A1-204

The evolution of the maintenance processes increases the operational availability and contribute to the operational efficiency of Itaipu Power Plant

تطور عمليات الصيانة يؤدي الى زيادة التوافر التشغيلي والمساهمة في الكفاءة التشغيلية لمحطة توليد الطاقة في Itaipu

Marco A. S. Mauro; Cleber S. Pimenta; Raul A. Garcete M.; J. Johnny Rocha E.

مقدمه: د/ أحمد عثمان عبد اللطيف بدر

مدرس بقسم القوى والآلات الكهربية

كلية الهندسة - جامعة عين شمس

ahmed.badr@eng.asu.edu.eg

يناير ٢٠٢٢

1

مخطط العرض

- الملخص
- مقدمة
- إدارة الإشراف على الصيانة
  1. إجراءات لتقليل التوقف القسري (forced unavailability)
  2. إجراءات لتقليل التوقف المجدول (scheduled unavailability)
  3. تطور خطة الصيانة وتقييمها
- الاستنتاجات النهائية
- مراجع

2

الملخص

محطة Itaipu للطاقة الكهرومائية

- تحتل محطة Itaipu للطاقة الكهرومائية ، بسعة 14000 MW ، موقعًا استراتيجيًا في كل من الأنظمة الكهربائية البرازيلية وباراغواي ، وكانت مسؤولة في عام 2019 عن توفير 11.3% من الطاقة المستهلكة في البرازيل و 88.1% من الطلب في باراغواي.
- تعمل إدارة الصيانة (maintenance superintendency) في محطة توليد الطاقة في Itaipu على تحسين عملياتها باستمرار لتحمل مؤشرات أعلى لوحدات التوليد.
- على مدى السنوات الست الماضية ، كانت هذه المؤشرات دائمًا أعلى من 96% ؛ في 2017 و 2018 و 2019 تجاوز التوافر 97%. بلغت كفاءات الطاقة 98.99% و 99.3% و 99.55% على التوالي.

3

الملخص

- في عام 2016 ، وصل إنتاج الطاقة إلي 104,098 GWh (أعلى علامة سنوية لمحطة Itaipu) بفضل تقارب 4 عوامل مهمة:
  1. استهلاك الطاقة في البرازيل (472,242 GWh)
  2. توفر نظام النقل (Transmission System)
  3. التوافر الهيدرولوجي في Itaipu (107,176 GWh)
  4. تحسين توافر وحدات التوليد (96.3%)
- أدت هذه العوامل إلى أداء إنتاج (Production Performance) بنسبة 96.2%.
- العامل الوحيد الذي يمكن أن تديرها محطة Itaipu هو توافر وحدات التوليد.

4

الملخص

- يصور هذا البحث تجربة هيئة الإشراف على الصيانة في Itaipu بخصوص:
  1. إعادة تقييم العمليات والأنشطة المنجزة أثناء الصيانة الدورية المجدولة
  2. تجنب التأخير في الصيانة الدورية
  3. تقليص مدة التوقف للتدخلات التصحيحية والوقائية (Corrective and Preventive Interventions)
  4. تقليل الأعطال الكهربية (Reducing unwanted failures)
- نظرًا لأنه لا يمكن إهمال تقادم المعدات الكهربائية والإلكترونية ، تقوم محطة Itaipu حاليًا بتنفيذ التحديث التكنولوجي (Technological Update) لمحطة الطاقة الخاصة بها ، والتي تركز بشكل أساسي على أنظمة الحماية والتحكم (Protection and Control Systems).

5

الملخص

- الهدف هو التأكد من أن معدات محطة الطاقة تحافظ على اعتماديتها (العول – Reliability) واستمرارية الأداء العالي للمحطة على مدار العقود القادمة ، مع أرقام إنتاج طاقة متساوية أو أعلى وتداعيات فورية على اقتصاد كلا البلدين الشريكين.
- كلما زاد إنتاج محطات الطاقة الكهرومائية ، قل خطر لجوء البرازيل وباراغواي إلى المصادر الأكثر تكلفة والتي تضر بالبيئة بشكل أساسي ، مثل محطات الطاقة الحرارية.
- تكمن أهمية الصيانة لضمان مشروع التحديث التكنولوجي في نتائج إنتاج الطاقة في Itaipu.
- حتى عام 2012 ، كان من الضروري توفير ما معدله 290 يومًا من فترات توقف الوحدات سنويًا للامتثال لبرنامج الصيانة الوقائية لوحدات التوليد.
- مع تحسن العمليات ، انخفض وقت التوقف عن العمل.
- اعتبارًا من عام 2019 فصاعدًا ، يلزم 173 يومًا في المتوسط (قل وقت التعطل بنسبة 40%) ، وهو أمر مهم من وجهة النظر الاقتصادية ومرونة التشغيل والتحديث التكنولوجي.

