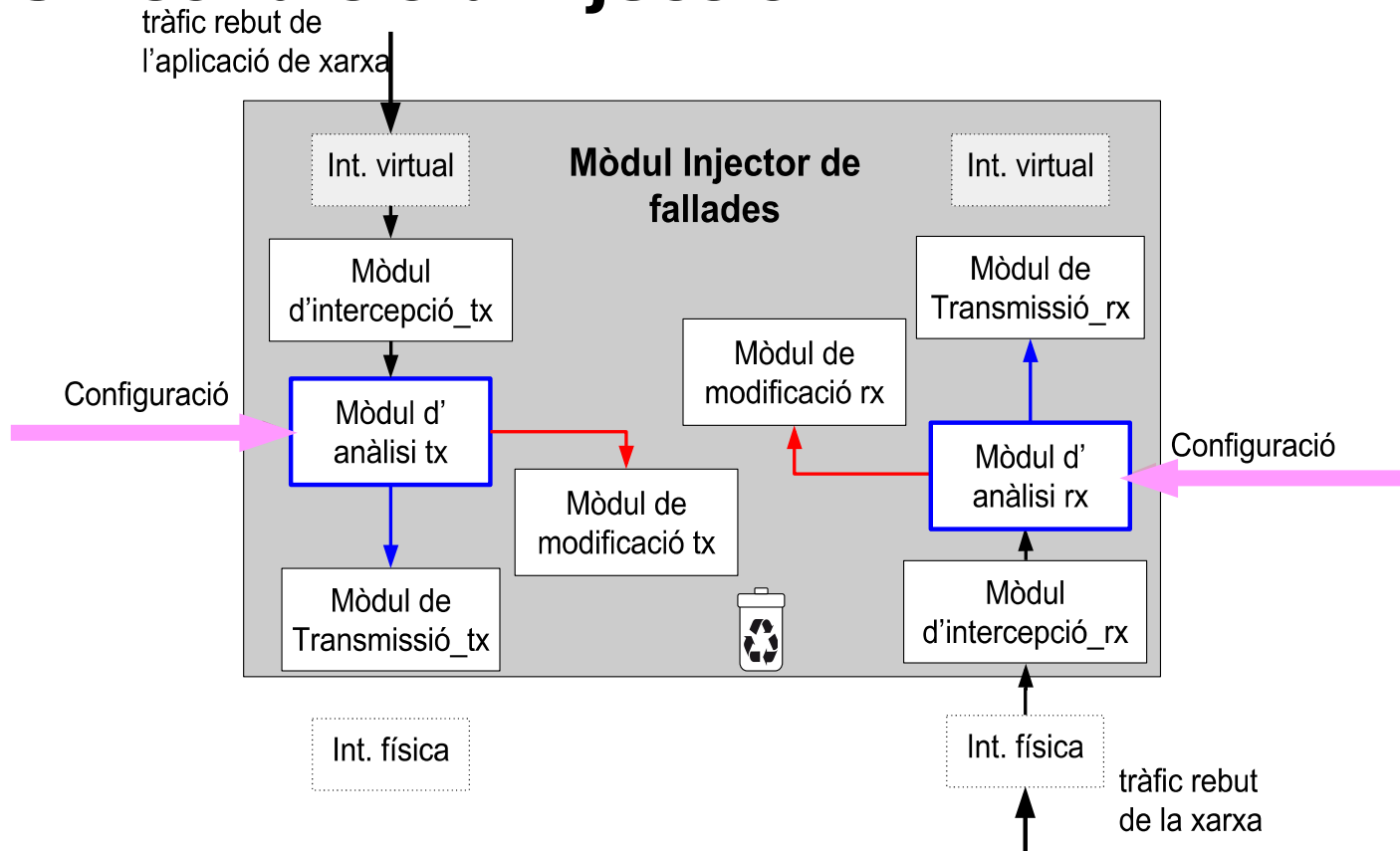
Intercepció

tràfic rebut de
l'aplicació de xarxa



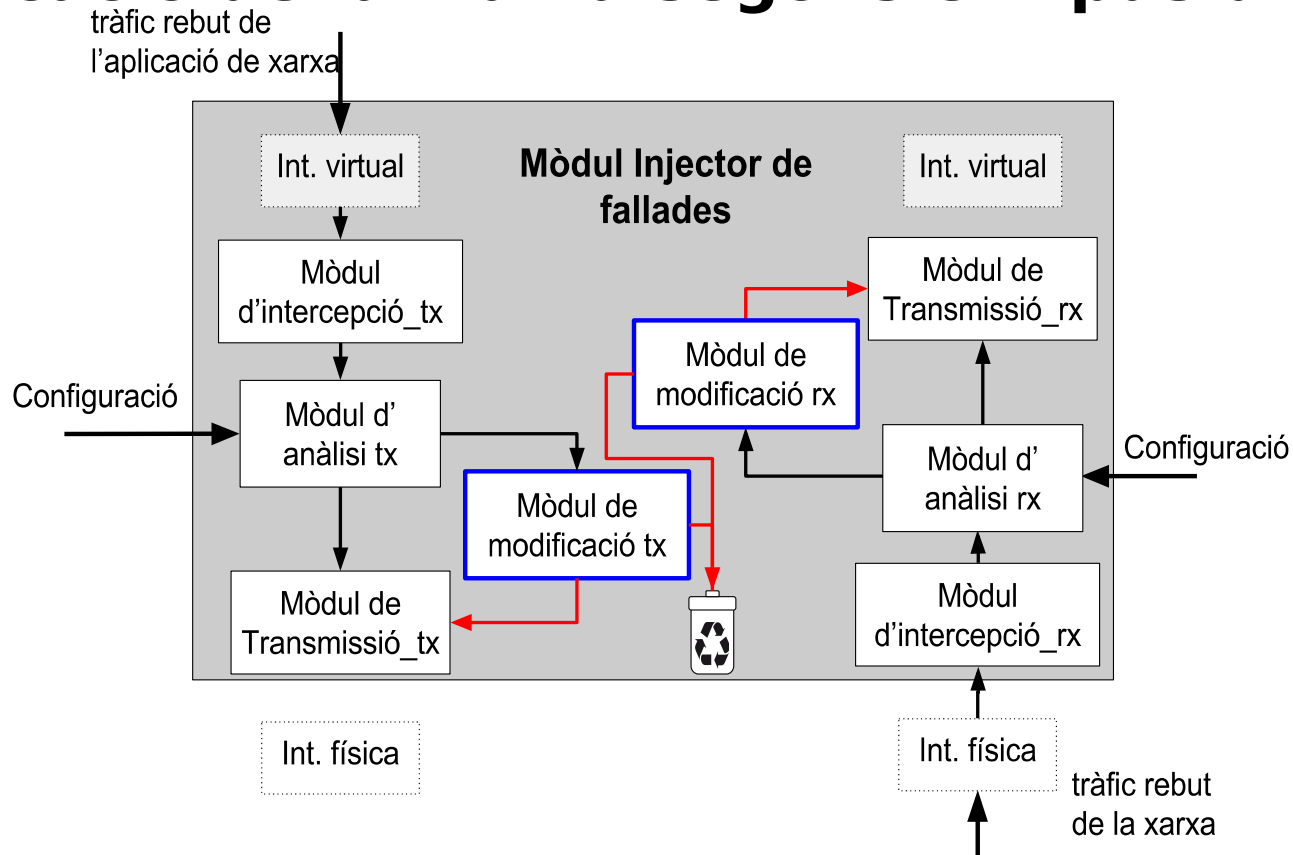
Disseny MIFCD

Anàlisi: Condició d'injecció



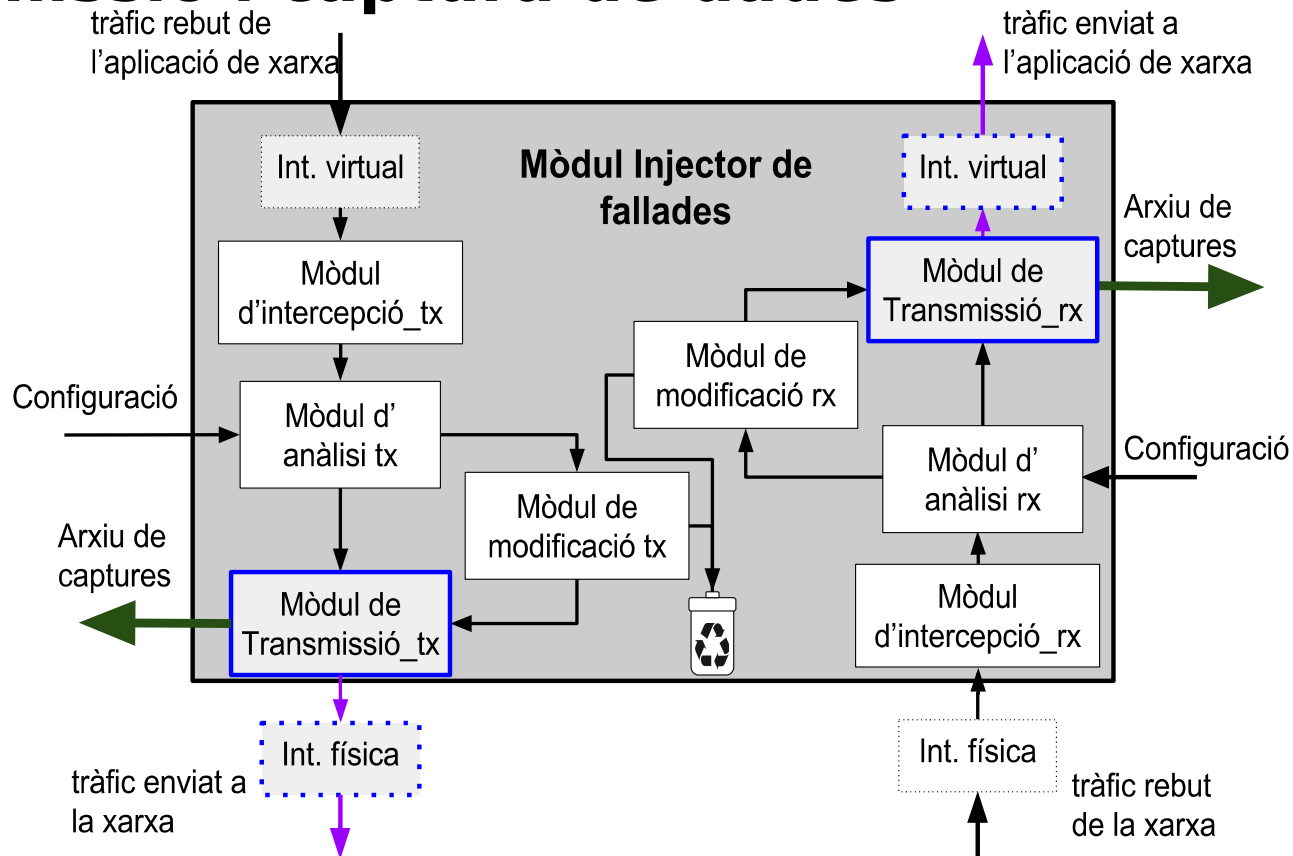
Disseny MIFCD

Modificació de la trama segons el tipus d'error



Disseny MIFCD

Transmissió i captura de dades



Disseny

Condicions d'injecció

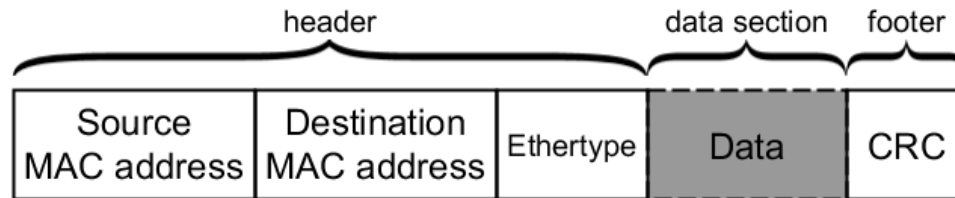
• **Condicions d'injecció**

- El **valor d'un byte** qualsevol de la trama
- El **valor d'un camp** de la trama
- Les condicions que han de complir els valors poden ser **=, !=, <, >**, o un rang de valors.