6

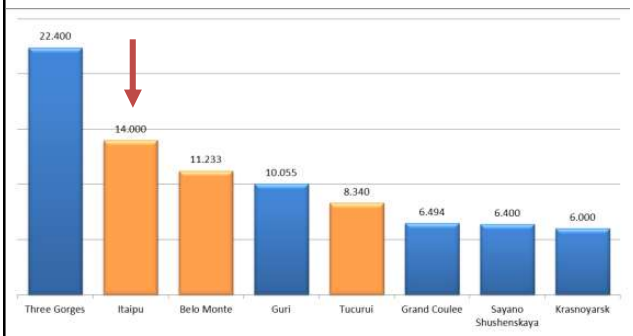
الملخص

- يركز هذا البحث على تقديم خلفية لممارسات الصيانة الجيدة (Good Maintenance Practices) في محطة Itaipu على مدار اكثر من 30 عاما من التشغيل وبغض النظر عن تجاوز مؤشرات توليد الطاقة مثل تحفيز الفرق (Teams' Motivation) والتدريب (Training) وإدارة المعرفة (Knowledge Management) وتكامل المحطة مع بيئتها الاجتماعية.

7

مقدمة – محطة Itaipu وأكبر محطات الطاقة الكهرومائية في العالم

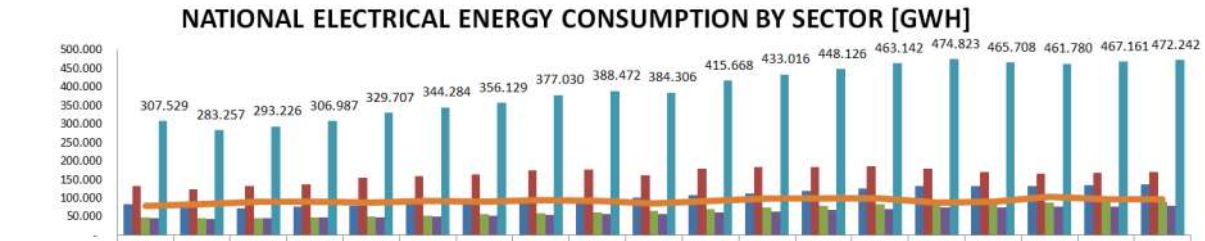
- في تصنيف محطات الطاقة الكهرومائية الكبيرة ، تعتبر محطة Itaipu حاليًا ثاني أكبر محطة من حيث القدرة المركبة (Installed capacity)، بعد محطة الطاقة الصينية (Three Gorges Power Plant).
- على الرغم من امتلاكه قدرة مركبة أقل بنسبة 38% ، وذلك بفضل الإدارة المتكاملة بين التشغيل والصيانة ، إلا أن Itaipu كان أول من تغلب على حاجز 100,000 GWh لتوليد الكهرباء سنويًا ، ووصل في عام 2016 إلى 103,098 GWh.



محطة Itaipu وأكبر محطات الطاقة الكهرومائية في العالم

8

مقدمة – استهلاك الطاقة الكهربائية حسب القطاع في البرازيل



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Residential	83.613	73.622	72.718	76.162	78.470	82.644	85.784	89.885	94.746	100.776	107.215	111.971	117.646	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368	136.022
Industrial	131.278	122.539	130.927	136.221	154.163	158.610	163.180	174.369	175.834	161.799	179.478	183.576	183.425	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398	169.549
Commercial	47.626	44.434	45.222	47.531	49.686	53.035	55.369	58.647	61.813	65.255	69.170	73.482	79.226	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292	88.815
Others	45.011	42.663	44.359	47.073	47.389	49.995	51.796	54.129	56.079	56.477	59.805	63.988	67.829	69.846	73.575	74.462	75.721	77.103	77.856
BRAZIL	307.529	283.257	293.226	306.987	329.707	344.284	356.129	377.030	388.472	384.306	415.668	433.016	448.126	463.142	474.823	465.708	461.780	467.161	472.242
ITAIPU	79.307	82.914	89.151	89.912	87.971	92.690	90.620	94.685	91.652	85.970	92.246	98.287	98.287	98.630	87.795	89.215	103.098	96.386	96.586

9

مقدمة – المؤشرات التي تتحكم في إنتاج الطاقة

- يتم التحكم بقوة في عملية إنتاج الطاقة الكهربائية من خلال 3 مؤشرات:

1. التوافر (Availability): النسبة المئوية للوقت الذي يكون فيه الجهاز قادرًا على أداء وظيفته المطلوبة ؛ أو احتمال أن يكون الجهاز متاحًا في أي لحظة
2. التوقف المجدول (Scheduled Unavailability): النسبة المئوية للوقت الذي تكون فيه وحدات التوليد خارج الخدمة للصيانة المجدولة
3. التوقف القسري (Forced Unavailability): النسبة المئوية للوقت الذي تكون فيه وحدات التوليد خارج الخدمة بسبب الإغلاق القسري

- عوامل التحكم الأربعة التي تؤثر بشكل مباشر على سلوك المؤشرات المذكورة أعلاه هي: (1) استهلاك الطاقة في البرازيل وباراغواي، (2) توافر نظام النقل، (3) توافر المياه في Itaipu و (4) بشكل رئيسي تحسين توافر وحدات التوليد (العامل الوحيد الذي يمكن أن تديره محطة Itaipu).

10

إدارة الإشراف على الصيانة

- يهدف نظام التشغيل والصيانة (Operation and Maintenance System – SOM) التابع لمحطة Itaipu إلى:
  - ✓ التحكم بشكل دائم في أداء المعدات والهياكل
  - ✓ ترشيد تنفيذ أنشطة التشغيل والصيانة
  - ✓ وضع إجراءات لأعمال الصيانة المتكررة التي تتسم بالتعقيد والمخاطر وارتفاع التكاليف
  - ✓ مراقبة وتحسين تكاليف الإنتاج
  - ✓ تدريب الفريق

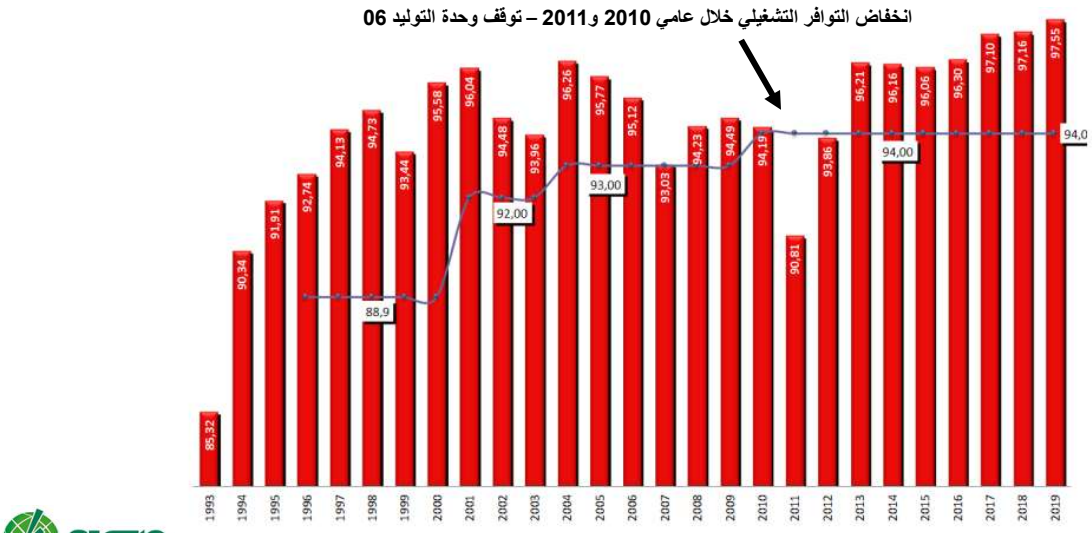
11

إدارة الإشراف على الصيانة

- توجد العديد من التحديات في الحياة اليومية لفرق الصيانة والتشغيل ، مثل:
  - ✓ التحسين المستمر لمؤشرات الأداء
  - ✓ السوق في نمو مستمر
  - ✓ تجديد طاقم العمل
  - ✓ تطوير المهارات
  - ✓ تنفيذ الأنظمة الجديدة
  - ✓ التحديث التكنولوجي
- من بين هذه التحديات ، يمكننا تسليط الضوء على البحث عن التحسين المستمر لمؤشرات الأداء.