Disseny

Condicions d'injecció: camps de trama

•Camps trama Ethernet



•Camps FTT

Trigger Message

Tipus de missatge FTT	num TMs per EC	seq_no de TM	Temps entre TMs	seq_no EC	Temps EC	num missatges Sinc en EC	num missatges Asinc en EC	num missatges ACK
-----------------------	----------------	--------------	-----------------	-----------	----------	--------------------------	---------------------------	-------------------

Síncron/Asíncron

Tipus de missatge FTT	identificador de l'stream	seq (reserved)	Flag	Fragment seq	Identificador del node origen	Dades
-----------------------	---------------------------	----------------	------	--------------	-------------------------------	-------

Disseny

Tipus d'errors: Domini

- **Domini temporal**

- Retard d'una trama
- Omissió

- **Domini valor**

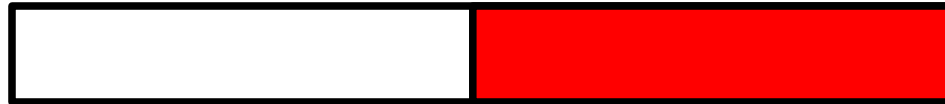
- Modificació del valor d'un camp o un byte de la trama

Disseny

Tipus d'errors: Durada

Amb les condicions d'injecció es pot determinar la durada de l'error

- Permanents



- Transitoris



- Intermitents



Disseny

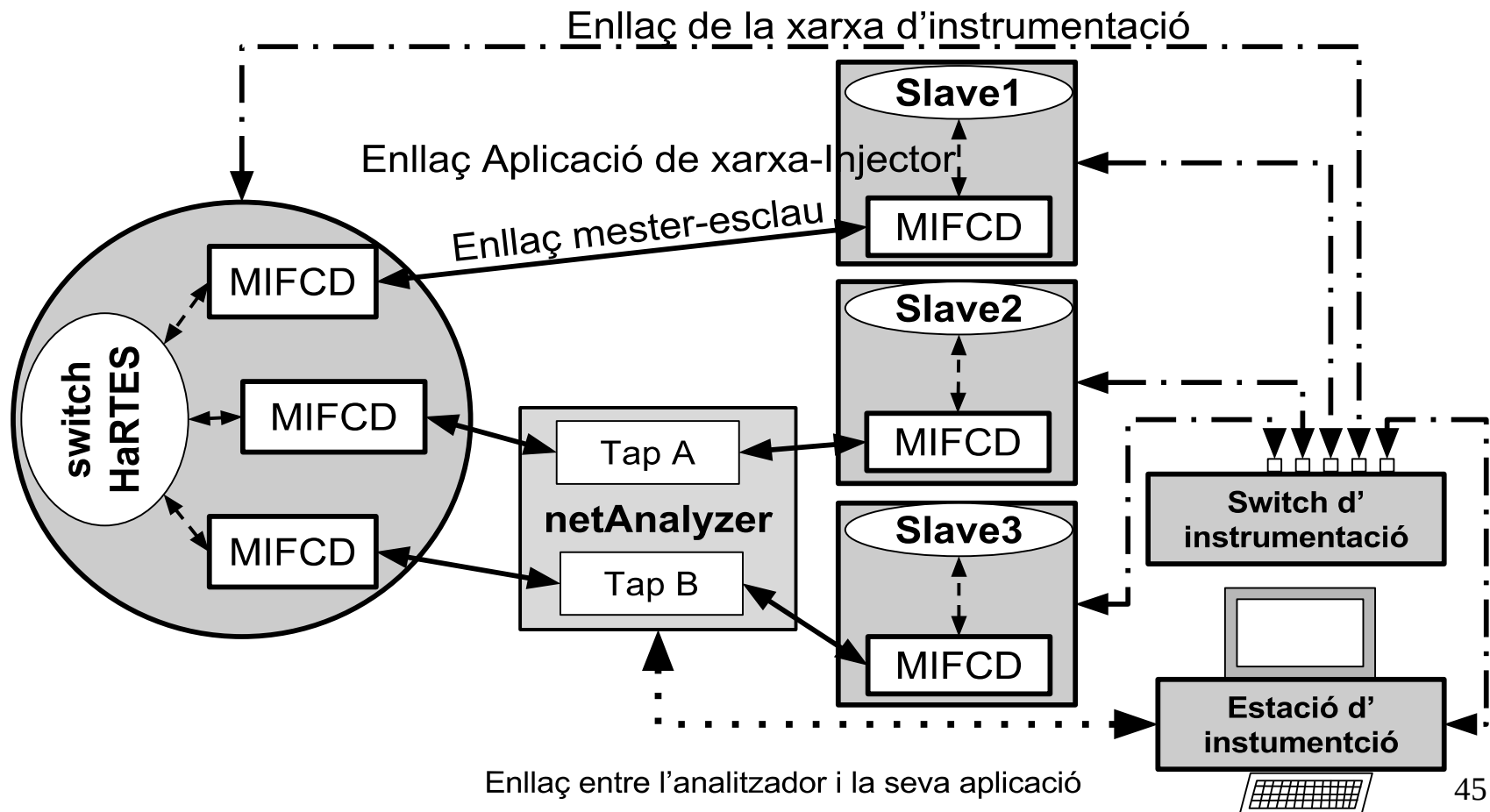
Arxiu de configuració

- **Arxiu xml amb diferents elements**
- **Informació de les interfícies associades al mòdul**
- **Errors en uplink i/o downlink**
 - Condició d'injecció
 - Tipus d'error
 - Modificacions pròpies del tipus d'error
- **Múltiples errors en un mateix arxiu**
- **Mode captura i mode injecció**

Disseny

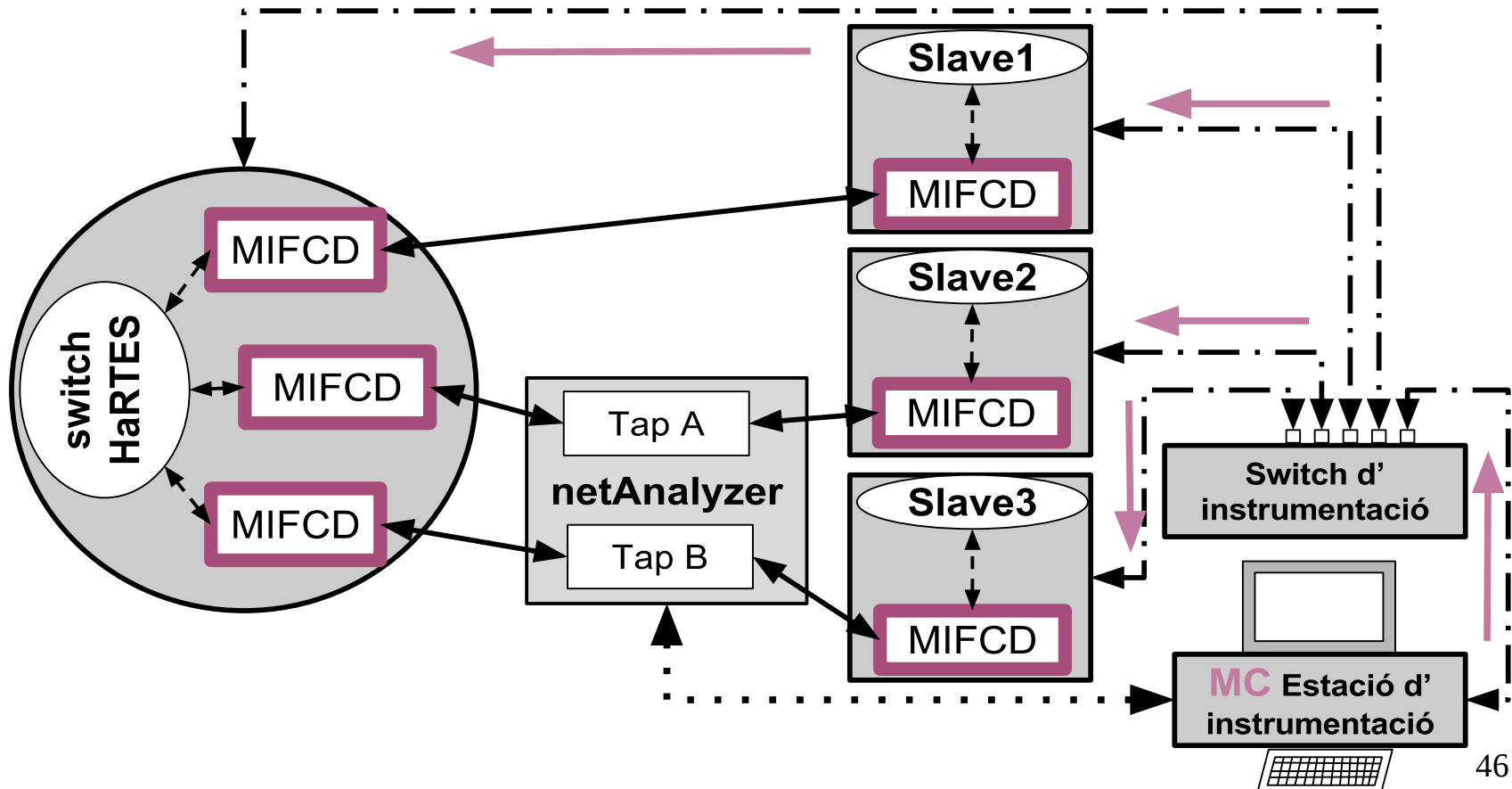
Procediment d'un experiment

Infr. d'injecció de fallades amb netAnalyzer



Procediment d'un experiment

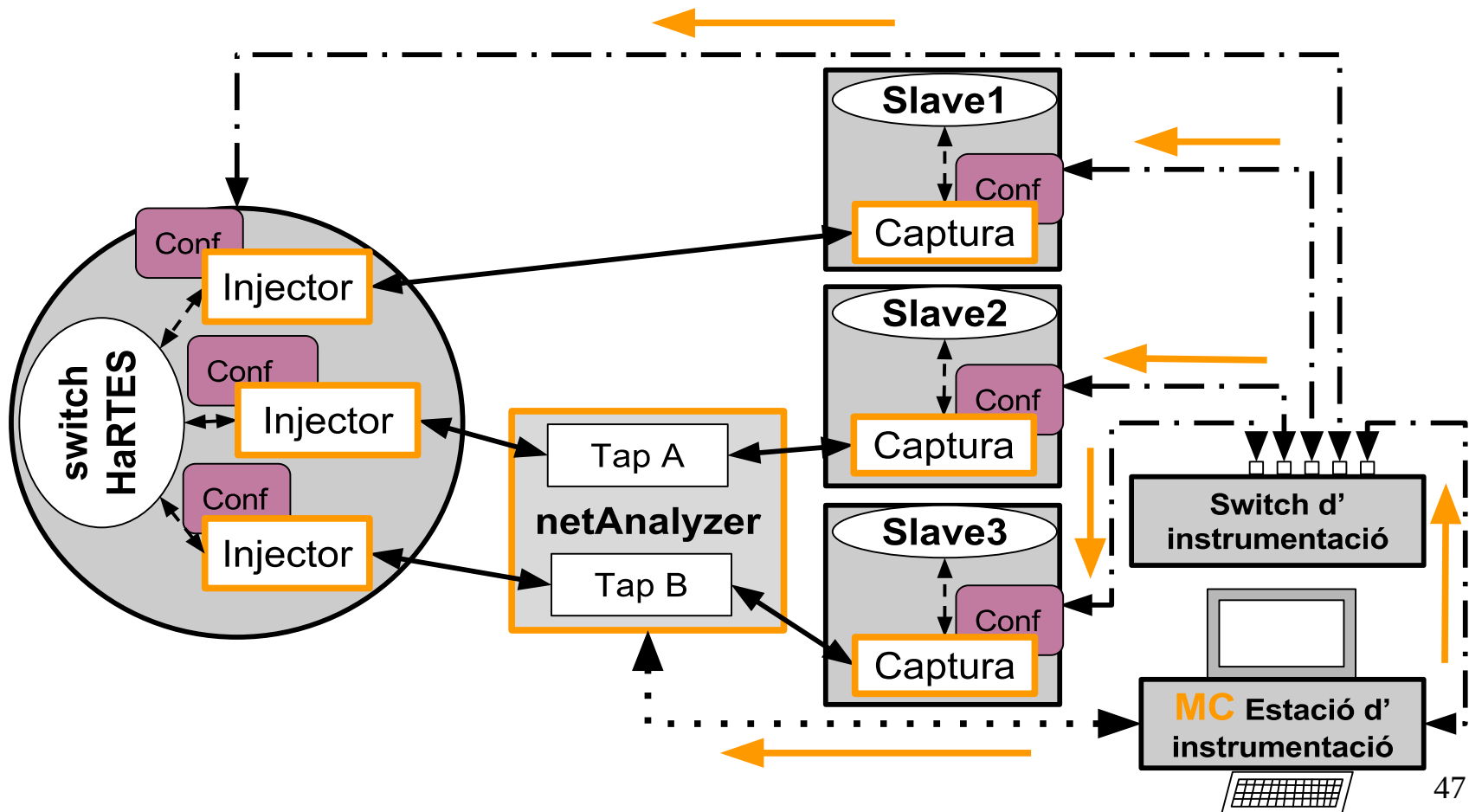
Configuració infraestructura d'injecció de fallades



Disseny

Procediment d'un experiment

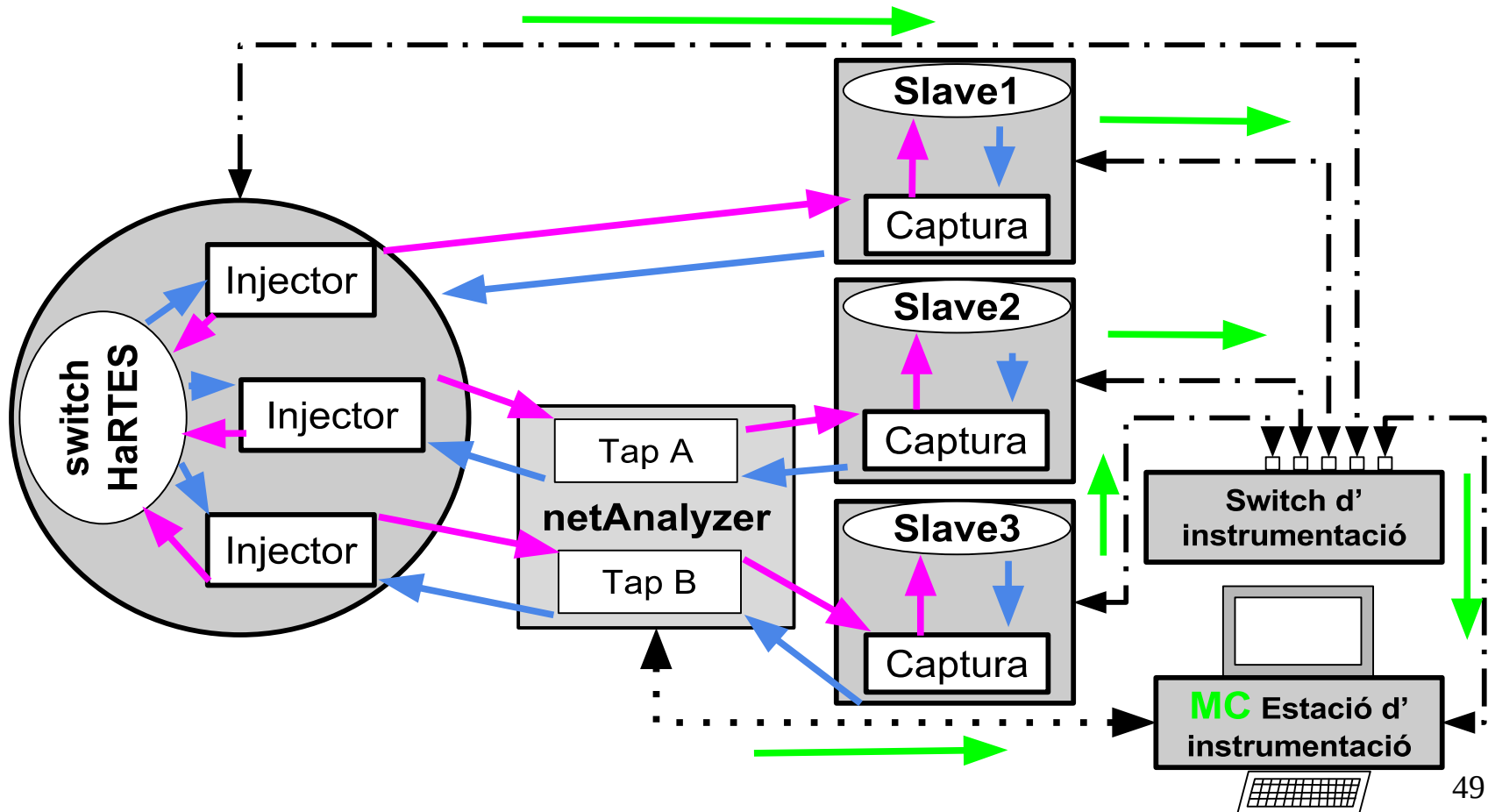
Inici d'execució



Disseny

Procediment d'un experiment

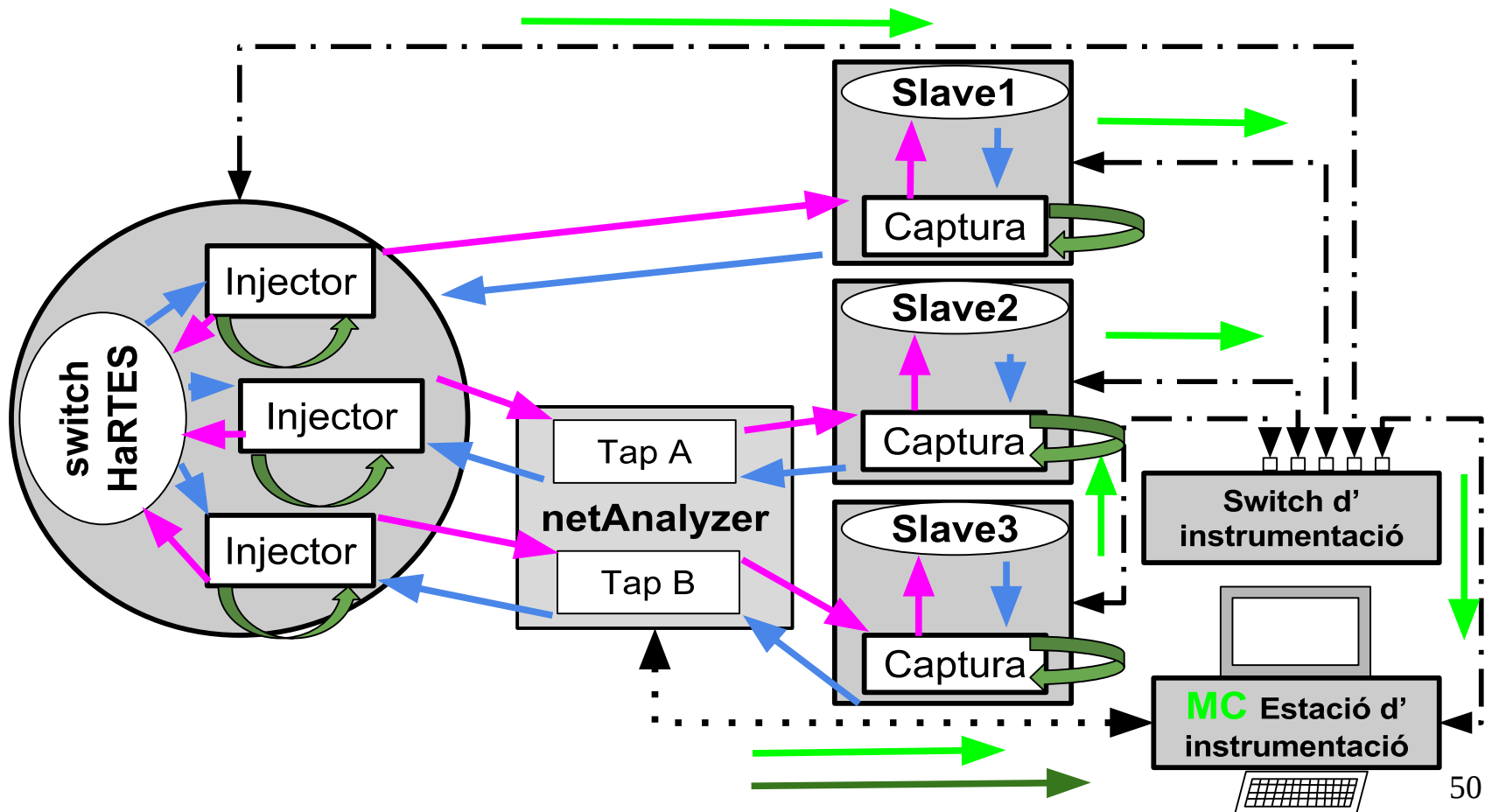
Injecció de fallades: Injecció



Disseny

Procediment d'un experiment

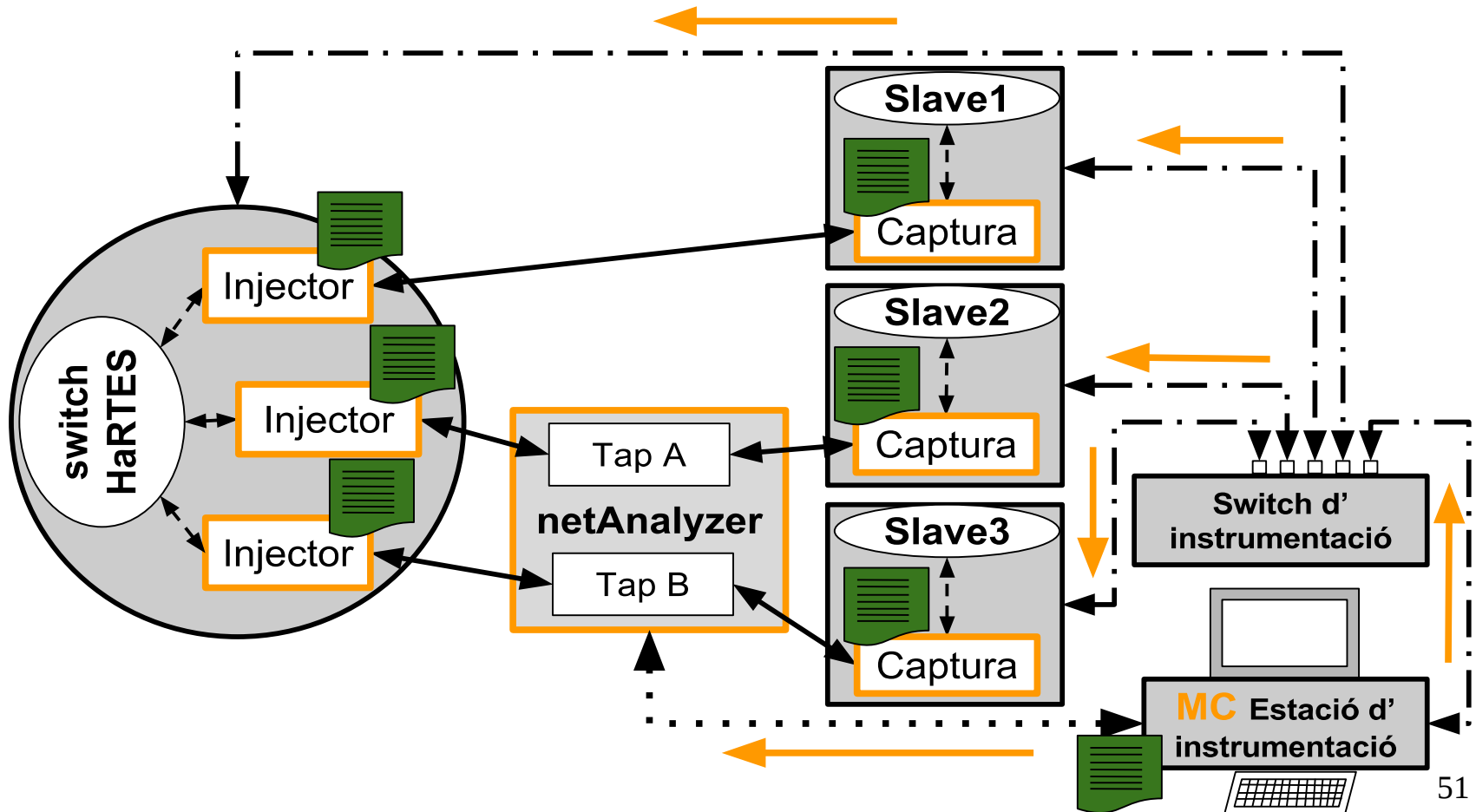
Injecció de fallades: Captura de trames



Disseny

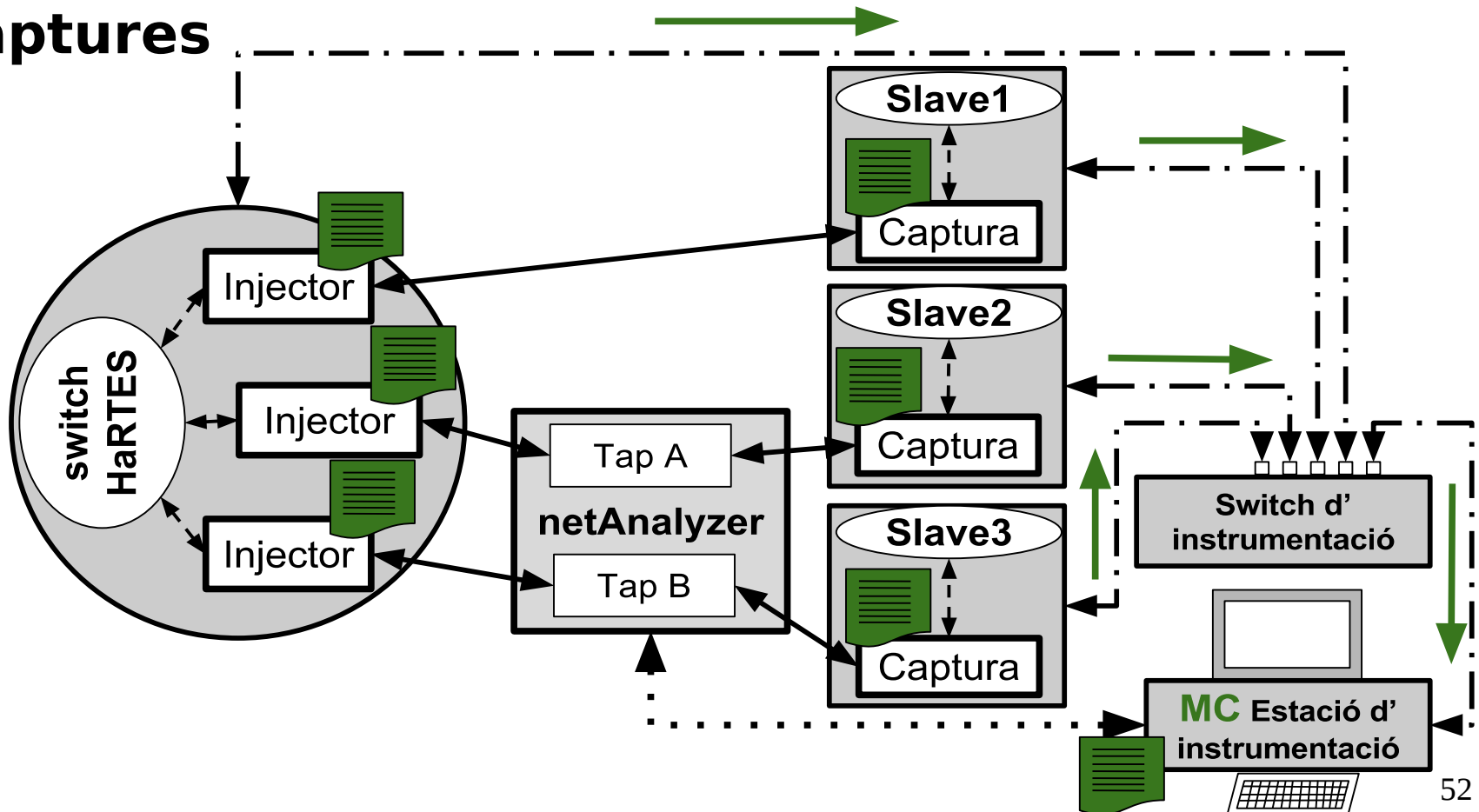
Procediment d'un experiment

Final experiment: generació de fitxer de captures



Procediment d'un experiment

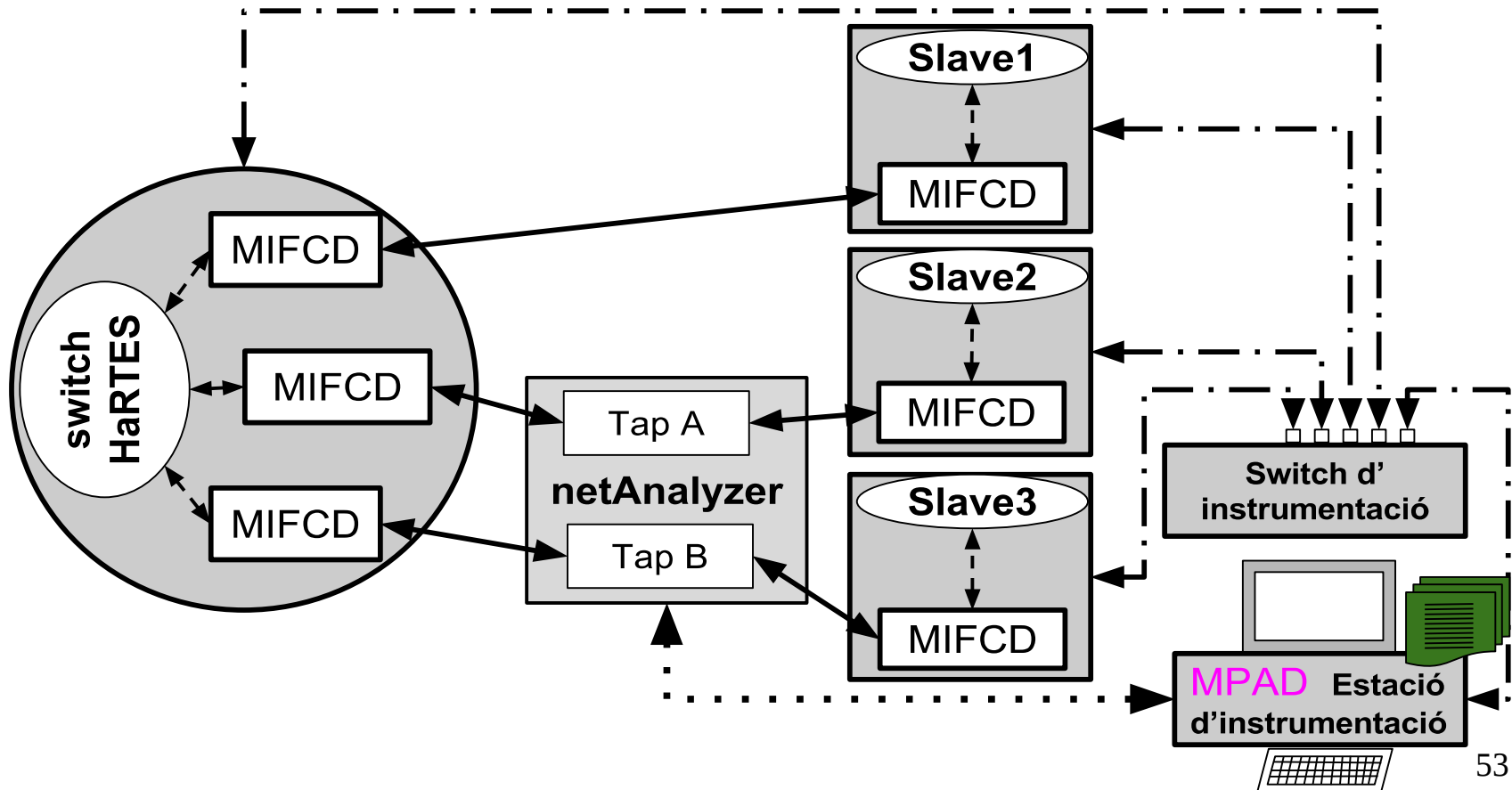
Final d'experiment: Recuperació dels fitxers de captures



Disseny

Procediment d'un experiment

Generam l'informe final amb l'MPAD



Contingut

- **Requisits**
- **Disseny**
- **Implementació**
- **Test de la infraestructura**
- **Conclusions**

Implementació

- **Mòdul de control (MC)**
- **Mòduls d'injecció de fallades i captura de dades (MIFCD)**