12

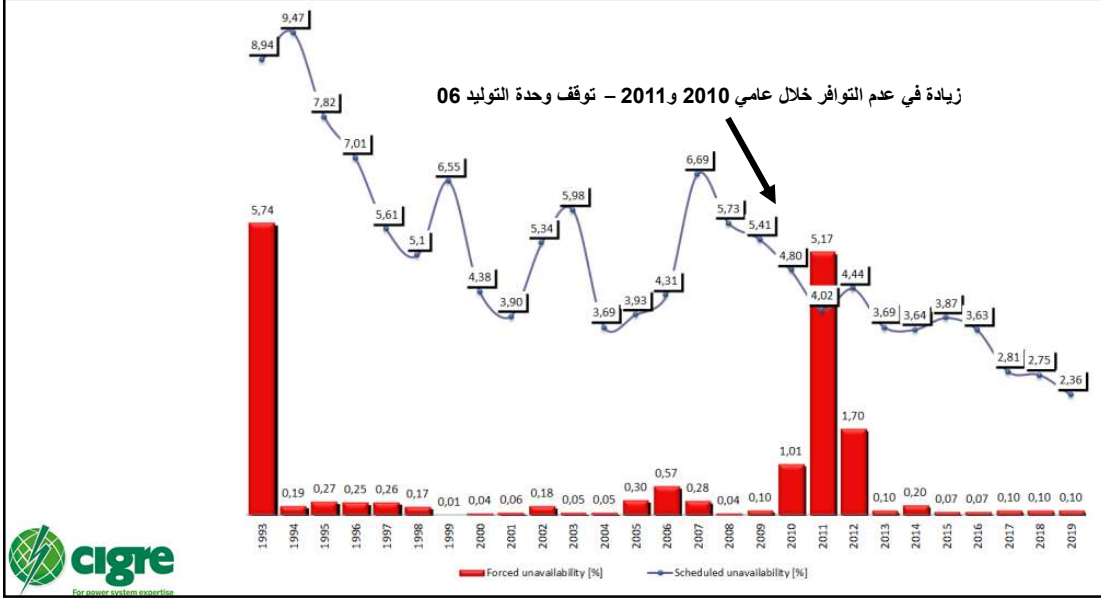
التوافر التشغيلي للوحدات التوليدية



13

13

توقف وحدات التوليد



14

14

إدارة الإشراف على الصيانة

- بمساعدة تقنيات ومفاهيم الصيانة الحديثة (مثل الصيانة المرتكزة على الاعتمادية – Reliability-centered maintenance) ، أجريت دراسات لتحسين خطة الصيانة التي طورتها وطبقتها محطة Itaipu.
- ومع ذلك ، نظرًا لأهمية وحدات التوليد في Itaipu للأنظمة الكهربائية في البرازيل وباراغواي، كان طاقم الصيانة الفني دائمًا متحفظًا جدًا فيما يتعلق بتقنيات الصيانة الجديدة.
- مع حدث غير متوقع في وحدة التوليد 06، مما جعلها متوقفة من سبتمبر 2010 إلى مارس 2012 ، انتهزت إدارة الصيانة الفرصة لاتخاذ إجراء مباشر لجميع موظفيها الفنيين بهدف:
  - ✓ تدريب أثناء العمل من خلال فك وإعادة تجميع وحدة التوليد 06 لاستبدال حلقة قطع التوربين (Turbine wear ring)
  - ✓ التحقق من فعالية عمليات الصيانة من خلال الفحص التفصيلي للأجزاء التي يتعذر الوصول إليها
  - ✓ التحقق من صحة دراسات هندسة الصيانة

15

1. إجراءات لتقليل التوقف القسري

- بهدف الحد من التوقف القسري ، تم توضيح جبهتين للعمل لتجميع الإجراءات الرئيسية التي تهدف إلى تحقيق مكاسب محتملة في الأداء.
- تقوم المجموعة الأولى بتجميع الإجراءات لتقليل حالات الأعطال المبكرة. أثيرت الاحتياجات المحتملة للتحسين ، بدءًا من القضاء على حالات الأعطال المتكررة إلى فرضية تنفيذ الأنشطة المخطط لها فقط ، وكسر نماذج الاستفادة من التوقفات لأداء الأنشطة غير الضرورية.
- جمعت المجموعة الثانية الإجراءات لتحسين الأنشطة نفسها ، أي إعادة تقييم التدخلات السابقة ، وتم توحيد التدخلات المعروفة واستثمارها بشكل أساسي في تدريب المهارات الشخصية اللازمة لتنفيذ التدخلات.