- **Mòdul de processament i anàlisi de dades (MPAD)**

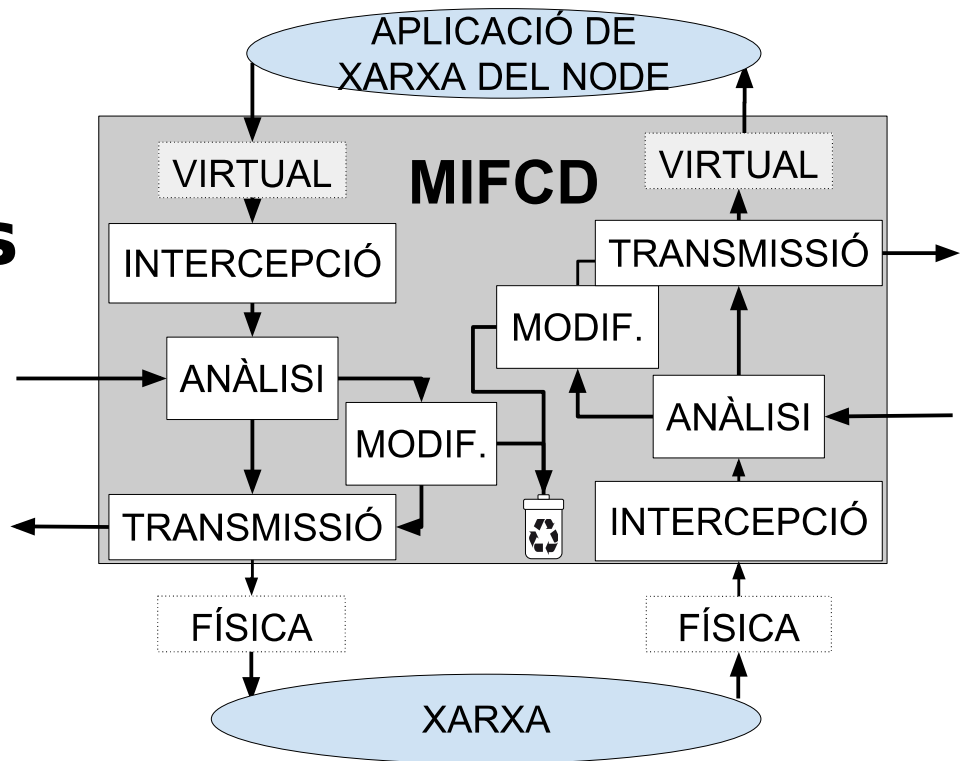
Implementació

MC

- **S'executa a l'estació d'instrumentació**
- **Connexió amb *secure shell* als nodes de la xarxa**
 - Configuració dels MIFCDs
 - Inici dels MIFCDs i l'aplicació de xarxa
 - Recuperació de fitxers de captures.
- **Aplicació de final d'experiment**
- **Control del netAnalyzer**

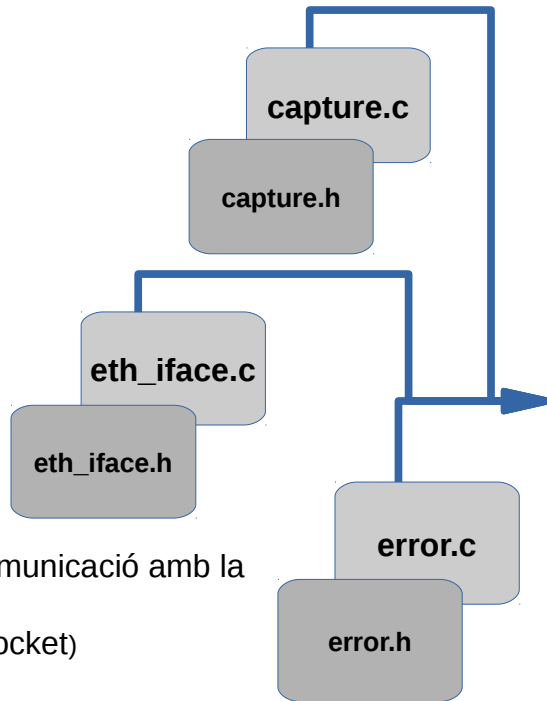
Implementació MIFCD

- Programat en llenguatge C
- S'executa als nodes de la xarxa
- Un mòdul per interfície de xarxa



Implementació MIFCD

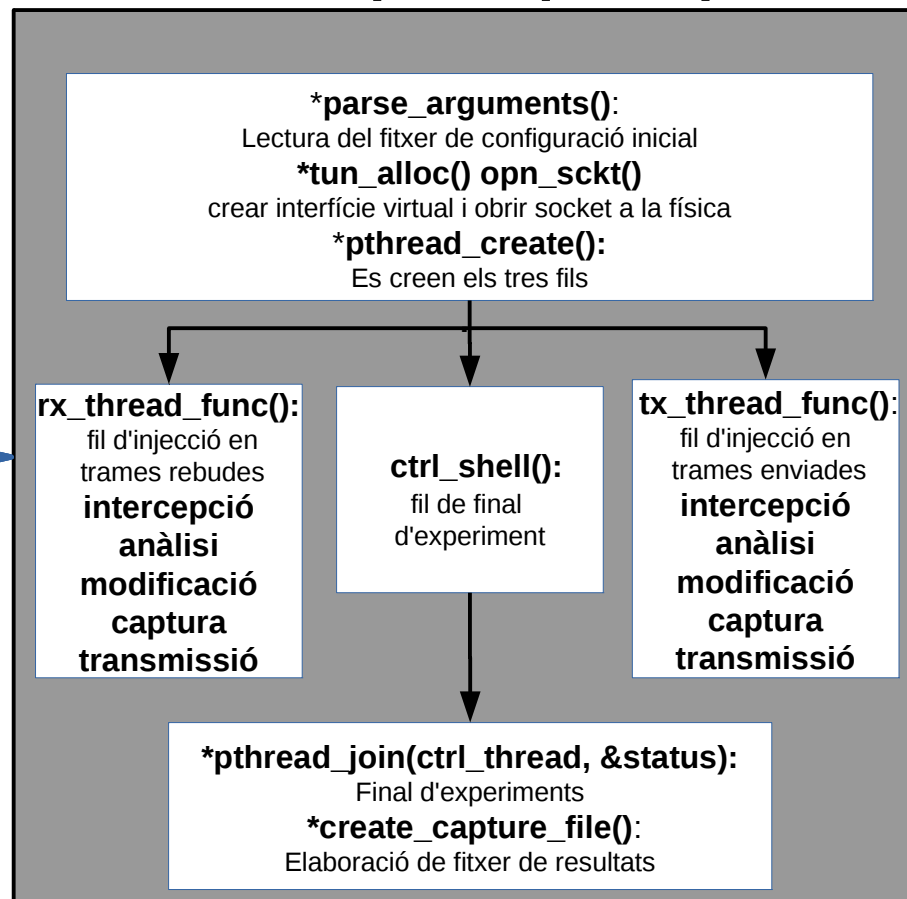
Funcions de captura de trames enviades i
marques temporals al fitxer de resultats



Funcions de comunicació amb la
interfície física
(obrir i tancar socket)

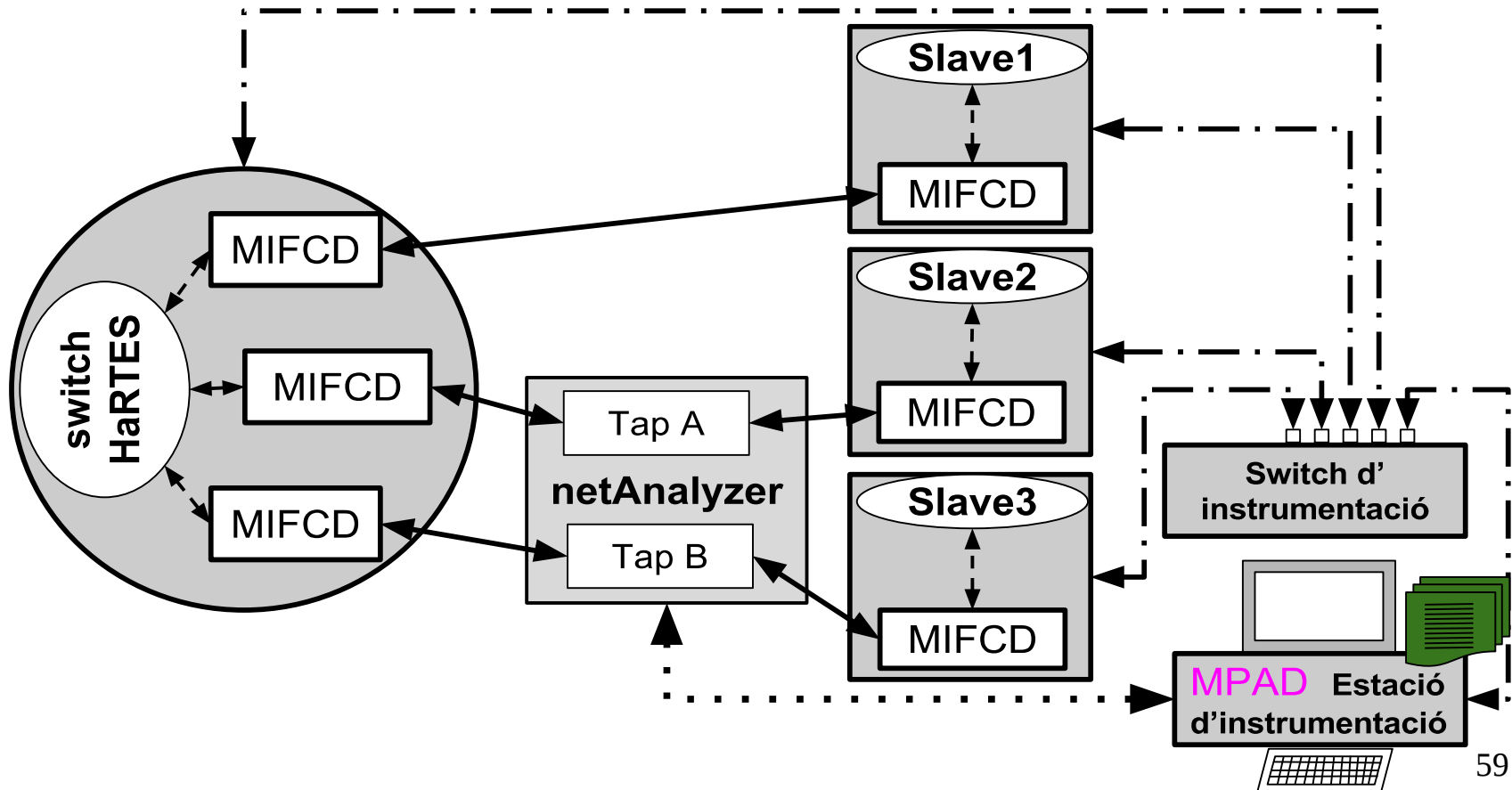
Funcions per a l'anàlisi i
injecció d'errors

mifcd.c (arxiu principal)



Imeplentació MPAD

Generar l'informe de resultats final



Implementació MPAD

- S'executa a l'estació d'instrumentació
- Processar i analitzar els fitxers de captures dels MIFCDs i del netAnalyzer
- Scripts *bash* amb *gawk* i altres comandes del S.O. com *grep* o *pr*
- Tshark per fitxers pcap del netAnalyzer

Contingut

- **Requisits**
- **Disseny**
- **Implementació**
- **Test de la infraestructura**
- **Conclusions**

Test de la infraestructura

• **Test del comportament de la IIF**

- Verificació la implementació es correspon amb el disseny
- Impacte de la IIF: Retard introduït en la comunicació

• **Exemples d'ús de la IIF en casos reals**

- Avaluació diversos mecanismes de tolerància de fallades
- Avaluació d'aturada de components d'una xarxa FTTRS

Test de la infraestructura

• **Test del comportament de la IIF**

- Verificació la implementació es correspon amb el disseny
- Impacta de la IIF: Retard introduït en la comunicació

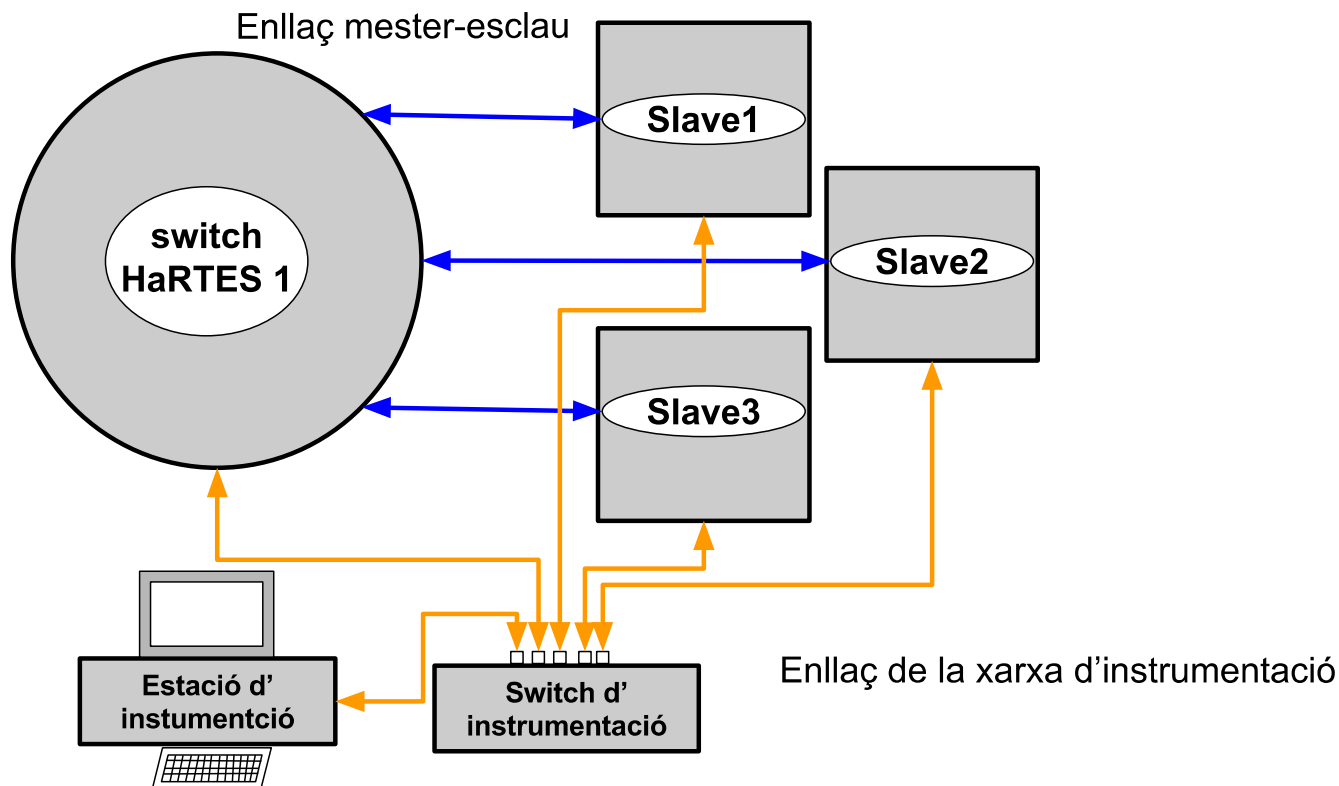
• **Exemples d'ús de la IIF en casos reals**

- Avaluació diversos mecanismes de tolerància de fallades
- Avaluació d'aturada de components d'una xarxa FTTRS

Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

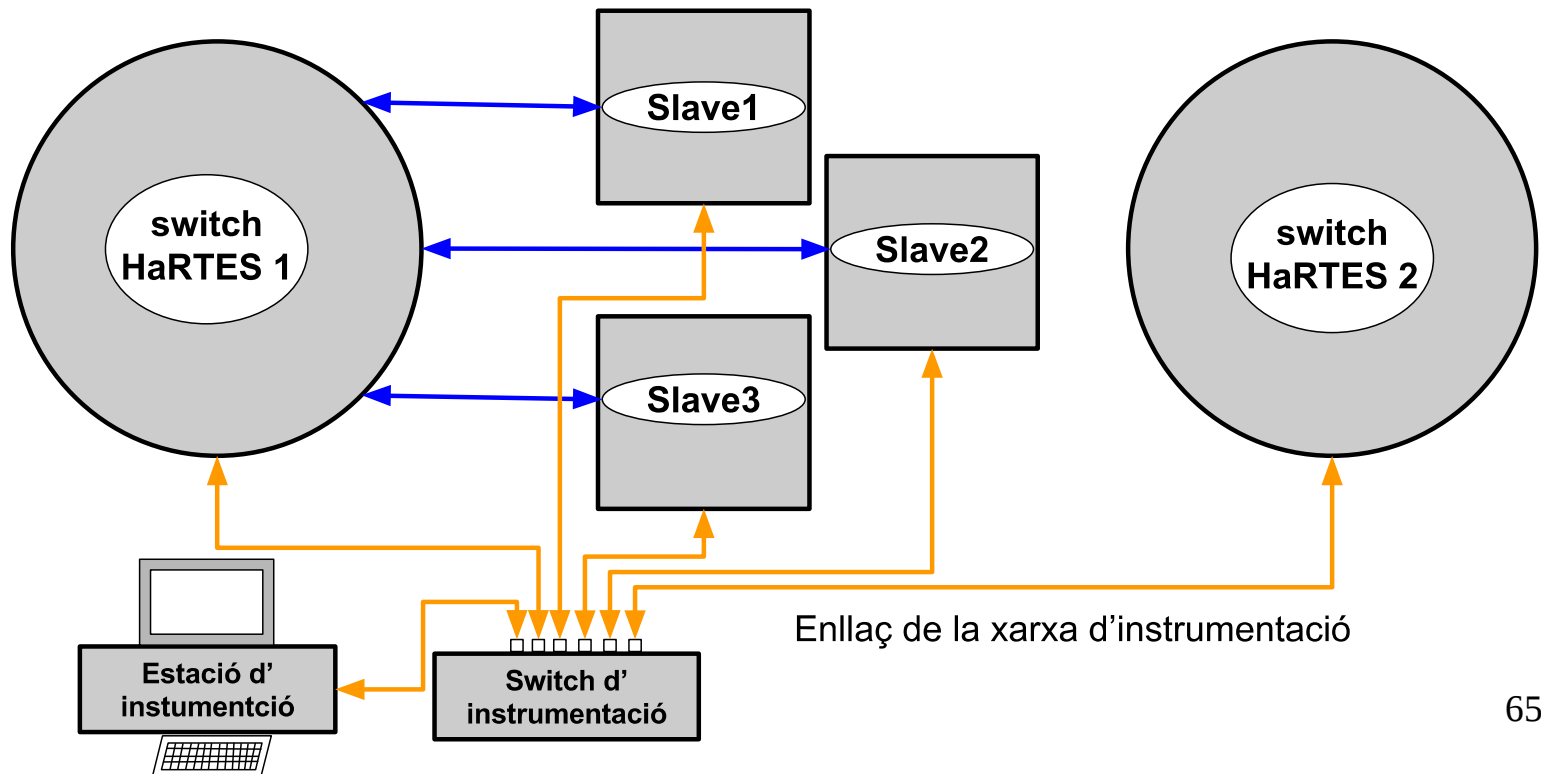
Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS): Partim de HaRTES per duplicar l'estrella



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

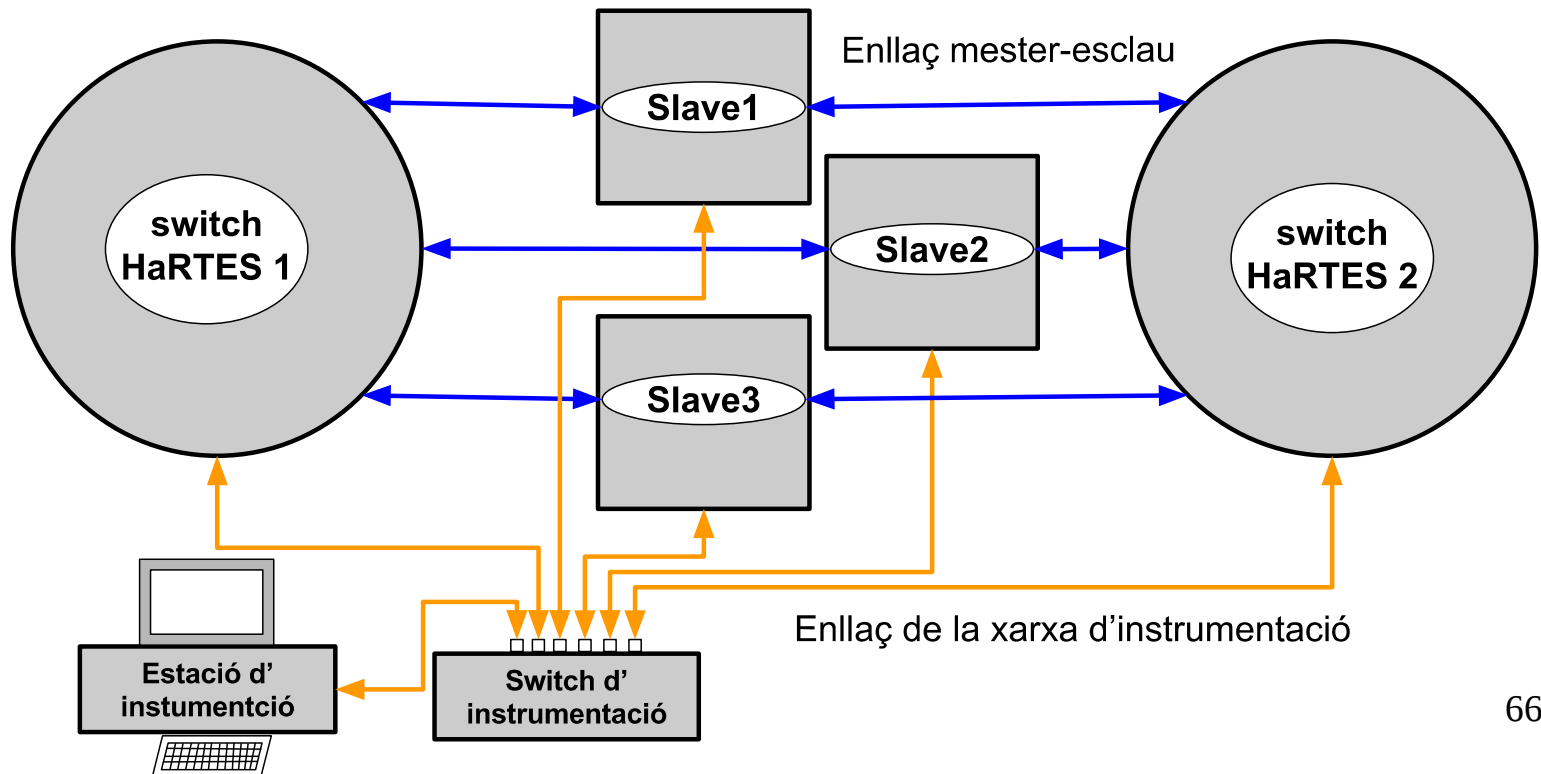
Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS): Rèplica de switch