16

1. إجراءات لتقليل التوقف القسري

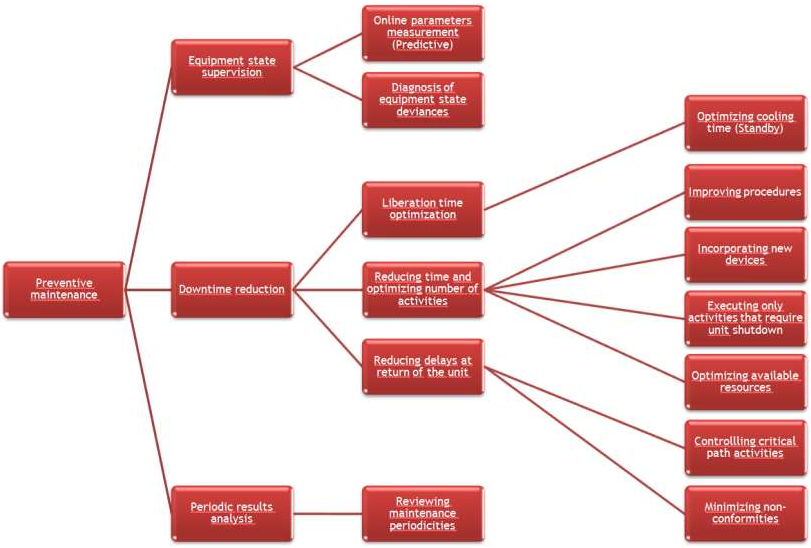
17

2. إجراءات لتقليل التوقف المجدول

- بهدف تقليل عدم التوافر المبرمج ، تم تنفيذ برنامج مراجعة عام لإجراءات الصيانة بهدف تحسين العمليات ، والتي اقتربت بشكل عام:
  - ✓ تقليل وقت التوقف عن العمل (Reduced Downtime)
  - ✓ تقليل وقت عودة الوحدة (Reduction of the Unit's Return Time)
  - ✓ تعظيم الأنشطة (Optimization of Activities)
  - ✓ تحسين الإجراءات (Improvement in Procedures)
  - ✓ تحسين الأساليب التنبؤية (Improvement of Predictive Techniques)
  - ✓ تطوير أجهزة جديدة (Development of New Devices)
  - ✓ الأداء في فعالية العمليات (Performance in the Effectiveness of Processes)
  - ✓ ضوابط محسنة (Improved Controls)

18

2. إجراءات لتقليل التوقف المجدول



19

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

- في التسعينيات ، تم تطبيق الفترات الدورية وأوقات توقف الصيانة الوقائية في Itaipu:
  - ✓ نصف سنوي – كل 6 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ سنوي – كل 12 أشهر : 31 يوم تقويمي (31 Calendar days)
  - ✓ كل سنتين – 24 أشهر : 33 يوم تقويمي (33 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 4 سنوات
- في منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين ، تم تنفيذ أول تحسين لخطة الصيانة ، ومراجعة عمليات وأنشطة خطط الصيانة ، مما أدى إلى فترات التعطل والدورة التالية:
  - ✓ نصف سنوي – كل 6 أشهر: 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ سنوي – كل 12 أشهر : 11 يوم تقويمي (11 Calendar days)
  - ✓ كل سنتين – 24 أشهر : 17 يوم تقويمي (17 Calendar days)
  - ✓ كل 4 سنوات – 48 أشهر : 17 يوم تقويمي (17 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 4 سنوات