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

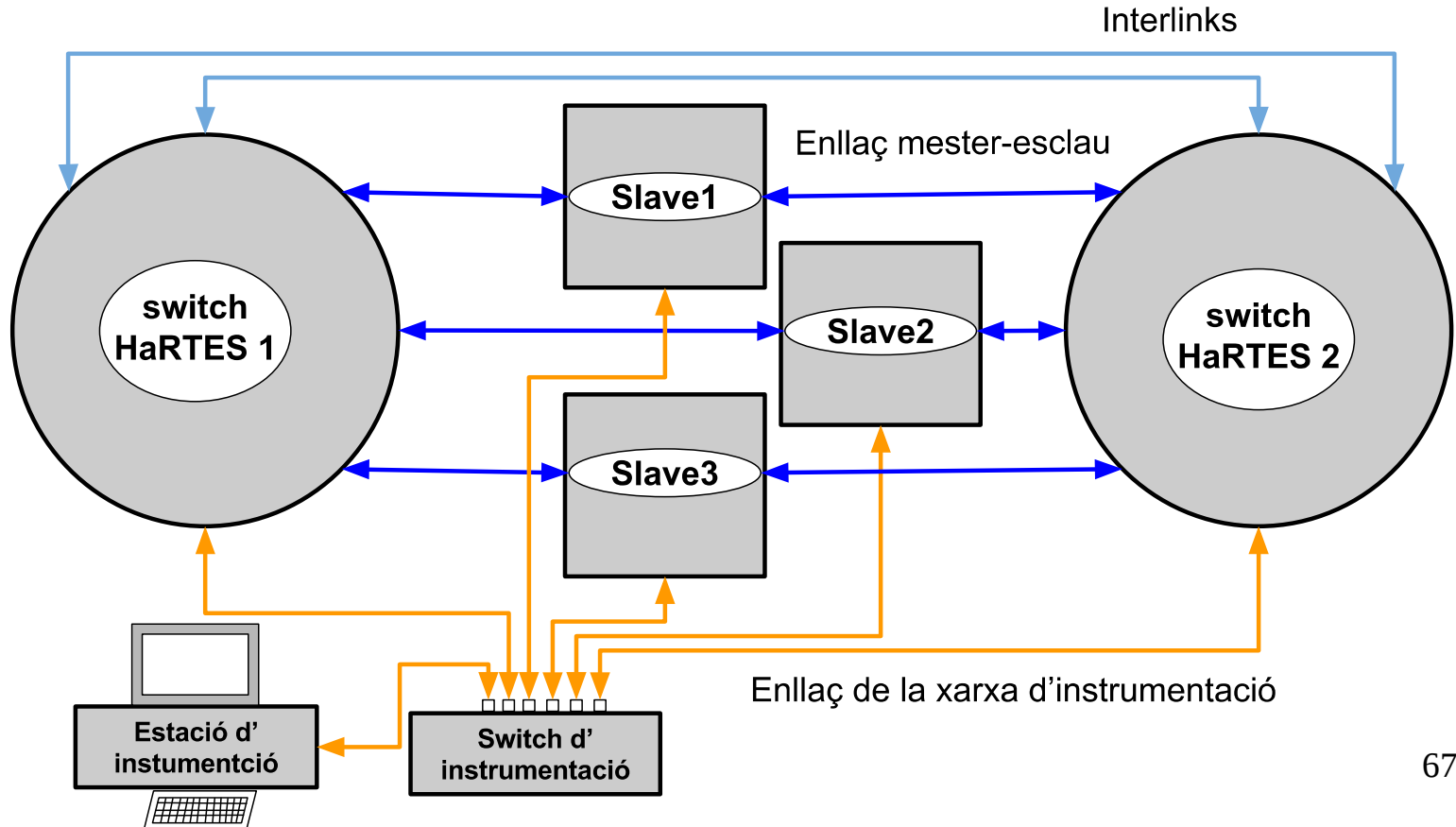
Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS): Dues interfícies per esclau



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

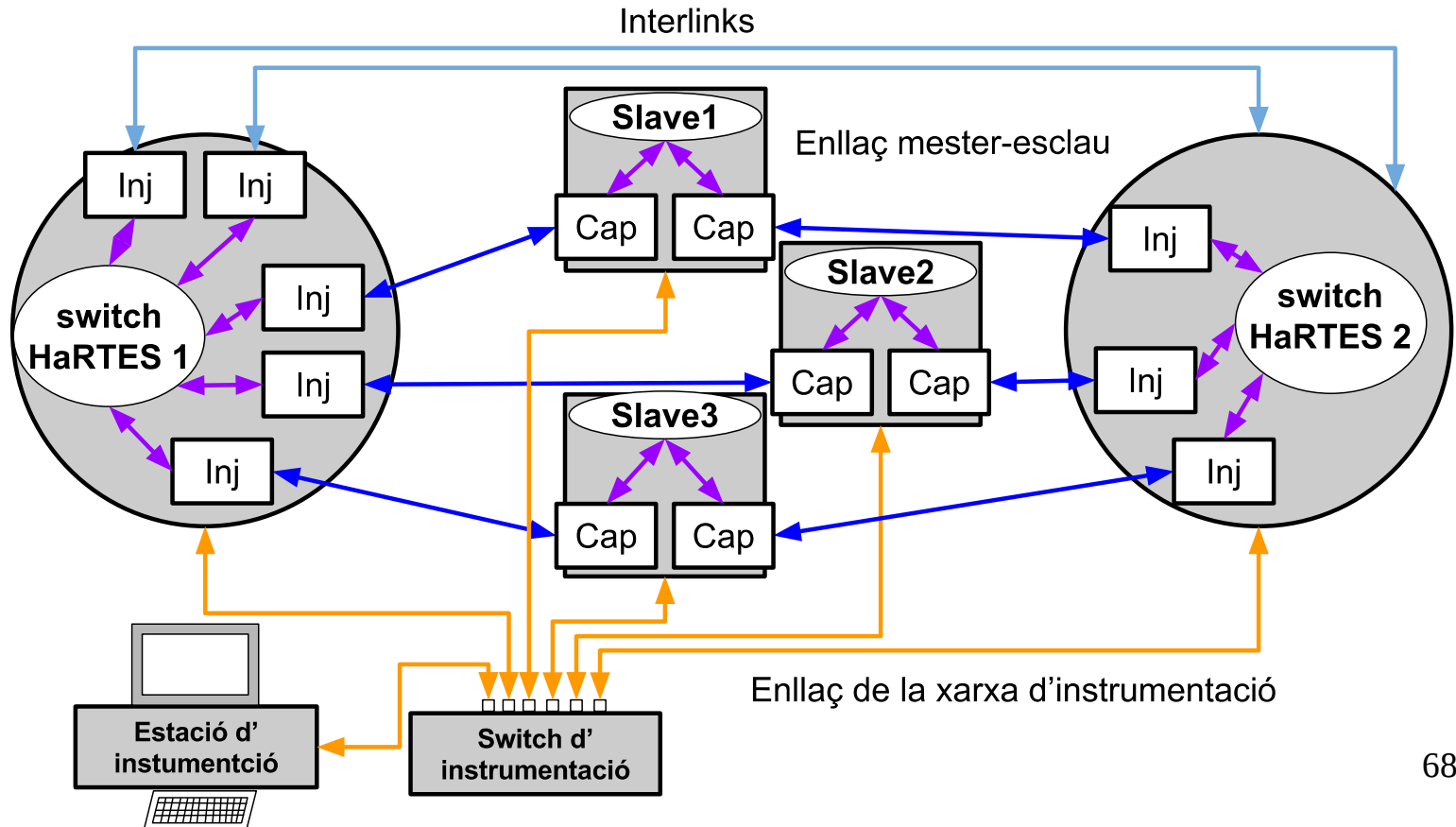
Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS): Enllaços entre rèpliques



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

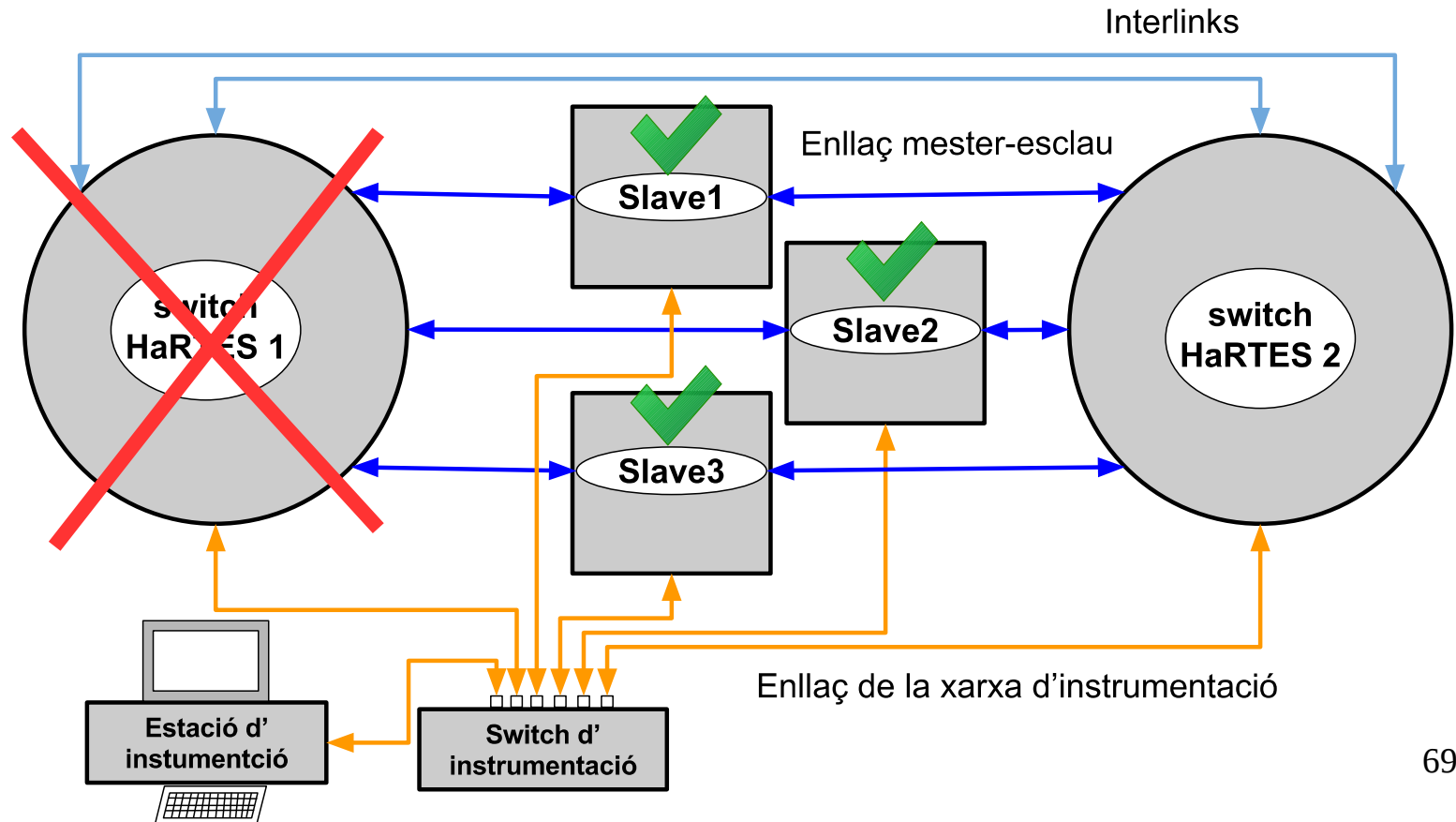
Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS)



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

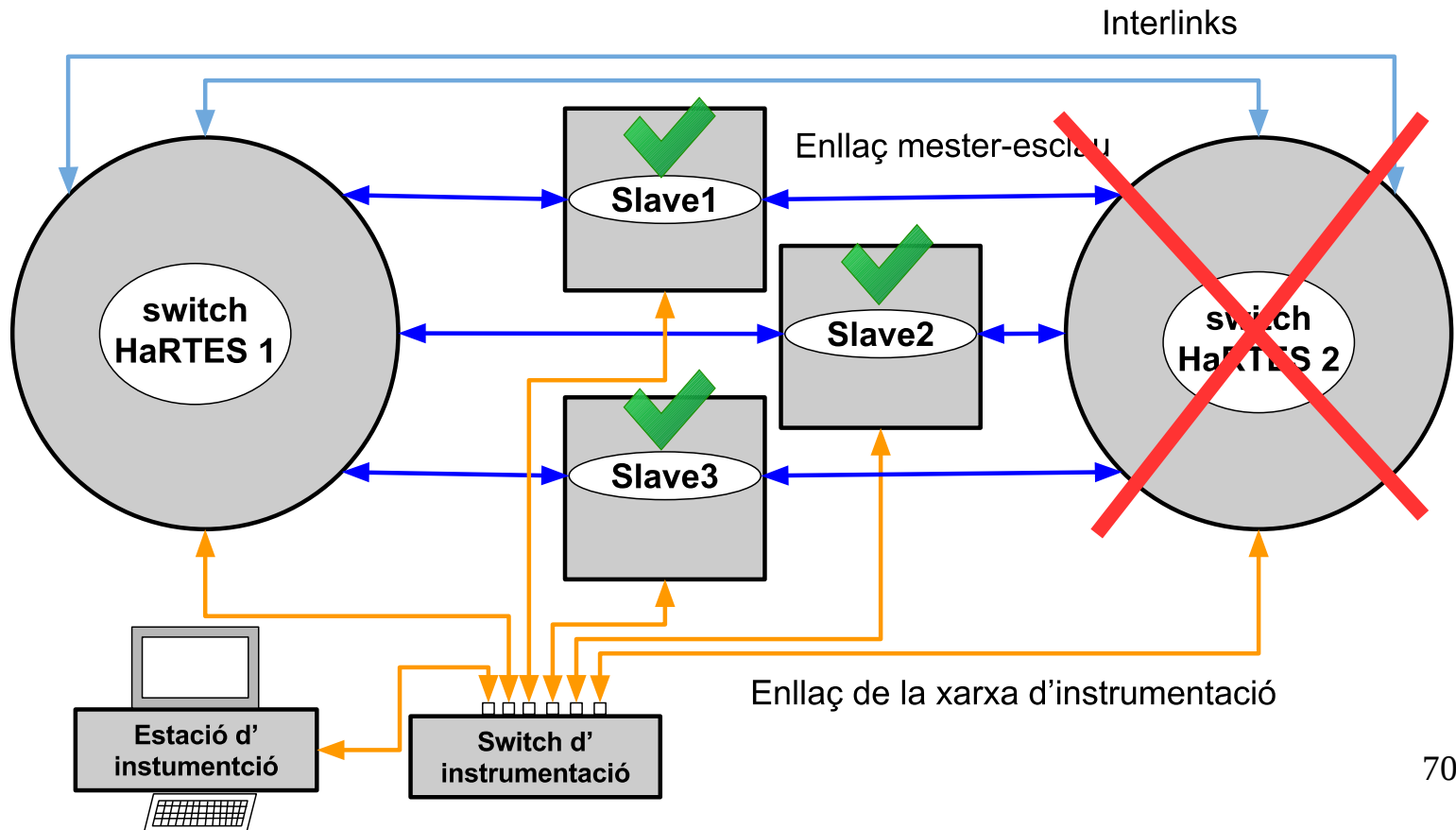
Caiguda d'un switch



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

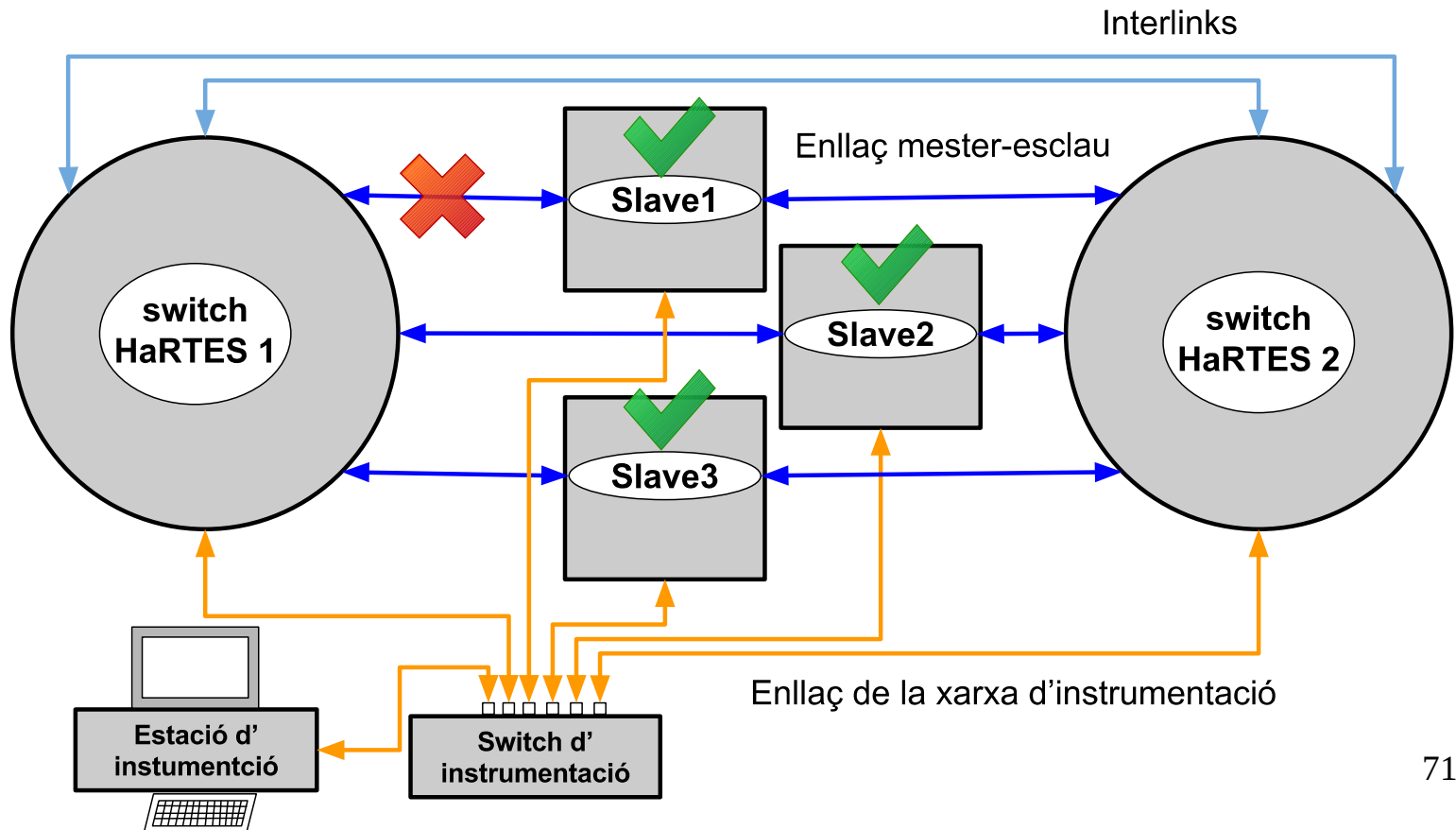
Caiguda d'un switch



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

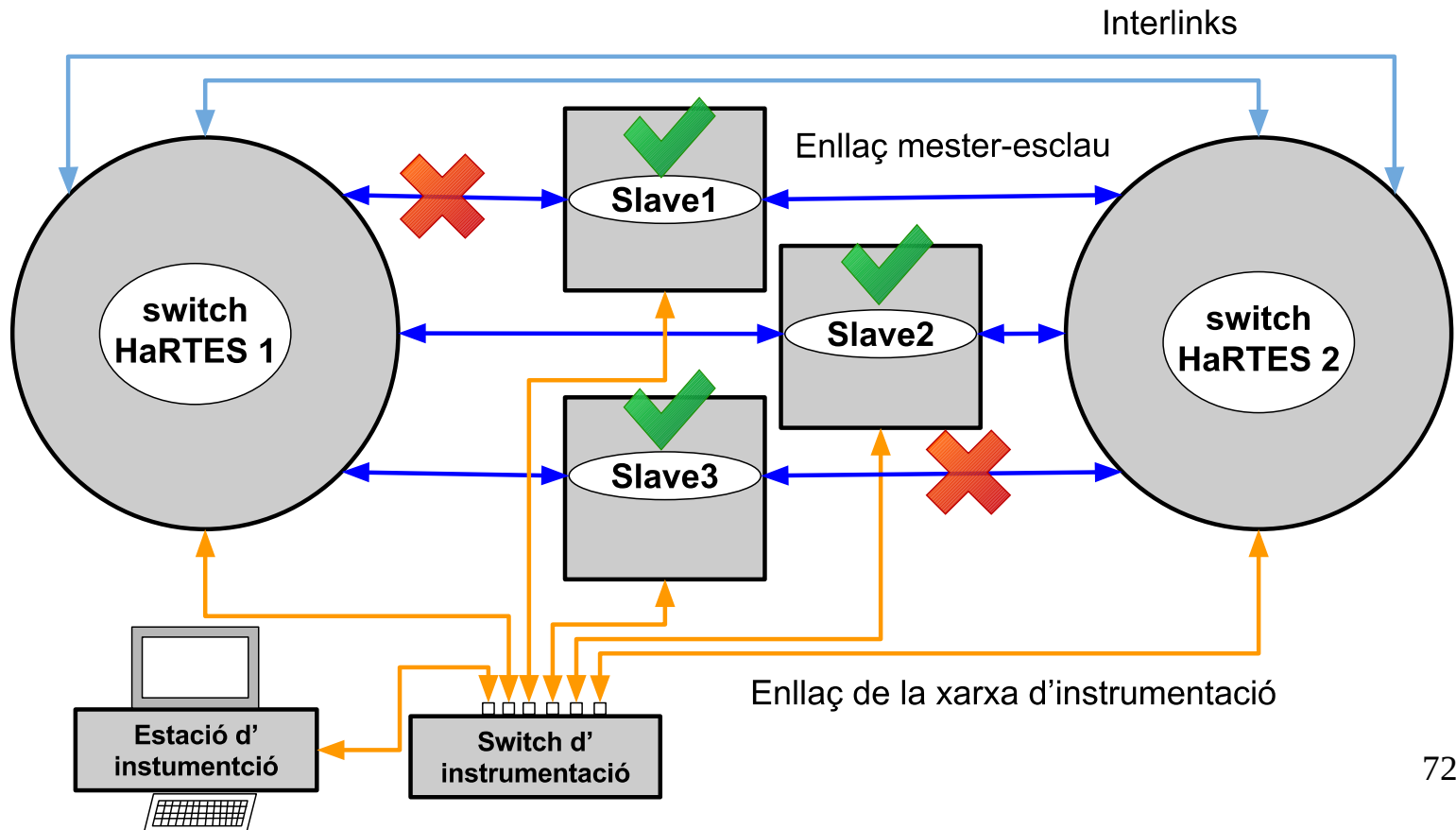
Tall d'enllaços



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

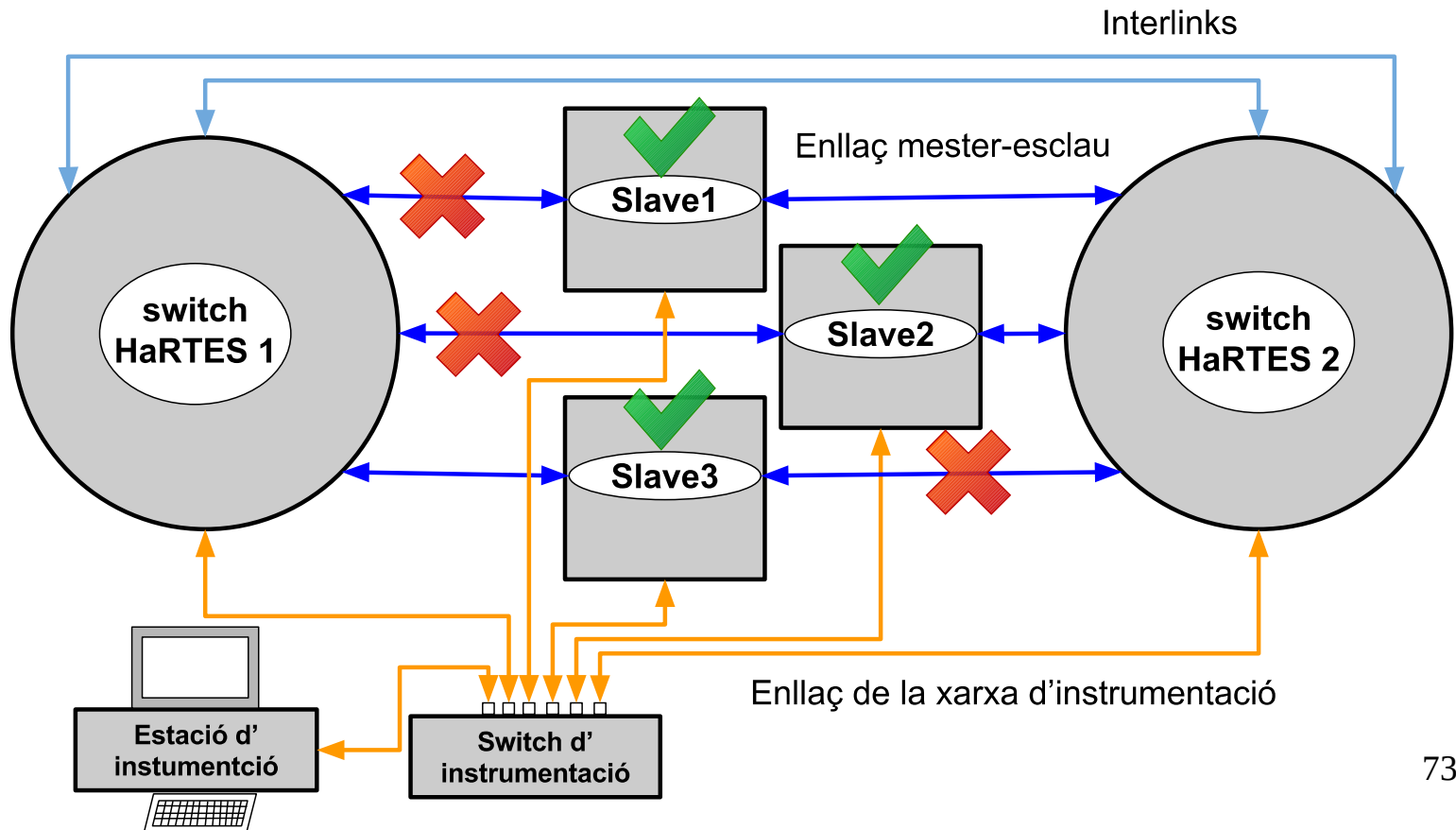
Tall d'enllaços



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

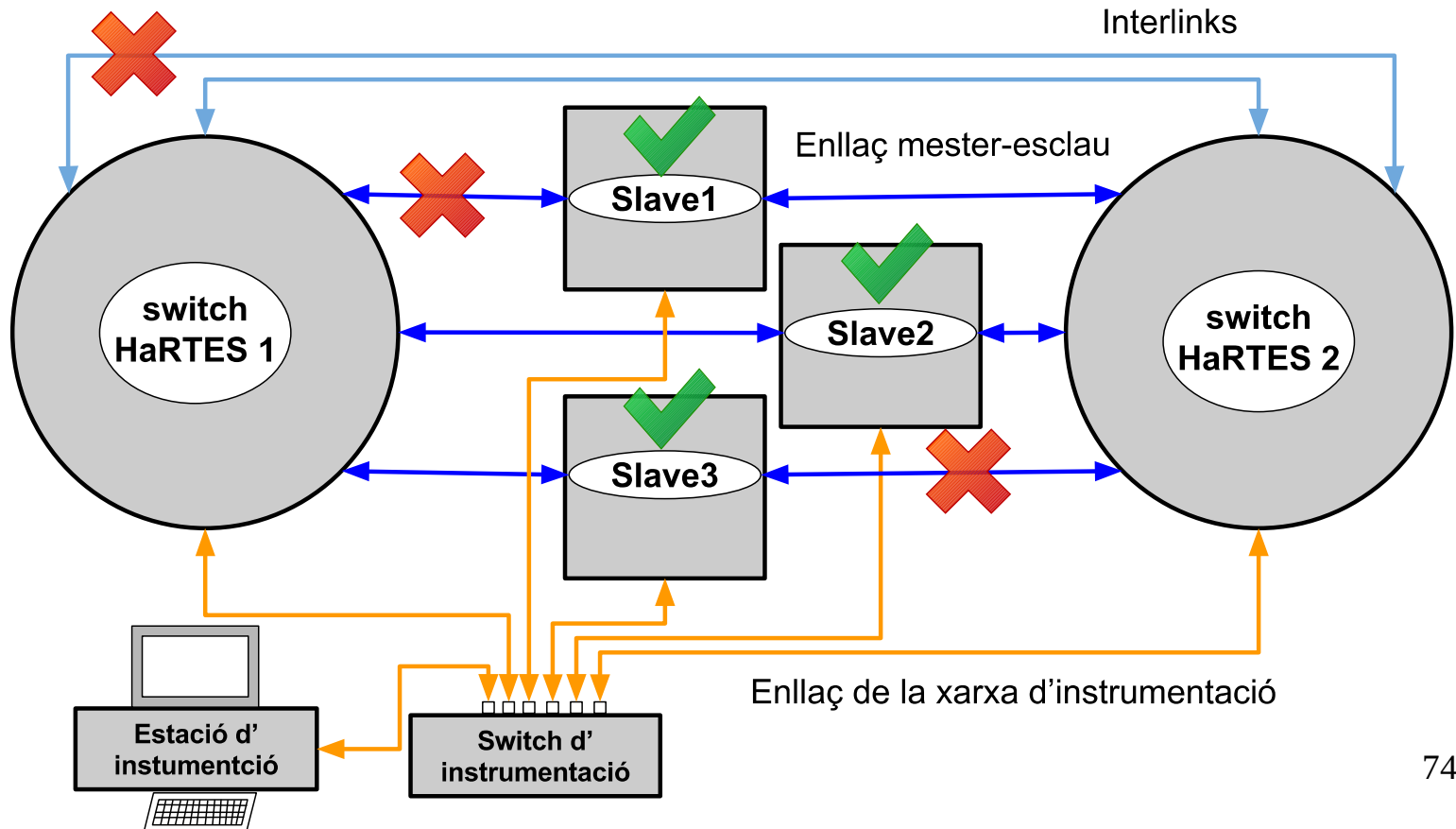
Tall d'enllaços



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

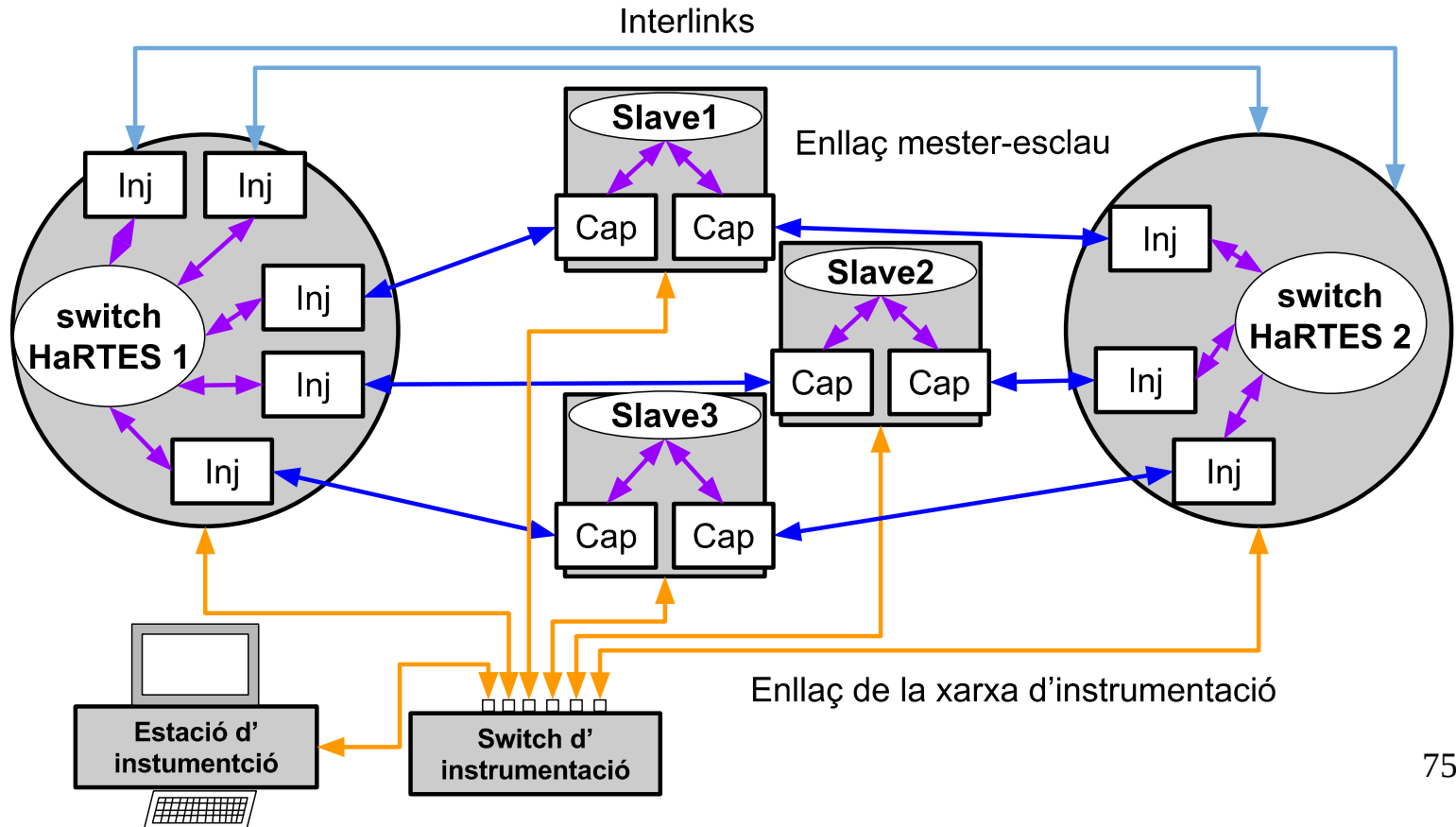
Tall d'enllaços



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

Flexible Time-Triggered Replicated Star for Ethernet (FTTRS)



Test de la infraestructura

Aturada de components d'una xarxa FTTRS

Tots el casos de tall de 3 enllaços simultanis en un mateix experiment

Enllaços tallats	Enllaços tallats	Enllaços tallats	Enllaços tallats
$L_{S1H1}, L_{S2H1}, L_{S3H1}$	$L_{S1H1}, L_{S2H2}, L_{i1}$	$L_{S1H2}, L_{S2H2}, L_{S3H1}$	$L_{S2H2}, L_{S3H1}, L_{i1}$
$L_{S1H1}, L_{S2H1}, L_{S3H2}$	$L_{S1H1}, L_{S2H2}, L_{i2}$	$L_{S1H2}, L_{S2H2}, L_{S3H2}$	$L_{S2H2}, L_{S3H1}, L_{i2}$
$L_{S1H1}, L_{S2H1}, L_{i1}$	$L_{S1H2}, L_{S2H1}, L_{S3H1}$	$L_{S1H2}, L_{S2H2}, L_{i1}$	$L_{S2H1}, L_{S3H2}, L_{i1}$
$L_{S1H1}, L_{S2H1}, L_{i2}$	$L_{S1H2}, L_{S2H1}, L_{S3H2}$	$L_{S1H2}, L_{S2H2}, L_{i2}$	$L_{S2H1}, L_{S3H2}, L_{i2}$
$L_{S1H1}, L_{S2H2}, L_{S3H1}$	$L_{S1H2}, L_{S2H1}, L_{i1}$	$L_{S2H1}, L_{S3H1}, L_{i1}$	$L_{S2H2}, L_{S3H2}, L_{i1}$
$L_{S1H1}, L_{S2H2}, L_{S3H2}$	$L_{S1H2}, L_{S2H1}, L_{i2}$	$L_{S2H1}, L_{S3H1}, L_{i2}$	$L_{S2H2}, L_{S3H2}, L_{i2}$

Contingut

- **Requisits**
- **Disseny**
- **Implementació**
- **Test de la infraestructura**
- **Conclusions**

Conclusions

(I)

Hem assolit els objectius:

- Tenim una **IIF** per **Ethernet** amb funcions específiques per **FTT**.
- Fallades **transitòries**, **permanents** i **intermitents**.
- Errors en el domini **temporal** i de **valor**.
- Capaç d'injectar **múltiples** fallades en un mateix experiment.

Conclusions

(II)

- **Fàcil configuració** amb l'arxiu de configuració
- Injecció **transparent** per les aplicacions de xarxa gràcies a les Interfícies virtuals
- **Recopilació de dades** amb els MIFCDs i amb el netAnalyzer
- Informe de **resultats finals** de l'experiment MPAD

Conclusions

(III)

- La seva estructura modular permet **adaptar-la** a diferents xarxes Ethernet amb S.O. Linux
- **Control centralitzar** amb el MC a través de la xarxa d'instrumentació
- Hem realitzat els experiments per **verificar** que el **disseny** corresponia amb la **implementació**
- Hem validat la **IIF** utilitzant-la en **diversos prototipus de xarxes**.

Conclusions