20

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

- في عام 2013 ، تم تنفيذ تعديل جديد لخطة الصيانة نتيجة للدراسات والتحسين المستمر للعمليات :
  - ✓ نصف سنوي – كل 6 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ سنوي – كل 12 أشهر : 02 يوم تقويمي (02 Calendar days)
  - ✓ كل 18 شهر : 15 يوم تقويمي (15 Calendar days)
  - ✓ كل 3 سنوات – 36 أشهر : 17 يوم تقويمي (17 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 3 سنوات
- في عام 2015 ، تم تنفيذ تحسينات وإعادة تقييم جديدة لعمليات الصيانة ، مما أدى إلى تكوين خطة الصيانة أدناه :
  - ✓ نصف سنوي – كل 6 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ سنوي – كل 12 أشهر : 02 يوم تقويمي (02 Calendar days)
  - ✓ كل 18 شهر : 12 يوم تقويمي (12 Calendar days)
  - ✓ كل 3 سنوات – 36 أشهر : 17 يوم تقويمي (17 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 3 سنوات

21

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

- في عام 2016 ، تم إجراء تحسينات في نظام ضبط السرعة ، مما قلل من وقت الصيانة الوقائية وأدى إلى خطة الصيانة التالية :
  - ✓ نصف سنوي – كل 6 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ سنوي – كل 12 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ كل 18 شهر : 12 يوم تقويمي (12 Calendar days)
  - ✓ كل 3 سنوات – 36 أشهر : 16 يوم تقويمي (16 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 3 سنوات
- في عام 2017 ، مع دمج الدراسات الجديدة ومراجعة العمليات ، تم تعديل الفترات الدورية مما أدى إلى تكوين خطة الصيانة أدناه :
  - ✓ كل 9 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ كل 18 شهر : 11 يوم تقويمي (11 Calendar days)
  - ✓ كل 3 سنوات – 36 أشهر : 16 يوم تقويمي (16 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 3 سنوات

22

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

- أخيرًا ، في عام 2019 ، تم إجراء تعديلات على أنشطة خطة الصيانة ؛ نتيجة لذلك ، لدى Itaipu حاليًا خطة الصيانة التالية :
  - ✓ كل 9 أشهر : 01 يوم تقويمي (01 Calendar day)
  - ✓ كل 18 شهر : 12 يوم تقويمي (12 Calendar days)
  - ✓ كل 3 سنوات – 36 أشهر : 12 يوم تقويمي (12 Calendar days)
  - ✓ دورة الصيانة : 3 سنوات
- تم تحقيق إدارة تشغيلية أفضل للمحطة على مر السنين. عند استكمال البيانات خارجيا (extrapolating the data) إلى 20 وحدة توليد ، أدرك المرء أهمية الصيانة لضمان مشروع التحديث التكنولوجي الموجود في نتائج إنتاج الطاقة في Itaipu.

23

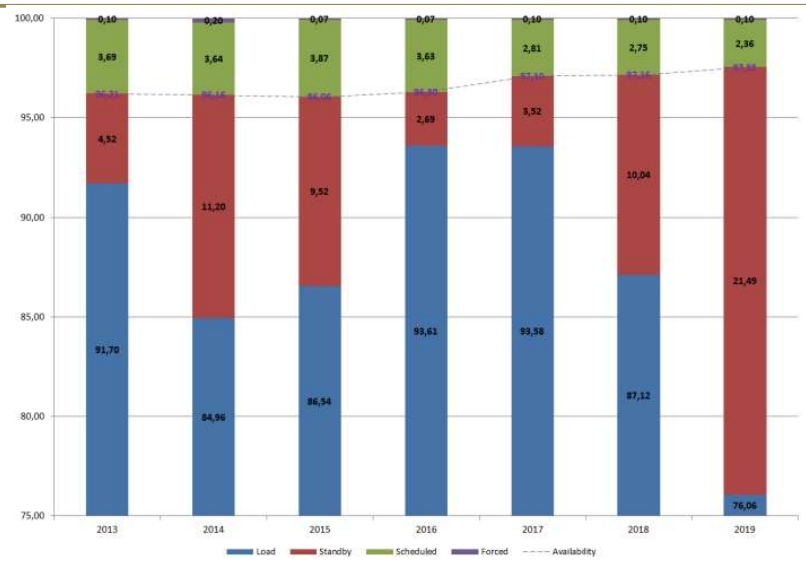
3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

Period	Periodicity (in calendar days)																Total
	1 year				2 years				3 years				4 years				
Until 2012	3M	6M	3M	1A	3M	6M	3M	2A	3M	6M	3M	1A	3M	6M	3M	4A	
		1		11		1		15		1		11		1		17	58
2013/14	3M	6M	3M	1A	3M	3S	3M	6M	3M	1A	3M	3A					
		1		2		15		1		2		17					38
2015	3M	6M	3M	1A	3M	3S	3M	6M	3M	1A	3M	3A					
		1		2		12		1		2		17					35
2016	3M	6M	3M	1A	3M	3S	3M	6M	3M	1A	3M	3A					
		1		1		12		1		1		16					32
2017/18	3M	6M	9M	1A	3M	3S	3M	6M	9M	1A	3M	3A					
			1			11			1			16					29
2019	3M	6M	9M	1A	3M	3S	3M	6M	9M	1A	3M	3A					
			1			12			1			12					26

Extrapolation for the 20 units		
Total average per year	Days with no maintenance per year	Gain in days per year
290	70	0
253	107	37
227	133	63
213	147	77
193	167	97
173	187	117

24

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها



25

3. تطور خطة الصيانة وتقييمها

- في تقييم شامل ، يمكننا أن نؤكد أن هناك تحسنًا موحدًا في مؤشر التوافر لوحدات التوليد ، حيث كان المؤشر في السنوات الثلاث الماضية أعلى من 97% وظل مؤشر التوقف القسري مستقرًا عند مستوى منخفض جدًا ، حوالي 0.1%.
- تم تحقيق إدارة تشغيلية أفضل للمحطة على مر السنين. على مدى العامين الماضيين ، كانت هناك زيادة في عدد مرات توقف الوحدات بسبب الراحة التشغيلية ، وهي حقيقة يمكن تبريرها بالانخفاض الكبير في تدفق نهر بارانا (بسبب الطقس الجاف) وكذلك بسبب السلوك التشغيلي الجديد لمصفوفة الطاقة المائية للنظام البرازيلي المترابط.
- من ناحية أخرى ، كان عامل الكفاءة التشغيلية (Operational Efficiency Factor) أعلى من 98% في السنوات الثلاث الماضية ، مما يشير إلى أن الإدارة الهيدرولوجية في Itaipu تتسم بالكفاءة والترابط.

26

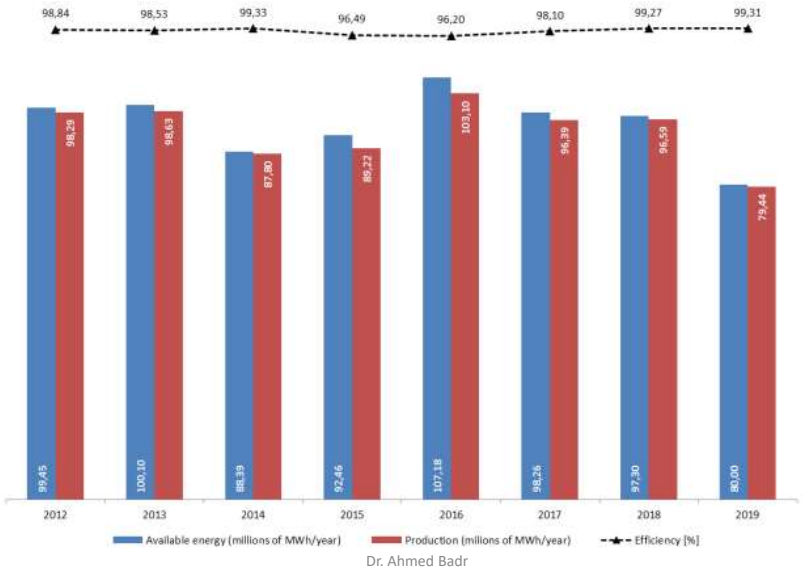
الاستنتاجات النهائية

- في البحث عن النقاط المثلى لموازنة الاعتمادية والتوافر والاقتصاد ، تلعب الصيانة دورًا حاسمًا في تلبية هذه التوقعات ، خاصة في أوقات الطلب فوق الطاقة الإنتاجية.
- على مدى السنوات الماضية ، عملت الصيانة بشكل استباقي في زيادة التوافر وتحسين خطة الصيانة لوحدات التوليد.
- من أجل الحصول على مكاسب في التوليد ، يجب مراعاة بعض العوامل الأساسية :
  - ✓ اعتمادية المعدات لإنتاج الطاقة (Reliability of the equipment for energy production)
  - ✓ سلامة الأفراد والمنشآت (Safety of Personnel and Installations)
  - ✓ توافر الطاقة (الماء) (Energy Availability)
  - ✓ الطلب والمتاح (Demand and Available)
  - ✓ نظام آمن (Safe System)