Utilització dels experiments per escriure un article:

D. Gessner, A. Ballesteros, A. Adrover, J. Proenza. **Experimental Evaluation of Network Component Crashes and Trigger Message Omissions in the Flexible Time-Triggered Replicated Star for *Ethernet***. In Proceedings of the 2015 IEEE World Conference on Factory Communication Systems (WFCS), Palma de Mallorca, Spain, 2015.

Infraestructura d'injecció de fallades per a Ethernet amb funcions específiques per a FTT

Andreu Adrover

Supervisors

Alberto Ballesteros y Julián Proenza



Universitat de les Illes Balears

Disseny

Arxiu de configuració:Interfícies

<args>

<device>

<iddevice>"nom del dispositiu" **</device>**

<phif>"nom de la interfície física" **</phif>**

<vif>"nom de la interfície virtual" **</vif>**

<instif>"nom de la interfície d'instrumentació" **</instif>**

</device>

...

</args>

Disseny

Arxiu de configuració:Errors

<args>

<device>... </device>

<rx_error> type_error type_msg {cond}{mods} **<rx_error>**

<rx_error> type_error type_msg {cond}{mods} **<rx_error>**

<tx_error> type_error type_msg {cond}{mods} **</tx_error>**

</args>

Disseny

Arxiu de configuració:Errors

- type_error: **<type>** "delay" | "drop" | "change" | "crash" | "lock" | "allpossiblecases" **</type>**
- type_msg: **<message_type>** "ETH" | "TM" | "SDM" | "ADM" **</message_type>**
- condicions: **<check>** field | byte **</check>**
 - field: **<name field** ["E|D|L|G"|("R"/ side="S|F")]**>**
value field **</name field>**
 - byte: **<byte>** value byte **</byte>**
<pos_byte> index byte **</pos_byte>**
- modificacions:
 - **<change>** field | byte **</change>**
 - **<delay>** us **</delay>**

Disseny

Exemples conf:lock

<pre><args> <device> <iddevice>sw1</iddevice> <phyif>slave6</phyif> <vif>tap5</vif> <instif>eth0</instif> </device></pre>	<pre><tx_error> <type>lock</type> <message_type>TM</message_type> <check> <rlh_seq_no>d2</rlh_seq_no> </check> <unlock> <rlh_seq_no>e5</rlh_seq_no> </unlock> </tx_error> </args></pre>
---	---

Disseny

Exemples conf:delay

```
<args>
  <device>
    <iddevice>sw1</iddevice>
    <phyif>slave6</phyif>
    <vif>tap5</vif>
    <instif>eth0</instif>
  </device>
```

```
<tx_error>
  <type>delay</type>
  <message_type>TM</message_type>
  <check>
    <rlh_seq_no operator="G"> 9
      </rlh_seq_no>
    <rlh_TMseq operator="E"> 1
      </rlh_TMseq>
  </check>
  <time_delay>500</time_delay>
</tx_error>
```

Disseny

Exemples conf:change

```
<args>
  <device>
    <iddevice>sw1</iddevice>
    <phyif>slave6</phyif>
    <vif>tap5</vif>
    <instif>eth0</instif>
  </device>
```

```
<tx_error>
  <type>change</type>
  <message_type> TM
    </message_type>
  <check>
    <rlh_seq_no operator="R"
      side="S"> 40 </rlh_seq_no>
    <rlh_seq_no operator="R"
      side="F"> 50 </rlh_seq_no>
  </check>
  <change> <NSM>6</NSM>
</change>
</tx_error>
```