Dr. Ahmed Badr 27

27

الاستنتاجات النهائية



Dr. Ahmed Badr 28

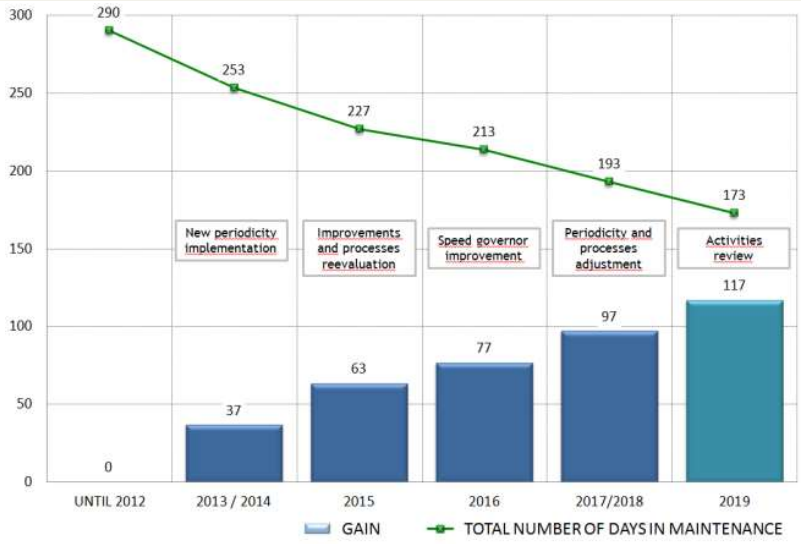
28

الاستنتاجات النهائية

- وصلت اعتمادية (Reliability) المعدات / الأنظمة لتوليد الطاقة إلى مستويات مرضية. ومع ذلك ، من الضروري وضع خطة استراتيجية مصممة لاستبدال بعض المعدات / الأنظمة أو المعدات المتقادمة بقطع غيار متوقفة.
- كان إنتاج الطاقة في عامي 2018 و 2019 قريبًا من توافر الطاقة ، متجاوزًا مستوى 99% ، مما يبرز التكامل بين فرق الصيانة والتشغيل من أجل التخطيط الأمثل.
- من أجل الحفاظ على مستوى أداء الصيانة الحالي ، من الضروري الاحتفاظ بحد أدنى من الموظفين المؤهلين والاستثمار المستمر في تدريب هذه القوة العاملة.

29

الاستنتاجات النهائية



30

الاستنتاجات النهائية

- مع تحسين العمليات ، ينخفض متوسط الوقت السنوي المطلوب لتنفيذ خطة صيانة وحدات التوليد ، في المتوسط ، من 290 إلى 173 يومًا من 2019 فصاعدًا ، أي تخفيض بنسبة 40% ، وهو أمر مهم من الناحية الاقتصادية ، وكذلك تشغيل المصنع وتنفيذ التحديث التكنولوجي.
- مع المرونة التي توفرها إعادة التقييم وإعادة تعديل خطة صيانة وحدات التوليد ، جنبًا إلى جنب مع المراقبة الصارمة للتوافر الهيدرولوجي وتشغيل وحدات التوليد بالقرب من النقطة المثلى لإنتاج الطاقة المائية ، جمعت Itaipu النتائج التالية في السنوات الأخيرة :
  - ✓ 2016 - التوافر 96.30% ؛ الإنتاج 103,098 MW؛ معامل التحصيل 96.20% yield factor
  - ✓ 2017 - التوافر 97.10% ؛ الإنتاج 96,386 MW؛ معامل التحصيل 98.09%
  - ✓ 2018 - التوافر 97.16% ؛ الإنتاج 96,586 MW؛ معامل التحصيل 99.30%
  - ✓ 2019 - التوافر 97.55% ؛ الإنتاج 79,444 MW؛ معامل التحصيل 99.31%

31

مراجع

[1] EPE - Publications, “Electric power annual consumption by sector (national) - 1995-2018”, Access in http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-deEnergia-Eletrica-por-classe-nacional - Access in Nov.2019.

[2] Itaipu Operation and Maintenance System – Manual G03 – “SOM Regulation and Operational Procedures”, Foz do Iguaçu, Paraná, Sep. 2017.

[3] Itaipu Operation and Maintenance System – GRO – “Operation Data Manager”, access in Jan. 2020.

32

و شكرا

33